

Caracterización y Patología de los Muros de Tierra de las Construcciones Andinas Ecuatorianas

Lara, M. Lenin^{1,2,*} ; Bustamante, Rosa² 

¹Universidad Internacional del Ecuador, Facultad para la ciudad, paisaje y arquitectura, Quito, Ecuador

²Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid, España

Resumen: A partir del análisis tipológico de las construcciones de adobe, tapial y bahareque de 50 inmuebles situados en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, se han analizado las lesiones físicas, mecánicas, químico-biológicas y antrópicas producidas por los agentes atmosféricos y por el suelo, que afectan a las edificaciones en tierra cruda del área andina ecuatoriana y posteriormente las características físicas, resistencia mecánica y composición químico-mineralógica. Los resultados determinan que el agua afecta principalmente al 40% de los inmuebles por defectos constructivos, como la falta de sobrecimientos que facilitan las humedades en las partes bajas o de aleros pequeños que no protegen del agua de lluvia deteriorando los recubrimientos de barro, sobre todo de los bahareques y que se acentúa por el emplazamiento aislado de las edificaciones. Además, la dosificación empírica de la tierra utilizada con tamaño máximo de grava de 15-18mm más arenas está en la proporción de menos de 30% y poco más de 70% de arcillas y limos en las muestras de adobe y tapial; proporciones que varían en el bahareque con casi 55% de gravas -arenas y 45% de finos; con resistencias a compresión menores a 3MPa. Se han recogido las especies madereras, cañas y fibras utilizadas en la confección de las armaduras de cubiertas, entramados y mampuestos. La antigüedad de las edificaciones rurales sobrepasa los 50 años y el 82% de las estudiadas se encuentran en estado de abandono.

Palabras clave: construcción en tierra, patología constructiva, arquitectura andina ecuatoriana, patrimonio rural, Ecuador.

Characterization and Pathology of Earthen Building Walls in the Ecuadorian Andean Area

Abstract: From the typological analysis of adobe, rammed earth, and bahareque constructions of 50 properties located in the provinces of Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, and Bolívar, the physical, mechanical, chemical-biological, and anthropic damages produced by atmospheric agents and by the soil have been analyzed, which affect raw earth buildings in the Ecuadorian Andean area and subsequently the physical characteristics, mechanical resistance, and chemical mineralogical composition. The results determined that water mainly affects 40% of the buildings due to construction defects, such as the lack of footings over foundations that facilitate dampness in the lower parts or small eaves that do not protect from rainwater, deteriorating the mud coatings, especially of the bahareque and that is accentuated by the isolated location of the buildings. In addition, the empirical earth mixture used with a maximum gravel size of 15-18mm plus sands is in the proportion of less than 30% and a little more than 70% of clays and silts in the adobe and rammed earth samples; proportions that vary in the bahareque, with almost 55% of gravel-sand and 45% of fines; with compressive strengths less than 3MPa. The wood species, reeds, and fibers used in the manufacture of roof trusses, frameworks, and masonry have been collected. The age of the rural buildings exceeds 50 years and 82% of those studied are in a state of abandonment.

Keywords: earth construction, constructive pathology, Ecuadorian Andean architecture, rural heritage, Ecuador.

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, muchas de las construcciones en tierra son patrimonio tangible de la arquitectura vernácula que se extiende por toda el área andina. La zona de estudio abarca la sierra central del país, construcciones rurales y periurbanas situadas entre los 2.950 m.s.n.m. hasta 6.310 m.s.n.m., en

donde predomina el clima mesotérmico seco con una temperatura promedio de 13°C en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar (Figura 1). En estas últimas seis décadas prima la construcción del bloque prensado de hormigón en el 43% de las viviendas; las técnicas de tierra como el adobe, adobones, tapial y bahareques constituyen el 7,76% de las construcciones rurales de un total

*leninlara@hotmail.com

Recibido: 25/05/2021

Aceptado: 22/02/2022

Publicado en línea: 23/03/2022

10.33333/rp.vol49n2.04

CC 4.0

de 1'130.319 de edificaciones registradas en el Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEC, 2010).

Se ha desplazado bruscamente esa transferencia recíproca del conocimiento ancestral de las construcciones de adobe, tapial, bahareque y *pared de mano* (muro monolítico de tierra con gran cantidad de paja aplicada en estado plástico similar al *cob*), o con caña y guadúa (*Guadua angustifolia*), pasando a denominarse materiales alternativos (Ceballos, 1992). En diciembre de 2007, se emite el Decreto de Emergencia del Patrimonio Cultural del Ecuador con el fin de rescatar y salvaguardar la identidad cultural, que genera un informe para proteger a las construcciones primitivas. Las provincias que son parte de este estudio poseen 4.855 edificaciones de los 14.597 bienes catalogados, concentrando el 30,8% de los inmuebles registrados (MCP, 2009; Cortés et al., 2019).

El área se caracteriza por la proximidad de varios pisos climáticos y ecosistemas, piedemontes, páramos andinos y glaciares, en donde se implantan las áreas rurales excepto en los páramos situados a 4.000 m.s.n.m. que representan el límite para las actividades humanas y que se utilizan para pastizales de los animales o recogida de leña (Yépez, 2020: 43-49). Además, el área se caracteriza por la presencia de volcanes, algunos en estado activo como el Cotopaxi (Martel et al., 2018:74-76). Hay que considerar que las amenazas en esta zona proceden del contexto volcánico, por fallas interplaca tipo *thrust*, fallas intraplaca de profundidad intermedia, y fallas superficiales, entre otras. En resumen, un modelo de convergencia oblicua según los investigadores y documentos sísmicos; los mismos que aumentan la vulnerabilidad y amenazas del riesgo.

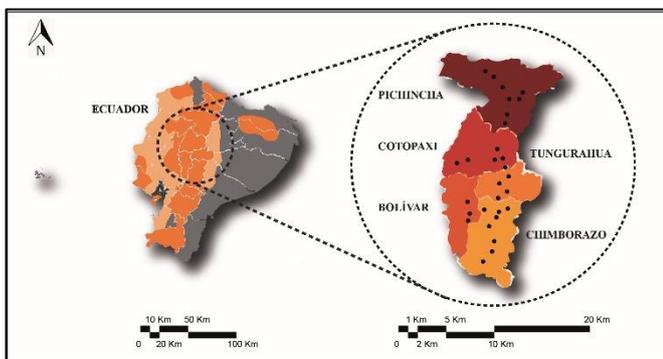


Figura 1. Ubicación de los inmuebles y lugar de toma de muestras

Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

La arquitectura es el producto de una sociedad que ha idealizado una solución sencilla a un problema básico funcional y concreto que es habitar, que aprovecha las ventajas y recursos propios del lugar y genera una “*construcción simple, clara y fácil de entender*” (Rapoport, 1969). Esta nos ofrece un abanico abundante de soluciones constructivas de acuerdo con el clima, suelo y adaptación a los recursos, que han sido ampliamente difundidos con recomendaciones para mantener la construcción en tierra (PNUD, 1987a; 1987b; Guillaud et al., 1995).

