

INFORME FINAL DE LA FORMULACIÓN DE UN MORTERO DE INYECCION PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES DECORADAS DEL HIPOGEO S12 DE TIERRADENTRO

Contrato 141 de 2019

CLEMENCIA VERNAZA HOYOS

Agradecimientos

Este trabajo se hizo conjunto con Juana Segura Escobar quien incondicionalmente ha estado presente en toda la investigación.

Igualmente, los alumnos de sexto semestre de la facultad de Estudios del Patrimonio durante el taller de conservación de pintura mural colaboraron con mucho rigor en las pruebas preliminares para este mortero.

Bogotá, Julio 2019

## Resumen

El parque Arqueológico de Tierradentro, declarado por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad en 1995, está compuesto por varios sitios; uno de ellos es el Alto de Segovia, lugar que alberga hipogeos cavados en la toba volcánica que compone el suelo del lugar y cubiertos con un pañete de tierra con decoraciones en pintura mural. Uno de los hipogeos del alto de Segovia y caso de estudio de esta investigación, es el hipogeo S12. En este hipogeo la acción mecánica de miriápodos y coleópteros que excavan cavidades entre la toba y el pañete han debilitado la estabilidad de las pinturas comprometiendo su perdurabilidad. Además, debido a las cubiertas que se hicieron sobre el hipogeo S12, éste presenta excesivo resecamiento del pañete haciendo que se formen craqueladuras y la consecuente falta de adherencia de este estrato. Es de inminente importancia y urgencia estabilizar estas pinturas antes de perderlas. La forma de hacer esto es a través de un mortero de inyección que vuelva a unir la toba con el pañete de tierra.

La presente investigación se hizo con el fin de desarrollar un mortero de inyección específico para el hipogeo S12, como caso de estudio y que se pueda duplicar para su utilización en otros hipogeos de características materiales similares que solucione el problema de readhesión de las exfoliaciones de la toba volcánica de soporte y de la falta de adherencia entre la toba volcánica y el enlucido de arcilla, sobre el que se encuentra la decoración. Se hicieron varias pruebas con toba y tierra de la región del parque además de otros materiales como silicatos de etilo, aditivos orgánicos como albúmina, mucílago, colágeno y acetato de polivinilo y otras cargas como piedra pómez y microesferas de vidrio.

Para hacer las pruebas se establecieron criterios a evaluar teniendo en cuenta las características del hipogeo S12 y los materiales que lo constituyen; se desarrolló además un protocolo claro que es el presente documento para la evaluación de las características y propiedades que debe cumplir el mortero de inyección seleccionado.

Después de numerosas y rigurosas pruebas y, teniendo en cuenta las características medioambientales al interior del hipogeo, se descartaron los materiales de naturaleza orgánica, tanto naturales como sintéticos y se buscaron alternativas no orgánicas para el agente espumante. La alternativa más prometedora fue el SLES (lauril éter sulfato de sodio) que, a pesar del contenido detectable de iones de sulfatos en solución, al emplearse en una concentración del 1 % dentro del mortero de inyección, la marcha analítica dio resultado negativo, debido a que los iones de sulfato no se solubilizan.

La selección de los materiales empleados como carga se hizo con base a su compatibilidad con los materiales constituyentes originales de los hipogeos y su decoración y de acuerdo con su desempeño dentro del mortero de inyección. El tamaño de partícula de los morteros de inyección se seleccionó teniendo en cuenta su capacidad de pasar a través de agujas, sondas gastro nasales y pipetas, herramientas utilizadas para la inyección del mortero en el hipogeo.

Una vez seleccionados los morteros se hicieron algunas modificaciones durante las pruebas in situ y finalmente se seleccionó un mortero de inyección con agente espumante SLES y de partículas de 250  $\mu\text{m}$  y un micro-mortero de partículas 75 $\mu\text{m}$  sin agente espumante.

Es necesario desarrollar un mortero con arcillas blancas para la elaboración de resanes perimetrales para la estabilización de los bordes de las lagunas y de la toba, que no estaba contemplado en esta investigación.

Todas las fotos fueron tomadas por Juana Segura Escobar y Clemencia Vernaza Hoyos, a menos que se indique otra procedencia.



*Vista del Alto de Segovia, Parque Arqueológico de Tierradentro.*

## Tabla de contenido

INFORME FINAL DE LA FORMULACIÓN DE UN MORTERO DE INYECCION PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES DECORADAS DEL HIPOGEO S12 DE TIERRADENTRO.....	1
Contrato 141 de 2019.....	1
Tabla de contenido.....	3
Introducción .....	5
Objetivos .....	5
Generales.....	5
Específicos .....	5
Marco conceptual.....	6
Antecedentes de los estudios sobre el sitio con énfasis en la conservación de los hipogeos y las pinturas murales:.....	6
Antecedentes sobre el estudio y uso de morteros en Tierradentro .....	6
Breve descripción del hipogeo S12 .....	7
Descripción del problema.....	8
Criterios generales para la formulación del mortero de inyección para el hipogeo S12:.....	9
Propiedades necesarias para el mortero de inyección del hipogeo S12.....	9
Hipótesis de trabajo preliminares: .....	10
Materiales y pruebas.....	10
Materiales.....	10
Evaluación de las pruebas .....	11
Pruebas reológicas: .....	11
Pruebas físico-mecánicas .....	12
Maquetas para las pruebas .....	13
Maquetas para las pruebas de fluidez del mortero .....	13
Maquetas para la medida y comparación de la contracción del mortero de inyección.....	13
Resultados pruebas para los morteros de inyección con base de silicato de etilo .....	13
Morteros con tierra arcillosa como aglomerante .....	14
Resultados de las pruebas de morteros con tierra arcillosa como aglomerante.....	14
Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y albúmina de huevo como aditivo.....	14
Resultados de las pruebas de morteros con tierra arcillosa como aglomerante y albúmina como aditivo .....	14
Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y mucílago de aloe como aditivo .....	15
Resultados de las pruebas de morteros con tierra arcillosa como aglomerante y mucílago de aloe como aditivo.....	15
Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y colágeno puro como aditivo .....	15
Resultados de las pruebas de morteros con tierra arcillosa como aglomerante y colágeno puro como aditivo.....	15
Pruebas semi-finales para la formulación del mortero de inyección.....	15
Preparación del SLES (lauril éter sulfato de sodio) y pruebas para presencia de iones.....	16
Pruebas in situ .....	17
Preparación del mortero de inyección final .....	17
Preparación de micro-mortero .....	17
Marchas analíticas de los materiales a emplear .....	18
Humedad relativa y temperatura durante las pruebas in situ .....	18
Desempeño del mortero y conclusiones.....	19
Bibliografía.....	20
<b>ANEXOS</b> .....	21
Análisis de la toba volcánica empleada para los morteros de inyección .....	22
.....	22
.....	26
.....	27
Análisis de la tierra arcillosa “pañete” empleada para los morteros de inyección.....	30
.....	36
Comparación entre la toba volcánica y la tierra arcillosa “pañete” .....	37
.....	37

Morteros de inyección con base de silicato de etilo .....38

Morteros con tierra arcillosa como aglomerante .....39

Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y albúmina de huevo como aditivo.....39

Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y mucílago de aloe como aditivo .....40

Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y colágeno puro como aditivo .....41

Pruebas semi-finales para la formulación del mortero de inyección.....42

Cuadro resumen de las pruebas de morteros de inyección con SLES.....43

Ficha técnica del silicato de etilo Silres .....44

Ficha técnica del silicato de etilo Estel .....47

Ficha técnica microesferas K1 3M.....49

.....51

Ficha técnica microesferas K11 3M.....54

Diferencias entre las microesferas k 11 y k1 .....59

Ficha técnica del silicato del Genapol .....60

Información sobre el Genapol líquido 30% .....61

## Introducción

El Parque Arqueológico de Tierradentro fue declarado por la UNESCO Patrimonio Cultural de la Humanidad en el año 1995 y es actualmente uno de los yacimientos funerarios más complejos debido a las características arquitectónicas y estilísticas de las estructuras funerarias subterráneas, llamadas hipogeos. Así mismo, se destacan valores únicos y simbólicos en las representaciones artísticas e iconográficas que se encuentran en los hipogeos como la pintura mural y los relieves que llamaremos en este documento superficies arquitectónicas decoradas, que son un invaluable testimonio material de las sociedades y culturas que habitaron este territorio ubicado entre los municipios de Inza y Páez, en el departamento del Cauca.

Durante las últimas intervenciones en los hipogeos del alto de Segovia llevadas a cabo en 2018 y 2019 por el ICANH, la escuela de restauración de México ENCRYM y la Facultad de Estudios del Patrimonio de la Universidad Externado de Colombia, en las que se han ido adelantando las labores de documentación de las superficies decoradas de los hipogeos del alto de Segovia S9, S10, S11 y S12, se han hecho hallazgos de capital importancia para avanzar en el conocimiento de la técnica de ejecución de las superficies decoradas y de la cultura de quienes realizaron los hipogeos.

Sin embargo, debido a la acción principalmente de miriápodos y coleópteros, las superficies decoradas de los hipogeos que contienen las valiosas huellas de este patrimonio se encuentran en peligro de perderse debido a los desprendimientos de las interfaces toba- enlucido. Este fenómeno es más grave en el hipogeo S12 ya que no sólo sufre de los ataques de los miriápodos y coleópteros, sino que el cambio de humedad al interior del hipogeo ha secado los enlucidos de arcilla haciendo que estos se agrieten y desprendan del soporte de toba volcánica. Por esta razón se decidió intervenir a la mayor brevedad posible este hipogeo para estabilizar las pinturas murales. Para llevar a cabo esta la estabilización es necesario formular un mortero de inyección diseñado expresamente para este fin y para este hipogeo.

El presente informe recoge las pruebas y resultados de la investigación que se llevó a cabo para formular el mortero de inyección para el hipogeo S12 del Parque Arqueológico de Tierradentro.

*Perfil del alto de Segovia, a la derecha los hipogeos S9, S10, S11 y S12. Imagen CIMS Lab.*



## Objetivos

De acuerdo con lo propuesto en el proyecto se reportan nuevamente en este documento los objetivos planteados:

### Generales

- Formular un mortero de inyección que pueda ser utilizado en los hipogeos de Tierradentro para re-adherir los estratos separados tanto de la toba misma como entre las interfases de la pintura mural (revoque y enlucido) que amenazan la conservación de éstas. Durante la visita al sitio de Tierradentro en mayo de 2019, se vio que era necesario concentrar los esfuerzos en el hipogeo S12 que es el que presenta un inminente peligro de separación y caída del enlucido. Sin embargo, el protocolo y las pruebas que se presentan en este documento son una base sólida para la formulación de los morteros de inyección de otros hipogeos realizando ajustes que considero mínimos.

### Específicos

- Analizar críticamente la documentación que se realizará durante el primer semestre de 2019 sobre técnica de ejecución y estado de conservación de los hipogeos para hacer una síntesis que permita seleccionar materiales para la estabilización de los hipogeos de Segovia S9, S12 y en el alto de San Andrés SA1.
- Realizar una tipología de las áreas con falta de adhesión y con delaminación de la toba de la estructura para evaluar la necesidad de formular un mortero único o dos tipos de mortero.
- Seleccionar los materiales candidatos a ingredientes para formular un mortero de inyección para la estabilización de las pinturas murales
- Realizar maquetas que imiten la técnica de ejecución de las pinturas murales de los hipogeos para realizar pruebas en laboratorio
- Realizar pruebas de laboratorio sobre las maquetas con el fin de seleccionar los materiales y la mezcla idóneos para re-adherir las interfases desprendidas
- Seleccionar el mortero o los morteros de inyección que cumplen con todos los requisitos de compatibilidad y eficiencia requeridos
- Hacer pruebas in situ con la mezcla seleccionada en laboratorio

## Marco conceptual

### Antecedentes de los estudios sobre el sitio con énfasis en la conservación de los hipogeos y las pinturas murales:

El sitio arqueológico fue oficialmente descubierto en el 1936 cuando el gobernador del departamento del Cauca, doctor Alfredo Navia, visitó la región y envió posteriormente al geólogo Georg Burg para que hiciera un estudio de la zona. Burg realizó un recorrido de la zona localizando y excavando algunos hipogeos. En ese mismo año el Ministerio de Educación envió al arqueólogo Guillermo Hernández de Alba para revisar los trabajos realizados por Burg e inició la excavación sistemática del sitio arqueológico dando lugar a su estudio sistemático. En esa época igualmente trabajó en el sitio arqueológico de Tierradentro José Pérez de Barradas y más tarde en 1943 Eliécer Silva Celis y en 1956 Horst Nachtigall.

Entre 1973 y 1976 Alvaro Chaves y Mauricio Puerta retomaron las investigaciones en el sitio arqueológico estudiando los hipogeos y las esculturas y en los años 80's se interesaron Leonardo Ayala y Pablo Gamba. Las últimas investigaciones se llevaron a cabo en 1989 con Ana María Groot.

Respecto a la conservación del sitio arqueológico podríamos decir que los informes y estudios iniciaron con el Informe presentado por Patricia Rojas de Leunde en 1987 sobre la conservación y restauración del hipogeo S11. Posteriormente en el año 1989 y 1990 Luz Angela Useche y Ernesto Bocanegra del Centro Nacional de Restauración llevaron a cabo estudios no sólo sobre los materiales constitutivos de los hipogeos sino sobre su estado de conservación; sin embargo, no hubo una visión articulada de los deterioros ni una propuesta de proyecto de intervención de las pinturas murales. Por la misma época Braidá Helena Enciso del ICAN realizó un proyecto sobre la evaluación de los hipogeos de Tierradentro.

En 1994 Mónica Terrien presenta igualmente un proyecto para la restauración y conservación de las tumbas monumentales de Tierradentro en investigación conjunta entre el ICAN y España.

Igualmente, en 1994 y a raíz del terremoto que sacudió la zona, se realizó en Tierradentro un taller organizado por el Centro Nacional de Restauración y la UNESCO para el estudio de la conservación de 13 hipogeos. Para este taller se invitaron especialistas internacionales para cubrir cinco campos: la arquitectura, el registro fotográfico, el inventario, la conservación preventiva, la pintura mural y los análisis químicos. El informe de este taller fue presentado por Cecilia Alvarez White en 1995. En el año 2001 el ingeniero Germán Hermida realizó una investigación para formular un mortero que permitiera la reconstrucción de una columna estructural en el hipogeo S8.

En el año 2002 María Paula Alvarez, Lina García y Norma Juliana Jiménez llevan a cabo para el ICANH la recopilación de los diferentes aspectos de las tumbas encontrada en la bibliografía arqueológica y de conservación hasta la fecha. En el año 2004 Norma Juliana Jiménez realiza su tesis de restauración de bienes muebles sobre el hipogeo S12 en la que realiza una descripción de la técnica de ejecución y el estado de conservación del mismo. En esta tesis igualmente se realiza una recopilación de los estudios e informes sobre los hipogeos de Tierradentro.

En el año de 2006 María Paula Alvarez, Patricia Ramírez, Catalina Bateman y Norma Juliana Jiménez presentan al ICANH un informe sobre la metodología de intervención en el hipogeo S12 y la evaluación general de la situación en el momento de la conservación de los hipogeos de Tierradentro. De este estudio se desprende que de todas las tumbas con pintura mural un promedio del 60% de la superficie decorada presenta pérdida de capa pictórica. Esta situación es alarmante ya que significa que uno de los valores más importantes del sitio se encuentra en peligro de desaparecer si no se realizan las actividades necesarias para garantizar su conservación al futuro.

En el 2008 Fabio Enrique Páez Villamizar presenta al ICANH el informe La historia clínica para el levantamiento de 44 hipogeos de Segovia, el Duende y San Andrés.

Ese mismo año Elías Sevilla llevó a cabo un análisis de la documentación existente hasta el momento sobre los hipogeos de Tierradentro en el que hace énfasis sobre los problemas de nomenclatura de las tumbas y de la necesidad de tener levantamientos adecuados para poder tener exacto conocimiento del sitio y de sus problemas de conservación.

En el año 2012 María Alejandra Prieto realiza un informe actualizando la información sobre las tumbas y la estatuaria de Tierradentro.

En 2013 y 2015 Camila Zuluaga, la restauradora del ICANH encargada de la conservación de los hipogeos presenta un informe sobre los trabajos de restauración realizados durante esos años y en 2014 Juan S. Talero Rojas presenta al ICANH los estudios técnicos sobre las pinturas de los hipogeos de Tierradentro. En el mismo año Darío Rodríguez de Haerentia presenta al ICANH un informe sobre los estudios técnicos de las pinturas de los hipogeos en el cual caracteriza los pigmentos y materiales constitutivos de las pinturas de los hipogeos tomando muestras en los hipogeos S9, S10, S11, S12, S30, SA1 y SA5.

### Antecedentes sobre el estudio y uso de morteros en Tierradentro

El primer estudio que puede interesar para la realización de morteros de inyección es el estudio realizado en 1977 por Hernán Tello C. en el que realiza para el Banco de la República una investigación geológica en el Parque Arqueológico de Tierradentro.

Luego resulta de gran interés el informe "Evaluación y ajuste del mortero destinado a la reconstrucción de las columnas del hipogeo S.8 del parque arqueológico de Segovia" presentado en el año 2000 por el ingeniero Germán Hermida Barrera quien evalúa y modifica un mortero para la reconstrucción de columnas estructurales faltantes del hipogeo S8 inicialmente planteado en 1999 por el restaurador Ali Duran Ocal. Durante esta evaluación se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para comprender el comportamiento del mortero fresco respecto a la consistencia y pérdida de manejabilidad, fluidez y pérdida de manejabilidad, retención de agua, tiempos de fraguado y generación de temperatura y del mortero endurecido para entender su comportamiento respecto a la absorción, porosidad y densidad, la resistencia a la compresión y la resistencia al esfuerzo de corte. Posteriormente este mortero fue implementado para la reconstrucción de las columnas de este hipogeo.

Es importante igualmente la tesis para la maestría en restauración de monumentos arquitectónicos de la Pontificia Universidad Javeriana llevada a cabo en 2005 por Alexandra Lucía Gamboa Mendoza sobre materiales y técnicas alternativas para la restauración de las tumbas en toba volcánica estudiando el caso del hipogeo S21 de Tierradentro.

En el año 2006 las restauradoras Ramirez, Jiménez, Bateman y Álvarez realizan pruebas de morteros para la estabilización periférica de las pinturas en el S12 (resanes en los bordes de las lagunas de las pinturas murales para estabilizarlas)

En el año 2012 Juan Carlos Rivera Torres presenta un informe evaluando la necesidad de realizar un soporte temporal para los hipogeos S8, S12, SA1 y SA12.

