

REPARACIÓN DE GRIETAS ESTRUCTURALES USANDO *GROUTS* DE BARRO LÍQUIDO EN MUROS ARQUEOLÓGICOS DE TIERRA: EXPERIENCIAS EN TAMBO COLORADO

Henry Eduardo Torres; Véronique Wright; Gianella Pacheco; Oliver Huaman

Proyecto de Investigación Tambo Colorado, Perú. etopec@gmail.com

Palabras clave: barro líquido, *grouts*, adobe, estructuras.

Resumen

La degradación de las construcciones en tierra tiene como resultado, entre otras patologías, la formación de grietas, pérdida de materiales, disminución en la rigidez de las estructuras, etc. Normalmente la reparación de estas grietas en muros que forman parte de un edificio patrimonial consistía en la reposición de la mampostería alrededor de donde se había formado la grieta, en otras ocasiones, se recurría al resanado perfilando la grieta, al desarmado del muro en la zona afectada, etc. Estas formas de conservación eran muy intrusivas y alteraban notoriamente el aspecto del elemento intervenido. Por estas razones se consideró necesario aplicar otro tipo de procedimiento más compatible y que altere en menor medida las estructuras conservadas, para preservar su estabilidad. El empleo de barro líquido ofrece una alternativa de solución, la aplicación de inyecciones de barro líquido en las grietas da la posibilidad de conservar un muro u otro elemento agrietado sin alterar su aspecto original, además permite llegar a profundidad dentro del muro en grietas de muy poco espesor logrando consolidar un mayor volumen de la estructura. En el Perú y a nivel mundial existen experiencias hechas en laboratorio que han obtenido buenos resultados y que se pudo recopilar; Sin embargo las conclusiones de su aplicación práctica en construcciones arqueológicas todavía no han sido muy difundidos a pesar de los resultados positivos de los ensayos realizados. El presente trabajo trata acerca de los procedimientos para la aplicación de *grouts* de barro líquido utilizados en la conservación de muros arqueológicos precolombinos Inca, además de los cuidados en la preparación de las mezclas así como de las limitaciones encontradas durante su aplicación en campo.

INTRODUCCIÓN

Habitualmente las técnicas de conservación, con el objetivo de reponer parte de la resistencia en muros que presentan agrietamientos estructurales, consisten en desarmar y rearmar los muros, estos procedimientos, sin embargo, tienen un impacto negativo sobre la arquitectura arqueológica, por esta razón se ha analizado la posibilidad de usar otros que tengan un impacto menor en la arquitectura y que al mismo tiempo recupere la resistencia total o parcial del muro sin alterar su aspecto original, siguiendo las normativas internacionales de conservación vigentes.



Figura 1. Vista de muros arqueológicos de tierra con agrietamientos que afectan su estabilidad

A manera de evaluación se hizo el análisis de fortalezas oportunidades, amenazas y debilidades para evaluar objetivamente el uso de las inyecciones de barro líquido en muros

arqueológicos de tierra, de esta forma se ha logrado ponderar todas las variables implicadas y poder considerar de antemano las dificultades que se tendrán para plantear alternativas de solución a los problemas.

Tabla 1. Evaluación del uso de los *grouts* de barro líquido en muros arqueológicos.

<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asegura en mayor medida la autenticidad del elemento conservado puesto que mantiene la armonía con los diseños originales (color, textura, forma y escala). • Recupera parcialmente la resistencia original del muro. • La conservación resultante no resalta o domina sobre la original y respeta su potencial arqueológico. • Se tiene un buen conocimiento acerca de la técnica del uso del barro en la conservación de arquitectura. • Se pueden inyectar materiales compatibles con los materiales originales. 	<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • No puede medirse fácilmente la efectividad y alcance de las inyecciones de mortero líquido dentro de los muros agrietados. • Requiere de equipos sofisticados para medir su eficiencia. • Falta de estudios de laboratorio que representen las condiciones estructurales reales de los muros arqueológicos al momento de ser intervenidos. • Es una técnica de conservación irreversible.
<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permitiría conservar una mayor cantidad de elementos arquitectónicos. • Los proyectos arqueológicos tienen la oportunidad de experimentar el uso de <i>grouts</i> con toda la experiencia que poseen en el uso de barro como material de conservación. 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • No existen muchas experiencias reportadas sobre su uso en muros de adobe en sitios arqueológicos. • Al no ser un método de fácil comprobación acerca de su efectividad puede haber resistencia a su uso por parte de los conservadores.

