TIERRA MODELADA, LA ÚLTIMA TRADICIÓN CONSTRUCTIVA DEL ANTIGUO PERÚ

Henry Eduardo Torres

Universidad Politécnica de Valencia, hetorres@arq.upv.es

Palabras clave: tierra, arqueología, tradición, Perú

Resumen

La tierra modelada fue una técnica constructiva intensamente empleada en el antiguo Perú, consistía en la colocación de porciones de barro húmedo formando hiladas horizontales para posteriormente alisarlas formando los muros. Todo esto se realizaba sin la ayuda de moldes y pisones a diferencia de la otra técnica de muros monolíticos que es la tapia de origen europeo. Lamentablemente la falta de registros gráficos, orales o escritos no ha permitido que esta tradición constructiva continúe usándose intensivamente. Debido a ello, la investigación que se propone está basada en el estudio de edificaciones existentes acerca de las cuales se proponen hipótesis de los procedimientos de construcción y su desempeño estructural en casos de sismos, considerando que estas tradiciones constructivas se desarrollaron en la costa peruana, una zona de alta sismicidad.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente se postula que las estructuras de tierra solo son competentes en caso de sismo si estas son reforzadas con materiales compatibles y que sean capaces de resistir esfuerzos de tracción, puesto que la tierra carece de la capacidad de deformarse sin agrietarse o colapsar. No obstante, edificaciones construidas con tierra en el antiguo Perú no emplearon estos criterios y parecen haber soportado con diverso grado de éxito eventos sísmicos a lo largo de varios siglos, probando con ello la eficacia de sus sistemas constructivos. Estos sistemas emplearon la modulación-segmentación-partición de las estructuras de tierra (muros, plataformas, entre otros), es decir, la construcción por bloques los cuales se iban agregando secuencialmente para lograr el volumen arquitectónico final.

Estos bloques constructivos construidos como si fueran grandes mampuestos, de formas geométricas variadas iban colocándose uno al lado del otro de tal forma que lograban trabarse y unirse entre ellos como si se tratase de una mega mampostería. Este trabajo propone verificar que las juntas entre los bloques constructivos permitían flexibilizar, en una dimensión aun no cuantificada, las estructuras de tierra, mejorando con ello su respuesta sísmica[1].

1.1 Contexto geográfico y ubicación temporal

Las tradiciones constructivas en el área andina se desarrollaron en áreas geográficas determinadas. Los restos de las edificaciones que emplearon los muros monolíticos de tierra en sus construcciones se encuentran en la costa meridional de los Andes centrales en el actual territorio peruano. Las evidencias arquitectónicas se restringen al piso altitudinal denominado en el Perú costa o chala (Pulgar Vidal, 2014). La zona costera de América del Sur registra una intensa actividad sísmica, debido al fenómeno de subducción entre la placa de Nazca y la placa continental de Sudamérica.

En cuanto a la temporalidad en el desarrollo de esta técnica constructiva, se le ha ubicado habitualmente, empleando la clasificación del arqueólogo John Rowe, en el período que transcurre desde el año 800 D.C. hasta el siglo XV. En cuanto a las civilizaciones que

[1] Este artículo es un extracto del trabajo de fin de maestría titulado “Análisis y conservación de muros de tierra modelada en contextos arqueológicos del antiguo Perú” cuyos tutores fueron los arquitectos Camilla Mileto y Fernando Vegas López-Manzanares

emplearon este procedimiento de construcción podemos mencionar a la Yschma, la denominada confederación Chincha y otros señoríos costeños menos estudiados como los Collique. Fue también empleado en épocas incaicas.

Tabla 1. Cuadro resumen de algunas de las técnicas constructivas del antiguo Perú.

Sistema constructivo	Técnica empleada
Muros	Mampostería con adobe hecho con molde
	Mampostería con adobes modelados a mano
	Muros de tierra modelada
	Piedra asentada con barro
	Megalitos
	Piedras engastadas
	Con anclajes metálicos
	Entramado de caña y barro (quincha)
Pilares	Piedra y mortero
	Monolíticos de piedra
	Adobe
	Con alma de madera y caña
Coberturas	Madera y caña
	Bóvedas
	Techados con bloques de piedra y ménsulas
Rellenos constructivos	Estructurado con mortero
	Empleando bolsas de fibras vegetal
	Masivos de adobe y/o piedra
	Estructurado con madera
	Celdas de relleno
Acabados y terminaciones	Pintado simple
	Frisos decorados
	Enlucidos de tierra
	Muralismo con alto y bajo relieve