## Breve descripción del hipogeo S12

El hipogeo tiene aproximadamente 9 metros de profundidad y está compuesto de un pozo de descenso que da acceso a la cámara funeraria con una escalera de caracol con escalones en forma de herradura para su acceso. Presenta 8 nichos laterales divididos por pilastras con 2 columnas en el centro de las cuales una ha colapsado desde hace mucho tiempo. Es de anotar que, según las últimas informaciones orales por parte de los geólogos de la Universidad Nacional de Colombia durante la campaña de mayo de 2019, estas columnas no tienen función estructural, sino que son decorativas. El informe de los resultados de esta campaña será entregado al ICANH a finales del año de 2019.



*Vista lateral del hipogeo S12. Imagen CISM Lab.*

La bóveda ovalada que cubre todo el hipogeo fue excavada en la toba volcánica y cumple la función de repartir las cargas para que el hipogeo no colapse.

Por otro lado, las pilastras que dividen los nichos del hipogeo presentan relieves de forma antropomorfa complementados con pintura mural que dan expresión y simbolismo a estos elementos.

La toba volcánica en la que fueron excavados los hipogeos es, desde el punto de vista geológico, un material muy degradado por lo que es constituida en gran parte por arcillas. Esta condición hace que se pueda considerar que todo el sistema de las pinturas murales de los hipogeos corresponda la categoría de arquitectura y las superficies decoradas en tierra y no como un problema de materiales pétreos como se había hasta ahora caracterizado.

La superficie de enlucido que recubre las paredes del hipogeo es de tierra arcillosa y, según análisis llevados a cabo por el doctor Manuel Espinosa de la UNAM de México, está compuesto de haloisita (información oral junio de 2019 que será ratificada oficialmente mediante informe del Dr. Espinosa). Durante las campañas llevadas a cabo por el ICANH y la ECRYM en 2018 y por el ICANH y la Facultad de Estudios del Patrimonio de la Universidad Externado de Colombia en 2019, se evidenciaron huellas de herramientas para la aplicación de estos enlucidos, sobre los cuales se aplicaron pigmentos de óxido de hierro para los rojos y de óxidos de grafeno para los negros (información oral junio de 2019 que será ratificada oficialmente mediante informe del Dr. Espinosa).

Los diseños del interior del hipogeo son patrones geométricos romboidales con combinación de colores negros y rojos, círculos negros o círculos rojos y líneas que delimitan las cornisas y zócalos del hipogeo.



*Vista de la bóveda del hipogeo S12. Imagen CIMS Lab.*

## Descripción del problema

Las pinturas murales del hipogeo de Tierradentro son un sistema complejo de múltiples capas en la que existe una falla en el sistema causada, como se dijo anteriormente, por los orificios y galerías excavados por miriápodos y coleópteros que se introducen en el enlucido y la toba causando faltantes, oquedades y desestabilización general del sistema desprendiendo y exfoliando la toba misma y de la interfaz toba-enlucidos.

Por otra parte, el cambio de humedad en las paredes del hipogeo debido a las cubiertas del hipogeo y a la ubicación del S12 en la cima del alto de Segovia, han hecho que el enlucido de arcilla se agriete y se desprenda del soporte.

Estas dos situaciones han provocado que tanto la toba del soporte como la pintura mural del hipogeo se encuentren en un precario estado de conservación y que sea necesaria su estabilización en el menor lapso posible, ya que la toba se exfolia y el enlucido se desprende continuamente.

Considerar las superficies decoradas de los hipogeos de Tierradentro como sistemas de tierra tiene implicaciones capitales para la selección de los materiales y métodos para su estabilización.

La estabilización de las superficies decoradas y de la toba de soporte del hipogeo es necesario realizarla mediante la inyección de un mortero que tenga características específicas para que cumplan los criterios exigidos para la intervención.

El mortero de inyección que estabiliza la toba del soporte y las superficies decoradas es un material adhesivo con volumen que puede llenar oquedades y los espacios de las exfoliaciones con características específicas que permitan que el sistema se recupere, adhiriéndose tanto en la toba como en el enlucido arcilloso.

Es necesario recordar que los morteros de inyección son irreversibles ya que se introducen al interior del sistema y no es posible eliminarlos una vez se encuentre al interior de este, es por este motivo que la selección de materiales debe ser rigurosa y que la compatibilidad de los materiales debe ser el criterio prioritario.



*Desprendimiento del enlucido debido a cavidades excavadas por miriápodos y coleópteros. Se nota también el resecamiento del enlucido causando fisuras y craqueladuras.*



*Desprendimiento del enlucido debido a la resequedad.*

#### Criterios generales para la formulación del mortero de inyección para el hipogeo S12:

- Compatibilidad del mortero con todos los estratos que componen la pintura mural
- No interferir con las características físicas y/o químicas de la pintura mural
- Características físicas similares al original (porosidad, resistencia mecánica)
- Baja toxicidad para el personal y el medio ambiente
- No ser fuente de alimento para microorganismos debido a la humedad relativa tan alta del hipogeo
- Mínimo aporte de sales solubles
- Materiales a utilizar de bajo costo
- Materiales a utilizar de fácil acceso, provenientes de una cantera cerca del parque arqueológico y en un lugar de acceso público mas no dentro del parque mismo.
- Debido al espacio restringido del hipogeo y poca ventilación, toxicidad nula.

#### Propiedades necesarias para el mortero de inyección del hipogeo S12

- Mínima densidad en húmedo
- Mínima densidad en seco
- Buena adherencia inicial
- Buena adherencia final
- Contracción mínima durante el secado
- No constituir una barrera de paso del agua en estado de vapor o estado líquido
- Mínima separación de los componentes del mortero de inyección
- Excelente capacidad de ser inyectado sin obstruir catéteres, sondas ni agujas.
- Características reológicas adecuadas para la inyección
- Tiempo de secado razonable

## Hipótesis de trabajo preliminares:

Para la formulación del mortero de inyección para la estabilización de la toba del soporte y de las superficies decoradas del hipogeo S12 del alto de Segovia del Parque arqueológico de Tierradentro se plantearon tres tipos de hipótesis de trabajo:

1. Morteros de inyección con base de tierra arcillosa de la región (tobas volcánicas meteorizadas), microesferas vacías de vidrio, otras cargas y silicato de etilo. Se pensó inicialmente en emplear el silicato de etilo para reducir al mínimo el uso de agua en el mortero de inyección. El uso de agua en los morteros de inyección es una decisión crítica ya que no sólo aumenta el peso del mortero en un sistema que presenta riesgos de desprendimientos, sino que puede causar halos o modificaciones en el sistema.
2. Morteros de inyección con base de cal, microesferas vacías de vidrio y cargas como toba volcánica y materiales puzolánicos. Una vez analizada la toba volcánica de la región y teniendo en cuenta sus características físicas como poca dureza y gran friabilidad, se decidió no realizar pruebas con morteros con base de cal que resultan mucho más duros que el original y cuya resistencia mecánica es muy superior a las tobas degradadas que componen los hipogeos y los enlucidos de las pinturas murales. Por otra parte tampoco se encontró cal como material de composición de ninguno de los estratos del sistema de las superficies decoradas del hipogeo S12
3. Morteros de inyección con base de tierra arcillosa de la región (tobas volcánicas meteorizadas), tierra con mayor contenido de arcilla para ser utilizada como aglomerante, microesferas vacías de vidrio, y aditivos. Se hicieron diferentes pruebas con varios aditivos, pero debido a la alta humedad relativa de los hipogeos se decidió evitar el uso de cualquier aditivo orgánico bien fuera natural o de síntesis.

En este documento se describirán todas las pruebas realizadas y sus resultados para poder ofrecer a futuros restauradores las bases para la toma de decisiones respecto a materiales y resultados ya empleados en las pruebas.

## Materiales y pruebas

### Materiales

Los materiales empleados en las pruebas fueron principalmente los siguientes:

- **Toba volcánica** proveniente de la zona del camino hacia el alto de Segovia. Esta cantera fue ya empleada para extraer material para trabajos en los hipogeos de Tierradentro. Tiene la ventaja de ser similar a la toba de los hipogeos, es decir tobas degradadas y arcillosas. En anexo se encuentra el análisis petrográfico macro de la toba utilizada y su exacta ubicación. Esta toba es muy deleznable. Para ser empleada se requiere secarse y tamizarse a la granulometría requerida para el mortero. Se hicieron pruebas con toba tamizada a 250µm, 125 µm y 75 µm para ser empleada como mortero y micro-mortero según las necesidades.
- **Tierra arcillosa** del camino hacia el alto del Duende. Esta tierra arcillosa es conocida en la región como “pañete” y se caracteriza por un alto contenido de arcilla. Se selecciono este material para ser empleado como aglomerante de los morteros de inyección a base de tierra. En anexo se encuentra el análisis petrográfico macro de la toba utilizada y su exacta ubicación. Al igual que con la toba, se hicieron pruebas con tierra arcillosa tamizada a 250µm, 125 µm y 75 µm.



*Tierra arcillosa y toba proveniente cerca del Parque Arqueológico de Tierradentro tamizada en diferente granulometría para las pruebas del mortero de inyección.*

- **Microesferas vacías de vidrio de la firma comercial 3M.** Las microesferas de vidrio vacías tienen importantes características para un mortero de inyección: dan mayor volumen a la mezcla sin añadir peso por lo que se pueden formular morteros de muy baja densidad húmeda y seca; por otra parte, su característica de esfericidad permite un mortero que fluya fácilmente al salir de la jeringa y al interior de las oquedades, grietas y exfoliaciones. Las microesferas se producen comercialmente en diferentes tamaños y densidades y para las pruebas de morteros de inyección se utilizaron microesferas K46 proporcionadas como muestra gratis por 3M en Bogotá; microesferas K11 que la autora de la investigación tenía y para las pruebas finales microesferas K1 que son las que se consiguen comercialmente en Colombia.

- **Defloculante.** Para las pruebas de mortero de tierra se consideró necesario hacer pruebas con un defloculante para evitar la separación de los componentes del mortero. Se utilizó para este efecto el hexametáfosfato de sodio diluido al 0,4% en agua, porcentaje que se utiliza normalmente para análisis de tierras.
- **Aditivos.** Se usaron diferentes aditivos para mejorar las características de adhesividad o para producir burbujas de aire y aumentar así el volumen del mortero de inyección manteniendo una densidad en húmedo y en seco baja. Se utilizaron como aditivos principalmente albúmina de huevo, mucílago de aloe vera y acetato de polivinilo.
- **Aglomerantes.** Se hicieron pruebas con silicato de etilo para emplearlo como aglomerante para morteros de inyección de tierra. Para este efecto se utilizaron las marcas comerciales:
  - Silres de Wacker Chemie
  - Estel de CTS

La ficha técnica de estos dos productos puede ser consultada en los anexos.

- **Agente espumante.** En las pruebas finales para evitar el uso de cualquier material orgánico (como la albúmina, que además de ser un aditivo que mejora la adhesión también funciona como agente espumante brindando burbujas de aire a la mezcla) se hicieron pruebas con SLES (lauril éter sulfato de sodio) detergente y surfactante que además es un agente muy eficiente formador de espuma.



SLES usado como agente espumante.

### Evaluación de las pruebas

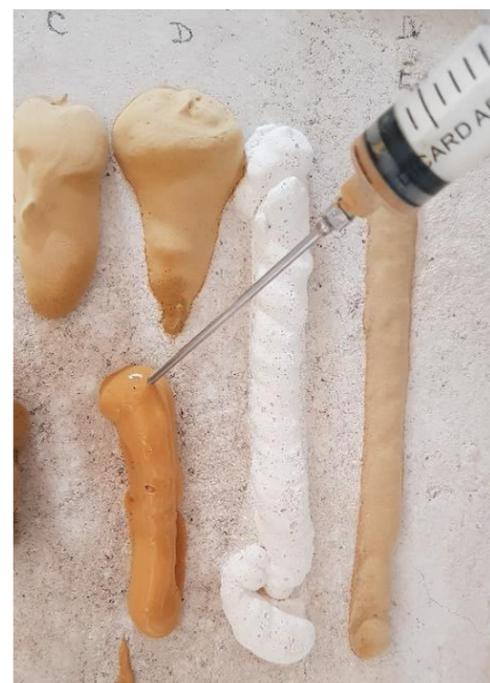
Las pruebas que se realizaron para evaluar las características de los morteros de inyección tuvieron como fin evaluar las características reológicas y mecánicas de los morteros y estas fueron calificadas de la siguiente manera:

- +++ si el comportamiento se consideró muy eficiente
- ++ si el comportamiento se consideró eficiente
- + si el comportamiento fue apenas satisfactorio
- si el comportamiento fue deficiente
- comportamiento poco eficiente
- no tuvo el comportamiento deseado

### Pruebas reológicas:

En general las pruebas para estos morteros de inyección se hicieron siguiendo la metodología desarrollada por Beril Biçer- Şimşir y Leslie Rainer del Getty Conservation Institute para morteros de inyección con materiales hidráulicos a base de cal<sup>1</sup>

- **Inyectabilidad preliminar:** La primera prueba realizada fue observar la manera como fluía el mortero de inyección a través de una aguja No. 18 (0.838 mm diámetro interno). Si un mortero no cumplía con esta prueba se abandonaba y se hacían las modificaciones necesarias para obtener un mortero de inyección que fluyera fácilmente a través de una aguja de eutanasia o de una sonda gastronasal, instrumentos que se usan para la inyección de mortero.
- **Fluidez en el muro:** El mortero se hacía fluir sobre un muro aplicándolo con una jeringa de manera que corra sobre la superficie vertical. Las pruebas se hicieron sobre superficies de cal, de las mismas características de porosidad para poder ser comparable entre sí. Las pruebas finales de los morteros que presentaron las mejores características se hicieron sobre maquetas de toba, similares a las encontradas en el hipogeo S12. En esta prueba se observa y se mide el recorrido del mortero sobre el muro vertical. Es de anotar que no necesariamente un mortero que recorra una gran distancia sobre el muro es considerado idóneo, pues tal vez contiene demasiada agua y puede llegar a separar los componentes del mortero. Las inyecciones a realizar en el hipogeo S12 de Tierradentro no requieren la inyección de morteros a gran profundidad ni deben recorrer gran distancia al interior de los muros. Por otra parte, un mortero satisfactorio, pero con poca capacidad de recorrer verticalmente el muro puede ser aplicado mediante sondas gastronasales que permiten su aplicación a la distancia interior deseada, garantizando que los componentes del mortero no se separen ni pierdan la capacidad de llenar volúmenes garantizando la adhesión entre las dos interfaces de toba y pañete de tierra, situación ideal en hipogeo S12.



Prueba de fluidez en el muro.

<sup>1</sup> Biçer- Şimşir Beril y Rainer Leslie; Evaluation of Lime-Based Hydraulic Injection Grouts for the Conservation of Architectural Surfaces A Manual of Laboratory and Field Test Methods; Getty Conservation Institute;

Pruebas físico-mecánicas

Igualmente las pruebas físico-mecánicas se hicieron adaptando la metodología anteriormente citada.

- Densidad húmeda: el peso del mortero en estado de pasta es fundamental en el caso de los morteros de inyección y en particular en los morteros para la estabilización del mortero para el hipogeo S12 en donde la densidad en seco de los enlucidos es muy baja. Por otra parte, gran parte de la estabilización debe resolver los desprendimientos de los enlucidos de las bóvedas en donde la gravedad presenta un reto mayor para la estabilización de las pinturas murales. El mortero de inyección para las superficies decoradas del hipogeo S12 debe tener en cuenta que la haloisita que compone los enlucidos es una arcilla de forma tubular en la que los cilindros que la conforman son vacíos y por lo tanto de bajo peso.

Esta prueba se realiza pesando un determinado volumen del mortero de inyección en estado de pasta aplicando la siguiente fórmula:

$$d_h = \frac{p}{v}$$

- Contracción: Todo mortero de inyección destinado a re-adherir dos interfaces desprendidas debe tener poca o nula contracción para permitir que el contacto de interfaces sea continuo y consienta la unión y adhesión de las fases de manera permanente y continua.

Esta prueba se realizó colocando una determinada cantidad de mortero en pasta dentro de un cilindro excavado en un fragmento de toba volcánica similar a la del hipogeo S12. Se procedía luego del secado a observar y medir las grietas y separaciones perimetrales del mortero de las paredes del cilindro de toba.



las

Probetas talladas en la toba volcánica para pruebas de contracción.

- Densidad seca: El mortero para la estabilización de interfaces debe además presentar el menor peso posible para garantizar que no se presenten fallas estructurales en el sistema. Como ya se dijo anteriormente la haloisita que compone los enlucidos originales es una arcilla de forma tubular y de muy poco peso que además permite la aplicación de capas muy cubrientes y de poco espesor. El mortero de inyección que se propone debe, igualmente, ser de la menor densidad posible, con materiales vacíos (microesferas vacías de vidrio) que no añadan al mortero después del secado y de la evaporación del agua mayor peso.

Las medidas de la densidad seca se realizaron sobre las pruebas para medir la densidad húmeda hasta que alcanzaran un peso constante y se aplicó la siguiente fórmula:

$$d_s = \frac{p}{v}$$

- Separación del mortero en fase de pasta: un mortero de inyección debe asegurar que los materiales que lo componen permanezcan, desde la fase de pasta hasta el secado, en un estado de suspensión continua. La separación de los materiales en la fase de pasta debido a la gravedad constituye un grave problema pues la jeringa se bloquea y la inyección no es posible de realizar; por otro lado, si el mortero se separa, causa que en fase sólida cada uno de los estratos presente características diferenciadas y que las propiedades mecánicas del mortero en general se vean afectadas. La separación del mortero se evaluó mediante observación de una cantidad de mortero dentro de un recipiente transparente. Se evaluaba la homogeneidad de la pasta y la homogeneidad del mortero seco.



Separación del mortero en fase de pasta.

- Expansión y rezumo: el rezumo es un indicador de exceso de líquido en la mezcla del mortero de inyección. Un mortero bien formulado debe tener poca o nula agua de rezumo lo que garantiza una contracción menor, menores posibilidades de halos y menor cantidad de humedad en general.

El rezumo se midió vertiendo una cantidad fija de mortero de inyección dentro de un tubo de ensayo y sellando la boca del tubo para evitar la evaporación. El agua de rezumo se midió en milímetros después de varias horas aplicando la siguiente fórmula:

$$R_f = \frac{V_i V_f}{100}$$

- Adherencia preliminar: Es necesario siempre que la pasta del mortero de inyección permita la adhesión de las interfases a estabilizar desde el inicio de la inyección y antes de lograr el fraguado total del mortero. Esta adherencia preliminar permite que los fragmentos, aun cuando se encuentren en bóvedas contra la fuerza de gravedad, estén adheridos y no se desprendan antes de alcanzar el secado final. Esta característica es fundamental y en inglés se llama "tacking". La adherencia preliminar se midió haciendo un sándwich de dos discos de toba volcánica y uniéndolos con el mortero de inyección. La resistencia a la fuerza ejercida para separar los discos de toba se evaluó para medir la adherencia preliminar segundos después de aplicar el mortero y levantando el sistema de sándwich. La prueba era satisfactoria si el sistema no se separaba.