OBJETIVO

El objetivo del presente artículo es discutir el uso de la inyección de *grouts* de barro líquido en muros arqueológicos a partir de las experiencias en campo estudiando los procedimientos más adecuados para su correcta aplicación y notificando acerca de las restricciones encontradas para lograr que esta técnica de conservación sea lo más efectiva posible.

PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN MUROS ARQUEOLÓGICOS

Las edificaciones arqueológicas presentan una serie de patologías que tienen su origen en diferentes factores, sean estos por la propia composición del material, o sean causadas por el medioambiente o debido también a la configuración arquitectónica del edificio. A manera de ejemplo, en el año 2013 el Proyecto Tambo Colorado (Proyecto de Investigación Tambo Colorado, 2013) realizó el diagnóstico general del Palacio Norte 1 del sitio arqueológico encontrando veinte tipos de patologías, las cuales fueron agrupadas en 4 tipos: grietas, pérdidas, deterioros e inestabilidad; Estos cuatro grupos se subdividen a su vez en patologías específicas, dentro de ésta clasificación las grietas son las que interesan pues son las patologías que pueden ser reparadas mediante la técnica de inyecciones de barro líquido, de esta forma se puede identificar cuáles son las patologías que serán tratadas con esta técnica de conservación.

Tabla 2. Patologías estructurales registradas en el sitio Tambo Colorado

GRIETAS	PÉRDIDAS	DETERIOROS	INESTABILIDAD
Grietas en aberturas de vanos	Pérdida drástica de la sección del muro	Daño en la intersección de muros (DI).	Desplazamiento relativo entre muros
Grieta diagonal en esquina	Pérdida parcial del muro (PP)	Daños en la base del muro (DB).	Balaceo fuera del plano del muro.
Grieta vertical en el plano del muro	Pérdida de dinteles (PD)	Daño por agentes biológicos/vandalismo (DV).	Inestabilidad local de segmento de muro.
Grietas por corte en el plano	Pérdida de la esquina del muro (PE)		Riesgo de colapso de la estructura (RC).
Grietas por daños fuera del plano (Grietas horizontales)	Pérdida total de muros (PT)		
Grietas generalizadas			
Grietas en la sección transversal del muro			
Grietas horizontales en la parte superior			



Figura 2 – Patologías que afectan a los muros del sitio arqueológico.
(Cortesía Proyecto Tambo Colorado)

Estas patologías en muros de adobe son similares a las detalladas en el informe de Getty Conservation Institute (Leroy; Kimbro; Ginell, 2002) que fueron encontradas en construcciones “modernas” que presentaban muros de poco espesor. Los muros del sitio arqueológico Tambo Colorado miden entre 60 y 90 cm de ancho; Los que fueron ensayados por los especialistas miden en promedio 25 cm (Blondet et al, 2014) y el desarrollo de los agrietamientos que se han observado en campo fueron similares a los detectados en ellos. Sin embargo, en otro tipo se encuentran las estructuras, construidas con técnicas de adobe o tapial, tienen 2 metros o más de espesor, presentan una sección rectangular, tienen varias toneladas de peso por metro lineal y debido a su gran espesor las formas de agrietamiento son diferentes pues estas estructuras trabajan como muros de gravedad es decir que su estabilidad se debe a su elevado peso, en este caso las grietas se desarrollan con mayor énfasis en la sección transversal y recorren el interior del muro a través de las juntas de mortero y de los adobes fracturados por varios metros dentro de la estructura, estas características convierten en todo un desafío su conservación siendo muy complejo el proceso de estabilización estructural.



Figura 3 – Agrietamiento de muros. Fuente: Manual de conservación Pachacamac

METODOLOGÍA ADOPTADA

Estado del arte

En los últimos años el uso de inyecciones de barro líquido como alternativa en la conservación de muros de tierra ha tomado cierta importancia existen numerosas publicaciones e investigaciones y análisis de laboratorio llevados a cabo intentando recrear las condiciones reales a las que son sometidas las estructuras de tierra. Por ejemplo los trabajos efectuados en la Universidad Católica del Perú (Blondet et al, 2008) donde se ensayaron muretes de adobe y se repararon con barro líquido, la Tesis doctoral de Rui Silva (2013), donde menciona acerca de las características de los *grouts*: Para la inyección del *grout* es necesario saber de antemano sus propiedades, ya que la eficacia y la viabilidad de este tipo de intervención dependen de ellos. Por lo tanto, las propiedades más importantes en estado fresco y en estado endurecido son a saber, la fluidez, penetrabilidad, la segregación, la retención de agua, tiempo de fraguado, resistencia mecánica, la variación del volumen y la adherencia¹.