A nivel de habitabilidad, el dinamismo de la construcción en tierra cruda se manifiesta en el confort térmico en climas cálidos, así como en un buen aislamiento al ruido aéreo, asociados a la masa, inercia térmica y regulación higrométrica

natural (Faria, 2007). La conductividad térmica es baja si se compara con otros materiales de construcción, 0,371 W/mK en adobes sin fibras que se reduce a 0,349 W/mK en adobes con fibras (Piñas et tal., 2020). Sin embargo, los muros sin aislamiento térmico en climas fríos son similares a los de ladrillo, por lo que es inminente aumentar el espesor del muro o bien incorporar un aislamiento térmico para que sean confortables. Pues la temperatura de las casas de tierra apisonada sin aislamiento desciende alrededor de 5° respecto a las que lo tienen (Soebarto, 2009). En la Tabla 1 se indica la temperatura promedio de las ciudades representativas del estudio y los tipos predominantes.

Tabla 1. Caracterizaciones de la tipología edificatoria basada en la condición climática y el promedio de precipitaciones de los años 2017 – 2019 (Climate, 2018)

LOCALIZACIÓN	TEMPERATURA °C PRECIPITACIÓN mm	TIPOLOGÍA EN TIERRA
PICHINCHA	12,3°C Σ 2877 mm	Adobe 5 Tapial 4 Bahareque 1
COTOPAXI	8,8 °C Σ 1946 mm	Adobe 4 Tapial 4 Bahareque 4
BOLÍVAR	10,8 °C Σ 4355 mm	Adobe 2 Tapial 2 Bahareque 2
TUNGURAHUA	11,6 °C Σ 1402 mm	Adobe 3 Tapial 2 Bahareque 5
CHIMBORAZO	7,3 °C Σ 1462 mm	Adobe 4 Tapial 5 Bahareque 3

Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

La tierra de las construcciones sufre mayor deterioro que otros materiales, porque en el endurecimiento del barro no se produce una nueva cristalización de componentes, como en la cal o el cemento, convirtiéndose el agua en su agente principal de deterioro porque puede reblandecerlo (Monjo, 1998). Posteriormente, la falta de mantenimiento agudiza el deterioro, acotando que el estado de conservación de los edificios de las zonas urbanas es mejor que el de las zonas rurales porque generalmente presentan encalados, revocos de cal, yeso o cemento, los cuales evitan la erosión de los muros de adobe o bahareque de las edificaciones de muchos centros históricos (Lara et al., 2021), o bien se convierten en la *capa de sacrificio* que protege al material de constitución del muro.

El principal objetivo de las normativas e investigaciones para consolidar los muros de tierra es evitar el derrumbe producido por los seísmos, y por consiguiente eliminar situaciones de riesgo. Se pueden citar: las cerchas prefabricadas de acero galvanizado insertadas en las juntas del cerramiento de adobe cada 90cm para conseguir construcciones sismo resistentes, módulo que permite abrir puertas, ventanas y escaleras (Orta et al., 2009); la aplicación de mallas de fibras sintéticas a ambos lados del muro y unidas con cuerdas (Solis et al., 2015); la ayuda de perfiles angulares de PVC en la fijación de una red para mejorar la capacidad de deformación y ductilidad frente a solicitaciones horizontales inducidas por un seísmo (Varum et al., 2011); o bien construcciones híbridas de hormigón y

tapias prefabricados (Zawistowski et al., 2020), aunque la arcilla sufre cambios dimensionales por retracción o dilatación ante variaciones de humedad y temperatura, afectando su adherencia al hormigón (Velarde et al., 2021). En cualquier caso, en áreas rurales, el adobe reforzado con diversas técnicas es una alternativa viable y competitiva por su menor impacto ambiental en lugar de reemplazarlas con mamposterías (Cárdenas et al., 2021).

Los tipos constructivos de tierra analizados son el tapial, adobe, adobones (mayores dimensiones que el adobe) y bahareque (Figura 2). Este último es un entramado de madera cuyo hueco está armado por un entrelazado de elementos verticales u horizontales (cañas), relleno y recubierto con tierra. Incluso se han utilizado en la región del Zulia-Venezuela, conchas de coco (Henneberg de León, 2012), y grauvaca “piedra de ojo” de color gris pardo en el relleno de los bahareques conformados por horcones o pies derechos separados a distancias que oscilan entre 0,65m y 2,40m.

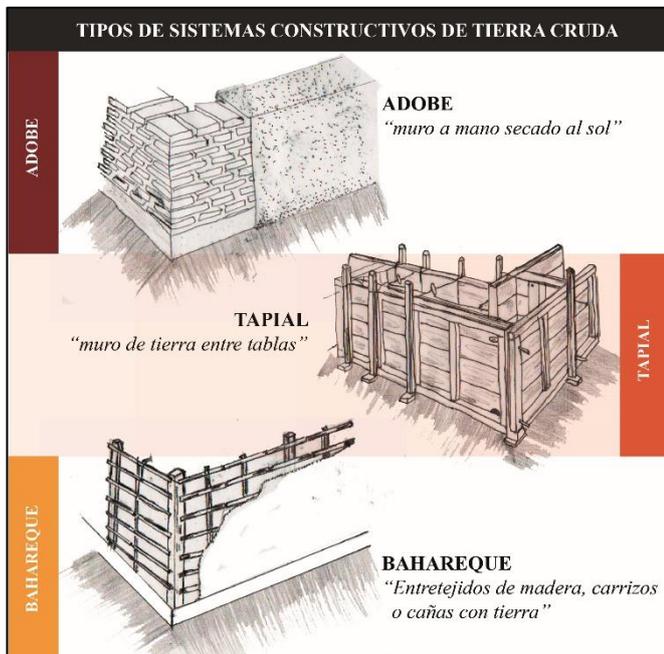


Figura 2. Tipos de sistemas constructivos de tierra cruda (Lara, 2018; 31-41)
Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

2. ANÁLISIS, PROCESOS Y METODOLOGÍA

Las construcciones de tapial analizadas son de una planta con muros de sección que varía de 50cm a 70cm x 90cm a 1m de altura del cajón, y altura total del muro entre 2,20m a 2,40m con tejado cerámico a dos aguas. Los adobones son de 60x30x15cm (*largo, ancho, grueso*), y los adobes de 40x20x15cm; muros también de una planta con cubierta a dos aguas, con evidente falta de buen enjarje en las esquinas entre adobes o adobones, o entre las divisiones internas, además de que muchas de las construcciones carecen de un encadenado de coronación del muro (*viga collar*). El zócalo de 15cm de altura, a veces inexistente, no protege a los muros de la entrada de agua. Sin embargo, en el entorno rural se cuenta con bahareques de una y dos plantas, con tejado a dos aguas; entramados variables de aproximadamente 1,5m de ancho por 2,20m a 2,40m de altura con pies derechos y tornapuntas de

eucalipto (*Eucalyptus globulus*); y cañas de carrizo (*Phragmites communis*) colocadas horizontalmente que reciben el recubrimiento de barro.

