

CAMINO PREHISPÁNICO PANDO

Julio Vargas Neumann¹; Stephanie Gil²; Frédérique Jonnard³; José Montoya⁴

Centro Tierra, INTE, Pontificia Universidad Católica del Perú. Red Iberoamericana PROTERRA. ¹jhvargas@pucp.pe; ³fred.jonnard@terre-battue.org

Centro Tierra, INTE, Pontificia Universidad Católica del Perú. ²stephanie.gilz@pucp.pe; ⁴peps1221@hotmail.com

Palabras clave: investigación, tierra, patrimonio, técnica, conservación.

Resumen

El Camino Pre-hispánico es un sitio arqueológico ubicado en el Campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) que es uno de los pocos vestigios del sistema de caminos Qhapaq Ñan que cruza la ciudad de Lima. Los 467 m de muros paralelos que han perdurado siglos y resistido varios terremotos severos, brindan información valiosa sobre las técnicas empleadas por los Ichsmas e Incas (1100-1532 A.D.) en su construcción y métodos adecuados de conservación. El Centro Tierra, grupo de investigación de la PUCP especializado en la construcción con tierra llevó a cabo el estudio de las características geométricas, mecánicas del material y estructurales de los muros de tierra del camino con dos fines principales, tener un conocimiento preciso del material que conforma estos muros y entender la técnica usada para edificarlo (amasado, uso de encofrados, grado de compactación, contenido de humedad de la mezcla empleada, inserción de capas horizontales o rellenos de piedras de río, tipos de juntas constructivas, esbeltez, etc.) y proponer lineamientos para la conservación de este tipo de estructuras de tierra muy recurrentes en los sitios arqueológicos del valle de Lima (Maranga, Mateo Salado, Cajamarquilla, Puruchuco, Huaycán de Pariachi y otros). El estudio interdisciplinar comprende una breve recopilación bibliográfica y los resultados de estudios realizados en los laboratorios de Mecánica de Suelos, Ingeniería Mecánica y Estructuras de la PUCP. Adicionalmente, comprende ensayos de microscopía electrónica de barrido para evaluar el grado de compactación, la porosidad, el tamaño y naturaleza de las partículas y composición química. Se logra un entendimiento de la técnica constructiva empleada por los Ichsmas e Incas, se genera discusión sobre las estrategias de conservación, se establecen sinergias y estrategias coherentes para la cooperación interdisciplinar y cruce de conocimiento con los hallazgos en distintos sitios arqueológicos de la zona.

1. PRESENTACIÓN Y ANTECEDENTES DEL CAMINO PREHISPÁNICO

El tramo de camino prehispánico ubicado en el Campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), es parte del Complejo Arqueológico de Maranga, nominado Patrimonio Nacional el año 2003 y uno de los lugares donde se aprecian edificaciones correspondientes a las culturas Lima, Ichsma e Inca. En la actualidad posee una extensión de aproximadamente 97 ha (MINCETUR, 2010). Es también parte del sistema Qhapac Ñan que lo enlaza con el Santuario de Pachacamac, donde además de edificios ceremoniales de la cultura Lima, el Señorío Ichsma tenía su principal centro ceremonial. Pachacamac es uno de los 81 sitios arqueológicos, dentro de los más de 250 km del Qhapac Ñan que han sido incluidos como Patrimonio de la Humanidad por UNESCO, 2014.

El complejo Arqueológico de Maranga, se encuentra ubicado muy cerca del mar (2,6 km hacia el Este), de donde proviene su clima benigno todo el año, con vientos moderados y a 3,2 km al sur del río Rímac que cruza Lima antigua y por ello, sus suelos son mantos arcillosos sedimentados en el empedrado cono aluvial del río, por tanto aptos para la agricultura y que eran regados por aguas derivadas desde el cercano Rímac. Sus obras, como el camino prehispánico, fueron construidas, ampliadas y modificadas por al menos tres grandes culturas, que usaron la misma tierra y piedra, pero con distintas técnicas constructivas, asociadas a períodos culturales que cubrieron alrededor de 1500 años hasta la llegada de los españoles.

El tramo en estudio (figura 1) unía edificios públicos ceremoniales donde predominaban las formas piramidales escalonadas truncas, hoy ya deterioradas, que son denominadas

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio, es desarrollar conocimientos para conservar el patrimonio edificado prehispánico y aumentar su durabilidad como testimonio y legado de nuestros antepasados. Los objetivos específicos del estudio son múltiples e interdisciplinarios. En primer lugar se desea mejorar y divulgar el conocimiento existente sobre la conservación del patrimonio edificado en el valle de Lima, en concordancia con sus características, la ecología y las cartas nacionales e internacionales, en las que la PUCP ha estado y está comprometido. Profesores de la PUCP han participado en generar la Declaración de Lima, 2010, texto doctrinal del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), ente consultor de UNESCO en temas del Patrimonio Cultural. También han participado en elaborar los Principios de Conservación del Patrimonio Construido en Tierra en Áreas Sísmicas, adoptado por el Comité Nacional de ICOMOS Perú en el año 2012.

La divulgación incluye los protocolos y procedimientos universales para la conservación del patrimonio edificado, que es necesario se apliquen en todas las intervenciones del valor cultural, incluyendo el camino en estudio. Particular importancia tiene la carta de Zimbabwe (Virginia Falls, ICOMOS, 2003). Divulgación especial merecen, las recomendaciones para las áreas geográficas donde ocurren terremotos (Declaración de Lima, 2010 y Principios de ICOMOS Perú, 2012) y donde se debe utilizar criterios complementarios a los apropiados para las zonas donde no hay actividad sísmica, que es la zona en la que han nacido todas las cartas de conservación adoptadas por ICOMOS, hoy existentes.