2 METODOLOGÍA

Para iniciar los trabajos fue necesario hacer una recopilación de la información de los asentamientos arqueológicos. La búsqueda se realizó a nivel bibliográfico, artículos científicos, publicaciones en revistas, libros, imágenes de archivos, etc. Fueron muy valiosos los libros de viajeros europeos del siglo XIX que, con una visión particular, describieron muy detalladamente la arquitectura prehispánica en los alrededores de la ciudad de Lima de su tiempo. También fueron particularmente importantes las publicaciones que se hicieron a lo largo del siglo XX sobre la arquitectura peruana.

Las visitas a los sitios arqueológicos fueron parte sustantiva de esta investigación que incluyó mediciones, observaciones, registro fotográfico, esquemas, dibujos, etc. Se constató la estabilidad de estas estructuras, el estado de conservación y los factores que causan el deterioro, además de los procesos de degradación de la materia tierra.

2.1 Inspecciones de campo, registros

Probablemente la mayor parte de esta investigación se ha sustentado en el trabajo de campo, lo que ha permitido conocer directamente el sistema constructivo, el contacto con los restos arqueológicos, el registro fotográfico, mediciones y notas de campo permitieron recopilar la información para la síntesis y análisis posterior.

Las huacas[2] que formaron parte de esta investigación de campo fueron:

- Pirámide con Rampa III en Pachacamac
- Huaca Tambo Inga
- Huaca Tres Palos
- Huaca La Palma
- Huaca Mateo Salado
- Huaca Mangomarca;
- Fortaleza de Campoy;
- Murallas de Chuquitanta
- Palacio de Oquendo
- Huaca El Respiro
- Cajamarquilla

Para el registro de los detalles arquitectónicos y constructivos en los muros se emplearon cintas métricas, cámaras fotográficas, apuntes de campo, entrevistas con conservadores y arqueólogos.

Para la visita a los sitios arqueológicos se contó con guías locales en caso de los sitios que no se encuentran protegidos o que carecían de información exacta sobre su ubicación, en el caso de sitios que lo requirieron se tramitaron los permisos correspondientes para las visitas técnicas.

Figura 1. Muros de tierra modelada construidos en terreno en pendiente formando por bloques independientes que sea adosan en planos inclinados

[2] Huaca en términos arqueológicos se conoce como lugar sagrado, aunque esta definición puede ser insuficiente y no será abordada en este documento

2.2 Aspectos constructivos de los muros de tierra modelada

La construcción de los muros de tierra modelada se desarrolló colocando porciones de barro en estado húmedo-plástico en capas horizontales formando la hilada, esta colocación de masas de barro húmedo se hacía de forma similar en que se procedía con los adobes modelados a mano. Esta investigación plantea que en un primer momento los adobes se van uniendo sin mortero de junta (figura 2a). Posteriormente el barro es colocado en capas de altura similar a los pequeños adobes para finalmente lograr muros (figura 2b). El empleo de esta técnica constructiva podría originarse en la optimización del tiempo de trabajo. En los muros de tierra modelada los tiempos de construcción se acortan al prescindirse del proceso de secado de los adobes.

Figura 2. Izquierda (a), restos de un muro elaborado con adobes modelados a mano y asentados en hiladas horizontales sin junta vertical. Derecha (b): Restos de muros elaborados con porciones

El estado húmedo de la masa es una condición importante pues ayudaba a una aceleración en el proceso de secado del conjunto y a facilitar el trabajo del acabado final de los paramentos. La cantidad de agua en la mezcla y la falta de una compactación del barro colocado hacen suponer que se prescindió de moldes para la construcción de estos muros. No obstante, no puede descartarse el empleo de algún tipo de soporte para guiar lateralmente la obra y lograr muros de caras planas. Lamentablemente no existen registros de empleo de estas herramientas, sino apenas unas improntas de textiles que pueden brindar algún indicio que debe seguir investigándose.

Actualmente en contextos arqueológicos es posible apreciar claramente las bandas horizontales de barro que se superponen. Además, existen evidencias muy claras de que la superficie era trabajada para obtener un acabado alisado. Se cuentan con pocas evidencias, pero se puede indicar que los muros que formaban recintos eran posteriormente enlucidos cubriendo las uniones de las capas de barro, logrando el aspecto de un muro monolítico. En otros casos, los muros que formaban parte de la estructura interna del edificio se mantenían sin enlucido y gracias a ello se pueden apreciar las capas de barro que muestra la técnica constructiva con mayor claridad. Las capas de barro se colocaban como si fueran capas de sedimentos compactándose debido al peso de las capas superiores. Este procedimiento no evitó completamente que el muro se agrietara por la contracción durante el proceso de secado. Las grietas debido a ello en algunos muros son notorias.