2.1 Patología de la construcción en tierra

El territorio ecuatoriano es un libro abierto de ejemplos constructivos en tierra cruda, aunque se han analizado las construcciones que por accesibilidad y diálogo con los usuarios facilitaron la inspección *in situ*. De un total de 74 edificaciones que en un principio eran parte del estudio, solo se llegaron a procesar 50 con información óptima: 18 inmuebles de adobe, 17 de tapial y 15 construidas con bahareques.

El material utilizado para la investigación se ha basado en el levantamiento de las características más importantes: tipo, geo-referencia, materiales y procesos patológicos, entre otros, además, de la documentación fotográfica (Figura 3), y mapas explicativos de las lesiones, e histórica en su caso (Levicoy and Lira, 2020). En la ficha de recogida de datos se han clasificado las lesiones que permiten cuantificar los daños y la incidencia en el estado de conservación: físicas, mecánicas, químicas, biológicas y antrópicas.

2.1.1 Lesiones físicas

Las lesiones de tipo físico causadas principalmente por la entrada del agua, son las más frecuentes en el 40% de los inmuebles, que se manifiesta en la desintegración del material de tierra (Lara, 2018; 31-41). En particular, del revoco de estas construcciones rurales llamado vulgarmente “chocoto”, casi inexistente por su composición pues la tierra utilizada en la zona de estudio procede de los sembríos que tienen menor proporción de arcilla. La humedad de capilaridad en el 22% de los inmuebles, se debe a una falta de concepción integral del diseño que no aísla la vivienda de los huertos y sembríos colindantes mediante bordillos, aceras perimetrales, cunetas o drenajes, así como por la ausencia de una cadena inferior de piedra o sobrecimiento para evitar la saturación y ascenso capilar en las partes bajas de los muros. El ascenso capilar produce erosión y desprendimiento del revestimiento de adobes (Figura 3.a) o de bahareques dejando visible las cañas, evidenciando el entramado y deformándolas (Figura 3.b y c).

La humedad de filtración de agua de lluvia en el 18% de los inmuebles se produce principalmente por la ausencia de aleros en los testeros o de escaso vuelo, que expone a los muros directamente a la lluvia y salpicaduras constantes acelerando el proceso de erosión (Figura 3.d y e). Las partes bajas resultan más afectadas por el escurrimiento del agua desde las partes altas, a las que suma el salpique en superficies duras o por estancamiento en las depresiones del suelo (Beckett et al., 2020). Mientras que el 10% restante presenta lesiones combinadas físicas y mecánicas. Por otro lado, el ingreso del agua de lluvia en los tejados originando deformaciones por hinchazón, merma y curvatura, produce el desprendimiento de tejas que se reemplaza con chapa metálica y el recubrimiento de los bahareques (Figura 3.d y e).

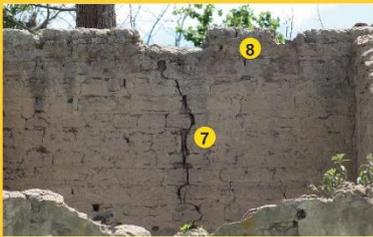
REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN DE LESIÓN
	3.a. Humedad por capilaridad que ha producido el desprendimiento del revestimiento del muro de adobe.
	3.b. Humedad por capilaridad y de filtración de bahareque y desprendimiento del recubrimiento.
	3.c. Crecimiento de vegetación en cubierta, desprendimiento del recubrimiento y deformación de las cañas del entramado.
	3.d. Grieta oblicua en la esquina de la construcción con adobones, falta de alero en el testero y desprendimientos en el alero lateral.
	3.e. Crecimiento de vegetación en muro y en las partes bajas que carecen de sobrecimiento y acera perimetral.
	3.f. Grieta atravesando los adobes y las juntas por falta de encadenado o protección en la cabecera.

Figura 3. Lesiones de los tipos constructivos analizados. (1) Humedad capilar, (2) Desprendimientos, (3) Crecimiento vegetal, (4) Deformaciones, (5) Fisura, (6) Sobrecimiento inexistente, (7) Grieta, (8) Falta de encadenado

Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

2.1.2 Lesiones mecánicas

El 22% de los inmuebles presenta grietas que atraviesan la sección del muro, de los adobes y las juntas (Figura 3.f); y el 18% corresponde a fisuras que son de menor profundidad o alteran solamente el revestimiento de tierra (Figura 3.b). Las juntas son gruesas y en las construcciones de adobe se recomienda que no sean mayores a 2cm.

La respuesta patológica mecánica se produce por la falta de nivelación y compactación previa del suelo, y como se ha indicado antes, por la ausencia del encadenado de piedra en la base (Figura 4) que produce asentamientos del muro debido a la deformación o hundimiento de la superficie del terreno por efectos de las cargas, que sumados a la erosión de los mampuestos debilita la consolidación de los muros dando como resultado fisuras y grietas que en mayor o menor escala producen desprendimientos y alteran la composición estructural de los mismos.

Se ha demostrado que los muros de tapial de un espesor de más de 60cm han resistido sismos durante siglos y que la altura del muro no debe ser mayor a 8 veces el espesor del muro (Minke, 2005). Pero la ausencia de la viga collar o solera en la parte superior de los muros contribuye a la aparición de grietas e impide el arriostamiento de la cubierta. Además, los muros frente a un terremoto, el valor de aceleración de la parte superior es mucho mayor que el de la parte inferior (Li et al., 2021). En las Figuras 3.d, e y 4, se aprecia que la viga collar no tiene continuidad pues se introduce parcialmente en los testeros. Además, las cubiertas de teja a dos y cuatro aguas son muy pesadas para las estructuras de los bahareques y para las armaduras de los tejados, lo cual produce hundimientos del tejado o el colapso de los muros (Jinwuth et al., 2010). Podrían soportar mejor las cubiertas de paja que presentaban solamente 5 edificaciones “*aquellas del páramo*” de los 50 inmuebles inventariados.