Estos protocolos indican las tareas que se deben realizar antes de iniciar cualquier intervención y que en breve resumen consisten en, un profundo conocimiento del bien patrimonial (historia, usos, importancia y valor cultural, materiales y técnicas utilizadas, geometría, ecología, estudios de suelos, calidad de los materiales, deterioros, historia sísmica y de fenómenos atmosféricos, variaciones constructivas, ampliaciones y reparaciones, modelos de análisis estructural y realización de análisis con las cargas involucradas). Todo ello para definir el estado actual. Finalmente, diagnóstico y propuesta de intervención que eventualmente requiera de refuerzos estructurales con mínima intervención, materiales compatibles con los originales, soluciones de reversibilidad y planes de manejo con documentación adecuada.

El estudio del camino comprendió una breve revisión bibliográfica, gráfica, fotográfica, y entrevistas con personajes que han trabajado en el Parque de las Leyendas de Maranga, como la Directora del Parque: Arqueóloga Lucénida Carrión (Figura 3), Jefa del Museo Josefina Ramos de Cox y Presidenta de la Red de Museos del Centro Histórico de Lima y la Dra. Inés Del Águila, quien escribió sobre Lima Prehistórica y dirigió trabajos de conservación en la Huaca Tres Palos, cerca de donde parte y llega el camino investigado.



Figura 3. Arqueóloga L. Carrión frente a Huaca 33 y vista de las murallas 46A y 33A. La primera construida con adobitos hechos a mano, Cultura Lima, la segunda de tierra sola colocada en capas de poco espesor y la tercera de tierra y piedra pequeña mezcladas, siempre colocadas en capas. Parque las Leyendas, Complejo Maranga. Fotos: J. Vargas N.

La Arqueóloga L. Carrión manifestó sus impresiones acerca de las técnicas utilizadas por un gran grupo de personas reclutadas para tareas de tributo, pero con dirección local. Eso explicaría las características comunes en los volúmenes de las huacas, rango de alturas, materiales y el sello característico de su elaboración por capas horizontales de máximo

0,20 m de espesor. La Dra. Del Águila dio cuenta de las etapas constructivas de la Huaca Tres Palos que corresponde a por lo menos dos dominios culturales: Ichsmas e Incas. Brindó información importante sobre la forma como ellos clasificaban los muros existentes, por el material y la sección transversal, y también información bibliográfica interna del Parque de las leyendas, como los trabajos del Licenciado Juan Domingo Mogrovejo Rosales.

Los avances en la definición de las técnicas empleadas originalmente, permitirán establecer recomendaciones para la conservación de las huacas Maranga, de una manera más concordante y respetuosa de su realidad y características, lo que redundará también en su seguridad sísmica y durabilidad. Más adelante se presentan los resultados de un programa de ensayos experimentales, sobre muestras originales del camino, donde se efectuó una intervención entre los años 2013 y 2014. Los ensayos sobre el material obtenido fueron realizados en 4 laboratorios: Suelos, Estructuras, Mecánica y Microscopía. Los tres primeros de la PUCP. Otra tarea que permitió conocer mejor la geometría y lógica constructiva del camino fue la revisión del Archivo Gráfico elaborada por los alumnos del curso Seminario de Construcción I, de la Facultad de Arquitectura, PUCP.

3. LAS ANTIGUAS TÉCNICAS UTILIZADAS

El camino está constituido por dos muros paralelos de altura variable, construidos con tierra y algunos núcleos de rellenos o capas de piedra. Su plataforma peatonal, tiene un nivel superior a los terrenos aledaños, siendo más bajo el del lado sur. Se aprecian distintos tipos de muros de tierra, por tramos, construidos con diferentes técnicas constructivas, según la época de su construcción o reconstrucción.

Los más antiguos tienen sección trapezoidal, la parte baja central hecha con núcleos de piedras de río (redondeadas) y morteros de tierra, protegidos por muros trapezoidales e inclinados, uno o más a cada lado dependiendo de su altura (muchas veces con el núcleo de piedras ya vaciado por la rotura de los muros laterales), la parte alta menos ancha, es hecha de tierra maciza. Hay también algunos muros trapezoidales macizos, probablemente de factura posterior, tal vez Inca. Algunos tramos construidos posteriormente son de tierra maciza con lados paralelos, más angostos y de menor altura, posiblemente completamientos de colapsos debidos a los terremotos. Estos tramos parecen ser restauraciones o completamientos coloniales o republicanas. La dirección del camino es de Este a Oeste, donde terminaba entre las Huacas Tres Palos y Huaca Cruz, frente a un montículo, por lo que éste pueda haber sido un mirador de vigilancia (conversación personal, Del Carpio, 2014).

Distintos cronistas españoles y mestizos, así como estudiosos del siglo pasado, han intentado describir la técnica de construcción de estos muros, de forma diversa y ambigua. Algunos les llaman tapias, en el sentido de cerco o tapia que se usa en España. El Padre Pedro Villar Córdova (1935) menciona que

eran de barro pisonado... ensanchados en la base y estrechos en el borde superior...el aparejo de estas construcciones consta de grandes adobes de un metro cúbico de volumen, unidos por barro y enlucidos con una capa amarillenta o rojiza de barro bien batido que exteriormente le da la apariencia de Tapial o pared de una sola pieza...

el mismo cronista Villar Córdova (Llanos, 2001) relata "la tapia, o adobón, como también algunos le llaman, es un material constructivo hecho de tierra humedecida y apisonada progresivamente dentro de un sistema de cajonería o encofrado..."