3 LA SEGMENTACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES

Una respuesta a la condición de rigidez y de fragilidad de las obras de tierra parece haber sido la modulación o el uso de segmentos de muros. Hay claros ejemplos de construcciones que lo emplearon, tanto con adobes como en muros de tierra modelada. Su aspecto se confundía con grietas por secado del barro. Sin embargo, el registro arqueológico ha permitido verificar que no lo son. Cronológicamente el criterio de la segmentación y modulación se usaba desde la época de desarrollo de la Cultura Lima (año 200 d.C. aproximadamente). Actualmente todavía pueden apreciarse los bloques de sección triangular- trapezoidal que se agrupan, calzan y ajustan soportándose entre ellos como si se trataran de cuñas o claves para de esa forma comprimir los bloques adyacentes. La modulación se realizó tanto para formar estructuras masivas (plataformas) como en muros (cerramientos). El presente trabajo propone que se trata de un original sistema de construcción con virtudes de sismo-resistencia y bien planificado.

3.1 Disciplina constructiva de los muros de tierra modelada que emplearon segmentaciones

En este apartado se desarrollará la regularidad y similitud con que se construye en los sitios visitados y otros de los que se tienen referencias bibliográficas o históricas. En todos los sitios se guardan algunas relaciones físicas comunes que se repasan a continuación.

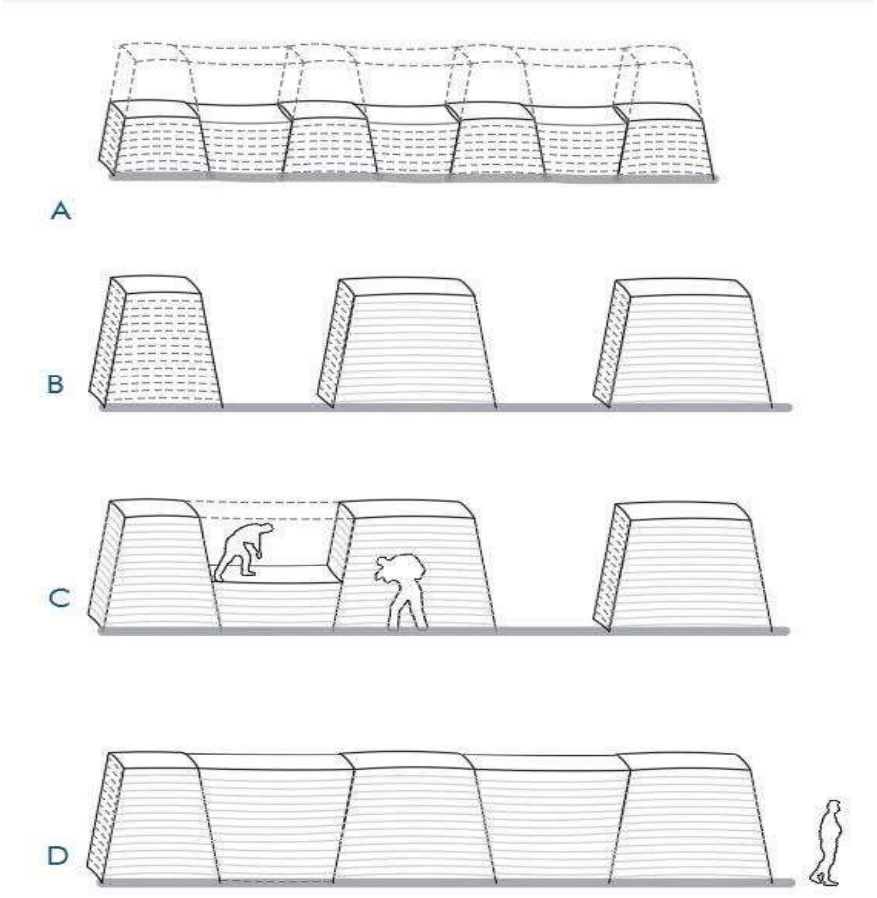

Figura 3. Secuencia de posibilidades en la construcción de los muros segmentados. A: Bloques construidos simultáneamente. B, C y D: Construcción alternada (Torres, 2021)