2.1.3 Lesiones químico – biológicas

En las áreas rurales se manifiesta principalmente daños biológicos más que químicos que se presentan en las ciudades. Identificándose en el 10% de los inmuebles inventariados los daños por la vegetación que coloniza los muros (Figura 4) y en menor proporción los microorganismos y xilófagos que atacan a las fibras orgánicas. Las especies madereras más utilizadas en las armaduras de las cubiertas y bahareques son el canelo (*Aniba canelilla*), laurel (*Cordia alliodora*), pino (*Pinus radiata*), pigue (*Piptocomadiscolor*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*); otra especie utilizada es el cadi (*Phytelphas Aequatorialis*) similar al carrizo (*Phragmites communis*). Sin embargo, la radiación ultravioleta también es responsable del deterioro y envejecimiento acelerado de los elementos de madera y su agrietamiento superficial (Henneberg de León, 2012; Shupe, et al., 2008: 4-5).

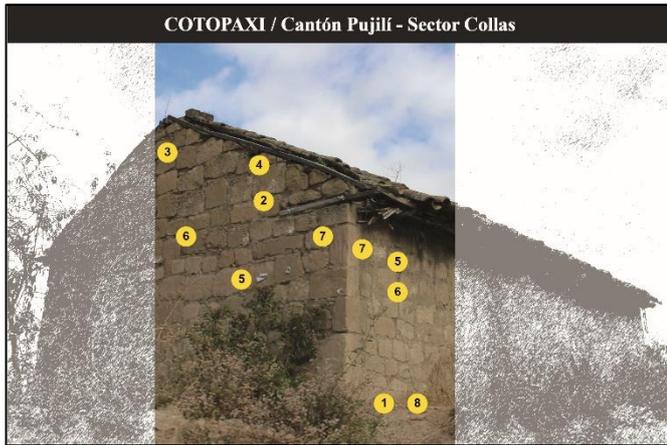


Figura 4. Descripción de lesiones y errores constructivos. (1) Falta de sobrecimiento perimetral, (2) Falta de viga collar perimetral, (3) Falta de alero en los testeros provocando su erosión, (4) Falta de mortero nivelado en la cabecera en los testeros, (5) Juntas gruesas en el aparejo, (6) Falta de revestimiento continuo, (7) Unión inadecuada entre adobes, continuidad de juntas, (8) Falta de vereda o plataforma de la construcción.

Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

El estiércol de animales de granja utilizado para mejorar la cohesión, unión y resistencia, en la preparación de la mezcla de tierra, por la plasticidad y fácil accesibilidad de este componente que procede de la transferencia de conocimientos

ancestrales de construcción, altera el endurecimiento de las mezclas durante el secado y aumenta su permeabilidad.

2.1.4 Lesiones antrópicas o intervenciones no programadas

Las lesiones antrópicas más visibles están causadas por las roturas producidas para sostener las instalaciones de electricidad visibles o semi-empotradas, apertura de puertas o ventanas muy cerca de las esquinas, erosiones por falta de protección debido a la baja dureza superficial ante cualquier impacto.

Sin olvidarnos de las vibraciones por tráfico que sufren las construcciones al tener como vía de acceso la carretera principal del país.

Los principales agentes de deterioro: atmosféricos, tectónicos o del suelo (*por constituir una zona muy expuesta a sismos en el corredor volcánico ecuatorial*) y por errores de construcción incluyendo los relacionados con el uso original del inmueble, así como su adaptación a nuevos espacios, se presentan en la Tabla 2. Evidentemente, el listado de las lesiones antrópicas es menor en las áreas rurales que en las urbanas (Watt, 2007).

Tabla 2. Clasificación e identificación de las causas y lesiones más comunes de construcciones rurales de tierra

AGENTES DE DETERIORO	ATMOSFÉRICOS	SUELO	ERRORES DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN/MATERIALES/USO
FÍSICOS	Lluvia, nieve, escarcha, viento, variaciones de temperatura, radiación solar	Finos, granulometría, inundaciones, agua de superficie y del suelo	Altura del sobrecimiento <30cm, falta de revestimiento, inclinación inadecuada del tejado, pendientes forzadas en cubiertas, escaso vuelo del alero, canalones defectuosos, fisuras por dilatación y contracción no reparadas, desfibramiento de elementos y envejecimiento de la madera.
MECÁNICOS	Dilatación térmica, expansión hídrica, acción del viento	Sismos, erupciones volcánicas, hundimientos del suelo	Falta de cimientos, uniones críticas con los muros, falta de trabazón de adobes y adobones, relación inadecuada espesor/altura de muros, ausencia de la viga collar o zunchado de cabeceras de muros, cubiertas mal arriostradas y muy pesadas y/o mal diseñadas, uniones defectuosas de los tímpanos de muros con las cubiertas a dos aguas, espesor de juntas >2cm, situación de vanos cerca de esquinas, cargaderos o dinteles de escaso empotramiento en el muro <50cm, falta de contrafuertes en tramos largos y remates o reforzamiento en las esquinas o encuentros, erosiones por rozamiento de jambas o en las partes bajas del muro, falta de refuerzos de muros o zunchados una vez producido un sismo.
QUÍMICOS	Oxígeno, ácidos, excrementos, nieblas salinas, humos industriales	Sustancias ácidas y básicas, ácido carbónico, ácido húmico, suelo volcánico	Mezclas defectuosas por el % de arena, finos y adiciones según la práctica constructiva, en la confección de piezas y mortero de juntas y revestimientos
BIOLÓGICOS	Bacterias, semillas; insectos xilófagos, aves	Bacterias, mohos, hongos, líquenes, raíces; roedores, termitas, gusanos	Falta de zócalos, aceras perimetrales, aleros y barreras adecuadas para evitar el crecimiento vegetal por la humedad e ingreso de insectos y animales pequeños.
ANTRÓPICOS	Exposición a contaminantes	Vibraciones por tráfico o máquinas	Roturas del muro por el paso de instalaciones, cuelgue de elementos, impactos, apertura de vanos nuevos a menos de 1m de las esquinas, rejuntados o revocos con cemento; hollín, manchas.

Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

3. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Se realizó una toma de muestras de núcleos de los tipos constructivos, tapial, adobe y bahareque, evitando cualquier daño al inmueble. Se sometieron a pruebas de laboratorio para caracterizar tanto su composición mineralógica como su resistencia mecánica (Figura 5). Se puede apreciar la radiación térmica procedente del material que mide la termografía infrarroja.

El análisis del suelo y por consiguiente del material con el que se prepararon las muestras se presentan en la Tabla 3. Presentaban un bajo contenido de humedad, 3,30%, y un rango de acidez equivalente a pH 5,5. Se observa que el contenido de materia orgánica es aproximadamente 5%, aunque se recomienda que sea menor a 2%. Su presencia retarda el proceso de endurecimiento, pero también este porcentaje de material orgánico incorpora las fibras que contenían las mezclas analizadas, paja de trigo, cebada o cadi. Al respecto, para evitar las fisuras por retracción de secado de la arcilla de

los bahareques, se recomienda añadir paja triturada. Igualmente, en la fabricación de los adobes en la proporción en volumen 5:1:1 (*tierra/arena/paja*).

