

El ladrillo artesanal de Cuenca (Ecuador): una caracterización inicial en el marco patrimonial

O tijolo artesanal de Cuenca (Equador): uma caracterização inicial no contexto do património

The handmade brick of Cuenca (Ecuador): an initial characterisation within the heritage framework

M. C. AGUIRREULLAURI^{1,2,*} 

M. ROMERO BASTIDAS³ 

J. RAMÍREZ

BUSTAMANTE³ 

E. CASTILLO

CARCHIPULLA⁴ 

1. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

2. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador

3. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Quito, Ecuador

4. Investigador independiente

* maguirreu@ucacue.edu.ec

Resumen

El ladrillo cerámico como material de construcción es usado en muchas civilizaciones a nivel mundial. En el caso del Centro Histórico de Cuenca (Ecuador) se remonta a la época colonial y se mantiene como determinante de la identidad local. No obstante, más allá de la tradición productiva, sus condiciones técnicas de conocimiento, uso y conservación son limitadas. En este contexto, la presente investigación recurre a técnicas analíticas para caracterizar la materia prima y ladrillo macizo procedente de sitios históricos de producción y abastecimiento. Se determina que, existen variaciones significativas en cuanto a composición, comportamiento físico, mecánico y durabilidad. Así, la baja resistencia a la compresión ($\bar{x} = 5,87$ MPa) y flexión ($\bar{x} = 0,13$ MPa), alta porosidad abierta (36-37 %) y absorción de agua (17-20 %), abren una importante discusión sobre las condiciones de conservación de los numerosos inmuebles patrimoniales construidos en ladrillo, así como sobre las implicaciones en el proceso de producción artesanal.

Resumo

O tijolo cerâmico é utilizado em muitas civilizações a nível mundial como material de construção. No caso do Centro Histórico de Cuenca (Equador), remonta aos tempos coloniais e continua a ser um factor determinante da identidade local. Contudo, para além da tradição produtiva, as suas condições técnicas de conhecimento, uso e conservação são limitadas. Neste contexto, a presente investigação recorre a técnicas analíticas para caracterizar a matéria-prima e o tijolo sólido de locais históricos de produção e abastecimento. Determinou-se existirem variações significativas relativamente à composição, ao comportamento físico e mecânico e à durabilidade. Assim, a baixa resistência à compressão ($\bar{x} = 5,87$ MPa) e à flexão ($\bar{x} = 0,13$ MPa), a alta porosidade aberta (36-37 %) e a absorção de água (17-20 %), originam uma importante discussão sobre as condições de conservação dos numerosos edifícios patrimoniais construídos em tijolos, bem como sobre as implicações no processo de produção artesanal.

Abstract

Ceramic brick as a building material is used in many civilizations worldwide. In the case of the Historic Center of Cuenca (Ecuador), it dates back to colonial times and remains as a determining factor in local identity. However, beyond the productive tradition, its technical conditions of knowledge, use, and conservation are limited. In this context, the present research resorts to analytical techniques to characterize the raw material and solid brick from historical production and historical supply sites. It is determined that there are significant variations in composition, physical and mechanical behavior and durability. Thus, the low compressive strength ($\bar{x} = 5.87$ MPa) and low bending strength ($\bar{x} = 0.13$ MPa), high open porosity (36-37 %) and water absorption (17-20 %), open an important discussion on the conservation conditions of the numerous heritage buildings built in brick, as well as on the implications for the artisanal production process.

PALABRAS-CLAVE

Ladrillo cerámico

Caracterización

Propiedades físico-químicas

Análisis de materiales

Diagnóstico y conservación

Durabilidad

PALAVRAS-CHAVE

Tijolo cerâmico

Caracterização

Propriedades físico-químicas

Análise de materiais

Diagnóstico e conservação

Durabilidade

KEYWORDS

Ceramic brick

Characterization

Chemical and physical properties

Material analysis

Diagnosis and conservation

Durability

Introducción

El ladrillo cerámico o bloque de arcilla cocida es un material de construcción de uso extendido a nivel mundial debido a la fácil disponibilidad de sus materias primas [1]. En Sudamérica se usó en varios edificios monumentales de regiones secas [2], pero en Cuenca (Ecuador) es relativamente nuevo; las primeras edificaciones datan de la primera mitad del siglo XVIII [2-3] y el auge asociado a su adaptación e innovación tomó varias décadas.

En este proceso, los vínculos entre los materiales y la funcionalidad técnica, igual que entre objeto técnico y objeto de arte, surgen a través de las fuerzas que los primeros pueden llevar [4], por lo que, cuantitativamente el ladrillo es menos representativo que materiales como la tierra, incluso al reconocer los siguientes particulares. El primero, a partir del siglo XX el ladrillo artesanal fue ampliamente utilizado, y definió la imagen icónica del Centro Histórico de Cuenca (CHC) (Figura 1), declarado como Patrimonio Cultural de la Humanidad en el año de 1999. Y, segundo, en las últimas cuatro décadas, el ladrillo es el material predominante en la envolvente de las edificaciones de tipo residencial [5].

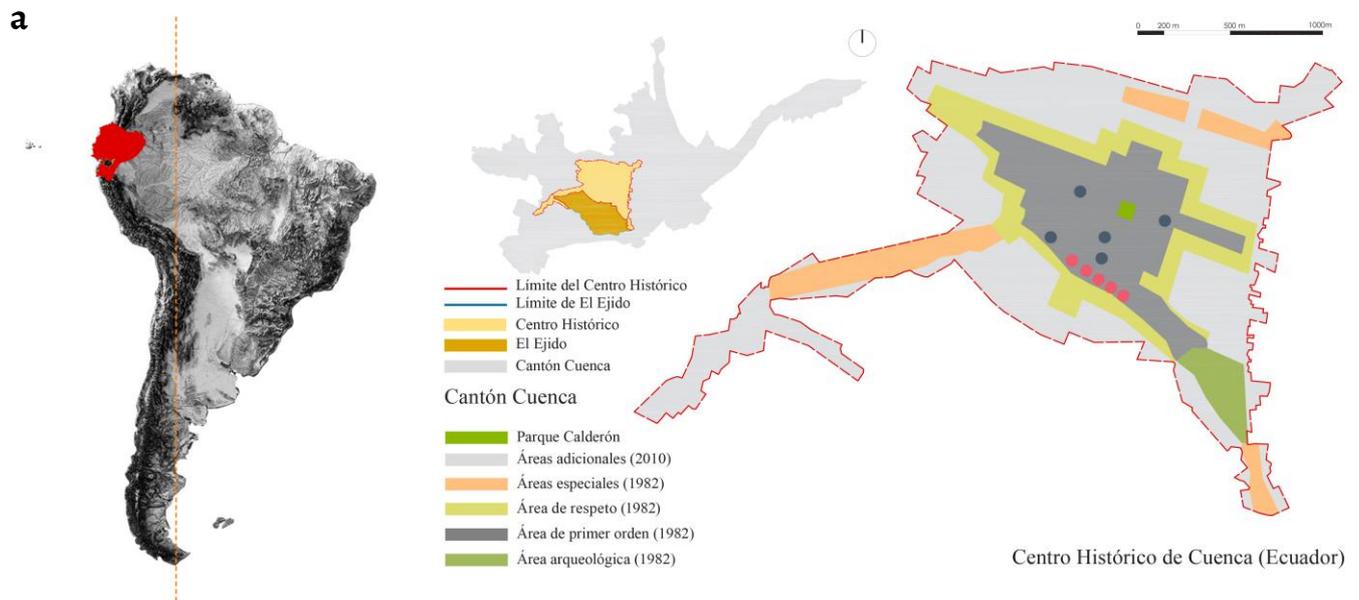
Conforme lo previo, el ladrillo presenta un marco de uso sostenido, y a su vez, de transformación, ya que al igual que otros materiales el contexto de su producción ha cambiado. Por otra parte, en el caso de edificios patrimoniales el material ha sufrido alteraciones por la temperatura extrema, la radiación solar, la humedad, las soluciones salinas, los gases atmosféricos y el biodeterioro, lo cual demanda conocer los procesos de deterioro involucrados, así como el desarrollo y aplicación de tratamientos de conservación acordes con esta nueva realidad. Así, el ladrillo es vulnerable por sus características intrínsecas, ya sea por las propiedades físicas, como la composición mineralógica de la materia prima, la temperatura de cocción [6] u otros parámetros que incluyen la composición del mortero [7], por lo que, las variables de transformación se incrementan. Como es cada vez más evidente, esta situación ha sido tratada ampliamente en el contexto internacional, posicionando a la caracterización de materiales como un campo científico establecido y con gran desarrollo; aunque no deje de experimentar dificultades [8], es útil para comprender ciertas transformaciones del material y ofrecer respuestas para reducirlas.