De la misma forma en otro trabajo de tesis de los ingenieros Edward Soto y Carlos Sosa donde evaluaron las bondades y resultados de las inyecciones de barro líquido, tesis que después se vuelca en un artículo (Blondet et al, 2014) con resultados muy satisfactorios, todas ellas en construcciones de adobe. También es importante resaltar el trabajo de Chaudry (2007) y su aplicación en campo que se revisó detenidamente. Sin embargo el tema pendiente sigue siendo su aplicación práctica en muros arqueológicos que es donde se han detectado varias condiciones que deben ser tomadas en cuenta para considerar esta técnica de conservación como una alternativa viable y efectiva.

EXPERIENCIAS EN CAMPO: TAMBO COLORADO

Debido a las especiales condiciones del sitio arqueológico Tambo Colorado, para los trabajos de consolidación estructural se optó por aplicar inyecciones de barro líquido de tal forma que no se afectase en demasía las superficies pintadas pues todo el sitio arqueológico presenta pintura mural en sus paramentos. Las inyecciones de barro líquido se hicieron siguiendo las especificaciones y recomendaciones vertidas en la bibliografía y ensayos de laboratorio desarrollados por los investigadores consultados. A continuación se detallan los procedimientos seguidos:

¹ La traducción es del autor

Detección de grietas

El primer paso es identificar las grietas en el muro, no sólo en el paramento sino también en su desarrollo al interior para poder tener control de la inyección, hacer la limpieza previa y también poder conocer el alcance del trabajo y que éste sea efectivo. El inconveniente encontrado es la *dirección arbitraria de las grietas*. Los agrietamientos al interior de los muros arqueológicos de tierra siguen direcciones arbitrarias, no siguen un plano horizontal o vertical sino que se desarrollan a través de las juntas de mortero, y también rompiendo los adobes en dos o más partes, siguiendo entonces direcciones totalmente difíciles de detectar más aún cuando el muro mide uno o dos metros de espesor, esto debido a la fragilidad del material y a la acumulación de sismos que van agrietando el muro mucho más con cada sismo que sucede. En relación al espesor de las grietas a ser inyectadas, Rui Silva (comunicación personal) nos hizo la siguiente recomendación “no aconsejaría para inyectar lechadas de barro en las grietas con un ancho mayor de 30 mm en la mayor parte de sus extensiones”². En campo sin embargo existen grietas de mayor espesor, en este caso se ha convenido por consejos del especialista y por experiencias propias combinar la inyección de barro líquido con otras técnicas de reparación para lograr mayor efectividad de la conservación integral de la estructura trabajada.

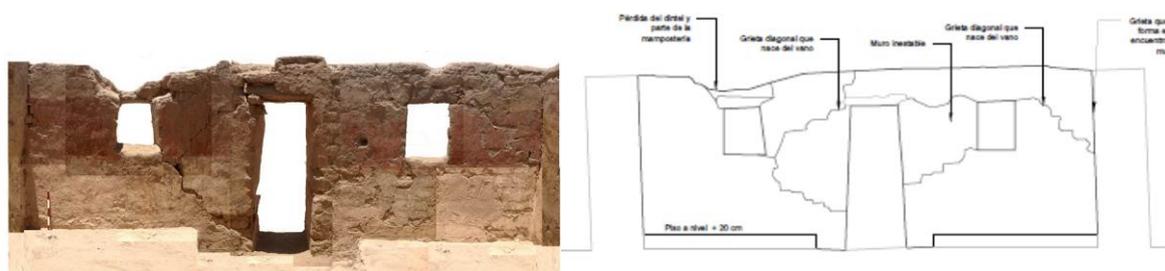


Figura 4 – Plano de grietas del Recinto 62 en Tambo Colorado

Limpieza de las grietas

La limpieza de las grietas constituye el primer paso fundamental en los trabajos en muros arqueológicos, debe ser a profundidad para evitar dejar polvo y suciedad al interior que no permita la adherencia a los adobes y también que sea posible la distribución de la inyección al interior del muro. Es importante resaltar que las grietas por lo general estaban llenas de materiales pulverizados del muro y con una posterior colonización de insectos arácnidos.