La obtención de los límites de consistencia de Atterberg, líquido, plástico e índice de plasticidad (IP), caracteriza el comportamiento de los suelos finos arcillosos (tamaño de grano <0,002mm), limosos (0,002 a 0,05mm) y de los materiales granulares como las arenas (2,0 a 0,05mm), y que corresponde al geo material presente en el área andina alimentado por la diversidad de pisos climáticos.

El IP ≈19% es similar para las tres mezclas, clasificándose el material en el sistema unificado de suelos SUCS como CL: arcillas orgánicas y arcillas limosas de baja plasticidad en tapiales y adobes y CL: arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media y arcillas limosas y arcillas magras en los bahareques. Mientras que en el sistema americano AASHTO, la clasificación es A-6 suelo arcilloso, A-5 suelo limoso y A-2-7 arenas limo arcillosas, en las muestras de adobes, tapiales y bahareques respectivamente.

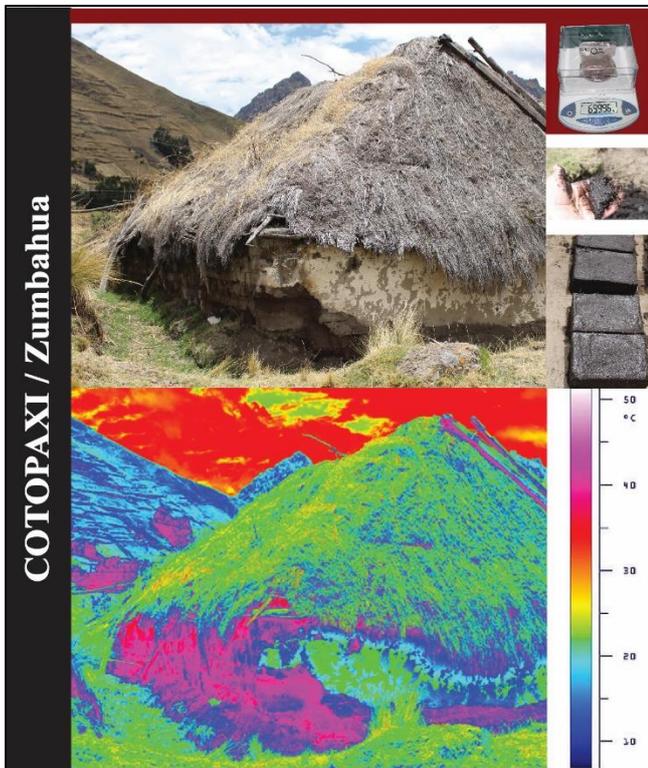


Figura 5. Análisis de muestras de edificación
Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

El análisis granulométrico determina en primer lugar la presencia de gravas (*tamaño máximo 15-18mm*) en la composición de las mezclas, aproximadamente 11% en tapiales, adobes; y el 7% en bahareques, que se debe a que la masa contiene granos más finos para compactarla mejor en el espesor de 12cm de los entramados y tejido de cañas. En cualquier caso, la presencia de gravas incide en una mayor densidad y dureza del material terroso.

La diferencia fundamental radica en el contenido de arenas, 17% en tapiales y adobes y casi 50% en bahareques. La suma de gravas y arenas no cumple los porcentajes recomendados de material granular según el sistema constructivo, es decir, 40-60% para el adobe, 60-75% para el tapial y 40-60% para el bahareque (Ceballos, 1992). Según los resultados, los finos superan estos límites en los tres tipos constructivos.

Por otro lado, en la cordillera ecuatoriana, con alto contenido de toba volcánica, el material fino endurecido denominado *cangahua* representa el 15% del área cultivada y el suelo resultante contiene la fragmentación de estas cenizas, generalmente por el uso de maquinaria pesada, pero de aparente estructura milimétrica estable (Jiménez et al., 2018: 38-50). Aunque es altamente susceptible a la desintegración por las condiciones atmosféricas de grandes lluvias en la cordillera central volcánica, al carecer de materia orgánica y poca arcilla, la *cangahua* constituye un árido de las mezclas inevitablemente (Podwojewski y Germain, 2005: 35-51).

Tabla 3. Caracterización del suelo

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	RESULTADOS PONDERADOS DE LAS MUESTRAS			
	ADOBE	TAPIAL	BAHAREQUE	
Contenido de humedad	3,35%	3,35%	3,25%	
Contenido de material orgánico	4,75%	4,69%	5,51%	
pH	5.5	5.6	5,5	
Límite de consistencia	LL (<i>Límite líquido</i>)	45,51%	41,98%	34,18%
	LP (<i>Límite plástico</i>)	26,26%	25,33%	18,51%
	IP (<i>Índice plástico</i>)	18,95%	19,26%	18,26%
Composición granulométrica	Gravas	11,15%	10,89%	7,03%
	Arenas	15,72%	17,05%	47,51%
	Limos y arcillas	73,12%	72,05%	45,45%
Composición del suelo	SUCS (<i>Unificado de Clasificación de Suelos</i>)	CL - Arcillas Orgánicas y Arcillas Limosas de baja plasticidad	CL - Arcillas Orgánicas y Arcillas Limosas de baja plasticidad	CL - Arcillas Inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas limosas y arcillas magras
	AASHTO (<i>Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes</i>)	A-6 Suelo arcilloso	A-5 Suelo limoso	A-2-7 Arena limoarcillosa

Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

En la construcción tradicional de mampuestos de tierra y piedra, se utilizaron morteros de recubrimiento de barro (Boada-Castro et al., 1993:83), y posteriormente se fueron incorporando, producto del mestizaje y aplicaciones derivadas de ejemplos monumentales, morteros bastardos y a base de arena e hidrato de cal, para mejorar la cara superficial de la mampostería (Lara et al., 2020).

El análisis químico de la composición de las mezclas mediante espectrofotometría por absorción atómica (AAS), que se aprecia en la Tabla 4, no demostró diferencias sustanciales en los tres tipos constructivos, todos componentes de los silicatos aluminicos hidratados y óxidos de Ca, Na, K, Mg y Fe que componen los finos; este último confiere a la masa el color rojo o amarillo, propios de la naturaleza geológica de la zona.