Otras investigaciones se han ocupado del ladrillo, ya sea en cuanto a su morfología, dimensiones, composición mineralógica o clasificación geológica según el tipo de arcilla usada [1], entre otros aspectos. En el tema que atañe a la presente investigación, se sabe que, la porosidad y el tamaño de los poros de los ladrillos son factores que afectan a la durabilidad y resistencia mecánica debido a la susceptibilidad a la cristalización de sales y a los ciclos de congelación y descongelación [1, 9]. A su vez, en las transformaciones mineralógicas producidas durante la cocción [10]. Por tanto, afectan a las propiedades físicas y durabilidad.

La aplicación de este tipo de análisis evidencia cómo mediante la identificación de los parámetros físicos y mecánicos de los materiales constitutivos de la mampostería patrimonial, es posible establecer una fuente científica para obtener ladrillos adecuados para las aplicaciones de restauración [11]. Asimismo, permite predecir los avances en las fases químico-mineralógicas, la sinterización y el comportamiento mecánico del sistema constructivo [12], y también disminuye las intervenciones excesivas bajo la previsión de buscar soluciones modernas a los materiales históricos, la desaparición de revestimientos y otros acabados originales, y la incompatibilidad funcional debido a las diferencias en las propiedades físicas, mecánicas y de composición mineralógica [1].

Por su parte, en Cuenca y el Ecuador, según las bases documentales existentes, la práctica de la caracterización de materiales y el diagnóstico en edificios patrimoniales u otros, es mínima. Por ejemplo, según el Sistema Nacional de Contratación Pública (SERCOP), en Cuenca entre 2008 y 2019 en 16 intervenciones de bienes patrimoniales se realizaron requerimientos de ladrillo artesanal [13], cuya identificación incluye de manera reiterada la geometría, sin otro requerimiento técnico asociado. Es decir, existe la necesidad de conocimiento en cuanto a la dimensión pragmática o de funcionalidad técnica del material, que se complementa con la

dimensión simbólica de la construcción [14], principalmente cuando es artesanal, y existe una participación activa y significativa en cada fase del proceso [15].



● Edificios patrimoniales: uso y estética histórica del material



● Edificios patrimoniales: nuevo uso y estética del material

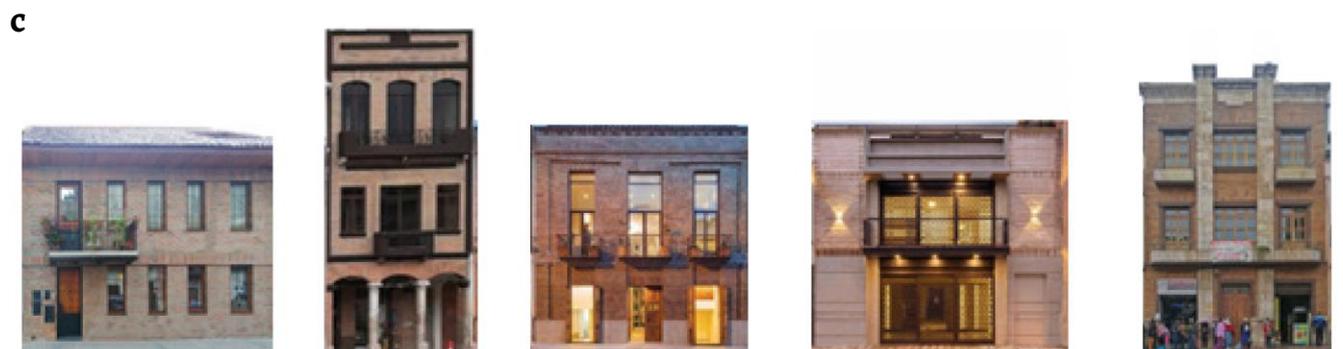


Figura 1. El ladrillo en la arquitectura patrimonial del Centro Histórico de Cuenca: a) Macro y micro localización; b) Edificios de uso y estética histórica; c) Edificios de uso y estética actual [13, 16].

En este contexto, la presente investigación pretende describir las condiciones técnicas de la materia prima y el ladrillo artesanal macizo usado históricamente en la construcción, y potencialmente aplicado en la rehabilitación de edificios patrimoniales del CHC a partir de técnicas analíticas destructivas. Esta aproximación es necesaria debido a la ausencia de información científica que permita la toma de decisiones en actuaciones de conservación y limite sus efectos adversos. En oposición, existen múltiples indagaciones sobre la amenaza medioambiental asociada a la producción del ladrillo, el consumo intensivo de energía no renovable, la emisión de gases de efecto invernadero [17-18] y las afecciones a la salud de los trabajadores involucrados. Dichos temas no se consideran en la presente investigación, pese a su interés. Otros temas como el reciclaje de diversos materiales de desecho [18] o el enfoque de género se enmarcan en futuras investigaciones.

Antecedentes

El ladrillo: referencias históricas, uso y producción local

La presencia del ladrillo se remonta a las más antiguas civilizaciones en América, pero en el Ecuador y en Cuenca es reciente; el material logra uso a partir de la colonia, pero despunta en el siglo XVIII [2]; antes, cuando el Ecuador pasa a formar parte del Imperio Inca, el ladrillo no es protagonista en la construcción, ya que lo es la piedra [19], aunque también se usó la paja y la madera. Por su parte, las cerámicas se constituyen como parte del tributo al Estado, y se concentra a los alfareros en lugares donde existían minas de arcilla [20]. Es decir, la arcilla cocida como forma más próxima al ladrillo, es el producto destacable; como constancia de ello, en la provincia del Azuay (Austro del Ecuador) excavaciones arqueológicas han identificado restos de objetos de época prehispánica en el período formativo medio y tardío (1500 y 1200 a.e.c.) en el sector de Challuabamba [21], al noreste del CHC.

Durante la colonia la inclusión de nuevas técnicas constructivas posicionó a la teja y al ladrillo a partir de las transformaciones en las prácticas de alfarería y cerámica [22]. El registro más antiguo de su presencia data de 1565 y estaba vinculado a las construcciones erigidas por las órdenes religiosas [2], mientras la producción estaba a cargo de los indígenas [22-23], pero por razones económicas y facilidad de trabajo, la tierra se continuó usándose mayoritariamente en la arquitectura [24]. Desde entonces, y a lo largo del siglo XVII, por disposición administrativa se motivó el uso de teja en cubiertas [22]; de manera progresiva, también se insertaron construcciones en ladrillo [3], no obstante, la incursión de la urbe en el mercado mundial a partir de la segunda mitad del siglo XIX significó una lenta transformación apoyada por la disponibilidad del material, mano de obra campesina y hornos o tejares, principalmente localizados en la parroquia de San Sebastián y Sinincay [22].

Esta primera aspiración modernizadora también encontró en el travertino local a otro aliado que, con la llegada del Hermano Juan Stiehle (1874) consolida [25] la imagen urbana y arquitectónica insertando y adaptando los edificios al estilo neoclásico [3] (Figura 1). Obras de centros educativos, edificios público o puentes, también demandaron el uso de dicho material, por lo que el ladrillo y la teja se volvieron cada vez más comunes, al punto de que, se usó como una de las referencias para elaborar el catastro [22].

En el siglo XX los paradigmas de la arquitectura europea incitan una nueva transformación, aunque con el uso de los mismos materiales [26]. La imitación de modelos lleva a adaptaciones y a sus propias experimentaciones dando como resultado nuevas técnicas de construcción [3]. Para 1950 Cuenca llega con múltiples construcciones (públicas y privadas) de ladrillo, que hacían gala de este material simbólicamente superior a la tierra [22], acentuando la producción en varios sectores de San Sebastián y Sinincay. Hacia 1960, la dinámica edificatoria inserta el hormigón como material insignia. Esto no implica que el uso del ladrillo haya declinado; varios autores indican que, en su defecto, aumentó [27-28]. Hacia 1970, la mayoría de las construcciones de adobe reemplazaron el material [29], y desde entonces, a la fecha, el 80 % de

edificios de baja altura usan ladrillo [30], ya sea como mampostería no reforzada, mampostería con vigas de atado perimetral o mampostería confinada [29].

En la actualidad y como consecuencia de las dinámicas históricas previas, los sitios de producción de ladrillo y aprovechamiento de tierra se localizan en diversas zonas urbanas y rurales (Figura 2), logrando la consolidación de grandes ladrilleras cuya actividad se mantiene y conforman el capital simbólico de dichos asentamientos. Asimismo, los productos cerámicos representan uno de los principales rubros de la economía y la construcción local.