Sándwiches de toba empleados para pruebas de adhesión preliminar y adherencia final.

- Adherencia final: el mortero de inyección debe obtener una adherencia final similar a la adherencia del sistema original en la que cada uno de los estratos está firmemente anclado y no amenaza con su caída. Los sándwiches empleados para medir la adherencia preliminar se emplearon para medir la adherencia final dejando secar el sándwich y evaluando la resistencia de los dos discos de toba a la fuerza realizada para separarlos.
- Tiempo final de fraguado: todo mortero de inyección debe tener un lapso corto de secado final para evitar someter al sistema a una situación de precariedad prolongada. Si bien es cierto que no existen estándares para el tiempo de secado final, este debe ser lo más corto posible. Se evaluó en general el desempeño de secado final de los morteros.



*Halo visible alrededor de las pruebas realizadas con silicato de etilo.*

## Maquetas para las pruebas

Para realizar las pruebas anteriormente descritas se realizaron dos tipos de maquetas:

### Maquetas para las pruebas de fluidez del mortero

Para medir el recorrido del mortero en estado de pasta, se aplicó sobre una base vertical una cantidad fija de mortero. En las pruebas preliminares el mortero se aplicó sobre un soporte compuesto de cal y arena y para las pruebas finales se aplicó el mortero seleccionado sobre un fragmento de toba volcánica.

Si bien es cierto que la porosidad, granulometría y materiales del soporte afectan la manera como un mortero de inyección se desliza sobre una pared vertical, las pruebas preliminares se realizaron sobre un mortero de cal y arena pre-humedecido por razones de economía de materiales. Una vez adelantada la selección del mortero definitivo se realizaron las pruebas sobre la toba volcánica proveniente del camino hacia el alto de Segovia en el Parque Arqueológico de Tierradentro.



*Maqueta para fluidez del mortero.*

### Maquetas para la medida y comparación de la contracción del mortero de inyección

Estas maquetas se realizaron desde el inicio sobre un fragmento de toba volcánica proveniente del camino hacia el alto de Segovia en el Parque Arqueológico de Tierradentro. La contracción de un mortero de inyección está en gran parte en función, además de los componentes mismos del mortero, de la reacción con el soporte y, específicamente, de la absorción de agua, por su porosidad y composición. Debido a que la contracción es una de las características fundamentales a evaluar en un mortero de inyección las pruebas se realizaron desde un inicio sobre maquetas fabricadas en toba volcánica.

Al fragmento de toba se le realizaron orificios cilíndricos de cuatro centímetros de diámetro y tres centímetros de profundidad. Estos cilindros se llenaron hasta la superficie con el mortero de inyección para medir las fisuras interiores y la separación perimetral del mortero (contracción) y permitir hacer comparaciones entre las diferentes mezclas.

Morteros de inyección con base de tierra arcillosa de la región (tobas volcánicas meteorizadas), microesferas vacías de vidrio, otras cargas y silicato de etilo.



*Maqueta hecha en toba para medir la contracción del mortero durante el secado.*

## Resultados pruebas para los morteros de inyección con base de silicato de etilo

En una etapa preliminar, y antes de haber comprendido claramente que el sistema de las superficies decoradas del hipogeo S12 del Alto de Segovia es eminentemente un sistema de materiales arcillosos, se pensó que se podría emplear el silicato de etilo como aglomerante para el mortero de inyección de estabilización. Para las pruebas se emplearon dos tipos de silicato de etilo: Silres de la marca comercial Wacker y Estel de la marca CTS.

La idea inicial de emplear el silicato de etilo como aglomerante para los morteros de inyección era disminuir el empleo de agua en estos. Sin embargo, el silicato de etilo no tiene las características necesarias para su uso como mortero de inyección para los hipogeos de Tierradentro debido principalmente a tres motivos:

1. Todas las pruebas con silicato de etilo a excepción de una presentaron una separación de los materiales en los que la gravedad producía estratos perfectamente distintos:
  - a. En la parte inferior la toba volcánica siendo la más pesada
  - b. En el caso de uso de arcilla, la franja de este material
  - c. Una franja de silicato de etilo en estado líquido
  - d. Franja constituida por las microesferas de vidrio
  - e. Capa de silicato de etilo silicificada, brillante y dura
2. Los morteros de inyección con silicato de etilo producen halos de color amarillo que persisten aún después de pasados los 28 días de reacción total del silicato de etilo.
3. El uso del silicato de etilo en un recinto confinado y con limitada aeración comporta un problema desde el punto de vista de los restauradores que tienen que implementar la estabilización.



*Separación de estratos en una de las pruebas con silicato de etilo.*

Las otras características de los morteros de inyección son más o menos satisfactorias, la adhesión inicial y final es variable; sin embargo, las pruebas realizadas con Estel presentan una mejor adhesividad inicial con relación al Silres, aunque ninguna de las propiedades justificaba su uso respecto a los tres aspectos negativos descritos anteriormente.

El interior del hipogeo S12 es un espacio restringido con poca aireación por lo que el uso de solventes debe ser proscrito y se deben siempre buscar alternativas para eliminar su uso.

Estas características hicieron que se abandonara el uso del silicato de etilo como posible aglomerante para el mortero de inyección del hipogeo.

En los anexos se encuentra la tabla de las mezclas y resultados de los morteros de inyección con base a silicato de etilo.

### Morteros con tierra arcillosa como aglomerante

En estas pruebas se empleó la tierra arcillosa proveniente del camino hacia el Alto del Duende en el Parque Arqueológico de Tierradentro (ver en anexo descripción geológica y localización) llamada “pañete” por los pobladores de la región. El señor Óscar Parra trabajador del Parque Arqueológico de Tierradentro, ha dado valiosa información sobre la localización de los diferentes materiales que se encuentran en la región y la exacta localización de la cantera de la arcilla pañete es de su conocimiento, así como la de la toba.

La “tierra pañete” se caracteriza por tener un alto contenido de arcillas lo que permite utilizarla como aglomerante para los morteros de inyección con base en tierra.

Esta primera serie de pruebas tuvo como objeto observar el comportamiento del mortero de inyección de tierra sin aditivos orgánicos y comprender la necesidad de emplear un defloculante.

#### Resultados de las pruebas de morteros con tierra arcillosa como aglomerante

En general las pruebas realizadas con morteros de inyección de toba volcánica, microesferas y tierra pañete tuvieron buen comportamiento, pero carecían de volumen y esponjosidad.

El efecto del defloculante no es claro y parece aleatorio.

Estas pruebas iniciales sin aditivos permitieron comprender que era posible formular un mortero de inyección con estos materiales con algunas modificaciones y sin el uso del defloculante.

Estas pruebas fueron la base para el desarrollo del mortero de inyección final y proporcionaron valiosa información sobre el comportamiento de la toba y la tierra arcillosa.

### Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y albúmina de huevo como aditivo

El empleo del huevo como aditivo tiene tres funciones:

- Introducir burbujas de aire dentro del mortero para aumentar su volumen y esponjosidad manteniendo una baja densidad
- Mejorar las características reológicas
- Aumentar la adhesividad del mortero

#### Resultados de las pruebas de morteros con tierra arcillosa como aglomerante y albúmina como aditivo

El uso de albúmina como aditivo proporciona al mortero de inyección las propiedades deseadas de aumento del volumen de la mezcla y esponjosidad y tiene en este caso un efecto claro sobre la contracción del mortero, disminuyéndola.

Sin embargo, durante las pruebas se dejó un recipiente que contenía este mortero de inyección y al cabo de pocos días (una semana) el recipiente presentaba ataque biológico. Por este motivo no se procedió a hacer los ajustes necesarios para poder utilizar este mortero de inyección en los hipogeos de Tierradentro. La alta humedad relativa de los hipogeos y la temperatura hacen que el espacio sea el lugar ideal para el crecimiento de microorganismos si se les proporciona el alimento necesario con un material orgánico como la albúmina.

Por este motivo se eliminó la posibilidad de uso de este o cualquier otro aditivo orgánico para los morteros de inyección del hipogeo.



*Lugar de donde se extrajo la tierra arcillosa usada como aglomerante en las pruebas de los morteros de inyección.*



*Ataque biológico sobre pruebas realizadas con albúmina.*

### Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y mucílago de aloe como aditivo

Según información oral del señor Óscar Parra (abril y junio 2019), trabajador del Parque Arqueológico de Tierradentro, los habitantes de la región utilizan mucílago de cadillo (no se sabe aun exactamente el nombre científico) y de corteza de balsa para la fabricación de revestimientos para los muros de bahareque con tierra pañete.

Con base en esta información se decidió hacer pruebas con mucílago aun cuando por razones de obtención del mucílago las pruebas se realizaron con mucílago de aloe.

### Resultados de las pruebas de morteros con tierra arcillosa como aglomerante y mucílago de aloe como aditivo

Las propiedades de este mortero fueron muy pobres en cuanto a rezumo, contracción y adhesión final. Este desempeño, sumado a que el mucílago suministraría alimento para el crecimiento de microorganismos en las condiciones ideales de humedad y temperatura que presenta el hipogeo, hicieron que se abandonara esta fórmula como candidato para el mortero de inyección de los hipogeos de Tierradentro.

Sin embargo, se aconseja realizar una investigación juiciosa sobre el uso del cadillo y la corteza del balsa como aditivos para las pastas de mortero con el fin de comprender las modificaciones que aporta a las mezclas arcillosas y comparar el resultado de los análisis de los aglutinantes de las pinturas murales y de los pañetes con mezclas con estos mucílagos.

### Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y colágeno puro como aditivo

Para buscar una mayor adhesión del mortero de inyección entre las interfaces desprendidas se hicieron pruebas empleando colágeno puro como aditivo.

### Resultados de las pruebas de morteros con tierra arcillosa como aglomerante y colágeno puro como aditivo

Las propiedades de contracción del mortero de inyección si bien no fueron excelentes si pueden considerarse satisfactorias. Sin embargo, el mortero carece del volumen y esponjosidad deseada.

Por otra parte, las mismas consideraciones respecto al uso de materiales orgánicos son vigentes para el colágeno que puede proporcionar el alimento necesario para la proliferación de microorganismos dentro de los hipogeos de Tierradentro.

### Pruebas semi-finales para la formulación del mortero de inyección

Con los resultados de las pruebas preliminares anteriormente expuestas se procedió a realizar nuevas pruebas con las siguientes premisas:

1. Los silicatos de etilo no constituyen una buena opción para hacer los morteros de inyección en tierra. Los materiales sólidos se separan y es por este motivo el mortero es de difícil aplicación y el mortero después del secado final tiene características diferenciadas en cada una de las bandas de los diferentes componentes. Por otra parte, el silicato de etilo deja halos de color amarillo que no se desvanecen ni siquiera pasado el tiempo de silificación total.
2. En los hipogeos no se puede usar ningún aditivo orgánico bien sea de origen natural o sintético debido a la alta humedad relativa y a la temperatura al interior de los hipogeos. Cualquier aditivo orgánico constituiría el alimento perfecto para la proliferación de microorganismos.



Algunas mezclas de las pruebas semi-finales.

La contracción de los morteros es comparable entre sí aun cuando los de toba se contraen más que los de piedra pómez. Curiosamente, el tamaño de partícula no tiene un efecto obvio en cuanto a la contracción, ya que todos los morteros de toba se contrajeron de manera muy parecida. La *inyectabilidad* es mejor en los morteros de toba que en los de piedra pómez.

Además de los materiales de carga seleccionados: tierra arcillosa, toba volcánica y microesferas, es necesario el uso de un material que aumentara el volumen de la mezcla y proporcione al mortero un carácter esponjoso para reducir la contracción y la densidad húmeda y seca del mortero de inyección.

Para lograr este objetivo se hicieron pruebas con SLES (lauril éter sulfato de sodio) que ofrecía teóricamente la propiedad de ser un muy buen agente espumante.

### Preparación del SLES (lauril éter sulfato de sodio) y pruebas para presencia de iones

La marca comercial del SLES (lauril éter sulfato de sodio) empleado para las pruebas fue Genapol 28 de Clariant ya que es un material conocido en Colombia, de bajo costo y fácil adquisición. En los anexos se encuentra una lista de distribuidores en el país.

El Genapol 28 es un líquido diluido al 28% y esta solución fue diluida a su vez al 1%, solución que fue la mínima necesaria para crear la espuma necesaria para los morteros de inyección.

La primera inquietud que presentaba el uso del SLES era el contenido de iones que pudieran formar sales. Dentro de estos iones se encuentran los cloruros  $\text{Cl}^-$ , calcio  $\text{Ca}^{2+}$  y sulfatos  $\text{SO}_4^{2-}$ . Para detectar los iones durante esta investigación se tenía acceso a dos métodos: marcha analítica con reactivos y tiras reactivas Merck. Una vez determinada que la concentración del SLES mínima necesaria para formar espuma y dar al mortero de inyección la consistencia necesaria era del 1% en agua, se procedió a hacer marchas analíticas para detectar la presencia o no de los iones mencionados anteriormente en el Genapol al 1%.

La marcha analítica para detectar iones se hace mezclando los siguientes reactivos, sobre muestras contenidas en agua desionizada en tubos de ensayo:

#### Cloruros $\text{Cl}^-$

- Ácido nítrico y nitrato de plata. Si es positivo reacciona formando un precipitado blanco de cloruro de plata.

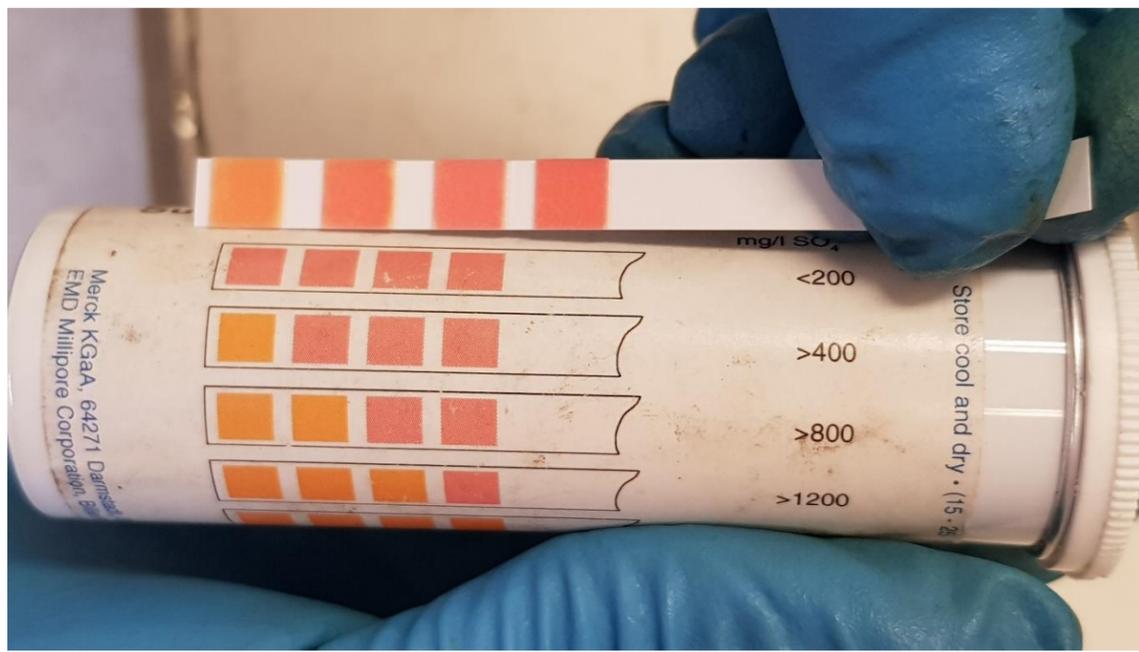
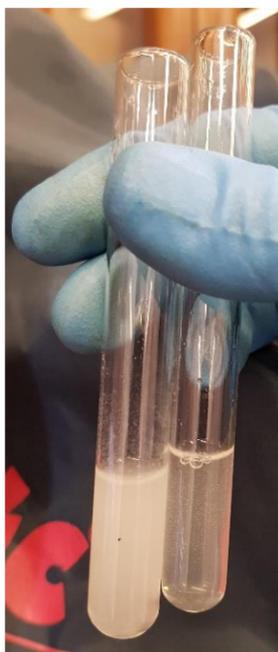
#### Calcio $\text{Ca}^{2+}$

- Oxalato de amonio. Si es positivo reacciona formando un precipitado blanco de oxalato de calcio.

#### Sulfatos $\text{SO}_4^{2-}$

- Cloruro de bario. Si es positivo reacciona formando un precipitado blanco de sulfato de bario.

Los resultados de las marchas analíticas para el Genapol al 1% en agua desionizada, dieron negativos para cloruros  $\text{Cl}^-$  y calcio  $\text{Ca}^{2+}$ ; mientras que para los sulfatos dio positivo  $\text{SO}_4^{2-}$ . Los resultados de las tiras reactivas Merck mostraron que el contenido de sulfatos es bajo  $>400 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$ .



Izquierda: marcha analítica para sulfatos. El tubo de la izquierda es un resultado positivo para el Genapol reducido al 1%. Derecha: resultado positivo en las tiras reactivas Merck para el Genapol al 1% indicando  $>400 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$  (Flecha roja en la imagen).

Para determinar la presencia de iones de sulfato  $\text{SO}_4^{2-}$  solubles en el mortero de inyección, se hizo de nuevo la marcha analítica sobre el mortero húmedo y luego sobre el mortero seco. Las muestras se centrifugaron y se decantaron varias veces para obtener sólo el líquido con los posibles iones solubles. Esto se hizo para evitar que los componentes del mortero de inyección como la tierra, toba y sobre todo las microesferas interfirieran visualmente con los resultados de las marchas analíticas.

Fue con grata sorpresa y de suma importancia que las dos marchas analíticas para detectar iones de sulfato en el mortero tanto húmedo como seco dieron resultados negativos. Aunque los sulfatos están presentes, no son solubles y por lo tanto no representan un riesgo cuando entren a formar parte del sistema de las pinturas de Tierradentro. Se desconoce el mecanismo por el que los iones de sulfato en el mortero no son solubles y sería interesante determinar este mecanismo mediante una posterior investigación (esto está fuera del alcance de esta investigación, aunque plantea una pregunta interesante de investigación).

Por otra parte, según los análisis realizados por la geóloga Lina Fernanda Martínez (ver anexo) y por el químico Manuel Espinosa de la UNAM (información oral), ninguno de los estratos constitutivos de las superficies decoradas de los hipogeos de Tierradentro contiene calcio por lo que aún si la cantidad de sulfatos es mínima tampoco pueden constituir un problema posterior en la formación de sales de sulfato de calcio.