Los trabajos de limpieza fueron realizados mecánicamente, en el caso de las colonizaciones de insectos, el retiro fue realizado con espátulas pequeñas puesto que se encontraban fuertemente adheridas a la piedra de los dinteles en los vanos.



Figura 5 – Limpieza de las grietas antes de la inyección de barro líquido empleando diversas herramientas

² La traducción es del autor

Diseño de la mezcla

Para el diseño de las mezclas en campo se analizó la granulometría de los muros de adobe o tapial mediante el uso de probetas graduadas, además son muy útiles los ensayos previos hechos en laboratorio pues nos dan una referencia de las proporciones de arena y arcilla en los adobes arqueológicos.

Previamente a la aplicación del agua se mezclaron los materiales en estado seco hasta lograr una mezcla uniforme; La tierra arcillosa fue tamizada con la malla N°50 (0,30 mm). De la misma forma la parte de arena fue limpiada y tamizada con el tamiz N°50 (0,30 mm) evitando en todo caso elementos que puedan obstruir tanto los conductos de aplicación como mangueras o también las grietas más pequeñas del muro conservado. Posteriormente adicionar el agua la cual puede variar dependiendo de dos factores, se debe considerar el contenido de humedad de los materiales y evitar su segregación, el segundo está condicionado a la necesidad de obtener mayor fluidez en la mezcla para poder alcanzar grietas de poco espesor dentro del muro.

La proporción de la mezcla empleada en los trabajos de inyección es presentada en la tabla 3.

Tabla 3. Proporciones aproximadas en volumen para los *grouts* aplicados en campo

Aplicación	Arena (% vol)		Tierra arcillosa (% vol)	Agua (% vol)
Mortero líquido para inyección en grietas	70%		30%	50%
	arena gruesa	arena fina		
	40%	30%		

Control de segregación de los materiales

La segregación de los materiales se controló mediante la aplicación de delgadas y sucesivas capas de *grout* evitando en todo momento aplicar capas gruesas del mortero. La aplicación de capas sucesivas y de poco espesor reduce la segregación, favorece el secado de la aplicación, evita el excesivo humedecimiento del muro que puede provocar eflorescencias de sales solubles y con ello la pulverización de los adobes.

Se han realizado algunas pruebas de control de campo, muy sencillas que permiten verificar la cantidad de agua que se tiene que añadir a la mezcla para obtener trabajabilidad y control de la segregación. Para la prueba se usaron mezclas de material preparado con agua para mezcla en porcentajes del 30%, 50% y 60%; Las tres muestras preparadas dieron como resultado una sedimentación del orden del 5% en caso de la mezcla con agua al 30%, y con 25% de sedimentación en los dos últimos casos (50% y 60%), en el primer caso se consideró óptimo, sin embargo hace falta añadir que un porcentaje del agua será absorbida por los materiales en contacto, como el adobe o tapial. Esta velocidad de absorción de agua debe ser contabilizada dentro del agua de mezcla y el material no pierda **por succión** el agua necesaria para un fraguado.

Control de la penetrabilidad al interior del muro

Para controlar que la inyección penetre dentro de las grietas invisibles desde fuera fue necesario además ubicar puntos de control que permitieran verificar que la inyección cubría la mayor área posible y de esa forma poder controlar la penetración del fluido al interior del muro agrietado. Por lo general las grietas conectan entre sí y es importante conocer su recorrido para ubicar las zonas de control.

Medición de la adherencia

La adherencia es quizá una de las propiedades más importantes de las inyecciones de barro líquido. Sin embargo en vista de lo necesario que era medir la eficiencia de este

procedimiento decidimos evaluar mediante pruebas de tracción por flexión en campo, tal como se han hecho en las pruebas de laboratorio, con las piezas de adobe en dos puntos de apoyo y cargadas con una fuerza puntual al centro.