Por su parte, la producción del ladrillo y sus formas tienen plena definición como consecuencia de la tradición histórica y la sinergia entre la técnica artesanal, la autoconstrucción y la tecnificación. Desde 1960 y la creación de la primera fábrica llamada LACESA [31], la actividad producción se ha incrementado, y en el territorio es posible reconocer tres tipos; la artesanal, la semiindustrial y la industrial [32], aunque las primeras han seguido desplazándose conforme ha crecido la ciudad [22] y se consume la materia prima. A su vez, entre los tipos más significativos se encuentran el ladrillo sólido, macizo o panelón; se trata de un material usado principalmente para la estructura y fachada de las edificaciones, pavimentos y otros elementos arquitectónicos. De hecho, este tipo es el más común en Cuenca [33], y seguramente, se corresponde con el usado en las edificaciones patrimoniales. Otros tipos de ladrillo son el hueco, el perforado, el tubular y el de pieza especial [33-34]. Esta variedad tipológica deriva en la diversidad de aparejos, cuyo estudio en términos históricos o actuales no se ha desarrollado de manera significativa. También se sabe que, a partir del 2008 se intensificó el uso del ladrillo hueco hasta llegar a la relación 60-40 en comparación al panelón [5], y que, por tradición histórica, cada ladrillera se especializa en la elaboración de ciertos tipos de ladrillo según su acondicionamiento tecnológico (Figura 3).

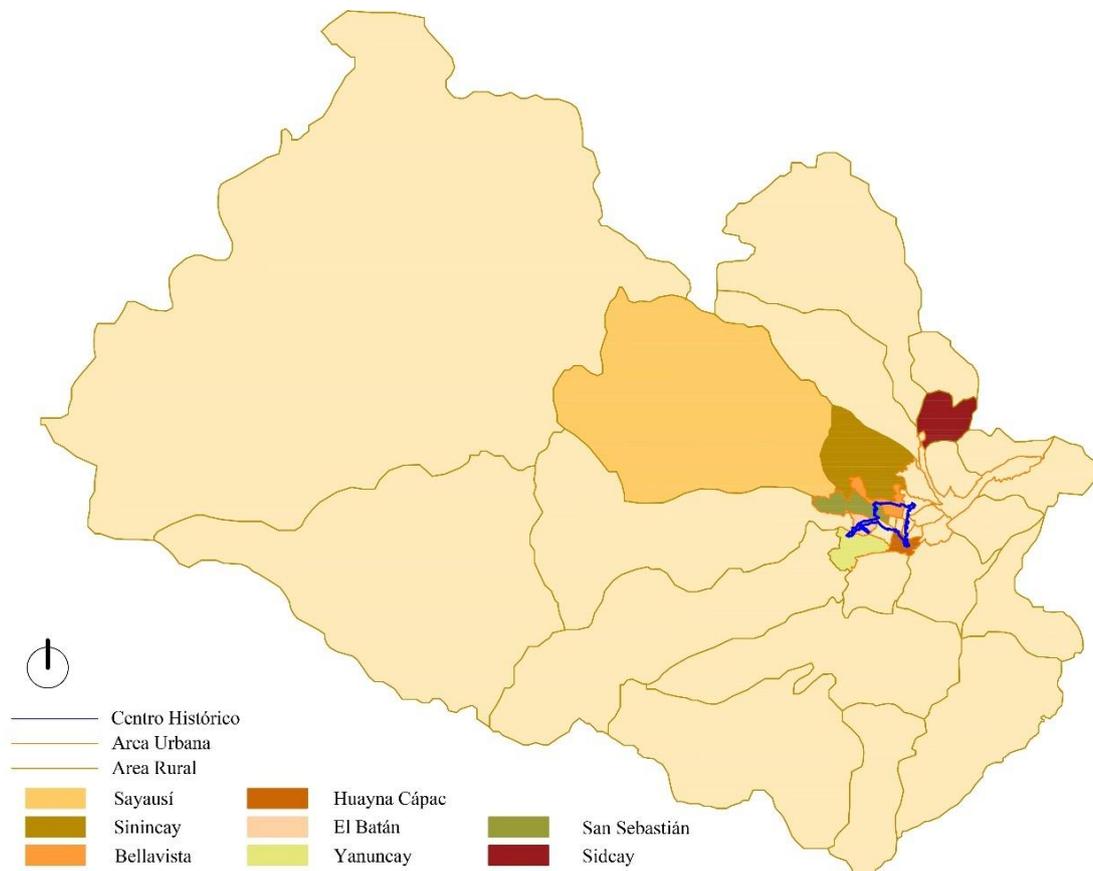


Figura 2. Ladrilleras en la ciudad de Cuenca [13, 32].

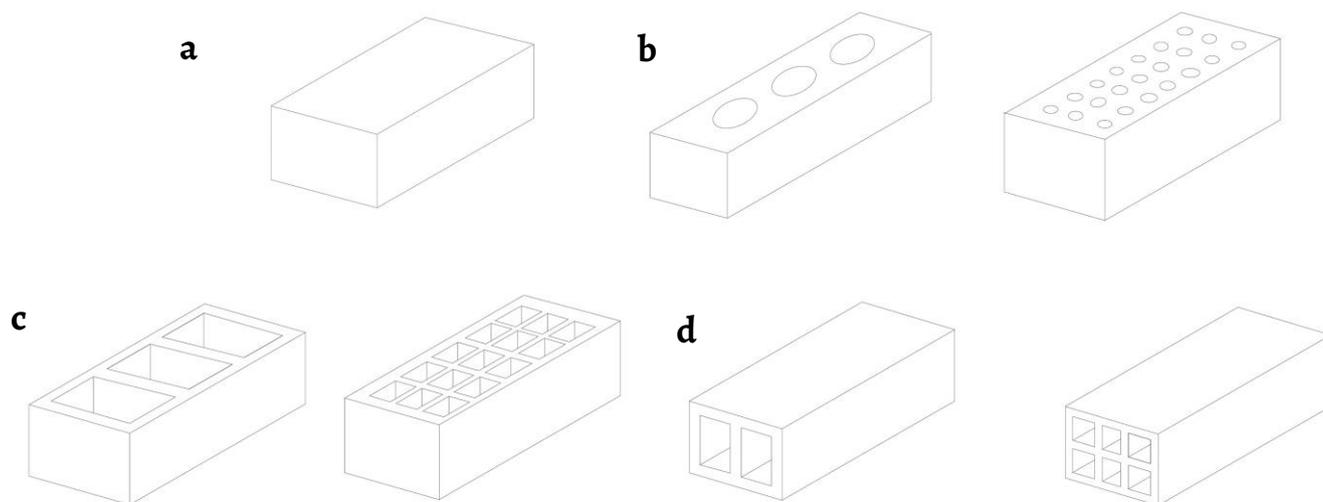


Figura 3. Tipos de ladrillo que se producen en Cuenca: a) ladrillo macizo o panelón; b) ladrillo hueco; c) ladrillo perforado; d) ladrillo tabular [33-36].

Se sabe que, para 1975 en el sector Alisos de la parroquia Sinincay existían 200 ladrilleras, aproximadamente [22], mientras que, en el año 2010 se registraron 40 ladrilleras semi industriales, 499 artesanales y cinco industriales. De la misma manera, se determinó la existencia de 53 hornos y cuatro secaderos. El total asciende a 601 fábricas [35], con clara predominancia de las artesanales. Según la organización Swisscontact y la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) [36] existen 488 ladrilleras, mientras el Directorio de Empresas y Establecimientos (DIEE) asociado al Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC) reportó al año 2015, 164 microempresas que se encargan de la fabricación de ladrillo. Asimismo, se sabe que existen estructuras arquitectónicas enmarcadas en las distintas tipologías productivas previas, las cuales presentan diferentes grados de interés patrimonial y protección; a saber, alto valor patrimonial y protección absoluta (ocho), valor patrimonial y protección parcial (40) e interés patrimonial y protección condicionada (una) [22].

Pese a las divergencias, el escenario es próspero y la actividad una constante histórica en el territorio; esta tradición marca la iconografía propia de la imagen urbana y el paisaje histórico [32]. Además, está ligada al medio físico y su capacidad de proveer materia prima de buena calidad, lo cual amerita ampliar el panorama de producción y conocimiento desde la visión multidisciplinar [11]. Sobre lo último, pretende aportar la presente investigación.

Metodología

Como primera aproximación a la caracterización del material artesanal de Cuenca, para este estudio se priorizó el ladrillo, como uno de los elementos más importantes de la industria de la construcción [18], y su materia prima procedente de las zonas históricas de producción y abastecimiento (Figura 2), es decir, El Tejar en la parroquia urbana de San Sebastián (Oeste del CHC) y Racar y El Chorro de Sinincay en la parroquia rural de Sinincay (Norte del CHC). Con estos orígenes, se estudian tres grupos de ladrillo macizo o panelón y el material usado en su producción. Esta selección obedece a: 1) la continuidad de la producción del material en los 3 sitios desde época colonial, 2) el uso actual del material procedente de los 3 sitios en la ciudad, 3) la disponibilidad de ladrillos en concordancia a los requerimientos normativos y, 4) la posibilidad de acceder a la materia prima usada en la producción de los ladrillos analizados.

A partir de la selección se aplican dos planes analíticos (Figura 4). El primero conformado por ensayos de composición química, mineralógica y granulométrica sobre la materia prima

para la identificación del tipo de arcilla y otros componentes, así como la distribución de áridos finos. Estos aspectos se asocian a la manufactura del ladrillo ya que, la técnica mantiene el mezclando de los recursos vírgenes de cada territorio, formando manualmente los ladrillos usando moldes rectangulares humedecidos, luego son secados al sol y cocidos en hornos [25] durante varios días [17, 37], es decir, bajo el histórico método de barro blando [18]. Los antiguos civiles reconocían que el ladrillo cocido era más duradero y resistente a la intemperie, por lo tanto, era más favorable que el ladrillo secado al sol [17, 37] o adobe.