El SLES se empleó batido con mezcladora eléctrica hasta que alcanzara la consistencia de "claras a punto de nieve" y se tuvo especial cuidado en emplear únicamente la espuma del producto y en batirlo continuamente, evitando la introducción del Genapol en estado líquido.



Muestras siendo centrifugadas para realizar la marcha analítica.

Se hicieron varias pruebas, primero para determinar la concentración mínima necesaria en el cual el Genapol puede ser batido y llegar a una consistencia de “claras a punto de nieve”. La concentración mínima necesaria para llegar a esto fue del 1% en agua, mezclada con batidora eléctrica. Las siguientes pruebas que se hicieron fueron para determinar la cantidad de Genapol al 1% ya batido que diera la consistencia adecuada al mortero de inyección: un alto contenido de agente espumante hace que el mortero sea excesivamente friable luego del secado; mientras un bajo contenido hace que el mortero no alcance la consistencia deseable para ser inyectado y presente una propiedad reológica demasiado líquida. La cantidad necesaria de Genapol para llegar a la consistencia deseable fue de 2/3 partes.

### Pruebas in situ

Una vez obtenido un mortero de inyección satisfactorio con el aglomerante y la carga provenientes del sitio del alto de Segovia y el Duende del Parque arqueológico de Tierradentro, se procedió a hacer las pruebas in situ para corroborar y hacer los ajustes necesarios para emplear el mortero en el hipogeo S12.

Se hicieron pruebas con el mortero seleccionado tamizando los materiales a 250µm, 125µm y a 75µm y se evidenció que sólo es necesario emplear un mortero de inyección con partículas ≤250µm y un micromortero con partículas ≤ a 75µm. Un tamaño intermedio de partículas no aporta propiedades importantes y si hace más dispendiosa la preparación de los morteros y su operabilidad.



Materiales y herramientas usadas para las pruebas de mortero de inyección in-situ.

### Preparación del mortero de inyección final

Material	Proporción /volumen
Toba volcánica tamizada a 250µm	2
Tierra arcillosa tamizada a 250µm	0.5
Microesferas vacías de vidrio 3M K1	3
Genapol al 1% batido a punto de nieve	2/3
Agua para humedecer partes secas y activar arcillas	1 1/3

Los materiales secos se mezclan primero. Hay que tener especial cuidado en no mezclar con fuerza los materiales secos para evitar que las microesferas se dispersen en el aire. Luego se añade a la mezcla 1 1/3 partes de agua para activar las arcillas contenidas en la tierra pañete y en menor cantidad en la toba, además de prevenir que las microesferas se dispersen en el aire. Esta mezcla de los ingredientes secos con agua también se hace para garantizar que, en el momento de mezclarlos con el agente espumante, la humedad de este no sea absorbida por los materiales secos, perdiendo así el efecto de agente espumante.

Una vez bien mezclados los ingredientes secos se une el SLES batido en varias instancias, batiendo repetidamente el SLES para mantenerlo siempre a punto de nieve, y se mezcla todo hasta obtener una pasta homogénea. Primero, el batido se hace con espátula y de manera manual. Una vez es SLES es adicionado totalmente y luego de mezclarlo con la espátula, se procede a mezclarlo con batidora eléctrica durante pocos segundos para garantizar que todos los ingredientes queden bien mezclados. Es importante no excederse en el tiempo de batido con la batidora eléctrica (no más de 30 segundos cuando una parte es igual a 30 ml), ya que esto rompe las microesferas y cambia las propiedades del mortero de inyección, haciendo que se vuelva más denso.



Preparación del mortero de inyección in-situ.

### Preparación de micro-mortero

Para las zonas que presentan fisuras muy pequeñas se propone emplear un micromortero realizado con las cargas y el aglomerante utilizadas para el mortero de inyección, pero tamizadas a 75µm y sin uso del agente espumante. Este mortero se mezcla con espátula y no es necesaria el uso de batidora eléctrica. Al no tener agente espumante, esto hace que el mortero sea más líquido y tenga mayor capacidad de humectar fisuras y desprendimientos de menor tamaño.

Material	Proporción /volumen
Toba volcánica: Tamizada al 75µm	2
Tierra arcillosa: tamizada 75µm	0.5
Microesferas vacías de vidrio 3M K1	3
Agua para humedecer partes secas y activar arcillas	1 1/3

### Marchas analíticas de los materiales a emplear

Lo primero que se hizo fue realizar una marcha analítica del agua del baño del alto de Segovia, lugar donde se obtendría el agua para las intervenciones del hipogeo S12, y marcha analítica sobre el mortero de inyección en estado húmedo y seco, tal como se hizo en las pruebas de laboratorio, aunque esta vez sin centrifugar las muestras. Esto para detectar posibles iones que puedan formar sales y evitar la introducción de éstos en el sistema.

Los resultados del agua de Segovia fueron negativos para todos los iones; para el Genapol al 1% y para el mortero tanto húmedo como en seco los resultados fueron consistentes con los obtenidos en el laboratorio: Genapol al 1% (tanto en agua del alto de Segovia como en agua destilada) positivo para sulfatos, pero negativo en el mortero húmedo y seco.

Resultados:

1.

Material	Cloruros	Sulfatos	Calcio
Agua baño alto de Segovia	-	-	-
Genapol al 1% en agua del baño de Segovia*	-	+	-
Genapol en agua desionizada*	-	+	-
Pasta de mortero de inyección	-	-	-
Mortero seco	-	-	-

\*Contenido de sulfatos en muy baja proporción

A pesar de los sulfatos presentes en el Genapol al 1%, es importante resaltar que una vez el mortero mezclado la marcha analítica dio negativa para sulfatos. Se desconoce cuál es el efecto que causa esto y más pruebas e investigaciones son necesarias para responder a esta pregunta.



*Marcha analítica realizada in-situ para el agua del alto de Segovia y para el mortero.*

### Humedad relativa y temperatura durante las pruebas in situ

Una vez realizadas las marchas analíticas de los componentes del mortero de inyección, se constató que ni la humedad relativa ni la temperatura afectarían el desempeño de los morteros ni a corto ni a largo plazo por las siguientes razones:

Por un lado, los morteros de inyección fueron diseñados sin el uso de materiales orgánicos que puedan ser sustento para microorganismos y no se ha encontrado material orgánico en los estratos o en las superficies decoradas; la inexistencia de material orgánico además excluye cualquier contracción o expansión de los morteros ligada a los cambios de humedad y temperatura.

Por otro lado, hasta el momento no se identificaron en los análisis realizados sobre la técnica materiales que contengan calcio, así que la posibilidad de formar sales solubles (específicamente sulfato de calcio) que pueda solubilizarse y migrar ante los cambios de la humedad relativa es nula.

Como se anotó anteriormente, los sulfatos del Genapol, por una razón en este momento desconocida, se insolubilizan en la pasta de mortero y en el mortero seco, haciendo que la humedad relativa y temperatura no tengan ningún efecto sobre estos.

Durante las pruebas in situ de inyección de morteros se constató que las condiciones medioambientales del hipogeo eran similares a las habitualmente tiene el ambiente: HR 72 T 20°C.

## Desempeño del mortero y conclusiones

En la preparación en el sitio se vio la necesidad de modificar ligeramente el contenido de agua para la humectación y activación de los materiales secos.

**La cantidad de agua para humectar los materiales secos fue de 45ml para una unidad de medida de 30ml, es decir 1.5 partes.**

El mortero de inyección tamizado a 250 $\mu$ m presenta muy buenas propiedades de trabajo: su inyección es fácil y la aplicación mediante pipeta de laboratorio es factible y se tiene muy buen control. Presenta una adhesividad inicial lo suficientemente fuerte y su uso contra la gravedad (en la bóveda del hipogeo) es posible dando resultados satisfactorios.

El único defecto que se le encuentra es su color amarillo, pero al secado final no es tan visible. Es de anotar que el mortero de inyección está diseñado para ser empleado dentro del sistema de las superficies decoradas y en ningún caso puede emplearse como mortero para la realización de resanes o de resanes perimetrales de estabilización.

Se recomienda usar un mortero con arcilla de color blanco y toba volcánica para los morteros para los resanes perimetrales y para cubrir el mortero de inyección en los lugares en los que este sea visible.

El mortero de inyección tamizado a 125 $\mu$ m no presenta grandes diferencias con el mortero de 250 $\mu$ m y en el tamizado del material si es dispendioso. No se vio la necesidad de usar este mortero de inyección intermedio.

El micromortero realizado tamizando el material a 75 $\mu$ m y sin emplear el Genapol, es de gran utilidad en todas las fisuras de poca profundidad y en los desprendimientos de pocos milímetros.

Se recomienda que todo restaurador tenga los dos tipos de mortero de inyección a su alcance durante las labores de estabilización, además de un mortero para hacer los resanes.

La estabilización de las superficies decoradas del hipogeo S12 es de gran complejidad y se requiere que quien ejecute esta labor posea suficiente experiencia en el trabajo de pintura mural y, concretamente, en la estabilización de pinturas murales mediante inyección de morteros de inyección. Sin embargo, es posible y favorable que se aproveche esta oportunidad para la formación de jóvenes restauradores en la formulación de morteros de inyección y en su uso para la estabilización de las superficies decoradas ya que este es un tema que no se ha desarrollado en el país y que, en el caso concreto de Tierradentro, es de capital importancia para la salvaguarda de los hipogeos.

Esta investigación se realizó para el caso específico del hipogeo S12, pero este mortero de inyección puede ser utilizado en otros hipogeos de la zona siempre y cuando se realicen los análisis que confirmen que los materiales constitutivos del sistema de las superficies decoradas son similares a los de este hipogeo.



*Inyección del mortero desarrollado durante esta investigación y probado en el hipogeo S12 del Alto de Segovia en Junio 2019.*

## Bibliografía

Biçer-Şimşir Beril and Rainer Leslie; Evaluation of Lime-Based Hydraulic Injection Grouts for the Conservation of Architectural Surfaces A Manual of Laboratory and Field Test Methods; The Getty Conservation Institute; 2013

CRAterre-ENSAG; Recettes traditionnelles & Classification des stabilisants d'origine animale ou végétale; PaTerre+ Interactions argiles/biopolymères : Patrimoine architectural en Terre et stabilisants naturels d'origine animale et végétale ; 09/2011-09/2013

Correia Mariana; The conservation of earth architecture: the contribution of Brandi's theory ; CEAUCP - Centro de Estudos Arqueológicos das Universidades de Coimbra e Porto, Universidade de Coimbra, Instituto de Arqueologia

Brittany Helen Dolph; An Evaluation of Ethyl Silicate-Based Grouts for Weathered Silicate Stones; UNIVERSITY OF CALIFORNIA University of California; Los Angeles; 2014

Merniche Salim ; Stabilisation naturelle de la terre crue ; Ecole Nationale Supérieure de Paris; ENSAPM – Département Transitions – Séminaire de recherche – Année 2016-2017

Rousset Bénédicte, Gentile Stéfania , James Julian, Pozzi Barbara ; Injection Grouts for Molasse Sandstones: Preliminary Assessments; Switzerland

Swanson Melissa Joanne; The Performance of Two Alkoxysilane Consolidants on Three Berea Sandstones through Controlled Environmental Stress Cycling; Columbia University; 2014

Teutonico Jeanne Marie ; A Laboratory Manual for Architectural Conservators; ICCROM; Rome 1988

Vernaza Clemencia, Cancino Claudia, Rainer Leslie; Proyecto de Estabilización Sismorresistente; Informe sobre el análisis de condiciones, diagnóstico y pruebas de protección para las pinturas murales, Templo de Santiago Apóstol de Kuñotambo; Getty Conservation Institute; 2018

Vissac Aurélie, Bourgès Ann, Gandreau David, Romain Anger, Fontaine Laetitia ; Argiles & biopolymères les stabilisants naturels pour la construction en terre ; CRAterre éditions ; enero 2017

Wong and Neville; The Conservation of Cave 85 at the Mogao Grottoes, Dunhuang; Getty Conservation Intitute; 2013.

## ANEXOS

Análisis de la toba volcánica empleada para los morteros de inyección



Laboratorio interdisciplinar de patrimonio cultural

CLAVE: TE-04-2019

## FICHA DE SOLICITUD DE ANÁLISIS CIENTÍFICOS TRABAJOS EXTERNOS

### 1. REFERENCIA DE LA OBRA<sup>1</sup>

- DENOMINACIÓN:
- TÍTULO:
- AUTOR O ESCUELA:
- ÉPOCA:
- TÉCNICA Y MATERIALES:
- PROCEDENCIA:
- DIMENSIONES:
- FOTOGRAFÍA:

---

<sup>1</sup> Información suministrada por el solicitante de los análisis

## 2. ANÁLISIS REQUERIDOS

### I. SOPORTE

MUESTRA No.	TIPO DE ANÁLISIS REQUERIDO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA/LOCALIZACIÓN
T04-01	Análisis macroscópico (lupa binocular)	Hipogeos Tierradentro

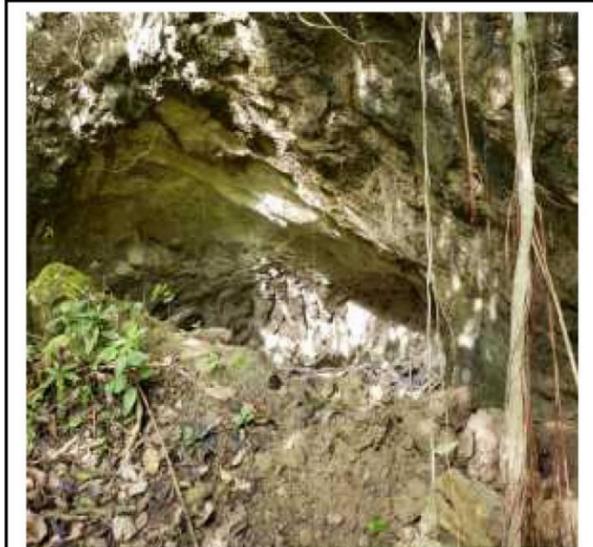
### ANÁLISIS MACROSCÓPICO

#### GENERALIDADES:

<b>ID Muestra</b>	<b>T04-01</b>		
<b>Este (X)</b>	-76°2'9.153" W	<b>Norte (Y)</b>	2°34'17.369"
Sistema/origen coordenadas	Magna central	<b>Escala</b>	NA
<b>Plancha</b>	NA	<b>Departamento</b>	Cauca
<b>Municipio</b>	San Andrés	<b>Localidad</b>	Alto de Segovia
<b>Entidad</b>	ICANH	<b>Colector</b>	Clemencia Vernaza
<b>Fecha recolección</b>		<b>Analizador</b>	Fernanda Martínez
<b>Fecha análisis</b>	15/03/2019	<b>Número de puntos de conteo</b>	N/A
<b>Unidad litoestratigráfica</b>	Miembro San Andrés, Formación Popayán (Npsa)		
<b>Clasificación macroscópica</b>	Lapillita (after Fisher, 1966); toba cristalina (after Pettijohn, 1975), Arenitas pumíticas (Ingeominas, 2003)*		
<b>Tipo de material</b>	Toba		

\*Se recomienda análisis microscópico para determinar una clasificación más precisa

#### DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO



Afloramiento de toba color gris, moderadamente meteorizado, cubierto parcialmente por vegetación. Se aprecia una aparente estratificación en el afloramiento.

**DESCRIPCIÓN GENERAL:**

Roca piroclástica de color gris claro, con textura fragmentaria y porfirítica local. Se observa una matriz de tamaño fino a muy fino, compuesta principalmente por ceniza volcánica alterada a arcillas, embebiendo fragmentos de cristales de biotita y cuarzo, fragmentos de roca y cristales. La proporción de la matriz esta entre el 20 y 30%, mientras los componentes de mayor tamaño alcanzan el 80-70%. Exhibe baja competencia, porosidad alta y presenta meteorización moderada a leve hacia el núcleo. Se observan óxidos de hierro en el exterior de la pieza, aumenta la concentración de arcillas y aparecen raíces y fracturas.



**Aumento: 2.0.** Textura general de la roca. Nótese la matriz de la roca de apariencia granular y los cristales y fragmentos de cristales embebidos por la matriz.

<b>TEXTURA GENERAL</b>	Fragmentaria: Conformada por fragmentos de cristales y rocas dispuestos de forma caótica en la roca.
Tamaño de los componentes	Matriz tamaño ceniza-arcilla. Fragmentos líticos, fragmentos de cristales y cristales tamaño lapilli a ceniza.
Texturas específicas	Porfirítica local: Cristales euhedrales de cuarzo y biotita embebidos en la matriz.
Grado de cristalinidad	Los cristales de cuarzo, biotita y anfíbol son euhedrales, los cristales de plagioclasa son anhedrales.

**COMPOSICIÓN**

COMPONENTE	NATURALEZA	FORMA	PORCENTAJE*	TAMAÑO	COMENTARIOS
Matriz	Juvenil	Anhedral	25	Ceniza	Alterada a arcillas
Líticos metamórficos	Accidentales	Angular-Subangular-Subredondeada	4	Lapilli	Líticos de esquistos cuarzo-sericítico
Líticos ígneos	Accidentales	Subredondeada	5	Lapilli	Líticos de tonalita ¿? y cuarzomonzonita ¿?
Fragmentos de cuarzo	Juveniles y xenocristales	Subhedral a anhedral	15	Lapilli	Xenocristales tienden a ser anhedrales
Fragmentos de biotita	Juveniles	Euhedral	15	Ceniza-Lapilli	En formas hexagonales y prismáticas
Cuarzo hialino	Juvenil	Subhedral a Euhedral	10	Ceniza-lapilli	Generalmente cuarzo beta
Cuarzo gris	Accidental ¿?	Subhedral a anhedral	5	Ceniza-lapilli	Bipiramidal, hexagonal
Biotita	Juvenil	Euhedral	14	Ceniza-Lapilli	En forma hexagonal, exfoliación visible
Anfíbol	Accidental	Euhedral a subhedral	1	Ceniza-Lapilli	Color negro, forma prismática
Plagioclasa ¿?	Accidental	Subhedral a anhedral	5	Ceniza-lapilli	Alterada a arcillas
Óxidos de hierro	Secundarios	Anhedral	1	Ceniza	Alteran biotita, distribución en parches.
Arcillas	Secundarias	Anhedral		N/A	Altera la matriz de ceniza y posibles feldespatos de origen primario.
Raíces	Orgánicas	N/A	<0.1	N/A	Sobre la superficie de la

\* Los porcentajes presentados, son estimados de forma subjetiva y no representan una fuente confiable de cuantificación. Nótese que el porcentaje de matriz, es el mismo porcentaje de arcillas, por esto aparece en blanco.