Bloques ordenadores, se define de esta forma a los bloques construidos generalmente de forma trapezoidal, distanciados entre sí, y que conformaban la primera hilada del muro. A partir de este se fueron adicionando otros bloques los cuales se les adosaron formando las grandes masas de la estructura final. Se le ha denominado así pues al tener lados inclinados

“ordenan” a los demás bloques que se van agregando, este bloque ordenador es recurrente en las construcciones registradas, incluyendo las construidas con adobes. Puede tener dimensiones diferentes y se construye estrictamente con los lados inclinados con unos ángulos de inclinación variable, manteniendo con los bloques adyacentes una junta que se inicia en la base y se mantiene en el extremo superior, garantizando un apoyo continuo. Este bloque a su vez puede estar formado por varias fases constructivas que finalmente conforman la sección trapezoidal de este importante elemento.

Bloques confinados, estos bloques son aquellos que se construyen adosados al bloque ordenador tienen forma de trapezoides invertidos, paralelogramos y otras formas irregulares y generalmente son confinados y comprimidos por los bloques de ajuste.

Bloques de ajuste, se ha definido de esta forma a los bloques de tierra modelada con forma trapezoidal con la base menor hacia abajo que sirven para dar ajuste a los demás bloques contiguos comportándose como una cuña o clave. Estos fueron colocados en ciertos puntos previstos con un claro propósito de ajuste de la estructura del muro.

Según los análisis estratigráficos realizados a varios muros arqueológicos, los bloques de ajuste fueron construidos como última fase del muro de tal forma que su construcción era importante para la estabilidad del conjunto. Como se ha mostrado, la modulación de los muros se realizó empleando tanto adobes como tierra modelada. En ambas técnicas las formas de modulación fueron similares. Se estima que el uso de módulos o segmentaciones se hacía hace aproximadamente 2000 años, mientras que el muro de tierra modelada logró una difusión 1000 años después aproximadamente. Por tanto, el criterio de segmentar o modular era muy antiguo. Esto es significativo pues la geometría de los bloques, la proporción y forma de los segmentos se mantuvo similar, lo que indica que su ejecución se debió necesariamente a un procedimiento en obra que no cambió al adaptarse a un nuevo sistema constructivo.

Un buen ejemplo del uso de la segmentación de muros de adobes se encuentra en el Santuario arqueológico de Pachacamac. En la denominada Pirámide con Rampa N°3 se pueden apreciar varias decenas de metros lineales de muros construidos bajo este criterio. En forma similar a los muros de tierra modelada, se pueden observar formas trapezoidales y de cuadriláteros con las juntas formando planos inclinados para el apoyo entre bloques. Los aparejos empleados son los que intercalan hiladas de cabeza y soga alternadamente que le brindan una buena rigidez a cada bloque independiente. Gracias al empleo de adobes en los muros es más evidente el empleo de las segmentaciones.

Se aprecia en las juntas entre bloques señales de desplazamientos, golpes entre bloques y colapsos de segmentos sin afectar al conjunto total de la muralla de la cual forma parte, lo que se interpreta como otro indicativo de funcionamiento del sistema, pues se propone que el objetivo de este criterio constructivo era evitar el colapso total de la estructura.

Figura 3. Muros de tierra modelada segmentados

Se descarta que esta modulación y las juntas se hicieran con fines estéticos pues los muros tenían revoques que no permitían apreciarlas desde el exterior del edificio. De acuerdo con los registros, tanto en los bloques cuadrangulares de los Moche (Shimada, 1997) o en los muros perimétricos Yschma, las juntas de unión de los bloques no se exponían originalmente hacia el exterior de la edificación y por tanto no respondían a necesidades estéticas, necesariamente.

Hacer una modulación no era un trabajo fácil y el rendimiento de los trabajadores debió ser inferior a una construcción sin segmentar. Esto se aprecia especialmente en los muros de adobes. Su empleo permite pensar que se debió a necesidades técnicas estructurales. La exigencia de construir las grandes murallas, siguiendo esta modulación y siguiendo estrictamente los aparejos y alternancia de unidades, lleva al convencimiento que se debió a exigencias de carácter físico-mecánico y muy probablemente sísmico. Corresponde a la disciplina arqueológica determinar la cronología de estas técnicas constructivas para que las tradiciones arquitectónicas como la que se presenta en esta investigación sirvan como indicadores de investigación del pasado, sumándose al empleo de la cerámica, contextos funerarios, entre otros.