El término pisonado es debido a que los muros de tapial o adobón, que se construían en España y que son parecidos, son apisonados o compactados a golpe de mazos. Es obvio que la definición del Padre Villar no corresponde a la de Lima prehistórica y que desafortunadamente es compartida con la generalidad de las personas.

Pero el Padre Bernabé Cobo (1956 [1653]) describe una técnica muy ilustrativa por la lógica de su construcción

No hacían antiguamente los indios estas tapias como nosotros, de tierra suelta un poco húmeda, sino de barro bien amasado y blando, como hacemos nosotros los adobes. Sacábanlas muy derechas y lisas porque arrimaban a los lados en lugar de tapias de madera, mantas y cañizos, y luego las enlucían con el mismo barro. Deste linaje de tapias son los muchos paredones antiguos de que está lleno todo este valle de Lima, por donde sacamos su forma y su hechura.

Esta descripción afirma que los muros originales que él observa, no son tapias (que usan sólo tierra húmeda sin amasar y luego se compactan), sino que usan barro amasado. Luego afirma que no usaban encofrados de madera, sino mantas y fibras vegetales. Esta es la razón por la que el encofrado blando no podía tener más de 0,20 m de altura en cada capa.

Esas capas horizontales de 0,15 m a 0,20 m son las que se aprecian en Pando (Mateo Salado, Tres Palos, Cruz Blanca, San Miguel, etc.) en la Huacas Santa Cruz, La Merced, en el Club los Inkas de Santiago de Surco, en Huaycán de Pariachi o en Cajamarquilla. También es la explicación por la que el barro era de una humedad media, mayor que la usada en la técnica del tapial. Sin embargo, la mezcla no era tan líquida para poder transportarla y colocarla, tal vez en bolones o trozos, o más probablemente en mantas, como es la tradición rural actual.

La técnica de los muros de tierra que usaron los Ichsmas, que se aprecia en el Camino Prehispánico, Mateo Salado, Santa Cruz, La Merced, tiene algunas características que la diferencian a las que se aprecian en Puruchuco, Huaycán de Pariachi o Cajamarquilla y también en Villa El Salvador. Las principales diferencias son la utilización de rellenos centrales de piedras chicas redondeadas (de río) y la formación de muros trapezoidales inclinados en varias etapas (pero hechas siempre por capas). De manera que existió en la zona central (valle de Lima), una técnica de construir muros de tierra por capas, con algunas variaciones. Pero siempre, con uso de moldes blandos y flexibles propios de mallas de fibras vegetales y mantas, con un contenido de humedad medio, que no podían ser más altos de los 0,20 m indicados.

En todas estas técnicas las características mecánicas como la resistencia del material mismo, es muy semejante por el uso del tipo de encofrado poco resistente. El resultado estructural del comportamiento global, sí varía significativamente por las dimensiones, desniveles, conexiones y esbelteces y por la capacidad del subsuelo.

Las técnicas de combinaciones de tierra y piedra son por lo general estructuralmente menos resistentes que las de sólo tierra. Sin embargo, en nuestro vasto patrimonio edificado, muchas veces se encuentran combinaciones de tierra y piedra, dos de los materiales más accesibles del mundo, que se complementan adecuadamente. En zonas lluviosas las piedras pueden proteger los núcleos de tierra (Chavín de Huántar, Pucará, Machu Picchu) y grandes núcleos de tierra pueden estabilizar megalitos (Sacsayhuaman, Ollantaytambo).

4. METODOLOGÍA

4.1 Ensayos de laboratorio

Luego de realizar un estudio bibliográfico, que se recoge en un listado al final de este documento, en el cual se incluyen datos históricos sobre los asentamientos urbanos del valle de Lima, y algunas descripciones del tipo de material, técnicas y en general datos constructivos, se definió un programa de ensayos de laboratorio.

El camino de 467 metros fue demarcado por tramos de 10 m del Este hacia el Oeste por la empresa que se encargó de su intervención, antes que los estudios del presente texto. Con las autorizaciones correspondientes para el permiso de extracción de muestras (a través de dicha empresa), nuestras muestras corresponden a varios tramos. El material fue conducido al Laboratorio de Mecánica de Suelos (PUCP), donde fue codificado. Hubo dos etapas de

extracción de muestras. Las muestras consistieron en pedazos de bloques de muros, que no era posible reintegrarlos en el camino en vías de intervención.

El objetivo de las pruebas era conocer experimentalmente sus características mecánicas, uniformidad de las muestras, grado de compactación, resistencia y otras que nos permitan definir en lo posible el material utilizado e informar sobre la técnica constructiva empleada originalmente en el camino prehispánico, para establecer luego métodos de consolidación adecuados a sus características y así concederle seguridad sísmica y durabilidad.

4.2. Análisis y resultados de las pruebas de laboratorio

Laboratorio de Mecánica de Suelos

4.2.1. Granulometría y límites de Atterberg

Los ensayos de distribución de tamaños de partículas o granulometría, muestran bastante uniformidad entre todas las muestras, incluso la muestra de un adobe (trazo de color negro), proporcionado por la empresa interventora que usó adobes confeccionados con material original para consolidar el camino con bloques de mampostería de adobe. En la figura 4, se muestra el conjunto de curvas de distribución de tamaños, incluyendo la porción de partículas finas (limos y arcillas), obtenidas por sedimentación, vía húmeda y también la variación del índice plástico.