**DESCRIPCIONES:**

**Matriz:** ceniza volcánica trasformada en arcillas por efecto de la meteorización (*Fotografía 1*)

**Fragmentos líticos metamórficos:** angulares a subangulares y subredondeados, tamaño lapilli. Se encuentran en menor proporción que los fragmentos ígneos. Constituidos por cuarzo, sericita y grafito ¿? (*Fotografía 2*). Algunos fragmentos llegan a tener hasta 9mm de tamaño y exhiben meteorización muy leve. Es observable la foliación en varios fragmentos con oxidación y argilización leve de origen supérgeno

**Fragmentos líticos ígneos:** coexisten dos tipos de fragmentos, unos compuestos por cristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbol de tamaño muy fino y de posible composición tonalítica (*Fotografía 5*). Otros compuestos por feldespato alcalino, cuarzo y plagioclasa de aparente composición cuarzomonzonítica. Los fragmentos tonalíticos presentan esfericidad moderada a alta y meteorización avanzada. Algunos se deshacen al tacto lo que sugiere un alto contenido de arcillas. Generalmente, la biotita y anfíbol no muestran signos de oxidación. Es posible que existan fragmentos de pómez alterados a arcillas, pero en general no se observaron dichos fragmentos frescos.

**Fragmentos de cristales**

Biotita: Fragmentos angulares con exfoliación visible.

Cuarzo: Se observan hialinos y grises, con fractura concoidea y algunas caras cristalinas conservadas (*Fotografía 4*). Varios cuarzos grises presentan formas anhedrales y parecen corresponder a xenocristales.

**Cristales:**

Biotita: cristales euhedrales a subhedrales de formas tabulares y hexagonales, con exfoliación visible.

Hornblenda: cristales color negro, de forma prismática, tamaño lapilli.

Cuarzo hialino: cristales euhedrales de forma bipiramidal tamaño lapilli a ceniza. Se aprecian en forma de "ojos" de brillo vítreo en medio de la matriz arcillosa.

Cuarzo gris: cuarzo traslúcido con ligeras tonalidades grisáceas, se aprecian formas bipiramidales ocasionalmente interrumpidas por fracturas

Plagioclasa ¿?: No se identifica con claridad, debido al estado de meteorización que presenta. Se aprecia como una masa de baja dureza, compuesta por arcillas, color beige. Parece conservar remanentes de su forma cristalina (*Fotografía 5*)

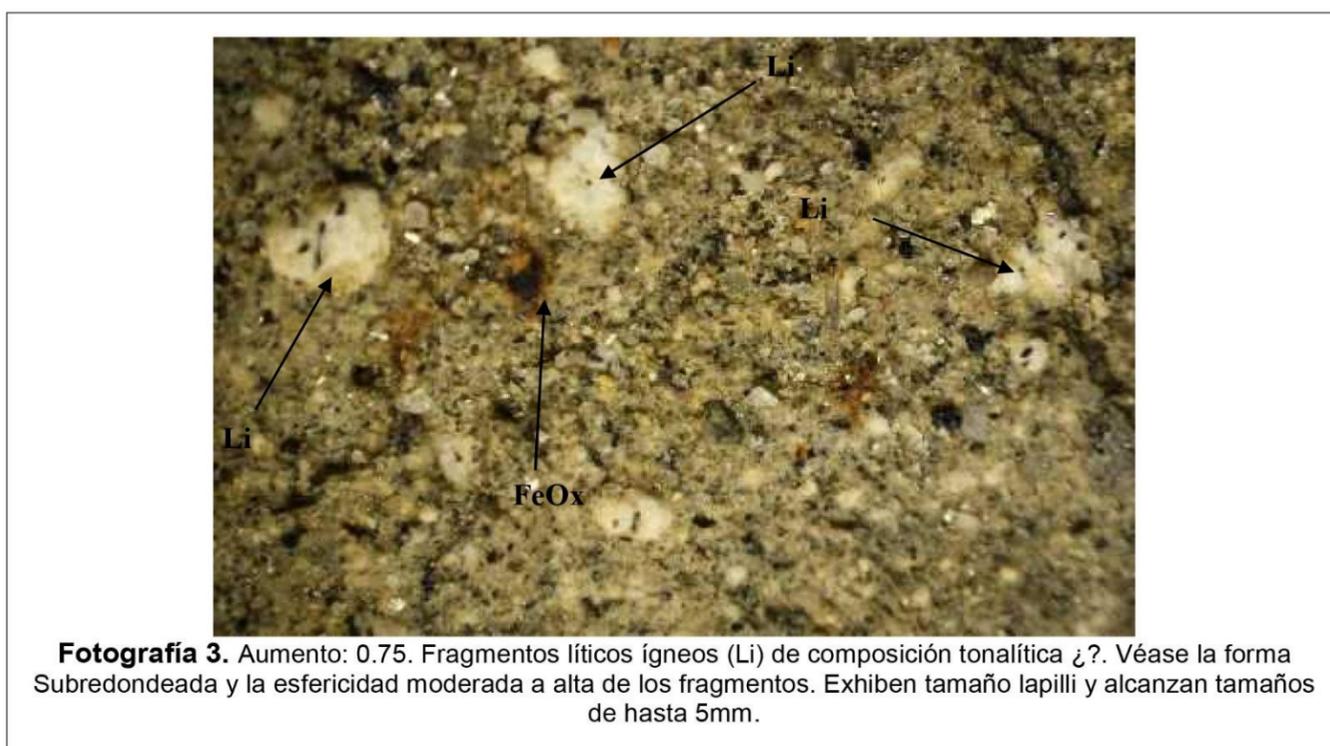
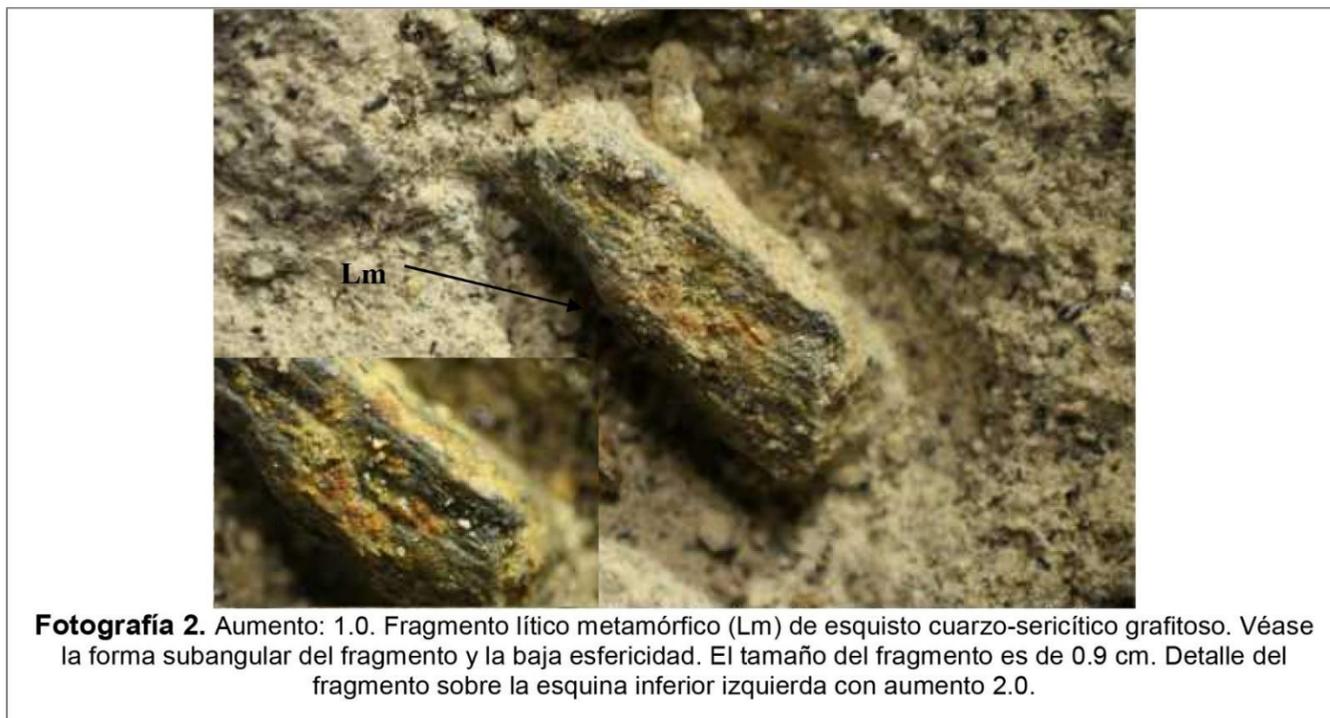
**Componentes secundarios**

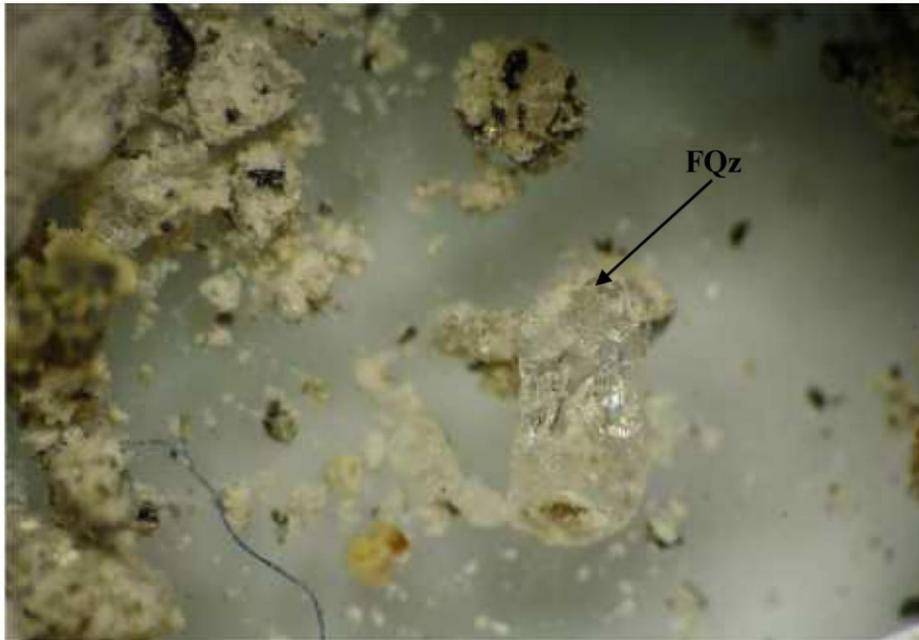
Óxidos de hierro: Aparecen en forma de parches sobre la biotita y el anfíbol.

Arcillas: producto de alteración de la ceniza volcánica que compone la matriz

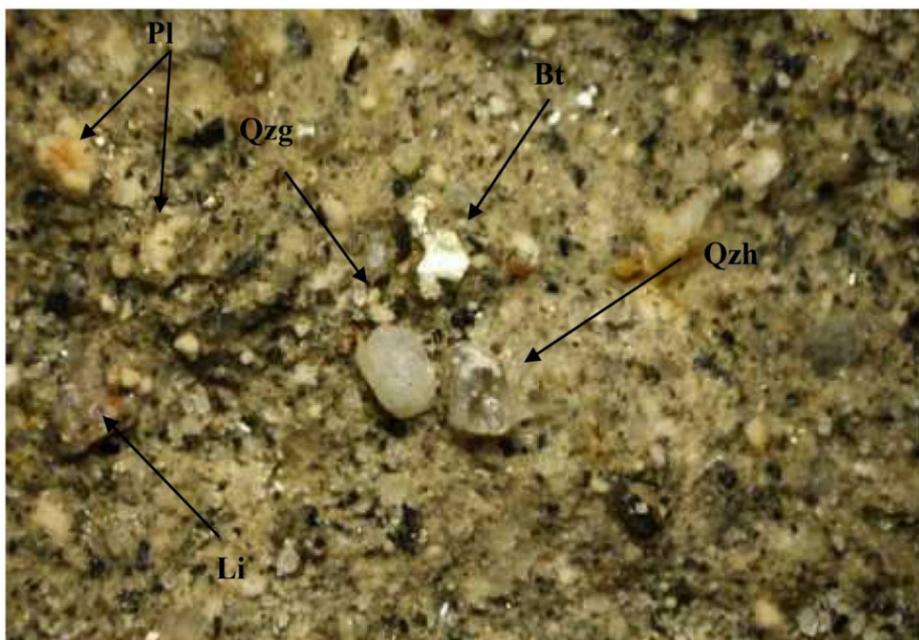
**Componentes orgánicos**

Raíces: Se observaron principalmente en las superficies de la muestra (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

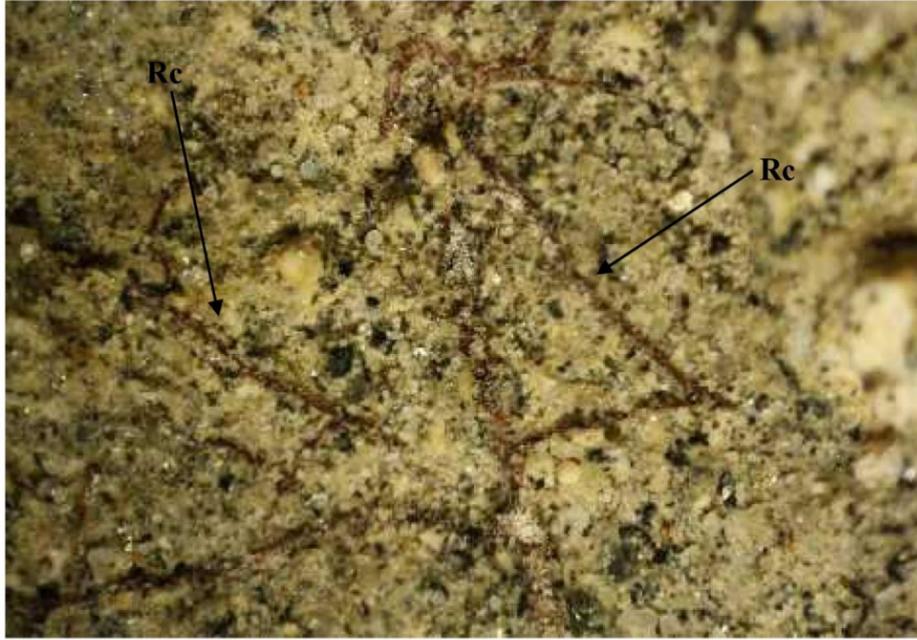




**Fotografía 4.** Aumento: 3.0. Fragmentos de cuarzo hialino separado de la roca en una placa de Petri. Detállese las fracturas concoideas del fragmento sobre las aristas laterales.



**Fotografía 5.** Aumento: 1.0. Cristales euhedrales de cuarzo gris, asociados a un cristal euhedral de biotita alterado, cristales de plagioclasa ¿? y un fragmento lítico, de aparente composición cuarzomonzónica, sobre el borde izquierdo de la imagen.



**Fotografía 6.** Aumento: 1.0. Restos de raíces (Rc) en la superficie de la roca, que evidencian cercanía de la roca colectada, con el suelo.

Análisis de la tierra arcillosa “pañete” empleada para los morteros de inyección



Laboratorio interdisciplinar de patrimonio cultural

CLAVE: TE-04-2019

## FICHA DE SOLICITUD DE ANÁLISIS CIENTÍFICOS TRABAJOS EXTERNOS

### 1. REFERENCIA DE LA OBRA<sup>1</sup>

- DENOMINACIÓN:
- TÍTULO:
- AUTOR O ESCUELA:
- ÉPOCA:
- TÉCNICA Y MATERIALES:
- PROCEDENCIA:
- DIMENSIONES:
- FOTOGRAFÍA:

---

<sup>1</sup> Información suministrada por el solicitante de los análisis

## 2. ANÁLISIS REQUERIDOS

### I. SOPORTE

MUESTRA No.	TIPO DE ANÁLISIS REQUERIDO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA/LOCALIZACIÓN
T04-02	Análisis macroscópico (lupa binocular)	Tierradentro, camino alto Segovia

#### MUESTRA T04-02

#### DESCRIPCIÓN GENERAL

<b>ID Muestra</b>	<b>T04-01</b>		
<b>Este (X)</b>	-76°1'42.467"W	<b>Norte (Y)</b>	2°34'32.8"N
<b>Sistema/origen</b>		<b>Escala</b>	NA
<b>Plancha</b>		<b>Departamento</b>	Cauca
<b>Municipio</b>	San Andrés	<b>Localidad</b>	Alto de Segovia, El Duende
<b>Entidad</b>	ICANH	<b>Colector</b>	Clemencia Vernaza
<b>Fecha recolección</b>		<b>Analizador</b>	Fernanda Martínez
<b>Fecha análisis</b>	15/03/2019	<b>Número de puntos de conteo</b>	N/A
<b>Unidad litoestratigráfica</b>	Miembro San Andrés, Formación Popayán (Npsa)		
<b>Clasificación macroscópica</b>	Toba cristalina (after Pettijohn, 1975), arenitas pumíticas (Ingeominas, 2003).		
<b>Tipo de material</b>	Arcilla "pañete"		

#### DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO



Afloramiento de toba cristalina meteorizada. Comúnmente, los colonos llaman a este material “pañete” por su capacidad de compactar y dar plasticidad a las mezclas usadas en construcción de viviendas.

**DESCRIPCIÓN GENERAL:**

Roca saprolitizada, desarrollada a partir de depósitos volcanoclásticos. Presenta una coloración marrón rojiza a amarillenta, una textura arcillo-arenosa, deleznable, localmente endurecida por acumulaciones de arcilla. Se observan restos de raíces y fracturas asociadas a estas. A nivel local se aprecian sectores con meteorización más baja, donde se pueden distinguir algunos componentes primarios de la roca, como matriz y cristales. Se conservan ocasionalmente fragmentos líticos metamórficos de tamaño cercano a 1 cm con alteración avanzada.



**Aumento: 1.0.** Apariencia general de la roca saprolitizada. Véase la textura areno-arcillosa y los parches oscuros que parecen corresponder a rastros de raíces.

<b>TEXTURA GENERAL</b>	Clástica, masiva. Conformada por masas de arena y arcilla, producto de la descomposición de la matriz de ceniza de la roca, y otros componentes como fragmentos líticos y feldespatos.
Tamaño de los componentes	Matriz tamaño arena muy fina a arcilla. Fragmentos líticos, fragmentos de cristales y cristales tamaño lapilli a ceniza.
Texturas específicas	No identificadas
Grado de cristalinidad	Cristales de cuarzo euhedrales y remanentes de biotita subhedrales.