A partir del segundo plan analítico se caracteriza el ladrillo macizo o panelón mediante ensayos de composición mineralógica, densidad, absorción de agua, porosidad, resistencia a la flexión y compresión, y durabilidad. La composición mineralógica se puede estimar una temperatura de cocción, lo cual permite ampliar el conocimiento sobre el proceso producción. También se busca relacionar la mineralogía con la densidad, porosidad y resistencia mecánica, acorde a las normativas correspondientes, así como con la durabilidad. El último aspecto se desarrolla a través de ensayos de envejecimiento acelerado, heladicidad y cristalización de sales que buscan aproximarse al escenario de deterioro por efecto de los agentes atmosféricos o antrópicos [38].

Este proceso incluye la exposición a factores antrópicos, la presencia de humedad y sales, la contaminación del aire, los cambios de temperatura, las cargas dinámicas, los asentamientos del suelo y el uso de los edificios [39]. Es decir, la acción conjunta de factores de deterioro resulta relevante para evaluar, y potencialmente, predecir el comportamiento de los ladrillos tradicionales frente al ambiente, ya que no se desconoce que, al no haberse modificado la forma de fabricarlos durante siglos [18], seguramente se trata de materiales asociados a la arquitectura patrimonial por diseño o intervención.

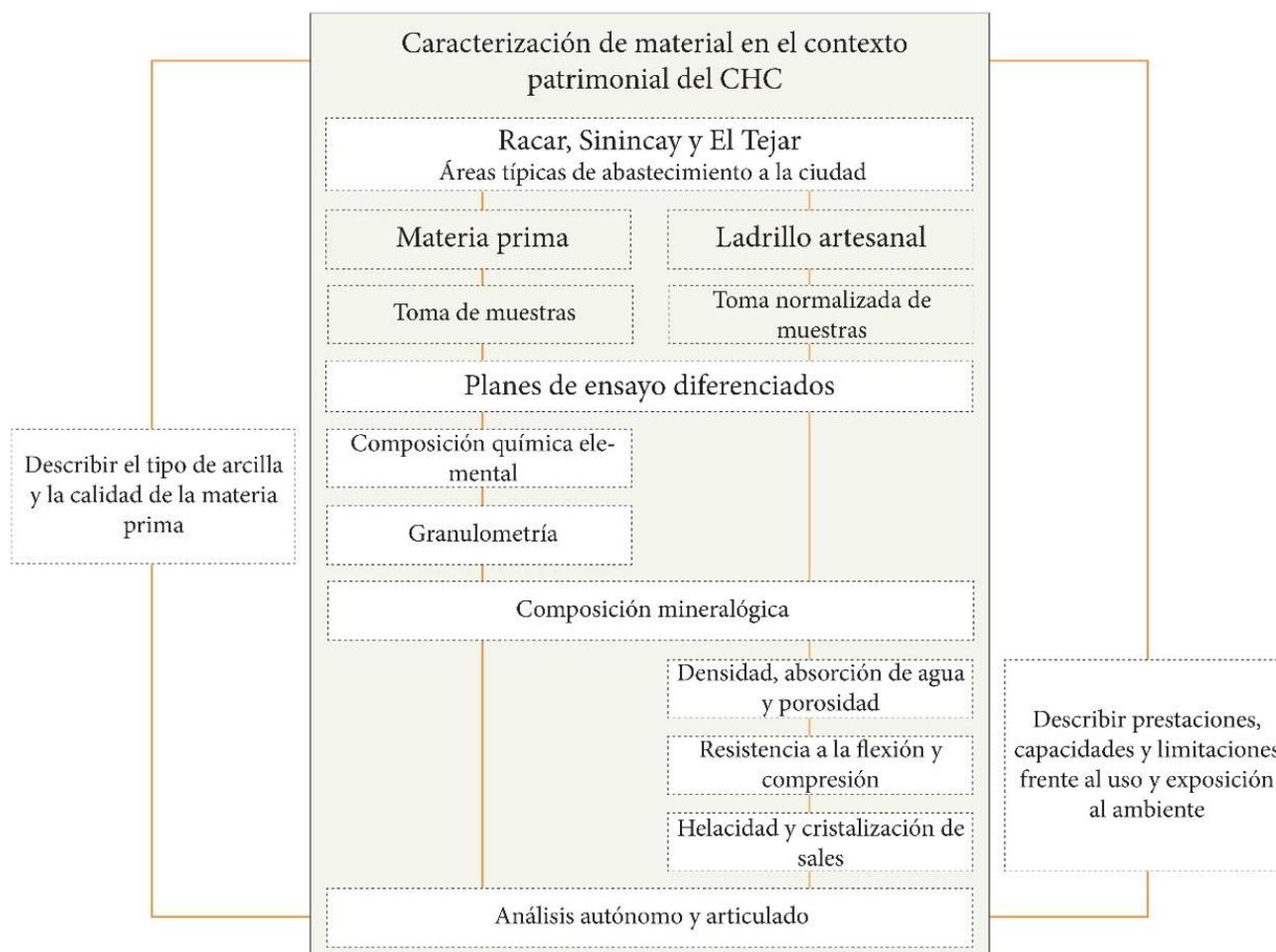


Figura 4. Estructura general de la investigación.

Composición química elemental y mineralógica

Para determinar la composición química elemental de la materia prima (Figura 4), se realizó cuarteo, molienda y homogenización de las muestras. Posteriormente en una prensa neumática (Restch FR 0551) se elaboraron tres pastillas de cada muestra, con el objetivo de cubrir una mayor área de análisis. Para el ladrillo se realizó una molienda, cuarteo y homogenización, luego se elaboró tres pastillas de cada ladrillo. En ambos casos para cada pastilla se realizaron cinco mediciones en diferentes puntos con un microscopio electrónico de barrido JEOL IT 300, acoplado con un detector de energía dispersiva de rayos X (Oxford X-MAX-20) (SEM-EDS) y con baja magnificación para conseguir la mayor área posible de análisis. Las condiciones de analíticas fueron: voltaje de aceleración: 20 kV, corriente del haz de 25 mA, bajo vacío: 40 Pa y distancia de trabajo de 10 mm.

Para obtener la composición mineralógica se realizó un tratamiento de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno al 30 % en las muestras previamente homogenizadas. A continuación, se redujo el tamaño de partícula en un micronizador (Restch MM400) hasta un tamaño inferior a 0,075 mm. El análisis se realizó en un equipo Bruker D8 Advance. Para asegurar la orientación totalmente al azar con respecto al haz incidente, se hace girar la muestra dentro del haz de rayos X durante la exposición, bajo las siguientes condiciones: voltaje 35 KV, corriente 35 mA, *steps* 0,6 s, *2theta* desde 5 ° hasta 72 ° con incrementos de 0,02 °. El *software* de identificación de las fases cristalinas es el Difracción Suite EVA y para la cuantificación de las fases se usó el *software* Topas

Granulometría

La determinación del tamaño de partícula o granulometría de la materia prima (Figura 4), se realiza con base en la norma ASTM D-422 usando un juego de tamices (N° 40, 60, 100 y 200), a fin de conocer la distribución de las fracciones arcilla, limo, arena y grava usadas en la fabricación de ladrillos artesanales de los tres sitios. Por su parte, el análisis de distribución de la fracción fina retenida en el tamiz N° 200, se realiza mediante la norma ISO 13320 [40] en un equipo de Difracción Láser Horiba LA-950V2, las muestras se midieron a 25±2 °C y se usó agua destilada como medio de dispersión. Para realizar la medición se aplica agitación y ultrasonido por cinco minutos para asegurar la separación de las partículas finas; este método se realiza con el fin de obtener la distribución granulometría y la superficie específica de las partículas finas.

Densidad, absorción de agua y porosidad abierta

Sobre los ladrillos artesanales, la determinación de absorción de agua se aplica según la norma técnica ecuatoriana INEN 296 [41], ya que una es de las escasas normas vigentes que consideran la condición artesanal de la producción del ladrillo y sus implicaciones potenciales en el ámbito patrimonial. La densidad se aplica según la norma UNE EN 772-3-99 [42], la cual consiste en obtener la densidad en las piezas, a partir de la relación del pesado de la masa seca y la masa saturada con agua.

Para la porosidad abierta se usa la norma UNE 993-1 [43], cuyo objetivo es determinar la cantidad de poros abiertos en los que puede ingresar agua al ladrillo. Estas pruebas buscan entender el comportamiento del agua en el ladrillo según su uso visible en las fachadas de Cuenca, pero particularmente en las edificaciones del CHC (Figura 1) y, por tanto, en la arquitectura patrimonial expuesta a procesos de deterioro [13], que afectan la durabilidad de los atributos físicos e inmateriales. Esta situación debe destacarse, ya que limita la posibilidad de que la población sea capaz de reconocerse en ellos desde su identidad cultural y conviva de manera armónica con el entorno [44]. También limita la conservación articulada y la permanencia de la cultura constructiva popular [45].