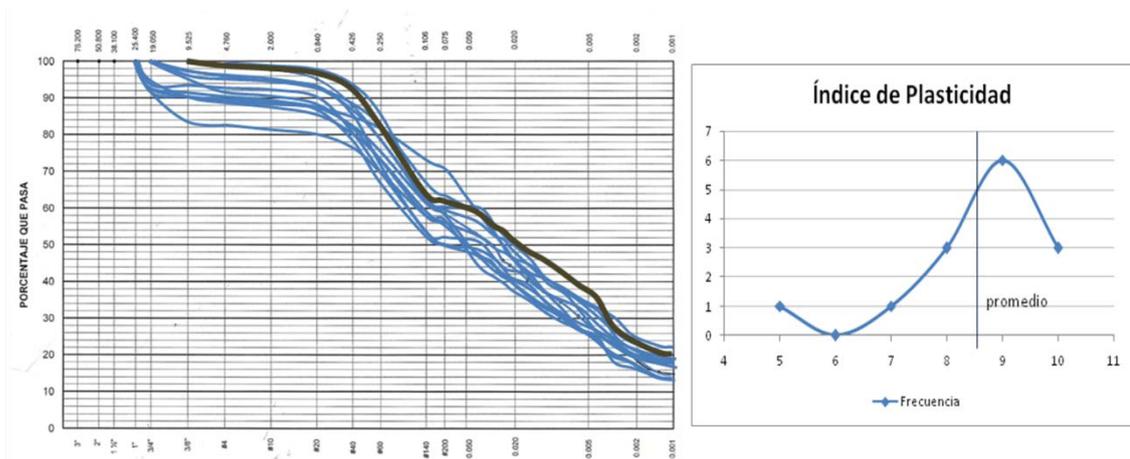


Figura 4. Distribución de partículas e índice plástico de tierra original

Se aprecia también que el rango de arena gruesa es del 8,6 % en promedio, mientras que la arena fina alcanza del 26,5% (alrededor del triple), hecho que influye en una deficiente formación del esqueleto granular, asociada a bajas resistencias. Destaca así mismo la cantidad de finos que pasan la malla 200 (0,075 mm), alrededor del 58,1% del material en promedio, de las cuales el 37,1% es limo y 21% es igual o menor a 2 micras (arcilla). Nótese que el porcentaje de material inerte fino (arena fina o limo) es del 63,6%, es decir casi 2/3 de todo el material.

Aunque el número de muestras para los límites de Atterberg es relativamente pequeño, la distribución de resultados presenta campanas de Gauss bien conformadas, cuyos promedios dan valores de plasticidad aceptable, como para considerar que el suelo es útil para la construcción con tierra. Este suelo será más trabajable con humedades entre 12% y 15%. Es probable que la humedad utilizada por los constructores, haya sido alrededor de 12% a 13%, pues el agua no abundaba y ellos manejaban una técnica en la que se formaba el muro por capas, dentro de moldes blandos o flexibles. Con mayor humedad el suelo se vuelve muy fluido. Con menor humedad, es difícil de amasar. No pudieron compactarlo con golpes, pues requerirían encofrados rígidos, como la madera gruesa y resistente, que no tenían. Se presenta el gráfico de índice de plasticidad del conjunto de muestras obtenido del suelo original.

4.2.2. Densidad y peso específico

La densidad seca es el peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen, $[g/cm^3]$. Las muestras de los adobes presentan una densidad seca mayor (20% mayor), lo que refleja su mayor compactación manual dentro del molde. Esta diferencia, debida a las técnicas de construcción utilizadas, está asociada a una mayor rigidez y resistencia.

En general, los suelos arenosos tienen un peso específico mayor, pues la piedra pesa alrededor de un 30% más que la tierra. Las variaciones en el peso específico del material por tramos, son ligeras, pero hay tramos donde la proporción arena-arcilla es menor y disminuye el peso específico de $2,8 g/cm^3$ a $2,76 g/cm^3$.

4.2.3. Porosidad

Esta característica es muy importante en esta investigación, pues refleja el grado de compactación asociado a la diferencia de técnicas constructivas, por ejemplo un muro de mampostería de adobe, comparado con un muro hecho con tierra amasada colocada en encofrados deformables o sin molde. En la construcción con tierra, la menor porosidad está asociada a una mayor resistencia y rigidez.

Las porosidad del adobe promedio es 31,13%, mientras que la del suelo original promedio es 44,70%, por tanto los adobes tienen una porosidad del orden de alrededor de las 2/3 partes del suelo original.

Adicionalmente se hizo una serie de ensayos para crear un patrón de comparación de densidad seca y porosidad versus compactación, utilizando el equipo del ensayo Proctor. Se trata de compactar muestras del suelo original, que tienen la humedad óptima Proctor, con un número creciente de golpes e ir midiendo su densidad seca y porosidad. Estos resultados sirven para comparar distintas muestras de suelo original y comparar su compactación o número de golpes equivalentes. Será fácil por ejemplo, conocer qué diferencia de números de golpes equivalen a las muestras del suelo original con su tecnología también original, con la del suelo original convertido en adobe o mampostería de adobe.

4.2.4. Compresión y tracción indirecta en cilindros tallados

Utilizando el equipo de compresión triaxial, sin usar presión lateral, se realizaron ensayos de compresión de muestras talladas de suelo original, para tener una medida real de comparación de resistencia. De esta manera fue fácil comparar las resistencias del suelo original, utilizando dos técnicas constructivas diferentes, por ejemplo la del adobe con la usada por los constructores prehispánicos (figura 5).