Tabla 4. Caracterización química de las muestras

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	RESULTADOS PONDERADOS DE LAS MUESTRAS		
	ADOBE	TAPIAL	BAHAREQUE
Al - Aluminio	15,88%	13,56%	17,52%
Ca - Calcio	2,55%	3,03%	4,26%
Fe - Hierro	4,75%	5,12%	3,95%
K - Potasio	2,83%	6,84%	4,12%
Mg - Magnesio	2,10%	3,66%	2,89%
Na - Sodio	0,57%	0,84%	1,02%
Si - Silicio	65,90%	63,15%	74,01%

Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

En cuanto a la baja resistencia mecánica se conoce que no incide en la durabilidad de las construcciones en tierra, aunque se ha recomendado en los ensayos determinar diferentes relaciones mínimas entre la resistencia en húmedo y la resistencia en seco para que un material se considere suficientemente duradero (Beckett et al., 2020), lo cual no es posible medir en muestras de tierra no estabilizadas con cal o de suelo-cemento.

En la Tabla 5, se aprecia que la resistencia mecánica es menor en el bahareque 2,08 MPa respecto al tapial 2,27 MPa y el adobe 3,04 MPa; y 0,41 MPa de resistencia a flexión del adobe, adoptando el módulo de elasticidad de la tierra de 200MPa (MVCS, 2017), que inclusive puede ser menor a 50MPa (Li et al., 2021). De lo cual se desprende que la fabricación del adobe o adobones en moldes facilita la compactación de la mezcla y por consiguiente tienen menor porosidad y mayor resistencia mecánica.

Tabla 5. Caracterización mecánica de las muestras analizadas

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	RESULTADOS PONDERADOS DE LAS MUESTRAS		
	ADOBE	TAPIAL	BAHAREQUE
Resistencia a compresión simple	3,04 MPa	2,27 MPa	2,08 MPa
Resistencia a flexión	0,41 MPa	Fragmento	Fragmento

Fuente: Elaboración propia de autores / 2021

Desde el punto de vista de la granulometría, se ha observado que la resistencia mecánica es superior en las muestras que presentan mayores fracciones de áridos de menores dimensiones y menor resistencia en los de naturaleza arenosa, entre 0,53 MPa y 1,72 MPa (Varum et al., 2011).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se ha determinado que de los 50 inmuebles catalogados el 82% presenta un proceso patológico degenerativo, por alguna o varias lesiones, que, sumadas a la falta de uso, la pérdida del bien inmueble puede ser irreversible. En la Tabla 2, se recogen las causas del deterioro de las edificaciones de tierra, tanto atmosféricas, tectónicas y sobre todo los defectos constructivos, que afectan más a las construcciones rurales debido al emplazamiento aislado que expone todos los muros a las agresiones ambientales. Por lo que mitigar o evitar la acción de estos agentes de deterioro es uno de los objetivos para conservarlo; y al carecer de sobrecimientos, los zócalos cerámicos y el drenaje de agua son una alternativa en su intervención.

Según los resultados de la caracterización de las muestras, se aprecia la utilización de materiales pedológicos provenientes del entorno inmediato, por lo que las variaciones de las dosificaciones estarían condicionadas por los recursos disponibles (*presencia de gravas*) y por el sistema constructivo, como el bahareque con menos gravas y más arcilla en la composición del barro. Actualmente en tapiales prefabricados se usa la dosificación en volumen, 2,5 de grava, 2 de arena gruesa y 2,5 de arcilla, más 10-15% de agua de amasado y la adición de cemento no debe sobrepasar el 5% para mejorar la resistencia y durabilidad (Dabaieh, 2014).

Las muestras estudiadas provienen de sitios geográficamente diferentes, con temporalidades de uso distinto, conocimientos constructivos empíricos, que muestran propiedades similares en adobes y tapiales. Así mismo, se han utilizado varias especies madereras, cañas y fibras en la confección de los entramados y armaduras de cubiertas.

Constructivamente, se establece que los bloques de adobe se coloquen en los muros en la misma dirección x, y, z, en la que se fabricaron y compactaron, para evitar una reducción de las resistencias mecánicas (Heathcore et al., 1992). Por lo que los adobones colocados verticalmente en las esquinas (Figuras 3.d y 3.e) trasgreden esta condición. También la relación altura-espesor más pequeña muestra mejor resistencia a sismos que aquellos con una relación altura-espesor más grande (Jinwuth et al., 2010). Habría que añadir que la fabricación de adobones implica la construcción de 8 a 10 hiladas por muro y por consiguiente menos juntas.

Evitar la degradación de la construcción en tierra dependerá de la eficiencia constructiva para luchar contra la humedad: "*Buenas botas, buen impermeable y un buen paraguas*" (Faria, 1999). Mediante la construcción de plataforma, cimientado, sobre cimientado o zócalos de piedra para evitar la ascensión capilar del agua; buena cohesión y resistencia de los muros de tierra (*aglutinante, fibras*), un buen revestimiento y/o pinturas en base a cal, genera barreras para que el agua no enfrente directamente las superficies (*aleros, salientes, porches, etc.*).

Respecto a la sostenibilidad de estas construcciones, que se podría aplicar en elementos a intervenir o reconstruir, se investiga el uso de residuos en la fabricación de adobes y tapiales, según el contexto geográfico, como fibra de coco, escorias de alto horno, ceniza de cáscara de arroz, polvo de ladrillo, desperdicios de madera aserrada, fibras de maíz, té o de palmeras datileras (Salih et al., 2020). Sobre todo, para reciclar los residuos que proceden de plásticos, puesto que apenas el 2% es reprocesado y el resto termina en vertederos (Biswas y Zhang, 2021).

En cuanto a la normativa aplicable, el código ecuatoriano de la construcción no incluye normativas para estructuras de adobe y menos sobre evaluación y reforzamiento (Chacón, 2021). A diferencia de la norma chilena que insta criterios que mantienen y aumentan la capacidad estructural con el único objetivo de resistir las fuerzas de diseño estático y sísmico de estas estructuras (INN NCh 3332, 2013). Por su parte, la norma peruana E:080 Diseño y construcción con tierra reforzada (MVSC, 2017), incluye consideraciones en las intervenciones

en obras patrimoniales, así como las obras de tierra reforzada de tapial y adobe con geomalla y especificaciones de buenas prácticas. Para ello, el espesor mínimo de los muros debe ser 0.40 m y deben contar con arriostres horizontales (*entrepisos y techos*) así como arriostres verticales (*contrafuerte o muros transversales*).

El sistema constructivo en tierra posee un “*ciclo de vida cerrado*” pues genera ahorro de residuos y reutilización del material de manera óptima, permitiendo así la reducción de la huella de carbono. Ante esto, vemos que la industrialización va a originar cambios en el uso de la tierra, como el reemplazo de los adobes hechos en el sitio por los BTC, superadobes en sacos biodegradables, la fabricación digital y las innovaciones en la prefabricación de tapias y su puesta en obra, como las tongadas de colores diferentes, aislamiento térmico en el núcleo de los muros, aplicación de consolidantes, etc. (Casares, 2017), que se pueden incorporar en la reconstrucción y rehabilitación de inmuebles.