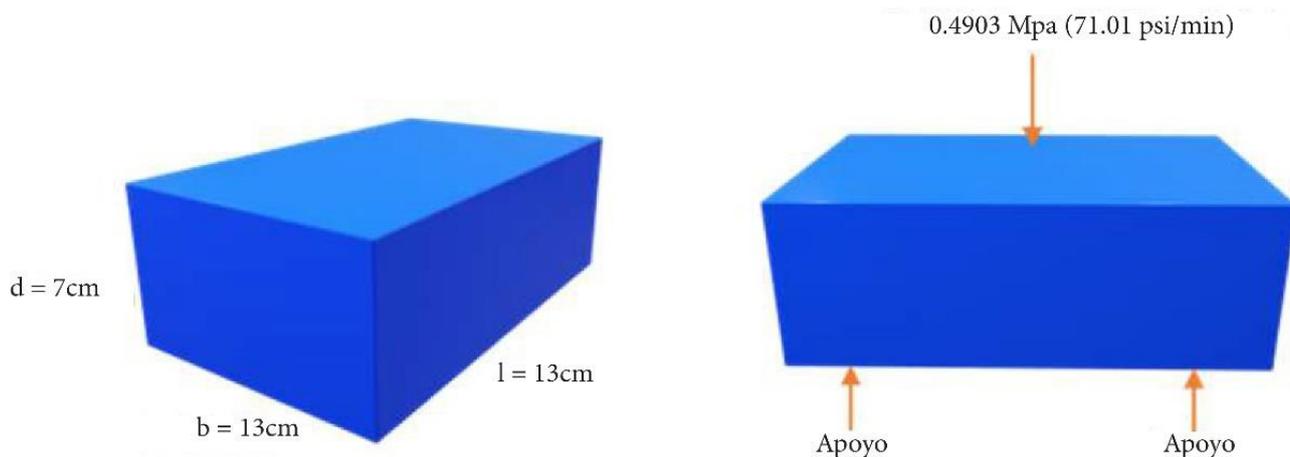


Figura 5. Modelos generales para el ensayo a flexión [13].

Resistencia a la compresión y flexión

En los ladrillos, y a diferencia de la materia prima (Figura 4), el estudio de las propiedades mecánicas de compresión y flexión se basa en las normas UNE 772-1:2011+A1 [46], UNE 67042-88 [47] e INEN 295 1977-05 [48] (Figura 5), sin desconocer que estas no tienen la orientación hacia el patrimonio cultural como otras, y que combinan la visión europea y la ecuatoriana. Además, se usa una prensa Hydraulic Universal Testing Machines Shimadzu Concreto 2000X en las siguientes condiciones; velocidad 0,5 MPa/s para la resistencia a compresión y 0,05 MPa/s para la resistencia a flexión.

A detalle, las probetas usadas se corresponden con la descripción de la Tabla 1. Para el caso de los ensayos de flexión el formato se corresponde con el modelo típico de la producción local y trabajo artesanal, el cual experimenta variaciones dimensionales ($\leq 6 \text{ mm} \geq 28 \text{ mm}$ por lado) que se registran individualmente. Por su parte, para los ensayos de compresión se procede a la preparación de las probetas bajo la norma UNE-EN 1052-1/1999; se usa una cortadora mecánica simple y se obtienen probetas con variaciones dimensionales significativas ($\leq 14 \text{ mm}$ por lado) debido a la conformación irregular interna de las piezas [13] originales, y con ello, potencialmente debido a la calidad de la materia prima.

Durabilidad

Los ensayos de envejecimiento acelerado para observar la durabilidad se aplican a los ladrillos, no así a la materia prima (Figura 4), y se componen por dos tipos de pruebas: heladicidad y cristalización de sales. Estos se realizan de manera secuencial conforme se han enunciado y mediante las normas UNE 67028 EX/97 [49] y UNE 67029 EX/95 [50], respectivamente.

Tabla 1. Características de los ladrillos artesanales según procedencia.

Muestras	Número	Ensayo	Dimensiones (mm) (\bar{x})	Aspecto referencial
Sinincay	5	Resistencia a la compresión	70×70×70	
Racar	5			
El Tejar	5			
Sinincay	6	Resistencia a flexión	250×130×70	
Racar	6			
El Tejar	6			

El tamaño de las probetas y los ciclos para cada ensayo se adaptaron a las capacidades técnicas disponibles en el laboratorio. Se realizan cortes a los especímenes para tener dimensiones de $13 \times 7,5 \times 8$ cm para los dos ensayos, asegurando que exista mínimo cuatro caras originales del ladrillo. Cada ciclo de heladicidad consta de 24 horas en el interior de una cámara frigorífica a una temperatura de -8 °C, y las siguientes 24 horas en una bandeja de deshielo a temperatura ambiente, en el caso del laboratorio de 20 ± 2 °C.

Por otro lado, cada ciclo de cristalización de sales consiste en 8 horas sumergido en una solución al 14 % de sulfato de sodio y las siguientes 16 horas en una estufa a 100 °C. El proceso incluye la documentación fotográfica de especímenes en los diferentes procesos a fin de facilitar el análisis.

Resultados y discusión

A partir del estudio de la materia prima y los tres conjuntos de ladrillos provenientes de los sitios históricos de aprovisionamiento (Sinincay, Racar y El Tejar), se determinan características significativas autónomas y articuladas (materia prima-ladrillo artesanal). Se priorizan las implicaciones técnicas sobre las estéticas, no obstante, no se desconoce la relevancia de las primeras en la arquitectura patrimonial y sus atributos inmateriales.

Materia prima

Composición química elemental y mineralógica

Al caracterizar el material de los sectores de estudio se determina que, la composición química elemental promedio no presenta mayor dispersión. Los elementos mayoritarios son silicio (Si), aluminio (Al) y hierro (Fe) que se relacionan con los aluminosilicatos y óxidos de hierro. También se evidencian elementos minoritarios como potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), calcio (Ca) y titanio (Ti). Los cuatro elementos iniciales se consideran fundentes y podrían influenciar durante la quema del ladrillo [51] (Tabla 2). En la composición mineralógica, las fases cristalinas predominantes son el cuarzo, caolinita, ilita, feldespatos potásicos y plagioclasas, acompañados de anatasa y óxidos de hierro (Tabla 3).

Tabla 2. Composición química elemental expresada en porcentaje de óxidos, obtenida por SEM-EDS.

Muestra	Componente (% de óxido)							
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO
Racar	0,38	0,91	24,21	64,55	2,10	0,74	0,78	6,32
Sinincay	0,61	0,70	24,44	62,22	2,14	0,64	0,87	8,37
El Tejar	0,35	1,05	26,40	59,86	1,70	0,74	1,10	8,79

Tabla 3. Composición mineralógica, obtenida por difracción (Suite EVA y Topas).

Muestra	Composición mineralógica (%)								
	Cuarzo (SiO ₂)	Plagioclasas [(Na,Ca)(Si,Al),O ₂]	Feldespatos de potasio (KAlSi ₃ O ₈)	Caolinita [Si ₂ O ₅ Al ₂ (OH) ₄]	Ílita (KAl ₂ (Si,Al)O ₆ (OH) ₂)	Anatasa (TiO ₂)	Hematita (Fe ₂ O ₃)	Gibbsita Al(OH) ₃	
Racar	46,03	5,87	7,91	13,60	20,70	1,65	1,75	2,49	
Sinincay	47,99	13,74	6,08	16,07	12,92	1,30	1,90	-	
El Tejar	35,74	13,38	5,53	36,01	6,45	1,44	1,44	-	

El contenido de SiO_2 en las muestras de Sinincay y Racar es ligeramente superior a las muestras de El Tejar. Al considerar los valores teóricos de sílice en una pasta de ladrillo (45-55 %) [52-53], se deduce que los ladrillos de los tres sectores podrían tener un descenso de su resistencia mecánica en seco debido a este particular. Posterior a la cocción pueden presentar una mayor contracción durante el enfriamiento con riesgo de roturas. En contraposición, destaca el contenido de K_2O , que describe un rango entre los valores ideales (1,5-7 %), lo cual favorece la vitrificación durante la cocción, al disminuir la temperatura de fusión de la mezcla [54].

El contenido de arcillas (caolinita e ilita) es variable (Tabla 3 y Figura 6), de allí que, es importante su presencia en las propiedades mecánicas, durabilidad y, por tanto, en la calidad de los ladrillos, pero además en el proceso de producción porque al otorgarle manejabilidad a la mezcla, también se incluyen fundentes, especialmente Na, Ca y Mg, que disminuyen la temperatura de fusión durante la cocción [52] para producir una fase vítrea duradera que actúa como aglutinante de la matriz cerámica.