Figura 5. Se muestra los ensayos de compresión y tracción indirecta de cilindros tallados de los adobes hechos con suelo original y también de las muestras del muro original. El gráfico muestra los resultados de ensayos de compresión.

Los resultados indican que la resistencia promedio de las muestras de suelo apenas alcanza el 15% del promedio de las resistencias de los adobes. La diferencia se debe a la mayor humedad de la mezcla que requiere la técnica de adobe y su compactación manual dentro del molde, ya que ambos factores activan más partículas de arcilla, que es el componente que proporciona la resistencia seca. Utilizar adobes o mampostería de adobe para consolidar los muros originales de mucha menor resistencia, puede ser contraproducente,

particularmente si se esperan vibraciones e impactos producidos por los terremotos. Exagerando, para entender el error, es como colocar piedras en una lata de galletas que será vibrada. En los ensayos de tracción indirecta, no fue posible obtener datos válidos debido a la fragilidad de las muestras talladas. Durante el tallado las probetas se agrietan aunque las fisuras no son visibles. Las cargas de rotura eran insignificantes.

Laboratorio de Mecánica

4.2.5. Compresión o tracción indirecta de esferas talladas

Pruebas de especímenes tallados en forma de esferas de 20 mm de diámetro en prensa universal, de utilidad en la simple prueba de campo de compresión de esferas para evaluar en 24 horas si la presencia de arcilla es suficiente. El cálculo de los esfuerzos de rotura promedio (11,23 kgf) fue equivalente al 0,16% de la rotura a compresión en cilindros tallados. $\sigma = \alpha \cdot P / 2\pi r^2 = 0,71 \text{ kgf/cm}^2$ para ($\alpha = 0.4$).

4.2.6. Tracción indirecta (Ensayo brasileño) de cilindros tallados.

Pruebas de especímenes tallados en formas de cilindros de esbeltez igual a 2 y de 50 mm de diámetro en una prensa universal. La rotura dio valores promedio igual a 71,49 kgf, $\tau = \beta \cdot 2P / \pi D b = 0,63 \text{ kgf/cm}^2$ para $\beta = 0,7$.

Los valores de $0,71 \text{ kgf/cm}^2$ y $0,63 \text{ kgf/cm}^2$ de los ensayos entre esferas y cilindros tallados, aunque mantienen un mismo rango de esfuerzo unitario máximo de tracción, revelan que los factores α y β están asociados a una fuente de incertidumbre importante que depende de los detalles de ensayo, velocidad de carga, área y material del disco de repartición de carga de la prensa y otros, que explican la diferencia de resultado.

Laboratorio de Estructuras

4.2.7. Prueba de campo de presencia de arcilla

Esta prueba se ha venido elaborando desde el año 1983 (Vargas et al, 1984) y está propuesta para ser incluida en la Norma NTE N-080 Construcción con Tierra, en vías de aprobación. En el Laboratorio de Estructuras de la PUCP se obtuvieron siete muestras del Camino, extraídas de diferentes tramos, para realizar la prueba de campo de presencia de arcilla. Para ensayar las esferas de tierra se necesita 24 horas de secado, bajo sombra. Se rompieron las 3 esferas de las muestra 1 y 2. El resto de esferas no se pudieron romper. El ensayo de presencia de arcilla fue en general positivo, recordando que el material no tuvo agua suficiente y poco amasado.

4.2.8. Prueba de campo de control de grietas con mezclas crecientes de arena gruesa

Esta prueba se ha venido elaborando desde el año 1983 (Vargas et al, 1984) y también está propuesta en la Norma NTE N-080 Construcción con Tierra. Se escogió una muestra de tierra que tenía suficiente presencia de arcilla (no se rompieron las esferas), y con nuevas mezclas progresivas con arena gruesa, se moldearon tres esferas por cada relación de volumen con secado de 48 horas. Se observó que la resistencia bajaba significativamente mientras más arena contenía el barro, lo que significa que el suelo ya estaba bien equilibrado con arena gruesa.

4.2.9. Pruebas microscópicas Laboratorio Dra. Gladys Ocharán

Observaciones por microscopio electrónico de barrido. La observación de muestras permite tener información sobre el material y la técnica utilizada en la construcción de los muros, con datos como la humedad, porosidad, compactación, y otros. Da información sobre la procedencia del material, definir si la tierra utilizada es del sitio o de otra fuente. Brinda información sobre las características de la tierra de los muros.

Los criterios de observación están dirigidos a estudiar los distintos componentes de la tierra que se utilizó en la construcción (presencia y tipo de arcilla, limos, arena fina, arena gruesa, paja, material orgánico) y también a tener información sobre la composición mineral, que puede ser útil para la fuente del material.

Se observó la porosidad, tamaño de los poros, la distancia entre los cristales más grandes de las muestras, se analiza la matriz de finos que envuelve los cristales grandes, para comprobar si es continua o discontinua.

El procedimiento es colocar muestras de aproximadamente 1cm, que se sujetan con plastilina de carbón. Para cada prueba se registraron vistas con los siguientes acercamientos: x200, x500, x1000 y x3000.