Podemos afirmar que una buena intervención comienza cuando se reúnen todos los argumentos técnicos y constructivos, desde la ubicación hasta las particularidades históricas constructivas propias de la edificación, y estableciendo un programa de mantenimiento periódico, tanto interior como en la cubierta y cerramientos (Barsallo, 2020; Lara y Galarza, 2020). Fomentar también “*campañas de mantenimiento del patrimonio rural edificado*” (Tenze et al., 2020) con el apoyo de la comunidad y sensibilizar a los futuros profesionales sobre el uso de las técnicas tradicionales (Aponte et al., 2020).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a aquellos colegas que han compartido generosamente sus conocimientos sobre procesos de construcción ancestrales en tierra cruda, así como investigadores de otras disciplinas y a la Universidad Internacional del Ecuador, DGIP y a la Facultad de Ciudad, Paisaje y Arquitectura por el apoyo a la investigación.

REFERENCIAS

- Aponte, G., Peñalosa, E., Ospina-Tascón, J.J., Velandia, C. (2020) Technique as function of memory: heritage values and revaluation of habitat and the landscape in Ambalema, Colombia, *Vitruvio International journal of Architecture Technology and Sustainability* Volume 5 Issue 1, <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2020.13714>
- Barsallo, G., & Achig, M. C. (2020). Preventive conservation plan for the chapel of Susudel, Ecuador. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 54(M-1), 811–816. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-811-2020>
- Beckett, C. T. S., Jaquin, P. A., & Morel, J.-C. (2020). Weathering the storm: A framework to assess the resistance of earthen structures to water damage. *Construction and Building Materials*, 242, 118098. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118098>
- Biswas, W. K., & Zhang, X. (2021). Techno-Assessment of the Use of Recycled Plastic Waste in RE. *Sustainability*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13168678>
- Boada-Castro, R., & others. (1993). *Quito: una visión histórica de su arquitectura* (FONSAL - Fondo de Salvamento de Quito (ed.); TRAMA). Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- Cárdenas-Gómez, J. C., Gonzales, M. B., & Damiani Lazo, C. A. (2021). Evaluation of reinforced adobe techniques for sustainable reconstruction in andean seismic zones. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094955>
- Casares Ruiz, G. (2017). *Arquitectura de Tierra en el s.XXI*. E.T.S. Arquitectura (UPM).
- Ceballos, P. (1992). Las construcciones en tierra en Ecuador: innovaciones tecnológicas. *Revista INVI*, 7(16), 18–25. <https://doi.org/10.4067/invi.v7i16.156>
- Chacón Sánchez, J. P., Suquillo Ronquillo, B. J., Sosa Caiza, D. A., & Celi Sánchez, C. A. (2021). Evaluación y Reforzamiento de una Estructura Patrimonial de Adobe con Irregularidad en Planta. *Revista Politécnica*, 47(1). <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n1.05>
- Climate. (2018). *Clima: Ecuador* (p. <https://es.climate-data.org/americadel-sur/ecuador>). 2021-05-01. <https://es.climate-data.org/americadel-sur/ecuador-63/>
- Cortés Aguirre, A., Aguirre Ullauri, M. del C., & Contreras-Escandón, C. (2019). Impacto del Decreto de Emergencia del Patrimonio Cultural del Ecuador: análisis costo-beneficio. *Revista de Urbanismo*, 41. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2019.52492>
- Dabaieh, M. (2014). Building with rammed earth. A practical experience with Martin Rauch. In *A practical experience with Martin Rauch: Vol. July*.
- Faria, P. (1999). Problemática dos revestimentos de paredes em construções de terra crua. Jornada Sobre Construções Com Terra Aditivada. A Terra Como Material de Construção de Edifícios. Lisboa, IST, FunDEC, Março 1999. <http://hdl.handle.net/10362/11474>
- Faria, P. (2007). Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias. *Revista Musa*, 149–155.
- Guillaud, H., Joffroy, T., & Odul, P. (1995). *Compressed earth blocks: Manual of design and construction* (Vol. 2). Vieweg. https://archive.org/details/CEB_manual_design_construction/mode/2up
- Heathcote, K. A., & Jankulovski, E. (1992). Aspect Ratio Correction Factors for Soilcrete Blocks. *Transactions-Institution of Engineers Australia Civil Engineering CE*, 34(4), 309. <https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLSE%3AEN002940140>
- Henneberg de León, A. (2012). Aproximación a un estudio sobre las lesiones del bahareque en el estado Zulia, Venezuela. Algunas recomendaciones para su intervención. *Informes de La Construcción*, 64(525). <https://doi.org/10.3989/ic.08.049>
- INEC, I. N. D. E. E. Y. C. (2010). *Censo de población y vivienda* (Vol. 2020, Issue 04-25). <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>