De los ensayos que hemos realizado en campo, a pesar de las limitaciones que ello supone, se trató de que fueran similares a los realizados por Rui Silva (2013, p.140). El investigador obtuvo en promedio 26%, 17%, 55% y 74% de recuperación del esfuerzo de flexión para diferentes espesores de grietas. En nuestro caso el espesor promedio de las grietas fue de 10 mm y calculamos un porcentaje de recuperación de 14% y 36% para los esfuerzos de flexión, en los demás ensayos el porcentaje de recuperación fue casi nulo pues las inyecciones no soportaron los esfuerzos, posiblemente debido a un inadecuado procedimiento. A pesar de ello los resultados que se obtuvieron en dos de las muestras tienen porcentajes de recuperación que están dentro de los encontrados por Silva y más bien alejados de los promedios encontrados por Blondet et al. (2008)³. Es importante destacar que estos últimos resultados fueron de ensayos de corte similares a los empleados por Silva, sin embargo este último autor muestra porcentajes de recuperación mucho más conservadores (Silva, 2013, p.152).

Tabla 4. Resultado de los ensayos de tracción por flexión en adobes conservados en campo

Muestra	Po (kgf)	Pi (kgf)	L (cm)	b (cm)	h (cm)	Módulo de rotura (kgf/cm ²)	Módulo de rotura después de inyección (kgf/cm ²)	% de recuperación
1	247,35	34,95	45	25	16	2,61	0,37	14,1%
2	294,68	N.A.	40	35	13	2,99	Falló	Ninguno
3	276,55	N.A.	44	35	10	5,21	Falló	Ninguno
4	88,85	N.A.	39,5	32	10	1,65	Falló	Ninguno
5	126,7	N.A.	37	31	10	2,27	Falló	Ninguno
6	68,5	25	34,5	29	10	1,22	0,45	36,5%

Dónde: Po es la carga inicial (kgf);

Pi es la carga aplicada después de la inyección (kgf);

L es la luz entre apoyos (cm);

b es el ancho del adobe (cm);

h es la altura del adobe (cm)



Figura 6 – Reparación de adobes con inyección de barro líquido para los ensayos de flexión

³ En dicho estudio Blondet et al (2008) obtuvo resultados para esfuerzos por corte con los siguientes porcentajes de recuperación: 114 %, 72 %, 108 %, 43 %, 134 %,

Medición del PH

Como medida complementaria la bibliografía consultada recomienda la medición del PH del muro obteniendo para ello una muestra *in situ* o en su defecto la tabla de registro que se tiene de otros adobes similares. La medición se realiza utilizando un medidor portátil, empleando un rango de ± 2 se consideraron las mezclas adecuadas (Oliveira, 2011).

Inyección del barro líquido

Previamente se procede a sellar la grieta por segmentos para evitar que el barro se escape. Este caso es diferente a los empleados en las experiencias de laboratorio que usaban sellos de yeso, en este caso se ha recurrido a dos alternativas el uso de una banda de espuma de polietileno o al sellado con el mismo barro en forma de pasta.



Figura 7 – Proceso de inyección del barro líquido en las grietas, se usaron instrumentos para ejercer presión o por gravedad. Fotos: Proyecto Tambo Colorado (2014)



Figura 8 – Resultados de la inyección de barro líquido en muros de adobe

La inyección se hizo siguiendo los siguientes procedimientos:

Primero se cuidó que la mezcla fuese lo suficientemente fluida para que pueda deslizarse en todas las superficies de la grietas dentro del muro. La textura del *grout* va desde el muy líquido hasta el cremoso.

Segundo, se establecieron puntos de control en el muro para verificar que el *grout* llenase la mayor cantidad de espacio vacío dentro del muro, se ubicaron varios puntos de control a través de orificios naturales presentes en el muro.

Tercero, fue necesario hacer una limpieza exhaustiva para remover todo el material pulverizado depositado en las grietas y permitir que el mortero fluyera sin problemas, además previamente se humectaron las zonas a inyectar con el fin de humectar las caras en contacto y evitar que se absorba el agua del fluido causando contracciones que impidiesen una adecuada adherencia entre ambos elementos.

Finalmente con el objetivo de evitar contracciones por secado o cambios en el volumen del *grout* que afectase el resultado final fue necesario realizar el trabajo en forma progresiva en capas superpuestas. Con el fin tener un mejor control de la aplicación, en algunas ocasiones el tiempo transcurrido entre dos capas aplicadas eran de 1 día con lo cual fue posible no humedecer demasiado el muro y evaporar un poco del agua para evitar posibles problemas asociados a la presencia de esta humedad como eflorescencias de sales solubles.