Las vistas se registran en tres formatos distintos. SSD Retrodispersados – Low Vacuum (permite leer el tipo de minerales presente en la muestra, lo más claro y brillante son los elementos más pesados (tipo hierro, titanio) y lo más oscuro resalta el material orgánico (fibras, restos, vacíos). Tridimensional (permite leer el relieve de la muestra, aparece claramente la profundidad de los poros y el apilamiento de los distintos granos). Mix (síntesis de los dos tipos de imagen precedente)

Resultados de muestras

El material estudiado no es uniforme. Hay vestigios de paja en alguna muestra. Las partículas de material inerte son limos y arenas finas, poca arena gruesa. Esto indica una resistencia a la tracción y compresión muy baja, pues se conoce que son la arena gruesa y la arcilla, las que generan juntas la resistente seca, útil para la construcción. Ello también se aprecia porque hay trozos de muestra que se desgranar con la mano. El material no ha sido muy amasado ni es compacto, pues hay un alto porcentaje de poros, es mezclado con poca agua y colocado en posición en bolones sin mayor presión. El material tiene poca arcilla, con presencia de montmorillonita, (tipo de arcilla altamente higroscópica). Se observa que no hay contacto grano a grano, lo que indica que no hubo compactación, ni hay esqueleto granular o resistencia.

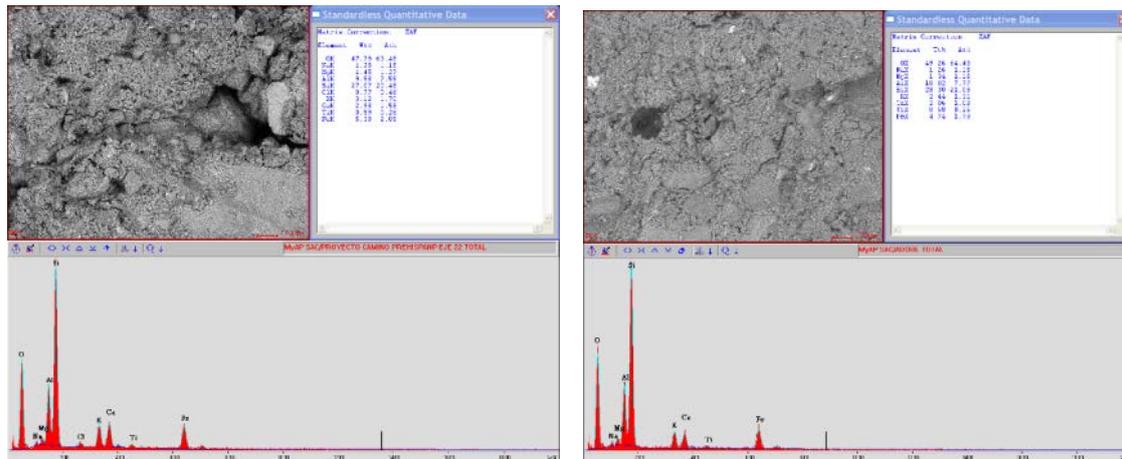


Figura 6. Imagen que compara una muestra original (izquierda), con la muestra de adobe (derecha), incluyendo composición mineralógica porcentual y espectro. En las fotos a la misma escala, se aprecia el efecto de la menor porosidad de la muestra de adobe y abajo se aprecia la misma composición del suelo en ambas muestras.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y MICROSCOPIA

En el afán de conocer profundamente el Camino Prehispánico para poder intervenirlo correctamente, era necesario conocer el material y luego deducir la tecnología original, con la mayor certeza posible. Los ensayos y estudio obedecieron a este logro. Se observa cómo efectivamente los ensayos revelan la menor resistencia del material original, cuál es la técnica original y cómo se debe reparar.

De los ensayos de granulometría se conoce que si bien existe arcilla en el material, se tiene muy poca presencia de arena gruesa. Hay mucha arena fina y limo. El año 1983 se realizó una investigación que reveló que los principales componentes para obtener resistencia seca, son la arcilla y la arena gruesa, no la fina, ni el limo. Los muros construidos con el suelo

original, no tienen buena resistencia. Peor aún si el contenido de humedad era de rango medio (12%) y medianamente amasado.

Los límites de Atterberg confirman que el material original tiene una plasticidad normal, concordante con el contenido de arcilla. Pero si el contenido de humedad no es suficiente para activar las partículas de arcilla existentes, producirá baja resistencia.

Los ensayos revelan también que de la comparación de densidades del mismo suelo, pero usando técnicas diferentes, la técnica de adobe, que conlleva mayor compactación manual y mayor contenido de humedad, exhibe mayor densidad que con la técnica original de tierra poco amasada. Los suelos más densos tienden a tener mayores resistencias.

Los ensayos permitieron también comparar la porosidad entre los suelos tratados con las técnicas de adobe y la técnica original. Los primeros tenían una porosidad un tercio menor que los segundos, lo que revela mayor compactación y contenido de humedad, ambos factores asociados a una resistencia mayor.

La serie de ensayos que permitieron contar con un patrón de comparación entre la porosidad y el número de golpes con las herramientas del ensayo Proctor, permitieron convertir los valores de porosidad en número de golpes equivalentes. Así la porosidad promedio de las muestras de la técnica de adobe (31,13%) se obtienen con 28 golpes, mientras que la porosidad promedio de las muestras de técnica original (44,7%) se obtiene con tan solo 2 golpes o compactación nula. Esto revela que la técnica original no es tapial. Dato de gran importancia en la definición de la técnica original.

Comparando la resistencia a compresión en muestras cilíndricas talladas del adobe y de la técnica original, se aprecia una diferencia notable. Resulta que las primeras resistieron en promedio más de seis veces lo que resistieron las segundas. A la técnica original le faltaba humedad y cierta compactación para ganar resistencia.

Los ensayos de microscopía revelan la menor presencia de partículas de arena gruesa y el exceso de granos finos de arena fina y limos. También se comprueba presencia de la arcilla, que conforma la matriz que proporciona la resistencia seca. Todo ello implica baja resistencia como se ha comprobado también con las pruebas de compresión. Las fotos mostradas demuestran que el material original no tenía compactación alguna y más bien una alta porosidad.