**COMPOSICIÓN**

COMPONENTE	NATURALEZA	FORMA	PORCENTAJE*	TAMAÑO	COMENTARIOS
Mezcla de arena-arcilla	Secundaria	Anhedral	50	Arena	Producto de alteración de la matriz y otros componentes de la roca
Fragmentos de cuarzo	Juveniles y xenocristales	Subhedral a anhedral	10	Lapilli	Xenocristales tienden a ser anhedrales
Cuarzo hialino	Juvenil	Subhedral a Euhedral	9	Ceniza-lapilli	Generalmente cuarzo beta
Cuarzo gris	Accidental¿?	Subhedral a anhedral	5	Ceniza-lapilli	Bipiramidal, hexagonal
Biotita	Juvenil	Euhedral	5	Ceniza	En forma tabular
Anfíbol	Accidental	Euhedral a subhedral	2	Ceniza-Lapilli	Color negro, forma prismática
Líticos metamórficos	Accidentales	Angular-Subangular-Subredondeada	1	Lapilli	Líticos de esquistos cuarzo-sericítico
Óxidos de hierro	Secundarios	Anhedral	15	Ceniza	Alteran biotita, distribución en parches.
Raíces	Orgánicas	N/A	3	N/A	Sobre la superficie de la

\* Los porcentajes presentados, son estimados de forma subjetiva y no representan una fuente confiable de cuantificación.

**DESCRIPCIONES:**

**Fragmentos de cristales**

Cuarzo: fragmentos de tamaño ceniza a lapilli. Se observan hialinos y grises con fracturamiento concoide (*Fotografía 1*).

**Cristales:**

Biotita: cristales subhedrales de formas tabulares de tamaño ceniza en avanzado estado de oxidación y argilización. Pérdida de la coloración original por la meteorización.

Hornblenda: cristales color negro, de forma prismática, tamaño ceniza, intensamente alterados por óxidos de hierro y degradados parcial o totalmente a arcillas.

Cuarzo hialino: cristales euhedrales de forma bipiramidal tamaño lapilli a ceniza. Se aprecian fácilmente en la roca alterada, no solo por su dureza, también por su brillo vítreo

Cuarzo gris: cristales traslúcidos con ligeras tonalidades grisáceas, tamaño ceniza a lapilli (*Fotografía 2*).

**Fragmentos líticos metamórficos:** angulares a subangulares y subredondeados, tamaño lapilli. A

pesar de que se observan en estado moderado de meteorización, se distingue cuarzo y sericita como sus principales componentes. Se observa foliación en algunos fragmentos y argilización de origen supérgeno (*Fotografía 3*).

#### **Componentes secundarios**

Mezcla de arcilla y arena: material producto de alteración de la matriz de ceniza volcánica, minerales feldespáticos, fragmentos líticos ígneos, metamórficos y minerales ferromagnesianos (biotita y anfíbol (*Fotografía 4*))

Óxidos de hierro: Aparecen de forma masiva asociados a la mezcla de minerales areno-arcillosos. Son los responsables de la tonalidad rojiza y amarillenta de la roca.

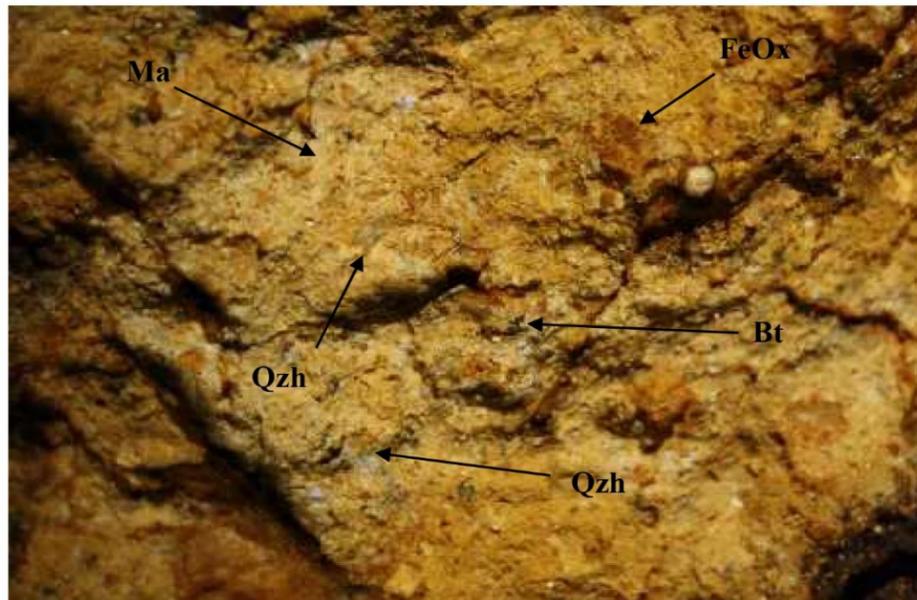
#### **Componentes orgánicos**

Raíces: Se observaron en toda la muestra. Dejan rastros oscuros color marrón en forma de caminos, donde se alojan organismos (*Fotografía 5*).

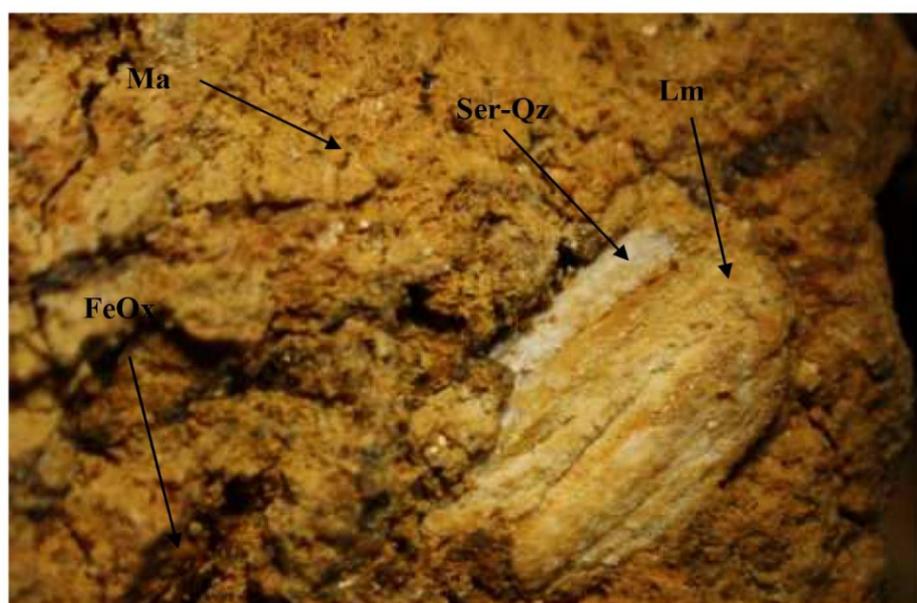
### FOTOGRAFÍAS



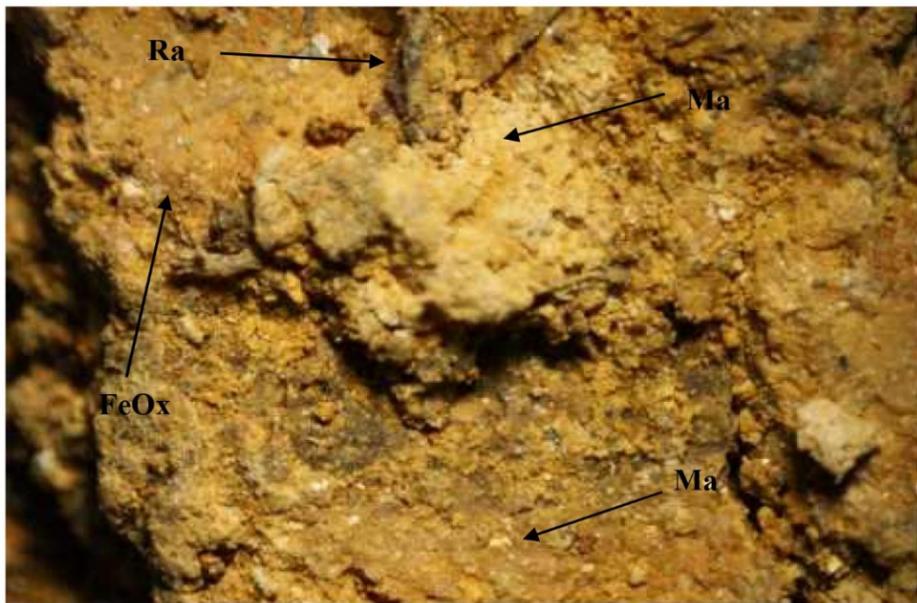
**Fotografía 1.** Aumento: 2.0. Fragmentos de cuarzo hialino (Qzh) y cuarzo gris (Qzg) visibles en una porción de muestra desintegrada.



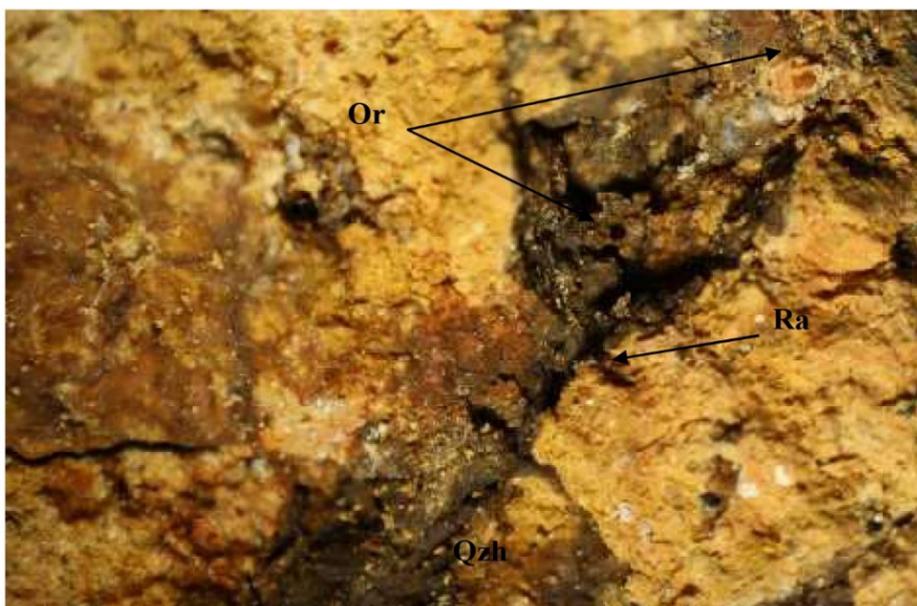
**Fotografía 2.** Aumento: 1.0. Detalle de los cristales de cuarzo hialino (Qzh) y biotita (Bt) en la matriz arenarcillosa (Ma). Nótese las acumulaciones de óxidos de hierro (FeOx).



**Fotografía 3.** Aumento: 2.0. Vista de un fragmento lítico metamórfico (Lm). El fragmento exhibe meteorización progresiva, con desarrollo de arcillas y óxidos de hierro (FeOx). No obstante, el cuarzo se conserva y algunos restos de sericita y cuarzo.



**Fotografía 4.** Aumento: 2.0. Detalle de la roca transformada a una mezcla de minerales tamaño arena y arcilla (Ma. Nótese además los óxidos de hierro combinados con esta mezcla y sobre la parte superior de la imagen, restos orgánicos de raíces (Ra).



**Fotografía 5.** Aumento: 2.0. Detalle de los componentes orgánicos encontrados en el saprolito. Restos de raíces (Ra) y organismos (Or) alojados en las fracturas causadas por las raíces.

Comparación entre la toba volcánica y la tierra arcillosa “pañete

#### DIFERENCIAS TOBA Y PAÑETE

1. La competencia de la toba es mayor a la del pañete, dado que el grado de meteorización en la toba es menor. Esta meteorización, es causada por la exposición de la roca al aire, agua y organismos como plantas y animales
2. De acuerdo al conteo que se realizó (no estadístico), el pañete duplica la cantidad de arcillas de la toba, que podrían corresponder a nivel composicional a alofana. La principal fuente de arcillas del pañete, es la matriz de ceniza de la toba y los fragmentos líticos ígneos, que se degradan con facilidad. Adicionalmente la descomposición de minerales ferromagnesianos como la biotita, produce óxidos de hierro causantes del color amarillo-rojizo del pañete y aporta arcillas como vermiculita y smectita\*
3. Dado que, en el pañete, los fragmentos líticos y fragmentos de cristales han perdido cohesión por la argilización de la matriz, el agua y el viento pueden arrastrarlos con facilidad. Esta puede ser una de las razones adicionales a la disminución de fragmentos de cuarzo, fragmentos de cristales y algunos fragmentos líticos que se presentan en el pañete, además de la meteorización.
4. La acción de las plantas sobre el pañete ha favorecido su meteorización y la penetración de compuestos orgánicos a lo largo y ancho de las capas del material, a través de raíces profundas y fracturas.
5. El pañete muestra una plasticidad mayor a la de la toba, dado el contenido de arcillas y la composición de éstas. Al parecer, se trata de una mezcla de esmectita, vermiculita, alofana (confirmar con difracción).

Morteros de inyección con base de silicato de etilo

El siguiente cuadro resumen ilustra las pruebas y resultados obtenidos con los morteros de inyección en los que se empleó como aglomerante el silicato de etilo como marcas comerciales Silres de Wacher Chemie y Silres de CTS.

Generalidad Aglomerante	Cargas/aglomerante	Granul.	Aditivos orgánicos	Hexametáfosfato de sodio 0,4%	Medio	Fecha preparación	HR/T	Inyectabilidad	Fluidez	Adhesividad inicial	Separación	Densidad húmeda gr/ml	Densidad seco gr/ml	Expansión y rezumo	Adhesión final	Contracción
SILRES	Toba: 2 vol	250 µm	NA	NA	1 vol	26.03.2019	64%/20°	+++	+++	---	Si: 4 fases evidentes	1,08	0,84	Sin expansión. Rezumo: 2mm	No probado	++
	Toba: 2 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	NA	1 vol	28.03.2019	60%/18°	+++	+++	---	+++	1,02	0,61	Sin expansión. Rezumo: 2mm	No probado	+++
	Toba: 2 vol Tierra: 1vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	NA	1 vol	26.03.2019	63%/18°	++	+	+++	+	1,44	1,27	Expansión +++ Rezumo+++	-	-
	Toba: 2 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	NA	31,5 ml	26.03.2019	63%/18°	+	+++	+++	---	0,77	0,63	Expansión +++ Rezumo +++	+++	+++
ESTEL	Piedra pómez: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	NA	1 vol	21.03.2019	64%/20°	++	+++	+++	---	1,25	1,05	Expansión +++. Rezumo:1,0mm	---	++
	Piedra pómez: 2 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	NA	1 vol	21.03.2019	64%/20°	++	+++	+++	---	1,13	1,20	Expansión +++. Rezumo:1,7mm	+++	+++
	Toba: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	NA		26.03.2019		+++	+++	+++	---	0.98	0,80	Expansión +++. Rezumo: '++	++	-

Morteros con tierra arcillosa como aglomerante

Generalidad Aglomerante	Cargas/aglomerante	Granul.	Aditivos orgánicos	Hexametáfosfato de sodio 0,4%	Medio	Fecha preparación	HR/T	Inyectabilidad	Fluidez	Adhesividad inicial	Separación	Densidad húmeda gr/ml	Densidad seco gr/ml	Expansión y rezumo	Contracción	Adhesión final
Tierra "pañete"	Toba: 2 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	50ml	NA	28.03.2019	63% / 21°	+	+++	+++	Si: 2 fases evidentes	1,18	0,58	Expansión +++ Rezumo +++		++
	Toba: 2 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	NA	Agua	29.03.2019	61% / 23°	++	+	+++	+++	1,21	0,78	Expansión +++ Rezumo +	+++	+
	Toba: vol 2 Tierra: 1 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	0,5 vol	Agua	29.03.2019	63% / 18°	++	++	-	++	1,12	0,77	Expansión +++ Rezumo +++	++	-
	Toba: vol 2 Tierra: 1 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	NA	NA	Agua 2 vol	29.03.2019	63% / 18°	++	-	+	+	0,94	0,91	Expansión +++ Rezumo +++	-	++

Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y albúmina de huevo como aditivo

Generalidad Aglomerante	Cargas/aglomerante	Granul.	Aditivos orgánicos	Hexametáfosfato de sodio 0,4%	Medio	Fecha preparación	HR/T	Inyectabilidad	Fluidez	Adhesividad inicial	Separación	Densidad húmeda gr/ml	Densidad seco gr/ml	Expansión y rezumo	Contracción	Adhesión final
Tierra "pañete"	Toba: 2 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Albúmina: 15ml	62ml		29.03.2019	58% / 22°	+++	+	+++	+++	1,13	0,70	Expansión +++ Rezumo ++	+++	+++
	Toba: 2 vol Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Albúmina: 15ml	NA		29.03.2019	60% / 19°	+++	+	+++	+++	1,12	0,66	Expansión +++ Rezumo +	+++	+++
	Toba: 2 vol Tierra: vol 1; Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Albúmina: 0,5vol	0,8 vol		29.03.2019	63% / 18°	+++	+	-	+	1,15	0,57	Expansión +++ Rezumo ++	+	-
	Toba: 2 vol Tierra: vol 1; Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Albúmina: 0,5vol	NA		29.03.2019	63% / 18°	+++	++	+	+	1,15	0,90	Expansión +++ Rezumo ++	+	++

Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y mucílago de aloe como aditivo

Generalidad Aglomerante	Cargas/aglomerante	Granul.	Aditivos orgánicos	Hexametáfosfato de sodio 0,4%	Medio	Fecha preparación	HR/T	Inyectabilidad	Fluidez	Adhesividad inicial	Separación	Densidad húmeda gr/ml	Densidad seco gr/ml	Expansión y rezumo	Contracción	Adhesión final
Tierra "pañete"	Piedra pómez: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Mucílago: Sábila (Aoe vera): 0,5ml	15ml		22.03.2019	57/17	++	+++	+++		1,07	0,95	Expansión +++ Rezumo ++	++	+++
	Toba: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Mucílago: Sábila (Aoe vera): 0,5ml	NA		22.03.2019	57/17	++	+++	+++		1,06	1,11	Sin expansión. Rezumo: 1.2mm	+	+++
	Piedra pómez: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Mucílago: Sábila (Aoe vera): 0,5ml	37,8ml		22.03.2019		+++	+++	+++	++	1,04	0,57	Expansión +++ Rezumo ++	-	
	Piedra pómez: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Mucílago: Sábila (Aoe vera): 0,5ml	NA	44ml	22.03.2019		+++	+++	+++	-	1,14	0,57	Expansión +++ Rezumo +++	--	-

Morteros con tierra arcillosa como aglomerante y colágeno puro como aditivo

Generalidad Aglomerante	Cargas/aglomerante	Granul.	Aditivos orgánicos	Hexametáfosfato de sodio 0,4%	Medio	Fecha preparación	HR/T	Inyectabilidad	Fluidez	Adhesividad inicial	Separación	Densidad húmeda gr/ml	Densidad seco gr/ml	Expansión y rezumo	Contracción	Adhesión final
Tierra "pañete"	Piedra pómez: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Gelatina Colágeno puro 3% 0,5ml	15ml		26.03.2019	64/20	++	+++	+++		1,25	1,04 gr/ml	Expansión +++ Rezumo ++	++	+++
	Piedra pómez: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Gelatina Colágeno puro 3% 0,5ml	NA		22.03.2019	57/17	+++	+++	+++		1,01	0,97	Expansión +++ Rezumo ++	++	+++
	Toba: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Gelatina Colágeno puro 3% 0,5ml	25ml	30ml	22.03.2019		+++	+	+++	+++	1,13	0.69	Expansión +++ Rezumo ++	--	
	Toba: 2 vol Tierra: vol: 1 Microesferas K46: 3 vol	250 µm	Gelatina Colágeno puro 3% 0,5ml	NA	31ml	22.03.2019		++	+	+++	+++	1,05	0.65	Expansión +++ Rezumo +++	++	

Pruebas semi-finales para la formulación del mortero de inyección

Una parte = 30 ml

Generalidad Aglomerante	Granul.	Cargas/ aglomerante	Granul.	Medio	Nomenclatura grupo	Fecha preparación	Inyectabilidad	Fluidez	Adhesividad inicial	Separación	Densidad húmeda gr/ml	Densidad seco gr/ml	Expansión y rezumo	Contracción	Adhesión final
vol 1: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	250 µm	vol 2: toba vol 3: microesferas 3M K1	250 µm	67 ml	1	17.05.2019	++	++	+++	+++	0,95	0,66	+++	---	++
vol 1: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	250 µm	vol 2: piedra pómez vol 3: microesferas 3M K1	250 µm	62 ml	2	17.05.2019	---	---	+++	+++	0,91	0,58	+++	--	++
vol 1: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	125 µm	vol 2: toba vol 3: microesferas 3M K1	125 µm	64 ml	3	18.05.2019	+	+	+++	+++	0,95	0,56	+++	---	++
vol 1: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	125 µm	vol 2: piedra pómez vol 3: microesferas 3M K1	125 µm	67 ml	4	19.05.2019	+	++	+++	+++	0,99	0,56	+++	--	++
vol 1: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	75 µm	vol 2: toba vol 3: microesferas 3M K1	75 µm	64 ml	5	20.05.2019	+++	++	+++	+++	0,88	0,52	+++	---	++
vol 1: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	75 µm	vol 2: piedra pómez vol 3: microesferas 3M K1	75 µm	65 ml	6	21.05.2019	+	+	+++	+++	0,85	0,45	+++	--	++

Cuadro resumen de las pruebas de morteros de inyección con SLES.