Medición de la eficiencia

Una forma de controlar la calidad y el alcance de las inyecciones dentro de las estructuras conservadas es emplear el Ultrasonido, como se sabe éste es uno de los ensayos no destructivos más empleados debido a su fácil manejo, no requiere grandes requisitos de Hardware y Software y la inspección se puede hacer en el mismo lugar de los trabajos. El empleo de estos equipos permitiría detectar las grietas al interior de los muros y posteriormente evaluar si después de las inyecciones éstas fueron rellenadas convenientemente. No se contó en esta ocasión con dicha herramienta.

RESTRICCIONES ENCONTRADAS

Existen condiciones de los trabajos de campo que los trabajos de laboratorio no han reproducido, estas condiciones que deben ser consideradas para que sea realmente una alternativa viable y aplicable por los conservadores de arquitectura de tierra:

- La arbitrariedad de la dirección de las grietas al interior de los muros arqueológicos de tierra tal como se explicó detalladamente en el presente artículo.
- El control restringido del alcance de las inyecciones al interior del muro, debido a lo expuesto en el ítem precedente, la dificultad de no poder conocer el recorrido de las grietas al interior del muro originan una falta del control de las inyecciones al interior del muro.
- Los límites que deben considerarse del espesor de las grietas a ser inyectadas, en un mismo elemento se puede encontrar espesores de 5 -10 mm hasta los 5 cm. De acuerdo a la bibliografía y a la experiencia en el uso del barro, las aberturas mayores a una pulgada o 25 mm que han sido inyectadas no garantizan por sí solas una adecuada transferencia de esfuerzos por tanto requiere de trabajos de conservación complementarios para una mejor consolidación estructural del elemento trabajado.
- Es importante hacer una limpieza profunda de las grietas pues generalmente se encuentran llenas de material pulverizado, etc. Un problema derivado de los agrietamientos al interior de los anchos muros andinos es el no poder limpiarlos adecuadamente y con ello hacer inyecciones con efectividad cero. La limpieza de las grietas para inyectarlas de mortero es una de las tareas más importantes y requiere cuidado y esmero, todavía es una restricción cuando se hacen los trabajos de campo que sin embargo se está logrado superar con el uso de aire a velocidad controlada.

CONSIDERACIONES FINALES

Las experiencias vertidas en el presente artículo están referidas a trabajos de campo efectuados dentro del Proyecto de Investigación Tambo Colorado (Temporadas de campo 2013-2014). En la temporada última se aplicaron inyecciones de *grouts* de barro líquido donde se consideró oportuno y de ellos se han extraído las observaciones y alcances que se describen.

Los *grouts* empleados en los trabajos de conservación desarrollados en el presente artículo son fabricados con barro líquido no modificado *unmodified mud grouts* (Silva et al, 2012), es decir *grouts* sin la adición de aditivos o materiales que alteren su comportamiento con el objetivo de que estos sean lo más complementarios y compatible posible con los muros arqueológicos de nuestro caso de estudio.

Los muros arqueológicos en condiciones agrietadas son estructuras en riesgo. Las grietas estructurales comprometen su estabilidad, al ser construcciones patrimoniales como en el caso del sitio Tambo Colorado que presentan enlucidos con aplicación de pigmento en su superficie hizo necesario tener cuidado en la aplicación de esta técnica, considerando además que esta capa de enlucido también se encuentra en estado delicado y es necesario conservarla previamente. En segundo lugar debía tenerse extremo cuidado en el proceso de limpieza de las grietas antes de la aplicación entre otras limitaciones que se han descrito en el presente trabajo.

Los resultados obtenidos empleando los *grouts* de barro líquido son satisfactorios, los muros intervenidos con esta técnica después de un año de aplicación han mostrado una buena adherencia y no se ven pulverizados o presentan grietas producto de esfuerzos o desplazamientos, las grietas inyectadas pueden monitorearse. También es preciso que se realice una limpieza a profundidad y lo más prolija posible para que el barro líquido pueda penetrar y adherirse lo mejor posible a las superficies en contacto.