4 HIPOTESIS SOBRE SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Se plantea que lo que se buscaba con la segmentación geométrica de los muros era que la estructura se comportara de forma tal que pueda ser de cierta forma predecible y racional. El resultado fue intentar preestablecer la forma cómo se comportaría dicha estructura, los adosamientos de bloques formando grandes muros responden a una necesidad de convertir un bloque monolítico de tierra de comportamiento frágil en uno que se acerque a un comportamiento dúctil. Es un criterio para resolver el comportamiento de estructuras que tienen un alto grado de fragilidad de una forma determinística y sencilla:

> Los desplazamientos de las estructuras antiguas son impredecibles y la magnitud de las fuerzas son una incógnita. Por tanto, su comportamiento es hipotético y en el cual las acciones sísmicas ocurren. (Huerta, 2017).

La segmentación fue un procedimiento encargado de brindar al muro la resistencia suficiente para mejorar la respuesta en caso de sismos, de tal manera que las juntas de contacto entre los bloques formaban rótulas plásticas en localizaciones predeterminadas para formar un mecanismo similar a un comportamiento dúctil de la estructura. A través de estas uniones se disipaba energía sísmica y se obtenía mayor capacidad de deformación, cada zona de contacto se convertía así en una rótula plástica capaz de deformarse.

El armado de muros dividido en segmentos requirió de previsión de sus componentes. La disposición de los segmentos constructivos con lados inclinados es tal que los esfuerzos laterales de origen sísmico se convierten en esfuerzos de compresión que transmiten cada segmento a los muros confinantes y se reparte a lo largo del muro. El peso de cada bloque se puede descomponer en dos fuerzas, una perpendicular a la superficie de contacto de cada bloque y otra paralela a esa misma superficie. La fuerza perpendicular a la superficie trabaja en compresión con el segmento contiguo equilibrándose. En cuanto a la segunda fuerza, la cual carga al segmento para que se deslice en el plano de unión entre bloques, dada la forma de los segmentos y a la rugosidad de las superficies en contacto la fuerza también es equilibrada. La carga entre bloques trasmite sucesivamente unos a otros esfuerzos de compresión, mientras éste tenga las dimensiones adecuadas podrá absorber estos esfuerzos y no agrietarse por este componente de fuerza. El principio mecánico que gobierna o dirige este tipo de estructuras son aparentemente simples: Las juntas entre bloques le dan plasticidad al muro, para adecuarse a las distintas variaciones de las condiciones a la que es sometida a lo largo de los años.

Paulay (1995) mencionaba que, para asegurar la supervivencia estructural de una edificación a un gran terremoto, se requiere escoger un mecanismo para asegurar que todos los lugares donde tendrá lugar la disipación de energía por deformación estén claramente identificados,

estrategia simple que tiene coincidencia con la hipótesis del comportamiento de los muros segmentados.

La incertidumbre acerca del comportamiento de las estructuras se resolvió mediante la segmentación de los muros, esto es, estableciendo las zonas donde la estructura debería fallar, seguramente en un proceso de ensayo-error largo pero que dejó claros ejemplos de los progresos de esta filosofía. Como se ha demostrado, los constructores descubrieron a partir de la observación y posteriormente por la experimentación (Huerta, 2004), es decir siguieron un método completamente científico para descubrir que la disposición geométrica de los segmentos de muros lograba estructuras aptas para poder soportar sismos frente a otras estructuras que no tenían tal condición.

Ténganse en consideración que el criterio donde se emplea la disipación de la energía sísmica en las edificaciones del antiguo Perú no es nuevo. Ya se usaba con las shicras (Vargas Neumann et al., 2012), unas bolsas de fibra vegetal que se empleaban en los rellenos constructivos de las edificaciones como refuerzo estructural veinte siglos antes del uso de los bloques segmentados. Recientes estudios han evaluado el comportamiento dinámico corroborándose que las shicras pueden reducir la aceleración sísmica hasta en un 25% (Fukuyama et al., 2016), confirmando los planteamientos que se realizaron el año 2011 acerca del aporte a la estabilidad de las estructuras de estos artefactos.