- INN NCh 3332. (2013). *Estructuras–Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda–Requisitos del Proyecto Estructural*. <http://www.ingenieros.cl/wp-content/uploads/2014/05/Presentacion-presidente-Comision-de-Construccion-Patrimonial-Sergio-Contreras.pdf>
- Jiménez, W., Loayza, V., & Metzler, E. (2018). Mapeo de cangahuas mediante teledetección en el Ecuador. *Siembra*, 5(1), 38–50. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1426>
- Jinwuth, W., Samali, B., Heathcote, K., & Wang, C. (2010). *A Study into the Earthquake Resistance of Circular Adobe Buildings using Static Tilt Tests*.
- Lara, M. L. (2018). Patología de la construcción en tierra cruda en el área andina ecuatoriana. *AUC Revista de Arquitectura - Universidad Católica Santiago de Guayaquil*, 38, 31–41. <http://editorial.ucsg.edu.ec/ojs-auc/index.php/auc-ucsg/article/view/69>
- Lara, M.L.; Galarza-Gallardo, G. (2020) Pathology in crude earth, research on constructions in the Ecuadorian andean area. In *Proceedings of the Rehabend*; pp. 736–743.
- Lara, M. L., Sanz-Arauz, D., López-Andrés, S., & Pino, I. del. (2021). Characterization and Analysis of the Mortars in the Church of the Company of Jesus—Quito (Ecuador). *Minerals*, 11(7), 781. <https://doi.org/10.3390/min11070781>
- Lara, M. L., Sanz, D., & Del Pino, I. (2020). Morteros históricos en las construcciones de Quito de los siglos XVI, XVII y XVIII. *Ge-Conservacion*, 17, 71–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.687>
- Levicoy, C. C., & Lira, C. P. (2020). Arquitectura en adobe y quincha: construcción de una identidad en torno a los recursos naturales de la ribera del Lago General Carrera en la región de Aysén, Chile. *Ge-Conservacion*, 18, 56–68. <https://doi.org/10.37558/gec.v18i1.769>
- Li, Z., Noori, M., & Altabey, W. A. (2021). Experimental and numerical assessment on seismic performance of Earth adobe walls. *SDHM Structural Durability and Health Monitoring*, 15(2). <https://doi.org/10.32604/sdhm.2021.011193>
- Martel, C., Andújar, J., Mothes, P., Scaillet, B., Pichavant, M., & Molina, I. (2018). Storage conditions of the mafic and silicic magmas at Cotopaxi, Ecuador. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 354, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.02.006>
- MCP, M. C. de P. (2009). *Decreto de Emergencia del Patrimonio Cultural 2008-2009* (O. Woolfson Touma (ed.); Primera Ed). Sobografic. <https://site.inpc.gob.ec/pdfs/Publicaciones/decretodemergencia.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento (2017), NORMA E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, Perú. https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Forschungslabor für Experimentelles Bauen Universidad de Kassel. https://itacenet.org/esp/construccion/Construccion_tierra.pdf
- Monjo, J. (1998). Las construcciones de tierra: evolución, tipología y técnicas de Intervención. *Tratado de Rehabilitación*, 87–112.
- Orta, B., Adell, M., Bustamante, R., García, A., & Vega, S. (2009). Ensayo en Lima (Perú) de edificio de adobe sismorresistente construido con el sistema de albañilería integral. *Informes de La Construcción*, 61(515), 59–65. <https://doi.org/10.3989/ic.09.006>
- Pinas, J. M., Lira, L., Horn, M., Solis, J. L., & Gómez, M. M. (2020). Influence of Stipa ichu on the thermal and mechanical properties of adobe as a biocomposite material. *Journal of Physics: Conference Series*, 1433(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1433/1/012003>
- PNUD, P. de las N. U. para el D. de las N. U. P. los A. H. – C.-H. (1987a). *Cómo hacer nuestra casa en adobe* (p. 41). Printer Graphic. Serie Proyecto ECU-87-004 Emergencia Sismos marzo 1987.
- PNUD, P. de las N. U. para el D. de las N. U. P. los A. H. – C.-H. (1987b). *Cómo hacer nuestra casa en tapial* (p. 38). Printer Graphic. Serie Proyecto ECU-87-004 Emergencia Sismos marzo 1987.
- Podwojewski, P., & Germain, N. (2005). Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua) in Ecuador. *European Journal of Soil Science*, 56(1), 39–52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2004.00638.x>
- Rapoport, A. (1969). *House form and Cultua*. London-University College: New Delhi: Prentice-Hall of India Private Ltd, 73.
- Salih, M. M., Osofero, A. I., & Imbabi, M. S. (2020). Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction. In *Frontiers of Structural and Civil Engineering* (Vol. 14, Issue 4, pp. 839–854). <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0630-7>
- Shupe, T., Lebow, S., & Ring, D. (2008). Causes and control of wood decay, degradation and stain (Pub. 2703). *Baton Rouge, LA: Louisiana Cooperative Extension Service*.
- Soebarto, V. (2009). Analysis of indoor performance of houses using rammed earth walls. *Eleventh International IBPSA Conference*, 27–30.
- Solis, M., Torrealva, D., Santillán, P., & Montoya, G. (2015). Bending behavior analysis of geogrid reinforced adobe walls. *Informes de La Construcción*, 67(539). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.141>
- Tenze, A., Cardoso, F., & Achig, M. C. (2020). Experiences of social participation in the recovery of vernacular heritage in southern Ecuador. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 54(M–1). <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-603-2020>
- Velarde Gil, J., Sánchez M.T., Roux, R., Espuna, J.A. (2021) Experimental Study of Adobe Masonry and its Adherence with Reinforced Concrete Confinement Elements, *Civil Engineering and Architecture* 9(2): 404-409, 2021 <http://www.hrpub.org>, DOI: 10.13189/cea.2021.090213
- Varum, H., Figueiredo, A., Silveira, D., Martins, T., & Costa, A. (2011). Outputs from the research developed at the University of Aveiro regarding the mechanical

characterization of existing adobe constructions in Portugal and proposals for rehabilitation and strengthening. *Informes De La Construccion*, 63(523), 127–142. <https://doi.org/10.3989/ic.10.016>

Watt, D. S. (2009). *Building pathology: Principles and practice*. John Wiley & Sons.

Yépez Noboa, A. M. (2020). Empty spaces that are full of cultural history: an innovative proposal for the management of a protected area of Chimborazo volcano (Ecuador). *Journal on Protected Mountain Areas Research and Management*, 12, 43–49. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1553/eco.mont-12-1s43>

Zawistowski, K., Zawistowski, M., & Joffroy, T. (2020). Evolving Vernacular: Reinventing Rammed Earth in the Context of Twenty-First Century Seismic Regulation. *Technology Architecture and Design*, 4(2). <https://doi.org/10.1080/24751448.2020.1804758>

BIOGRAFÍAS



M. Lenin Lara C. es actualmente docente investigador de la Facultad para la Ciudad el Paisaje y la Arquitectura de la Universidad Internacional del Ecuador. Es doctorando del DCTA Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas por la Universidad Politécnica de Madrid. Posee un Máster en Restauración Arquitectónica

(2002) y un Máster en Administración y Dirección de Proyectos Inmobiliarios (2004). Además, de formación sobre gerencia, gestión y difusión del patrimonio arquitectónico. Su experiencia en investigación comprende la patología, el control de calidad y caracterización del proceso constructivo, así como los materiales de construcción. Todo esto se complementa con el ejercicio profesional en sus 20 años de experiencia en diseño, planificación, fiscalización y construcción de proyectos. Destaca la participación en proyectos I+D+i y ponencias nacionales e internacionales de las investigaciones desarrolladas.



Rosa Bustamante Montoro, Dr. Arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Máster en Restauración Arquitectónica por la UPM, Arquitecto por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Arquitecto conservador de monumentos históricos en el Ministerio de Cultura, Región Arequipa, 1987-1992. Profesora de la Universidad Católica

Santa María de Arequipa 1985-1990. Profesora Titular del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la UPM. Responsable del Laboratorio de Materiales Luis de Villanueva 2015-2020. Directora del Máster en Patología y Rehabilitación de la Edificación desde 2018. Miembro del grupo de investigación Análisis e Intervención en el Patrimonio Arquitectónico (AIPA). Secretaria del CTN 41/SC 8 “Conservación, Restauración y Rehabilitación de Edificios” de UNE, desde 2001. Miembro del WG1 Terminología del Comité Europeo de Normalización 346 Conservation of Cultural Heritage, 2004-2016. Directora de la revista electrónica de la red ReCoPaR, desde 2006. Miembro de la Asociación de Mujeres Investigadoras y Tecnólogas de España, desde 2004.