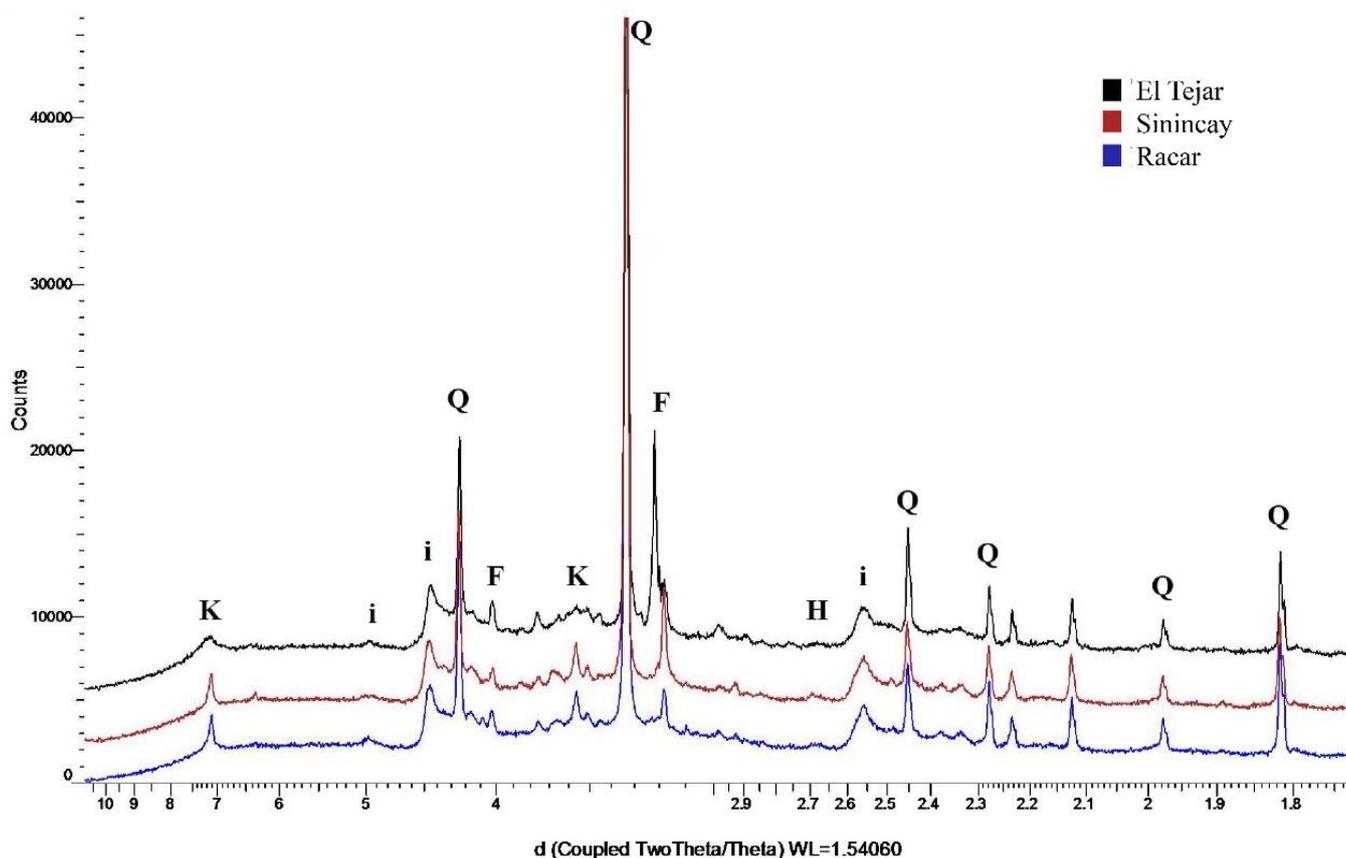


Figura 6. Difractogramas de las materias primas de los casos de estudio (Q: cuarzo; F: feldespatos; K: caolinita; i: ilita y H: hematita), obtenidos con Difracción Suite EVA.

Granulometría

Los resultados del análisis del tamaño de partícula por tamizado en seco y por difracción láser (Tabla 4). Se muestra la proporción relativa entre los diferentes grupos de partículas primarias, según sus diámetros de partícula; la fracción arcillosa es la más importante en la fabricación de los ladrillos, e incluye principalmente a los filosilicatos y otros minerales como feldespatos, cuarzos, entre otros, debido a su tamaño. Se considera como la fracción más fina ($\leq 2\mu\text{m}$) del suelo [55-56] y es responsable de los fenómenos fisicoquímicos y de la cantidad de agua utilizada

durante el amasado. En contraparte, las otras fracciones son partículas más gruesas que ayudan a disminuir la retracción [57]. En el caso del material proveniente de Racar y Sinincay, el porcentaje de arcilla es similar (20 %). Teóricamente se sabe que, una mezcla debe contener arcilla entre 20 y 30 % para garantizar la manejabilidad; porcentajes menores provocan dificultades durante el moldeo, como debe ocurrir con la materia prima de El Tejar, debido al bajo contenido de arcilla, y, por ende, baja plasticidad en la pasta [58-59].

La distribución del tamaño de partícula de las fracciones de limo y arcilla se observa en la Figura 7. Los limos y arcillas confieren a las pastas alta superficie específica; mientras más alto es el valor, la interacción con el agua aumenta [60-61] (Tabla 4). Así, la materia prima de Sinincay posee la mayor superficie específica, debido a su alto porcentaje de arcilla; posee 16 % de caolinita y 12,9 % de ilita (Tabla 3). La caolinita, si bien es una arcilla de baja superficie específica, adsorbe gran cantidad de agua y su superficie específica aumenta, favoreciendo la interacción y otorgándole plasticidad a la mezcla [60]. Por su parte, la materia prima de Racar posee una superficie específica importante (6928,4 cm²/cm³), por la presencia de ilita (20,7 %) y caolinita (13,6 %) que debe otorgar una plasticidad intermedia con respecto a los otros dos tipos de materia prima (Figura 7). Por último, la materia prima de El Tejar posee la menor superficie específica; 36 % de caolinita y 6% de ilita. Este valor bajo es concordante con el alto contenido de caolinita, una arcilla de área superficial baja en comparación con otros minerales arcillosos [61].

Conforme al diagrama de Winkler, usado para definir la plasticidad de un producto con buenas características a partir del contenido de arcilla, limo y arena de la pasta [62-63], se establece que, la materia prima de Sinincay es la única que encaja entre los valores de la región Z1, destinada a obtener un producto con buenas características técnicas en ladrillos macizos [64] (Figura 8). Caso contrario sucede en el material proveniente de El Tejar y Racar, por lo cual, existe la posibilidad de pérdidas durante el secado y la necesidad de mejorar las formulaciones [64-65]. Además, para el caso de los ladrillos artesanales, este proceso de formulación es de difícil control; en muchos casos la plasticidad de la pasta se da principalmente por el conocimiento ancestral, por lo tanto, los porcentajes de la fracción fina y gruesa puede variar de unidad en unidad [66].

Tabla 4. Resumen de la caracterización granulométrica por tamizado.

Muestra	Distribución granulométrica (%)				Superficie específica (cm ² /cm ³)
	Grava (> 2 mm)	Arena (2-0.02 mm)	Limo (0,02-0,002 mm)	Arcilla (< 0.02 mm)	
Sinincay	29,84	32,87	15,29	21,99	9194,8
Racar	52,98	20,15	7,22	19,65	6928,4
El Tejar	50,26	25,40	8,27	16,07	6175,1