1 parte = 30 ml

Generalidad Aglomerante	Granul.	Cargas/aglomerante	Granul.	Medio	Agente espumante	Nomenclatura grupo	Fecha preparación	Inyectabilidad	Fluidez	Adhesividad inicial	Separación	Densidad húmeda gr/ml	Densidad seco gr/ml	Expansión y rezumo	Contracción	Adhesión final	Sulfatos en Genapol	Sulfatos en mortero húmedo	Sulfatos en mortero seco	Densidad húmedo	Densidad seco
vol 0.5: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	250 µm	vol 2.5: toba vol 3: microesferas 3M K1	250 µm	40 ml para mezclar partes secas 5 ml más luego de mezclar con el Genapol	Genapol 5% 10 ml batido	7	22.05.2019	++	++	+++	+++	0,76	5,64	+++	+	+++	Positivo	Positivo, pero muy leve	N/A	0,756	0,465
vol 0.5: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	250 µm	vol 2: toba vol 3: microesferas 3M K1	250 µm	30 ml para mezclar partes secas	Genapol 1% 30 ml batido	8	24.05.2019	++	++	+++	+++	0,67	0,37	+++	+	+++	Positivo	Positivo, pero muy leve	Negativo	0,673	0,373
vol 0.5: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	250 µm	vol 2: toba vol 3: microesferas 3M K1 vol 1: piedra pómez	250 µm	40 ml para mezclar partes secas	Genapol 1% 20 ml batido	9	27.05.2019	+	++	+++	+++	0,87	0,00	+++	+	+++	Positivo	Negativo	Negativo	0,866	-0,342
vol 0.5: Tierra "pañete" 1 vol = 30 ml	250 µm	vol 2.5: toba vol 3: microesferas 3M K1	250 µm	30 ml para mezclar partes secas	Genapol 1% 20 ml batido	10	27.05.2019	+	-	+++	+++	0,86	-0,26	+++	+	+++	Positivo	Negativo	Negativo	0,863	-0,261



## SILRES® BS OH 100

MASONRY WATER REPELLENTS

### Product description

SILRES® BS OH 100 is a solventless, ready-to-use product for the consolidation of construction materials.

### Special features

- one-pack system - therefore easy processing
- low-molecular - therefore optimum penetration
- tack-free drying - therefore no dirt attraction
- no by-products that are damaging to the building material
- the binder formed is mineral - therefore resembling the building material
- the binder formed is acid-resistant-therefore resistant to rainwater
- pores are not sealed - therefore the treated building material maintains its water vapour permeability

### Mode of action

SILRES® BS OH 100 is based on ethyl silicate. When applied, it penetrates through the capillaries deep into the construction material. The neutral catalyst promotes the reaction between ethyl silicate and water from atmospheric humidity or the moisture in the capillary pores. A glass-like silica gel binder (SiO<sub>2</sub>-aq.) is formed. The ethanol by product evaporates. Under standard conditions (20°C / 50% r. h. ), final hardness is reached after two weeks, i. e. when most of the ethyl silicate has been converted to silica gel.

The product does not contain any hydrophobic additives such as silanes or siloxanes. Before the reaction is complete, the treated surface may show slight beading, though this does not mean that it is water repellent.

### Application

The main application of the product is to restore weather-damaged natural stone, stucco or frescos. It may also be used to treat other construction materials such as brick or terracotta.

Any absorbent mineral construction material can be treated with SILRES® BS OH 100. By saturation with the product, their original strength and porosity can be

practically restored.

### Processing

Preliminary test, test area

Due to the fact that the degree of deterioration will differ from one building material to the next, the instructions given in the following can only serve as general guidelines for successful restoration:

- Determine the exact state of the substrate which is to be consolidated (binder, salt content, porosity, etc.);
- Establish the necessary steps to be taken and likely material consumption;
- Mark out a sufficiently large test area (also used to determine the material consumption) and check the results by looking for discoloration and making relevant physical measurements;
- Check that the necessary steps are taken and monitor material consumption;
- Carry out thorough final tests.

### Substrate condition

Buildings which are to be restored often have a thick, dirty surface layer (crust). The areas must be cleaned thoroughly but mildly, e. g., by spraying with cold or hot water, or by steam cleaning. In many cases, the stone is already friable, and so cleaning is not possible without a further loss of substance. It is, however, possible to consolidate the material with SILRES® BS OH 100 beforehand to prevent substance loss. Then the material can be cleaned and the main consolidation can take place.

In order to enable the SILRES® BS OH 100 to penetrate all the friable building material, it is necessary for the area to be air-dry and absorbent. The treated area should be protected against rain during the following two to three days. It is also important that the area be protected against direct sunlight prior to treatment. If the building material is allowed to absorb too much heat, the product will evaporate too quickly and therefore will not penetrate sufficiently. The optimum temperatures for application are between 10 and 20°C. The relative humidity should be > 40%. In order to prevent the building material from heating up too much, awnings can be set up.



#### Application method

SILRES® BS OH 100 may be applied by spraying, brushing or dipping, according to the object to be consolidated. Larger areas should be treated with spraying equipment, but smaller ones can be treated with a wash bottle. Portable objects such as sculptures can be treated by dipping or by means of compresses.

#### Amount to be applied

One of the chief prerequisites for successful restoration is that the product penetrates to the sound core of the masonry as otherwise the possibility of flaking due to crust formation cannot be excluded.

In order to achieve the desired penetration depth, small areas of the building material (perhaps one stone or block or brick at a time) should be treated wet-on-wet with SILRES® BS OH 100 until the building material is fully saturated, i. e., it is unable to absorb any more of the product. If necessary, a second course of treatment can follow after two to three weeks at the earliest; here, too, complete saturation of the friable material must be achieved.

If a second course of treatment is carried out before the formation of active substance is complete, the masonry will not be able to absorb the stone strengthener. As a consequence, the surface will turn gray.

The amount of SILRES® BS OH 100 needed for the consolidation depends on the type of building material. The consumption may range from 0.5 to 15 l/m<sup>2</sup>. Example: a stone which was weathered to depth of 6cm needed in the first course of treatment 5 l/m<sup>2</sup> of SILRES® BS OH 100 and 3.5 l/m<sup>2</sup> in the second course carried out after three weeks. In another case, 2.7 l/m<sup>2</sup> was applied and a penetration depth of 10cm demonstrated. The necessary amount of stone strengthener must be determined on a test area.

#### Post-treatment

Discoloration of the surface by ethyl silicate can be prevented by washing it with a solvent such as white spirit as soon as it is fully saturated.

#### Application of stone substitute or paint

When the SILRES® BS OH 100 course has reacted completely, stone substitute or mineral silicate paint can be applied to the treated area. The consolidated surface can also be treated with silicone paint. SILRES® BS OH 100 can also be applied to surfaces after they have been treated with stone substitute or mineral silicate paint, but only after an interval of four

weeks.

#### Water-repellent treatment

After restoration work, a water-repellent coat should be applied to protect against rainwater. Wacker Chemie AG will be glad to advise you about suitable products.

#### Storage

The containers must be protected against sunlight. If the product is allowed to react with atmospheric humidity, it will gel and be rendered unfit for use.

The "Best use before end" date of each batch is shown on the product label.

Storage beyond the date specified on the label does not necessarily mean that the product is no longer usable. In this case however, the properties required for the intended use must be checked for quality assurance reasons.

#### Additional information

- Before applying SILRES® BS OH 100, cover up any window panes or solvent-sensitive plastics, etc. When applying the product outdoors by spraying, take care not to splash parked cars.

- If, in application by the dipping process, a lengthy dipping time is required, ensure that the dip tank is hermetically sealed to avoid gelling of the product.

- If the treated surface has a beading effect, which may affect the application of stone substitute or mineral silicate paint, this can be remedied by wiping the surface with an ammonia solution.

- If areas treated with SILRES® BS OH 100 are to be molded, the surface should be pretreated with a wetting agent, e. g. a soap solution or PVA solution, to prevent the silicone rubber compound from sticking to the surface.

#### Safety notes

Comprehensive instructions are given in the corresponding Material Safety Data Sheets. They are available on request from WACKER subsidiaries or may be printed via WACKER web site



<http://www.wacker.com>.

**Product data**

Typical general characteristics	Inspection Method	Value
Color		colorless to yellowish
Ethyl silicate content		approx. 100 wt. %
Density at 25 °C	DIN 51757	approx. 0,997 g/cm <sup>3</sup>
Catalyst		neutral
Flash point	ISO 2719	40 °C
Ignition temperature (liquids)	DIN 51794	230 °C

These figures are only intended as a guide and should not be used in preparing specifications.

The data presented in this medium are in accordance with the present state of our knowledge but do not absolve the user from carefully checking all supplies immediately on receipt. We reserve the right to alter product constants within the scope of technical progress or new developments. The recommendations made in this medium should be checked by preliminary trials because of the fact that raw materials are also being used. The information provided by us does not absolve the user from clarifying the position. Recommendations to use do not constitute a warranty, either express or implied, of the fitness or suitability of the product for a particular purpose.

The management system has been certified according to DIN EN ISO 9001 and DIN EN ISO 14001

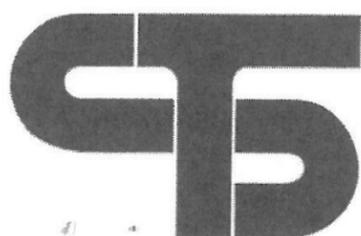
WACKER® is a trademark of Wacker Chemie AG. SILRES® is a trademark of Wacker Chemie AG.

For technical, quality, or product safety questions, please contact:

Wacker Chemie AG  
Hanns-Seidel-Platz 4  
81737 München, Germany  
info.silicones@wacker.com

[www.wacker.com](http://www.wacker.com)

Ficha técnica del silicato de etilo Estel



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

## ESTEL 1100

PRODUCTO CONSOLIDANTE CON PROPIEDAD HIDRO-REPELENTE PARA PIEDRAS NATURALES. INDICADO PARA LA RESTAURACIÓN DE LAPIDEOS DE NATURALEZA SILICÁTICA Y CARBONÁTICA, DE LADRILLOS, DE TERRACOTA E INTONACOS.

### CARACTERÍSTICAS

El producto consolidante **ESTEL 1100** está compuesto de **Esteres Etilicos del ácido Silícico** y **Polisiloxanos Oligomericos**, disueltos en **Ras Mineral** para un óptimo grado de absorción hasta el núcleo sano de la piedra.

Los **Esteres Etilicos del ácido Silícico**  $[Si(OEt)_4]_n$  reaccionan con la humedad atmosférica y se transforman en **gel de Sílice** y alcohol etílico.

La reacción de policondensación puede ser esquematizada en el siguiente modo:



El **gel de Sílice** gracias a la fuerte unión química que se establece con el soporte otorga a la superficie tratada **nuevas propiedades mecánicas**.

La contemporánea presencia en la cadena polimérica del gel, de unidad siloxanica hidrófuga, permite conseguir sobre las superficies tratadas una eficaz **acción repelente al agua** preservándolas del deterioro de los agentes atmosféricos.

Estudios ejecutados en colaboración con el **Departamento de Ingeniería de los Materiales de la universidad de los Estudios de Trento**, han permitido verificar que el producto consolidante **ESTEL 1100** responde a los siguientes requisitos:

- no provoca la formación de subproductos secundarios dañinos;
- es uniformemente absorbido por la piedra y alcanza todo el material alterado, uniéndolo a la parte sana más interna;
- deja el material tratado permeable al vapor de agua;
- deja inalterado el aspecto exterior de la piedra evitando formaciones de manchas o películas brillantes y amarilleo bajo la acción de las radiaciones UV.

### EMPLEO

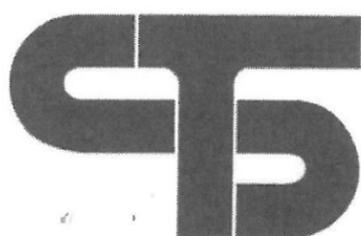
El producto consolidante **ESTEL 1100** está listo para su uso, de fácil y seguro empleo, apto a la aplicación sobre cada tipo de soporte mineral absorbente.

La superficie a tratar debe **estas seca, limpia** curada de eventuales sales eflorescentes presentes y la temperatura atmosférica debe estar comprendida entre 10°C y 25°C. La superficie a tratar no debe estar expuesta a la radiación directa del sol.

El producto consolidante **ESTEL 1100** por sus **propiedades repelentes al agua** no es apto para realizar intervenciones de preconsolidación.

En caso de que las superficies se presentaran muy dañadas con tendencia al desharinamiento, el tratamiento de preconsolidación tiene que efectuarse con el producto **ESTEL 1000**.

El producto consolidante **ESTEL 1100** puede ser aplicado por inmersión, mediante brochas de cerda o también a rociado con pulverizadores de baja presión, 0,5 bares max.



**C.T.S. ESPAÑA**

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

El material a tratar va completamente saturado hasta al rechazo del producto consolidante, de manera que se alcance el núcleo sano.

El producto consolidante **ESTEL 1100** completa su reacción después de aproximadamente **cuatro semanas** con temperatura ambiente de 20°C y humedad relativa del 40-50%.

### **ADVERTENCIAS**

A causa de la heterogeneidad de los materiales existentes, a pesar de una experiencia casi veintañal desarrollada sobre el empleo de ésteres etílicos del ácido silícico sobre varios tipos de piedra, es indispensable ejecutar tests preliminares sobre muestras del material que se quiere tratar para poder verificar:

- el grado del efecto reforzante que se consigue
- la cantidad de material a emplear, generalmente comprendida entre 0,5-3,0 l/m<sup>2</sup>,
- la ausencia de variaciones cromáticas sobre el material lapideo tratado

El producto reacciona con la humedad atmosférica; es por lo tanto indispensable cerrar herméticamente los recipientes después del empleo.

En el caso de dosificación excesiva de material es posible eliminar el exceso, antes del endurecimiento, con compresas empapadas en solventes orgánicos minerales (White Spirit, ras mineral, etc.).

### **DATOS FÍSICOS**

Principios activos	Tétra-etil-orto-silicato; Siloxanos Oligoméricos
Contenido principios activos (%)	75
Solvente	White Spirit D40
Viscosidad, cp 20°C,	5,1
Densidad (Kg/l)	0,95
* Residuo seco (%,	mínimo 35

(\*) Determinación efectuada según normativa BRITISH BOARD OF AGREEMENT ESTÁNDAR (BBA)

### **CONFECCIONES**

**Estel 1100** disponible en confecciones de 1 - 5 - 25 litros.

### **ALMACENAJE**

6 Meses en recipientes originales herméticamente cerrados y protegidos de la humedad.

Las indicaciones y los datos indicados en el presente folleto se basan en nuestra experiencia actual, sobre pruebas de laboratorio y su correcta aplicación.

Estas informaciones no deben en ningún caso sustituirse a las pruebas preliminares que es indispensable efectuar para cerciorarse de la idoneidad del producto a cada caso determinado.

C.T.S. España garantiza la calidad constante del producto pero no responde de eventuales daños causados por un empleo no correcto del material. Además, puede variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin obligación de comunicación alguno.

## Ficha técnica microesferas K1 3M

**What are 3M Glass Bubbles?**

3M™ Glass Bubbles K1 are hollow glass spheres with a typical density of 0.125 g/cc, offering good strength-to-density ratio. These general purpose spheres are designed for use in a variety of applications, including oil and gas drilling operations and as an additive in lightweight wall repair compounds. Notably, our K1 glass bubbles have low thermal conductivity, helping coatings achieve very good thermal insulation performance while minimizing heat flow.



*Decreases density and increases buoyancy to help improve efficiency and may lower material costs*

The general purpose K Series glass bubbles are the most versatile and economical 3M™ Glass Bubbles. Our 3M glass bubbles are engineered hollow glass spheres made from water-resistant and chemically-stable soda-lime borosilicate glass. Like all 3M glass bubbles, our K1 glass bubbles are water and oil resistant, providing better utility in underwater applications. Additionally, they are non-combustible and non-porous, so they do not absorb resin; and their low alkalinity makes this product compatible with most resins while providing a stable viscosity and a long shelf life.