6. EL MATERIAL Y LA TÉCNICA ORIGINAL USADA EN EL CAMINO PREHISPÁNICO

El Camino Pre-hispánico ha sido construido con tierra y piedra, con variaciones de técnicas correspondientes a por lo menos dos diferentes culturas (Ichsma e Inca) y diferentes etapas de las mismas. Hay también vestigios de 444 años de intervenciones hispánicas.

La cultura Ichsma, principal ejecutora del camino, ha construido en una etapa tardía, pirámides con una técnica que usaba rellenos organizados que consistían en celdas formadas por muros ortogonales de piedra de río y mortero de barro, rellenas desordenadamente con tierra y piedra. Perimetral y exteriormente se construían muros inclinados en tandas de 0,15 m a 0,20 m de altura. Podía haber muros de dos o tres capas inclinadas según la altura. La Huaca Mateo Salado, tiene esta estructura. La figura 2, muestra que se utilizan los mismos elementos y conceptos estructurales descritos, en la construcción del Camino en estudio. En ambas obras se encuentran en las partes superiores, completamientos de muros de sólo tierra, posiblemente de factura Inca, a veces apoyadas en capas de piedra de río, influenciados en las técnicas de tierra y piedra de los Ichsmas.

El Camino Pre-hispánico ha sobrevivido por lo menos a los mega-terremotos del 1687 y 1746, que, acompañados de maremotos, prácticamente desaparecieron Lima y Callao. Huellas de estos maremotos se han encontrado también en Pachacamac. Los resultados de los ensayos de laboratorio y pruebas de campo, demuestran en gran falta de uniformidad en

la aplicación de las técnicas constructivas, lo que se explica por la variación de constructores y productos naturales utilizados.

Se estima que los muros han sido construidos con la tierra superior de los depósitos del río Rimac y las piedras de río que conforman el cono aluvial del mismo, que es muy extenso. Las capas superiores del suelo, suelen tener mayores contenidos de arenas finas depositadas por el viento, las capas siguientes contienen ya arcilla, componente indispensable para una buena construcción con tierra, aunque también agente de la creación de fisuras de secado.

Los ensayos granulométricos y microscópicos, confirman la falta de uniformidad en la técnica e importante presencia de arenas finas y arcillas, de donde se deduce que el material de construcción proviene de capas muy superficiales del suelo. La arena fina, no es un componente que ayude a controlar las fisuras, la arena gruesa sí lo es. Por tanto un muro construido con arcilla y arena fina, será en general débil.

Otro importante aspecto que revelan las pruebas y ensayos, es que el material constructivo es una tierra seca con alta porosidad, cuya técnica constructiva no ha significado compactación alguna. Lo que más bien revela es el empleo de técnicas de barro depositado rústica o manualmente, en moldes blandos y deformables, como se observa de las improntas con alturas entre 0,15 m y 0,20 m en todo el Complejo de Maranga.

Para comprobar el nivel de la resistencia, se realizaron pruebas de compresión en probetas talladas de muestras extraídas del Camino. Los resultados dieron resistencias muy bajas comprendidas entre 0,13 MPa y 0,41 MPa (1,3 y 4,1 kgf/cm²). Como referencia, la norma vigente peruana especifica el uso de una resistencia mínima de 1,2 MPa en cubos ensayados a compresión (los muros originales resisten de 3 a 10 veces menos al mínimo normativo).

Adicionalmente se realizaron ensayos en probetas talladas en los adobes nuevos usados en los trabajos de intervención, con resultados de 1,8 MPa, muy superiores a los materiales originales del camino. La conclusión es que el material constructivo original es muy poco resistente, dato importante y necesario para su adecuada restauración o intervención. La comprobada baja resistencia de los muros se debe a tres causas, la falta de arena gruesa, la falta de humedad y la falta de amasado o en su defecto compactación. Con estos datos y con la observación de la construcción por capas de 15 cm a 20 cm, ya se puede completar de configurar la tecnología usada y las características mecánicas del material original.

El material era recolectado en las vecindades inmediatas del trazo. Se trataba de tierras de cultivo que tienen tres estratos. Un estrato superficial de 0,25 m de espesor, mezcla de suelo fino arenoso con material orgánico, que podría ser desechado para la construcción; un segundo estrato limo arcilloso con arena fina y poca arena gruesa, de 0,50 m a 1,0 m de espesor, que fue el mayormente usado para la construcción; un tercer estrato gravo arenoso, compacto y firme, de espesor muy grande, material del cono formado por aluviones y lechos cambiantes del río Rimac, fuente de piedras redondeadas que también fueron utilizadas para la construcción. Este material, es el que se usó en la red de caminos y en las huacas de Pando (Maranga) y en las obras de la zona asociadas a las culturas Lima, Ichisma e Inca.

En esta hipótesis el barro es colocado por capas para conformar los muros, con la ayuda de armazones blandos y flexibles hechos de entramados o mallas de cañas o ramas y capas de mantas, como narra el Padre Bernabé Cobo (1956 [1653]), colocados en los lados del muro en construcción, con alturas comprendidas entre 0,15 m y 0,20 m como se muestra en las obras de todo el Valle de Lima. El material era uniforme, pero no así el amasado, ni la cantidad de agua, pues las resistencias apreciadas en los ensayos de campo, son muy variables. En el Perú existe la creencia generalizada que los muros antiguos que no son de adobe, son de tapial y así los llaman. Este error generalizado ha provocado una práctica de restauración que descarta a priori, la posibilidad de emplear las técnicas originales de tierra amasada.