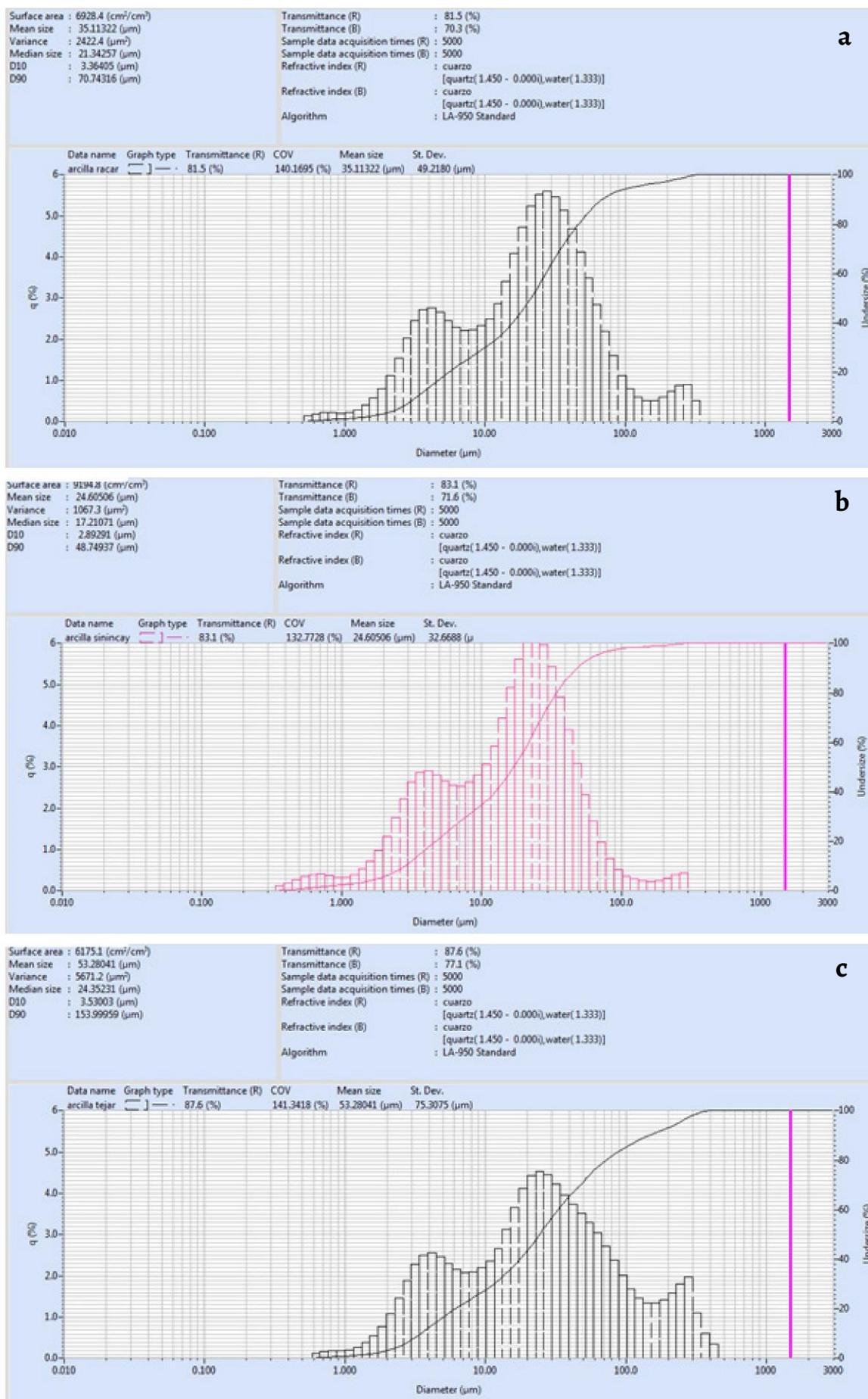


Figura 7. Distribución de tamaños de partículas de limo y arcilla, obtenida por difracción (Láser Horiba LA-950V2): a) Racar; b) Sinincay; c) El Tejar.

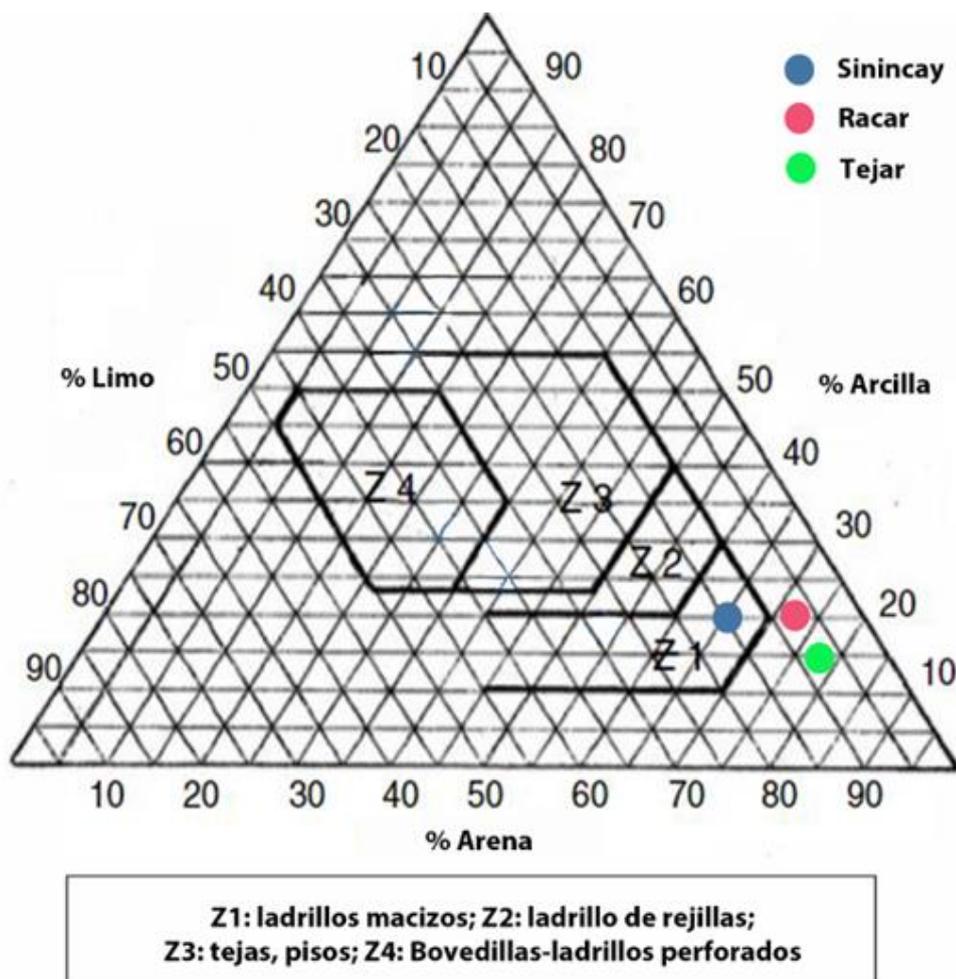


Figura 8. Diagrama de Winkler [64] para la materia prima de los casos de estudio.

Ladrillo macizo o panelón

Al considerar los ejemplares estudiados son evidentes las variaciones entre cada grupo y, por ende, entre cada proceso de producción artesanal y materia prima (Figura 9). En el caso del ladrillo de Sinincay la morfología es regular, con pequeñas imperfecciones superficiales e internas (con presencia visible de granos de áridos) y sonido metálico o sordo al golpe, lo que indica un nivel moderado o alto de porosidad o vacíos internos [1]. La coloración es típicamente naranja, propia de la condición estética deseada y asociada a la presencia de óxido férrico [66-67].

En el caso del ladrillo de El Tejar, la morfología presenta variaciones significativas, es decir, el amasado, el moldeado y secado son de menor calidad. También presenta coloración irregular en sentido decreciente exterior – interior e irregularidad granulométrica significativa. A su vez, en el ladrillo de Racar la irregularidad es la más significativa de los tres (Figura 9), así como la coloración pálida atípica en los ladrillos históricos y más bien, acorde a la contemporánea y creciente tendencia de uso (Figura 1).



Figura 9. Secciones transversales de los ladrillos: a) Sinincay; b) El Tejar; c) Racar.

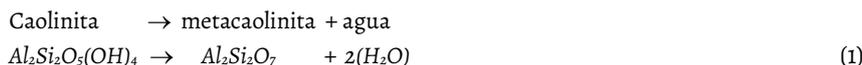
Tabla 5. Composición mineralógica, obtenida por difracción (Suite EVA y Topas).

Muestra	Composición mineralógica (%)								Temperatura de cocción (°C)
	Cuarzo (SiO ₂)	Mullita (Al ₆ Si ₂ O ₁₃)	Espinel (Si ₃ Al ₄ O ₁₂)	Plagioclasas ((K,Na,Ca)(Si,Al) ₃ O ₈)	Ilita (KAl ₂ (Si,Al)O ₁₀ (OH) ₂)	Hematita (Fe ₂ O ₃)	Anatasa (TiO ₂)	Otros	
Sinincay	41,40	9,59	-	28,85	-	5,52	0,78	13,61 (tridimita)	> 1000
Racar	59,21	18,72	10,96	3,98	-	5,34	1,80	-	> 1000
El Tejar	52,23	-	-	21,70	16,18	3,15	1,82	4,93 (cloritoide)	900-1000

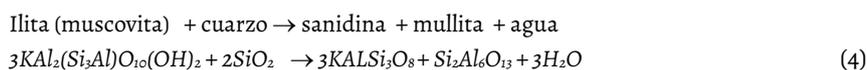
Composición mineralógica

Los resultados del análisis mineralógico se muestran en la [Tabla 5](#). Las fases cristalinas identificadas son cuarzo, feldespatos, hematita y anatasa; estas estructuras están en concordancia con el análisis de las materias primas ([Tabla 3](#)), pero también se encuentran fases cristalinas (mullita y espinel) de alta temperatura en los ladrillos de Racar y Sinincay, las cuales confieren dureza y resistencia. Estas últimas, se forman por la transformación a temperaturas superiores a 1000 °C [54] de las arcillas (ilita y caolinita) presentes en la materia prima. Por su parte, el ladrillo del Tejar tiene ilita, es decir, que la arcilla presente en la materia prima, aún no se ha transformado por acción de la temperatura en otras fases cristalinas; aspecto que influye directamente en la porosidad y la durabilidad del ladrillo [68-69].