Las aplicaciones en grietas de espesores mayores a 25 mm requieren de trabajos complementarios tales como restauración parcial de la mampostería, colocación de anclajes, etc. Estas técnicas combinadas son efectivas, se han monitoreado después de un año de aplicadas no encontrándose problemas.

Los trabajos mostrados aquí no han considerado el uso de otros aditivos tales como cemento o yeso u otros orgánicos como almidón de arroz o el mucílago de cactus, estos ensayos estarían pendientes para seguir con las experimentaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blondet, M.; Vargas, J.; Iwaki, C.; Morales, K. (2008). Uso de *grouts* de barro líquido para reparar fisuras estructurales en muros históricos de adobe. En: V Congreso de Tierra en Cuenca de Campos, Valladolid, 2008.

Blondet, M; Vargas, J; Sosa, C; Soto, J. (2014). Using mud injection and an external rope mesh to reinforce historical earthen buildings located in seismic areas. SAHC2014 – 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions. Mexico City, Mexico, 14–17 October 2014.

Chaudhry, Ch. (2007). Evaluation of grouting as a strengthening technique for earthen structures in seismic areas: Case study Chiripa. Thesis Master of Science in Historic Preservation Universidad de Pennsylvania.

Leroy, E; Kimbro, E.; Ginell, W. (2002). Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe. The Getty Conservation Institute. Serie de informes científicos. Edición en español.

Oliveira, M.M. (2011). Tecnologia da conservação e da restauração - materiais e estruturas: um roteiro de estudos. 4th. ed. rev. and enl. Salvador: EDUFBA. 243 p.

Proyecto de Investigación Tambo Colorado. (2013). Informe de la Temporada 2013 presentado al Ministerio de Cultura del Perú.

Proyecto de Investigación Tambo Colorado. (2014). Informe de la Temporada 2014 presentado al Ministerio de Cultura del Perú.

Silva, R.; Schueremans, L.; Oliveira, D. (2012). Grouting as a repair/strengthening solution for earth Constructions.

Silva, R.A (2013). Repair of earth constructions by means of grout injection. Tese de Doutoramento Estruturas / Engenharia Civil. Universidade do Minho Escola de Engenharia. Portugal.

Silva, R.A.; Oliveira, D.V.; Schueremans, L.; Dekoning, K.; Gysels, T. (2012). On the development of unmodified mud grouts for repairing earth constructions: rheology, strength and adhesion. *Materials and Structures* (2012) 45:1497–1512.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los miembros del Proyecto de investigación Tambo Colorado por la información para la elaboración del presente artículo y al Ministerio de Cultura del Perú.

AUTORES

Véronique Wright es arqueóloga y arqueómetra. Especialista en física aplicada en arqueología, sus investigaciones se enfocaron desde 2002 sobre la tecnología pictórica mochica. Investigadora "Pensionnaire" del Instituto Francés de Estudios Andinos en Lima, co-responsable del programa de investigación "Origines, Héritages et Dynamiques", sigue desarrollando estudios sobre los murales prehispánicos en la costa norte y central de Perú. Co-directora científica del Proyecto de Investigación Tambo Colorado está encargada del estudio de la policromía del sitio ampliando sus investigaciones a la costa sur.

Gianella Pacheco es arqueóloga egresada de las Universidad Nacional Mayor de San Marcos. De 2004 a 2007 trabajó en el Proyecto Arqueológico Huaca San Marcos, y desde 2008 está encargada de la conservación e investigación del Templo Pintado del Santuario de Pachacamac en Lima. Co-directora científica del Proyecto de Investigación Tambo Colorado está responsable de la conservación de superficies.

Henry Torres es ingeniero civil del Colegio de Ingenieros del Perú. Titular de una Maestría en Gerencia de Proyectos es conservador del Museo de Sitio de Pachacamac y especialista en estructuras. Co-director científico del Proyecto de Investigación Tambo Colorado está encargado de la conservación de estructuras del sitio.

Oliver Huaman es licenciado en arqueología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y siguió estudios de maestría en arqueología con mención en Estudios Andinos en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Director del Proyecto de Investigación Arqueológica Cuenca del Río Ica, es también co-editor de Inka Llaqta, revista de investigaciones arqueológicas y etnohistóricas Inka. Co-director científico del Proyecto de Investigación Tambo Colorado está encargado de la investigación arqueológica y del estudio de los grafiti del sitio.