Silgado (1978) señaló que en 400 años se habrían registrado en Perú alrededor de 2.500 sismos, muestra de la actividad sísmica de la costa peruana. Sin duda estos fenómenos fueron asimilados por las sociedades del antiguo Perú para proponer soluciones ante los continuos eventos extremos que en diversa magnitud los afectaban. Esta investigación ha permitido establecer que la segmentación de muros permitió bajo demandas sísmicas de poca intensidad que el daño correspondiente fuera menor y probablemente fácilmente reparable. Varios segmentos que forman los muros se encuentran desplazados de su posición original, aunque independientemente unos de otros. Estos desplazamientos fueron posibles gracias a las juntas de construcción entre bloques que formaron una especie de rótula plástica en la zona de contacto entre ellos.

La idea de convertir un objeto extremadamente rígido en un elemento flexible, entendiéndose que las juntas entre bloques le otorgan algún nivel de flexibilidad es un avance notable en la construcción con tierra considerando los desplazamientos originados por sismos. La difusión de los segmentos constructivos requirió planificación. Los muros construidos con esta técnica tienen elementos de confinación y de ajuste que se construyen en una forma lógica con el objetivo de mantener el máximo ajuste entre bloques asegurando la estabilidad de toda la estructura, se emplearon un catálogo de formas (Huerta, 2004) que les permitía otorgarles a las estructuras un nivel de seguridad aceptable.

5 CONSIDERACIONES FINALES

Los aportes científicos de las antiguas civilizaciones americanas en muchos casos han sido restringidos a curiosidades y a explicaciones sobrenaturales. No obstante, con el paso de las investigaciones se hace evidente que las aportaciones son evidentes y en algunos casos complejas para lograr comprenderlas.

Sin duda, los terremotos son fenómenos que han condicionado el desarrollo de la arquitectura debido a la recurrencia y severidad en una de la región con intensa actividad sísmica. Se ha demostrado que, en forma racional, determinística y simple, intentaron resolver la estabilidad de sus edificaciones, aunque es claro que falta mucho por investigar al respecto.

Por lo general, el análisis arquitectónico de las obras del Perú antiguo se ha concentrado en determinar la función del edificio o a cuestiones antropológicas como la organización de la fuerza de trabajo necesaria para la obra, mientras que no se profundizó de igual forma en los aspectos técnicos constructivos.

Corresponde a la disciplina arqueológica determinar la cronología de estas técnicas constructivas para que las tradiciones arquitectónicas como la que se presenta en esta

investigación sirvan como indicadores de investigación del pasado, sumándose al empleo de la cerámica, contextos funerarios, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fukuyama, H.; Fujisawa, M.; Abe, A.; Kabeyasawa, T.; Shirane, Z. (2016). Research on earthquake response reduction properties and its repeatability of the foundation technology used in the sanctuaries dating up to 5000 years ago. Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, 15(6):6_77-6_90.

Huerta, S. (2004). Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Huerta, S. (2017). Curso magistral mecánica de las estructuras históricas. Facultad de Arquitectura UNAM. [En línea] Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=Q_VBBmmmAtk&t=5703s

Paulay, T. (1995). Confianza con simplicidad en el diseño sismorresistente. s.l.:UPC.

Pulgar Vidal, J. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. Sao Paulo: Universidade de São Paulo, Rede Brasileira de História da Geografia.

Shimada, I. (1997). Organizational significance of marked bricks and associated construction features on the North Peruvian Coast. En: Archaeologica Peruana 2. Arquitectura y Civilizacion en los Andes Prehispanicos. Heidelberg: Sociedad Arqueol[ogica Peruano Alemana, pp. 62-90.

Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974) -. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; n° 3 ed. s.l.:Instituto de Geología y Minería.

Torres, H. E. (2021). Análisis y conservación de muros de tierra modelada en contextos arqueológicos del antiguo Perú. [En línea] Disponible en: https://riunet.upv.es/handle/10251/176564

Vargas Neumann, J.; Iwaki, C.; Rubiños, A. (2012). Sismo resistencia en las Entrañas de Caral. Lima, Terra 2012.

AUTOR

Henry Eduardo Torres, ingeniero civil con especialización en conservación de patrimonio arquitectónico, actualmente doctorando en la Universidad Politécnica de Valencia. Desarrolla proyectos de puesta en valor para instituciones públicas, así como de fondos privados, en sitios arqueológicos e históricos de Lima y otras ciudades del Perú. Los temas de investigación que son de su interés académico están relacionados a la arquitectura en tierra con énfasis en sistemas constructivos, manejo y control de calidad de la tierra como material para la construcción y conservación, otro aspecto de interés son los procedimientos técnicos para la preservación de edificaciones en tierra especialmente en contextos arqueológicos y en edificios históricos.