3M glass bubbles are a superior alternative to many conventional fillers and additives such as silicas, calcium carbonate, talc, clay and other materials used in demanding applications. Our low-density spheres are used in a wide range of industries to reduce part weight, lower costs and enhance product properties — making them more reliable and affordable than many alternatives such as cenospheres and perlite.

**Strength-to-Weight Ratio**

The benefits don't end there; although these hollow spheres have thin walls, they have an isostatic crush strength of 250 psi, making them suitable for a number of buoyancy applications, including additives in buoys and shallow water buoyancy applications (e.g. up to 2,000 feet of sea water). K1 glass bubbles have a fractional survival rate of 80% or more, at 250 psi for consistent performance in highly filled resin systems.

The spherical shape of these bubbles offers a number of additional benefits, including: higher filler loading, lower viscosity/improved flow and reduced shrinkage and warpage. Higher filler loading offers the potential for lower costs. Adding to this product's versatility is its ability to be easily blended into compounds — making it adaptable to a variety of production processes including spraying, casting and molding.

**Lightweight Wall Repair Compound**

Clearly our [3M™ Glass Bubbles K1](#) (PDF, 82.47 Kb) can be used in a variety of applications. One popular use is in lightweight wall repair compounds where they provide volume and resin displacement without the weight. When using a wall repair compound, it's important to fill the hole without adding unnecessary weight to the wall. Older compounds sag under their own weight, but our small, strong and lightweight bubbles take up the majority of the volume without adversely affecting the aesthetic or structural quality of repaired walls. Additionally, the bubbles can easily be sanded to form a flush surface, and can be painted if needed. All in all, these bubbles give users great value on the dollar.

**Other Applications Include**

- Bowling balls
- Cast polyester

**PRODUCTS**

- [Abrasives](#)
- [Adhesives & Tapes](#)
- [Advanced Materials](#)
- [Films](#)
- [Filtration](#)
- [View All Products](#)

**INDUSTRIES**

- [Automotive](#)
- [Commercial Solutions](#)
- [Consumer](#)
- [Design & Construction](#)
- [Electronics](#)
- [Energy](#)
- [Government](#)
- [Health Care](#)
- [Manufacturing](#)
- [Mining, Oil & Gas](#)
- [Safety](#)
- [Transportation](#)

**BRANDS**

- [Post-it](#)
- [Scotch](#)
- [Scotch-Brite](#)
- [Command](#)
- [Filtrete](#)
- [Nexcare](#)
- [ScotchBlue](#)

**HELP**

- [Help Center](#)
- [Site Map](#)

**NEWS**

- [News Center](#)
- [Particles by 3M](#)
- [Press Releases](#)

**REGULATORY**

- [SDS, RDS, More Regulatory & Compliance Information](#)
- [Transport Information Search](#)
- [Transparency in Supply Chains and Modern Slavery Disclosures](#)

**ABOUT US**

- [About 3M](#)
- [3M Careers](#)
- [Investor Relations](#)
- [Partners & Suppliers](#)
- [Sustainability](#)
- [3Mgives](#)
- [Ethics & Compliance](#)

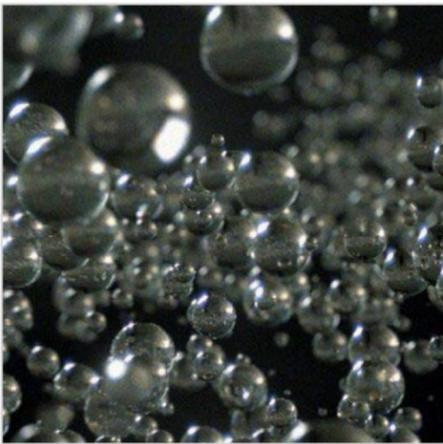
Search

**FOLLOW US**

[3M United States](#) ▢ [All 3M Products](#) ▢ [Glass Bubbles](#) ▢ [Interior Construction](#) ▢ [3M™ Glass Bubbles K1](#)



## 3M™ Glass Bubbles K1

- Decreases density and increases buoyancy to help improve efficiency and may lower material costs
- Provides excellent water and oil resistance for use in underwater applications
- Stable voids for low thermal conductivity and reduced dielectric constant
- Versatile use – adaptable to a variety of production processes

[CONTACT US](#)

[View Images](#)

[View all details](#)

### Typical Properties

<b>Application</b>	<b>Buoyancy, Insulation</b>
<b>Brand</b>	<b>3M™</b>
<b>Capabilities</b>	<b>Chemical Resistance, Lightweighting, Temperature Resistance</b>

<b>Color</b>	<b>White</b>
<b>Color (unaided eye)</b>	<b>White, powdery</b>
<b>Composition</b>	<b>Soda-lime-borosilicate glass</b>
<b>Crush Strength</b>	<b>250</b>
<b>Density (g/cc)</b>	<b>0.125</b>
<b>Industries</b>	<b>Construction, Insulation and Buoyancy, Mining, Paints and Coatings, Rubber and Plastic, Transportation</b>
<b>Median Particle Diameter</b>	<b>65</b>
<b>Net Weight</b>	<b>0.5 Pound, 180 Pound, 210 Pound, 225 Pound, 40 Pound, 5 Pound, 660 Pound, 9500 Pound</b>
<b>Net Weight (Metric)</b>	<b>0.2 kg, 102 kg, 18 kg, 2.3 kg, 300 kg, 4309.105 kg, 81.6 kg, 81.646 kg, 95 kg, 95.4 kg</b>
<b>Strength (MPa)</b>	<b>1.7</b>

## Details

- Decreases density and increases buoyancy to help improve efficiency and may lower material costs
- Provides excellent water and oil resistance for use in underwater applications
- Stable voids for low thermal conductivity and reduced dielectric constant
- Versatile use – adaptable to a variety of production processes
- Provides buoyancy in syntactic foam compositions
- Additive can easily be sanded in lightweight wall repair compounds

3M™ Glass Bubbles K1 are hollow glass microspheres that are ideal for a number of applications including – shallow (e.g. up to 2,000 feet of sea water) water flotation devices and lightweight wall repair compound. These low-cost, economical bubbles have a very low typical density (0.125 g/cc) and an isostatic crush strength of 250 psi.

- Paints and coatings
  - Drill riser buoyancy modules
  - Caulk
  - Adhesives
  - Emulsion explosives
  - Polyester putty
  - Potting compounds
  - Tooling boards
  - Spackling compound
- 

## Resources

### Brochures

[Glass Bubbles for Mining Brochure \(PDF, 364.3KB\)](#)

[3M™ Glass Bubbles Compounding and Injection Molding Guidelines \(PDF, 685.0KB\)](#)

[3M™ Glass Bubbles \(PDF, 1.9MB\)](#)

### Data Sheets

[3M™ Glass Bubbles K, S and iM Series \(PDF, 82.5KB\)](#)

### Instructions

[3M™ Glass Bubbles Metering and Mixing Guide \(PDF, 323.4KB\)](#)

### SDS

[3M™ Glass Bubbles, Types K and S \(PDF\)](#)

### RDS

[3M™ Glass Bubbles, Types K and S \(PDF\)](#)

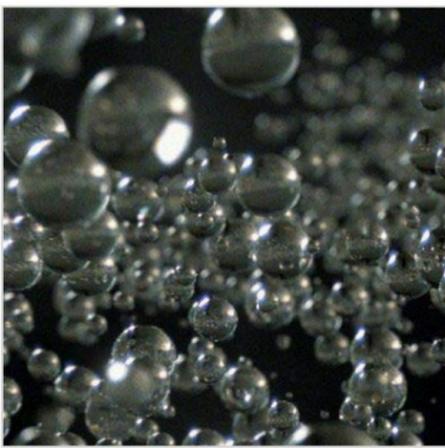
Ficha técnica microesferas K11 3M

3M™ Glass Bubbles K11 | 3M United States

[3M United States](#) ▾ [All 3M Products](#) ▾ [Glass Bubbles](#) ▾ 3M™ Glass Bubbles K11



## 3M™ Glass Bubbles K11



- Decreases weight, increases buoyancy and may lower material costs
- Provides excellent water and oil resistance for use in underwater applications
- Stable voids for low thermal conductivity and reduced dielectric constant
- Versatile use – adaptable to a variety of production processes

**CONTACT US**

[View all details](#)

[View Images](#)

### Typical Properties

<b>Brand</b>	<b>3M™</b>
<b>Capabilities</b>	<b>Chemical Resistance, Lightweighting, Temperature Resistance</b>
<b>Color</b>	<b>White</b>

[https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud)[7/15/2019 9:38:38 PM]

3M™ Glass Bubbles K11 | 3M United States

<b>Color (unaided eye)</b>	<b>White, powdery</b>
<b>Composition</b>	<b>Soda-lime-borosilicate glass</b>
<b>Crush Strength</b>	<b>200</b>
<b>Density (g/cc)</b>	<b>0.11</b>
<b>Industries</b>	<b>Paints and Coatings, Transportation</b>
<b>Median Particle Diameter</b>	<b>65</b>
<b>Net Weight</b>	<b>180 Pound, 225 Pound</b>
<b>Net Weight (Metric)</b>	<b>102 kg, 81.646 kg</b>
<b>Strength (MPa)</b>	<b>1.38</b>

## Details

- Decreases weight, increases buoyancy and may lower material costs
- Provides excellent water and oil resistance for use in underwater applications
- Stable voids for low thermal conductivity and reduced dielectric constant
- Versatile use – adaptable to a variety of production processes
- Enhances features in sporting goods for improved product

3M™ Glass Bubbles K11 are hollow glass microspheres with a typical density of 0.11g/cc and good strength-to-density ratio. These general purpose glass bubbles are a reliable, light-weight additive used in a variety of industries and applications, including sporting goods.

### What are 3M™ Glass Bubbles?

Our 3M™ Glass Bubbles K11 are engineered hollow glass spheres made from water-resistant and chemically stable soda-lime borosilicate glass. Like all 3M™ Glass Bubbles, our K11 product is water and oil resistant, providing better utility in oil and gas applications. Additionally, they are non-combustible and non-porous, so they do not absorb resin; and their low alkalinity makes this product compatible with most resins while providing a stable viscosity and a long shelf life.

[https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud)[7/15/2019 9:38:38 PM]

3M™ Glass Bubbles K11 | 3M United States

[Learn more about 3M™ Glass Bubbles](#) (PDF, 1.2 Mb)

The problem: some additives add unnecessary weight to the finished product. The solution: 3M glass bubbles are a lightweight additive, solving this common manufacturing problem. 3M glass bubbles are a superior alternative to many conventional fillers and additives such as silica, calcium carbonate, talc, clay and other materials used in demanding applications. The small but strong hollow glass spheres decrease density without compromising the strength and overall quality of finished pieces. Toward that end, our low-density spheres are used in a wide range of industries to reduce part weight, lower costs and enhance product properties — making them more reliable and affordable. Additionally, this product replaces resin and fillers while maintaining dimensional stability.

### Improving Sporting Goods

[3M glass bubbles K11](#) (PDF, 82.47 Kb) can be used for a number of applications. 3M glass bubbles K11 can be used as an additive to enhancing features in sporting goods. By adding our K11 glass bubbles to sporting goods — such as bowling balls — manufacturers get an additive that can be used to reduce, or control, density without compromising the strength of the finished product. Imagine a lighter bowling ball, or fishing lure, that retains or improves characteristic features like strength and surface finish or dynamic action in the water.

### Typical Applications

- Bowling balls
- Paints and coatings
- Cast polyester
- Caulk
- Explosives
- Polyester putty
- Sealants
- Adhesives
- Potting compounds
- Tooling boards
- Spackling compound

---

## Resources

### Brochures

[3M™ Glass Bubbles](#) (PDF, 1.9MB)

[https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~//3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~//3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud)[7/15/2019 9:38:38 PM]

3M™ Glass Bubbles K11 | 3M United States

[3M™ Glass Bubbles Compounding and Injection Molding Guidelines \(PDF, 685.0KB\)](#)

**Data Sheets**

[3M™ Glass Bubbles K, S and iM Series \(PDF, 82.5KB\)](#)

**Instructions**

[3M™ Glass Bubbles Metering and Mixing Guide \(PDF, 323.4KB\)](#)

**SDS**

[3M™ Glass Bubbles, Types K and S \(PDF\)](#)

**RDS**

[3M™ Glass Bubbles, Types K and S \(PDF\)](#)

<b>PRODUCTS</b>	<b>INDUSTRIES</b>	<b>BRANDS</b>
<a href="#">Abrasives</a>	<a href="#">Automotive</a>	<a href="#">Post-it</a>
<a href="#">Adhesives &amp; Tapes</a>	<a href="#">Commercial Solutions</a>	<a href="#">Scotch</a>
<a href="#">Advanced Materials</a>	<a href="#">Consumer</a>	<a href="#">Scotch-Brite</a>
<a href="#">Films</a>	<a href="#">Design &amp; Construction</a>	<a href="#">Command</a>
<a href="#">Filtration</a>	<a href="#">Electronics</a>	<a href="#">Filtrete</a>
<a href="#">View All Products</a>	<a href="#">Energy</a>	<a href="#">Nexcare</a>
	<a href="#">Government</a>	<a href="#">ScotchBlue</a>
	<a href="#">Health Care</a>	
	<a href="#">Manufacturing</a>	
	<a href="#">Mining, Oil &amp; Gas</a>	
	<a href="#">Safety</a>	
	<a href="#">Transportation</a>	

[https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud)[7/15/2019 9:38:38 PM]

3M™ Glass Bubbles K11 | 3M United States

<b>HELP</b> <a href="#">Help Center</a> <a href="#">Site Map</a>	<b>NEWS</b> <a href="#">News Center</a> <a href="#">Particles by 3M</a> <a href="#">Press Releases</a>	<b>REGULATORY</b> <a href="#">SDS, RDS, More Regulatory &amp; Compliance Information</a> <a href="#">Transport Information Search</a> <a href="#">Transparency in Supply Chains and Modern Slavery Disclosures</a>	<b>ABOUT US</b> <a href="#">About 3M</a> <a href="#">3M Careers</a> <a href="#">Investor Relations</a> <a href="#">Partners &amp; Suppliers</a> <a href="#">Sustainability</a> <a href="#">3Mgives</a> <a href="#">Ethics &amp; Compliance</a>
--	---	---	---

**FOLLOW US**

[Change Location](#)  
United States - English

 [Legal](#) | [Privacy](#) | [DMCA](#)  
© 3M 2019. All Rights Reserved.

The brands listed above are trademarks of 3M.

https://www.3m.com/3M/en\_US/company-us/all-3m-products/~3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud[7/15/2019 9:38:38 PM]

Diferencias entre las microesferas k 11 y k1

Typical Properties	K11	K1
Brand	3M™	3M™
Capabilities	Chemical Resistance, Lightweighting, Temperature Resistance	Chemical Resistance, Lightweighting, Temperature Resistance
Color	White	White
Color (unaided eye)	White, powdery	White, powdery
Composition	Soda-lime-borosilicate glass	Soda-lime-borosilicate glass
Crush Strength	200	250
Density (g/cc)	0,11	0,125
Industries	Paints and Coatings, Transportation	Construction, Insulation and Buoyancy, Mining, Paints and Coatings, Rubber and Plastic, Transportation
Median Particle Diameter	65	65
Net Weight	180 Pound, 225 Pound	0.5 Pound, 180 Pound, 210 Pound, 225 Pound, 40 Pound, 5 Pound, 660 Pound, 9500 Pound
Net Weight (Metric)	102 kg, 81.646 kg	0.2 kg, 102 kg, 18 kg, 2.3 kg, 300 kg, 4309.105 kg, 81.6 kg, 81.646 kg, 95 kg, 95.4 kg
Strength (MPa)	1,38	1,7

K11

[https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~3M-Glass-Bubbles-K11/?N=5002385+3292670807&rt=rud)

K1

[https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~3M-Glass-Bubbles-K1/?N=5002385+3292670809&rt=rud](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~3M-Glass-Bubbles-K1/?N=5002385+3292670809&rt=rud)

Dentro de las diferencias entre las microesferas K1 y K11 de 3M vale la pena resaltar la densidad, siendo las K11 menos densas que las K1, a pesar de tener el mismo diámetro de partícula.

Ficha técnica del silicato del Genapol

	<b>FICHA TECNICA</b> <b>GENAPOL 28%</b>	Página 1 de 1
		Fecha Actualización: Abril 27 de 2017

**1. IDENTIFICACION**

- **FORMULA QUIMICA:** C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>NaO<sub>3</sub>S
- **NOMBRE COMERCIAL:** LAURIL ETER SULFATO DE SODIO 28%
- **PESO MOLECULAR:** 382 g/mol
- **SINÓNIMOS:** LASS

**2. DESCRIPCION**

Líquido viscoso, translucido, ligeramente amarillo y de olor característico.

**3. USOS**

Detergente aniónico 100% biodegradable procedente de la sulfatación de un alcohol graso natural. Tiene un poder espumante alto, una alta solubilidad, alto poder de humectación y suave con la piel. Es usado en formulaciones de jabones, champús, perfumes y otros. Tiene un poder espumante alto, una alta solubilidad y un alto poder de humectación.

**4. ESPECIFICACIONES TECNICAS**

Ítem	Especificación	Unidad
Ingrediente activo	26.5 – 29.0	% n/m
Peso molecular	386 – 392	g/mol
Aceite libre	MAX 1.0	%n/m
Color Klett	MAX 15	° Klett
Color a 400 nm	MAX 0.18	N/A
pH solución al 10%	7.0 – 9.0	N/A
Gravedad especifica	1.03 – 1.05	g/ml
Viscosidad	70 – 200	Cp
Temperatura	25	° C
Sulfatos	MAX 1.0	%n/m Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Cloruros	MAX 0.5	%n/m NaCl
Hierro	MAX 5	Mg Fe/L

**5. INFORMACIÓN ADICIONAL**

Los datos proporcionados en esta hoja, son tomados de la ficha original suministrada por nuestro proveedor, este documento debe utilizarse solo como guía para la manipulación del producto con la precaución adecuada, DISTRIBUIDOR DE PRODUCTOS QUIMICOS SESAN SAS no asume responsabilidad alguna por reclamos, perdidas o daños que resulten del uso inapropiado de la mercancía y/o de un uso distinto para el que fue concebida. El usuario debe hacer sus propias investigaciones para determinar la aplicabilidad de la información consignada en la presente hoja según sus propósitos particulares.

Información sobre el Genapol líquido 30%

Distribuidores de Genapol en Colombia:

Proquimort: Calle #68d-25 Bogotá

Tel +1 4111916

Industria química Multicolor

Calle 33 #20-19 Bucaramanga

Tel +7 6451368

Quimesco: Diagonal 24C #96-38 Fontibón

Alma Química: Calle 70 #110ª-17 Bogotá

Tel +1 4339767

Cel 3106804563 3107734059