En un ejemplo sencillo, un muro original de forma trapezoidal de dos o tres metros de altura, que hubiese perdido la mitad izquierda de su volumen (en toda la altura) y haya sido reemplazado por un muro de albañilería de adobe con la misma forma, durante un evento sísmico ocurrirá que los dos medios muros, por sus diferencias de rigidez y resistencia, vibrarán con distintas frecuencias fundamentales, se golpearán entre sí y se dañará o colapsará el de menor resistencia, que hoy sabemos que claramente es el original y patrimonial.

7. CONCLUSIONES

- Hasta el presente estudio, no se han reportado resultados de las características mecánicas del material, ni de la técnica de construcción que corresponda a esos resultados.
- El suelo tiene arcilla suficiente como para lograr resistencia seca, pero no suficiente arena gruesa, que proporciona el esqueleto granular.
- La técnica de “Tierra Cruda Amasada” utilizada tiene muy poca resistencia. La mezcla se realizó con poca agua y amasado, el material es poroso y le falta algún grado de compactación para lograr que la poca agua active más partículas de arcilla.
- Como consecuencia la técnica a utilizar en el valle de Lima para la conservación patrimonial, será semejante a la de la tierra cruda amasada o material original, para evitar su destrucción durante los terremotos. Tal como se ha descrito: tierra arcillo-arenosa, poco amasada manualmente con contenidos de humedad alrededor del 12% o 13 %, colocada manualmente por capas de 0,15 m a 0,20 m de altura, secada 24 horas antes de aplicar la siguiente, evitando las horas de exposición directa al sol.
- De lo anterior se deduce que la reparación ejecutada en el Camino Pre-hispánico, tiene completamientos en alturas medias y peor aún altas, que son claramente inconvenientes para la seguridad sismo-resistente. En esos casos ocurriría que la intervención en vez de ayudar a la estabilidad del patrimonio cultural, lo afectará seriamente durante un sismo mediano o fuerte.
- Existen muchas otras estructuras patrimoniales del mismo tipo del Camino Prehispánico en la zona del valle central de Lima. Resulta necesario y urgente que el Ministerio de Cultura, difunda con talleres y manuales, el adecuado proceso de estudios previos a efectuarse, para que se desarrollen técnicas de conservación patrimonial adecuadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cobo, B. (1956 [1653]) Las fundaciones de Lima. Tomo XCII. Madrid: Biblioteca de Autores Españoles.
- Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (2003). Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico. Victoria Falls, Zimbabwe: ICOMOS.
- Llanos, Rafael Segura (2001). Rito y economía de Cajamarquilla. Investigaciones arqueológicas en el Conjunto Arquitectónico Julio C. Tello. Lima: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2010) Complejo Arqueológico Maranga. MINCETUR. Recuperado http://www.mincetur.gob.pe/TURISMO/OTROS/inventario%20turistico/Ficha.asp?cod_Ficha=1978
- Proyecto de investigación, conservación y puesta en valor del camino prehispánico y los restos arqueológicos del Campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú [PUCP]. Lima: PUCP, Dirección Académica de Investigación.
- Ringscad. (2010, Marzo 23). Lima de siempre [Fotografía]. Recuperado desde <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=757058&page=173>
- Vargas et al, 1984. Resistencia sísmica de la mampostería de adobe. USAID Project. Lima: Publicación DI-84-01. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Villar Córdova, Pedro Eduardo (1935). Arqueología del Departamento de Lima. Lima: Ediciones Atusparia, Indian Pottery.

AUTORES

Julio Vargas Neumann: Profesor Principal de Ingeniería (PUCP, 1963), Investigador de construcciones de tierra en áreas sísmicas (PUCP, 1971), Vice Ministro de Vivienda del Perú (1985), Premio Nacional de Cultura en Ciencias y Tecnología (1985-86). Presidente del ICOMOS/Comité Científico Internacional de Arquitectura Patrimonial de Tierra (ISCEAH), Miembro de ICOMOS/ICORP, ICOMOS/ISCARSAH e ICOMOS/ISCS, Red Iberoamericana PROTERRA, Centro Tierra, Perú.

Stephanie Gil: (Lima, 1987) arquitecta por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), actualmente estudia la maestría de doble grado "Urbanismo Integrado y Diseño Sostenible" en la Universität Stuttgart, Alemania y Ain Shams University, Egipto. Tiene experiencia laboral en investigación y diseño de proyectos relacionados a la arquitectura en tierra y piedra en Perú, Colombia y Alemania. Pertenece al grupo de investigación Centro Tierra, INTE – PUCP.

Frédérique Jonnard: (Francia, 1987) DSA Architecture en Terre, CRATerreENSAG. Diplome d'Etat en Architecture, Paris. Tiene experiencia laboral en investigación y diseño de proyectos de arquitectura en tierra en Perú, Colombia, Chile, Francia. Finalista en concurso Charente Pavilion-Domaine de Boisbucheten Urbanismo. Colaboración en el dictado del curso "Seminario de construcción en tierra" FAU-PUCP. Pertenece al grupo de investigación Centro Tierra, INTE-PUCP, miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA.

José Manuel Montoya: (Lima, 1983) Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente en la elaboración de la tesis: "Revisión y sustento de pruebas de campo en suelos para la construcción", supervisión de obras de restauración de casas antiguas de adobe. Miembro del equipo técnico en la elaboración del manual: "Fichas para la reparación de viviendas de adobe" elaborado para el Ministerio de Vivienda. Pertenece al grupo de investigación Centro Tierra, INTE-PUCP.