Se toma como referencia los resultados de un estudio previo de transformación térmica de las arcillas [51], en los cuales se identifican las temperaturas de cocción de media y alta temperatura en arcillas de Cuenca y otros sectores del país. A partir de esto, se logró estimar la temperatura de cocción de los ladrillos. La ausencia de caolinita en el difractograma revela que los ladrillos se quemaron a temperaturas superiores a 600 °C, por la formación de una fase hidratada conocida como metacaolinita. Cuando la temperatura supera los 1000 °C, aparece una nueva fase, la mullita en coexistencia con cristobalita [54], las cuales se observan en los ladrillos de Racar y Sinincay. Estas reacciones se presentan a continuación:



A detalle, el ladrillo de El Tejar reporta ilita entre las fases cristalinas mayoritarias, lo cual es un indicativo de temperatura de cocción entre 900 y 1000 °C. Esta estimación se basa en el hecho de que, la ilita se amorfiza modificando su estructura cristalina a temperaturas superiores a 1000 °C, por lo que desaparecen los picos principales [51] ([Figura 8](#)). En el caso de los ladrillos de Sinincay y Racar las fases cristalinas mayoritarias (mullita y espinel) son típicas de alta temperatura [51]; sugieren temperaturas de quema superiores a 1000 °C. También se debe considerar que, la presencia de feldespatos de potasio favorece la aparición de estas fases, por su efecto fundente, y que, a su vez, le confieren al ladrillo un comportamiento refractario, reduciendo la porosidad y ganando resistencia a compresión y cizallamiento [68, 70]. Los filosilicatos (ilita) conforme aumenta la temperatura se transforman en nuevas fases, como la sanidina y la mullita [71-72], según la siguiente reacción:



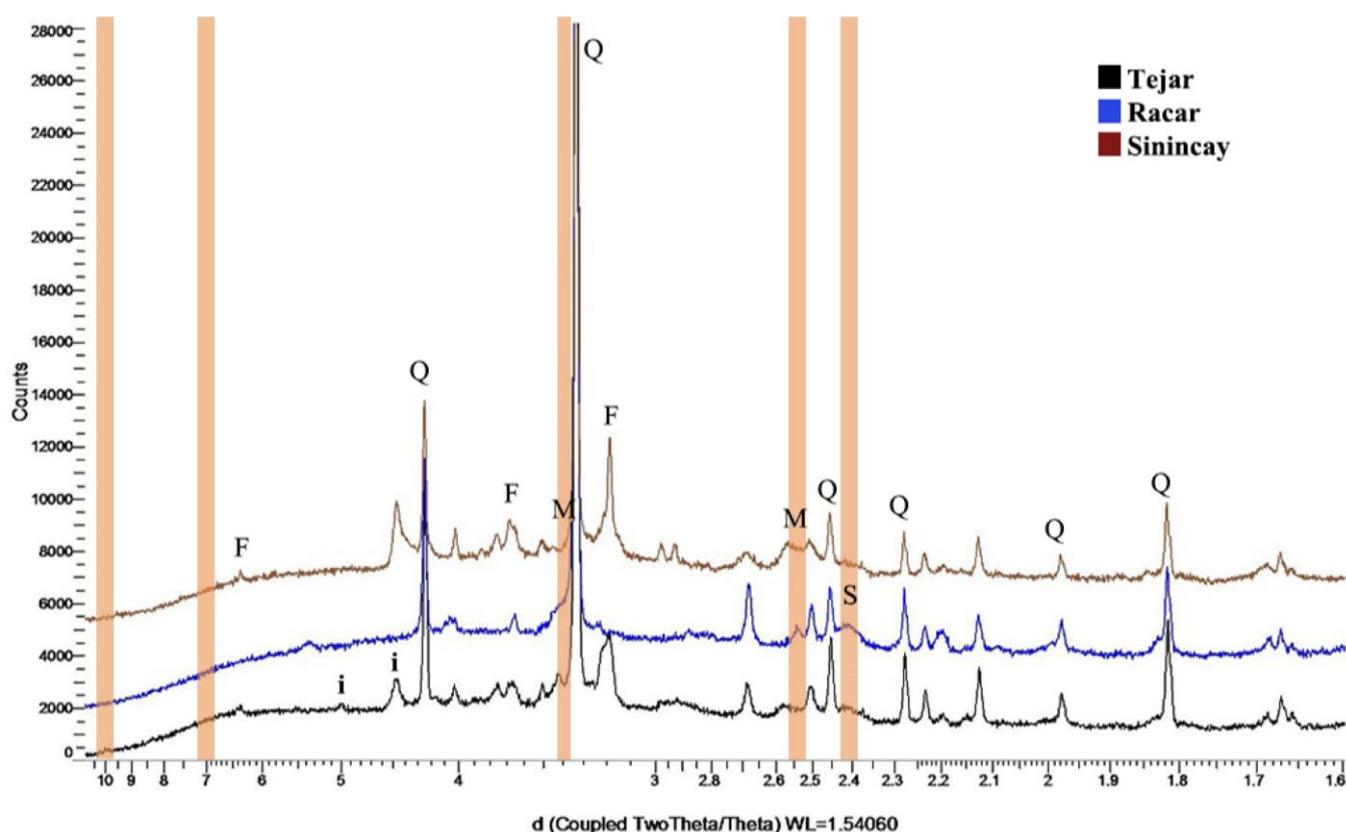


Figura 10. Difractogramas comparativos de los casos de estudio (Q: cuarzo; F: feldespatos; M: mullita; i: ilita; C: cloritoide; H: hematita; S: espinel), obtenidos con Difracción Suite EVA y Topas.

Densidad, absorción de agua y porosidad abierta

La cantidad de agua que absorbe un ladrillo afecta directamente a la durabilidad y robustez, ya que, los poros funcionan como capilares [72]. Los ladrillos deben ser porosos, pero no en exceso, ya que, los valores más altos de absorción de agua causan expansiones, eflorescencias y contracciones se provocan agrietamientos y fisuras [73]. En los ladrillos estudiados existe un porcentaje de absorción de agua similar (Tabla 6) y acorde a la normativa ecuatoriana NTE INEN 297 [74] de fabricación artesanal en ladrillos macizos, es decir, cumple con el 25 % de absorción de agua máximo para un ladrillo tipo C [75].

En la Figura 11 se observan las microestructuras de los ladrillos. El de Racar presenta microfisuras, grietas y poros irregulares que se forman por una baja presión de prensado durante su producción, dando como resultado baja densificación [10]. Estas características se asocian a valores altos de absorción de agua y bajas temperaturas de cocción [76]. Por su parte, los ladrillos de Sinincay y El Tejar presentan microfisuras con tamaños característicos de los ladrillos elaborados con un prensado homogéneo, por lo tanto, presentan valores menores en la absorción de agua con temperaturas de cocción más altas. Como consecuencia, conforme a la relación con la resistencia mecánica y la durabilidad, por la temperatura de cocción no se identifica material vidriado, el cual cierra los poros pequeños y reduce el volumen del sólido a altas temperaturas [77].

Tabla 6. Determinación de densidad y absorción de agua por inmersión.

Muestras	UNE-EN 772-3	INEN 296	UNE-EN 993-1
	Densidad aparente (g/cm ³)	Absorción de agua (%)	Porosidad abierta (%)
Sinincay	1,59	18,23	37,17
Racar	1,46	19,96	36,15
El Tejar	1,65	17,06	36,93

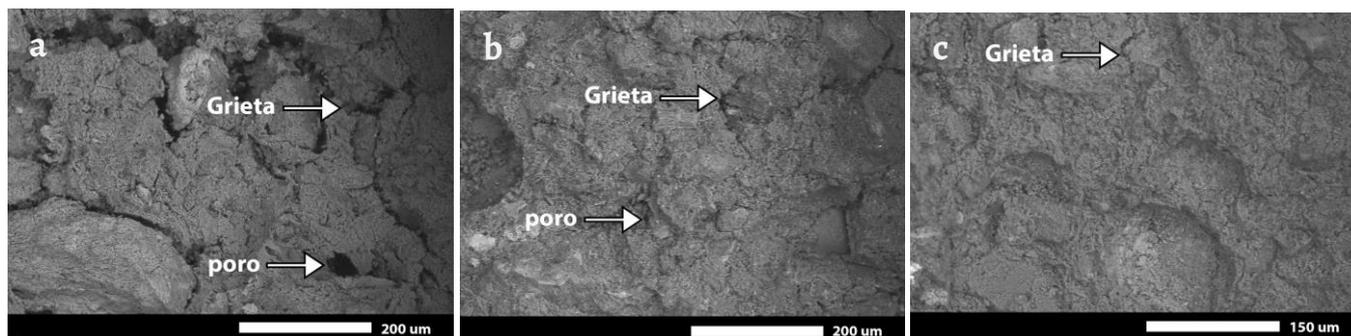


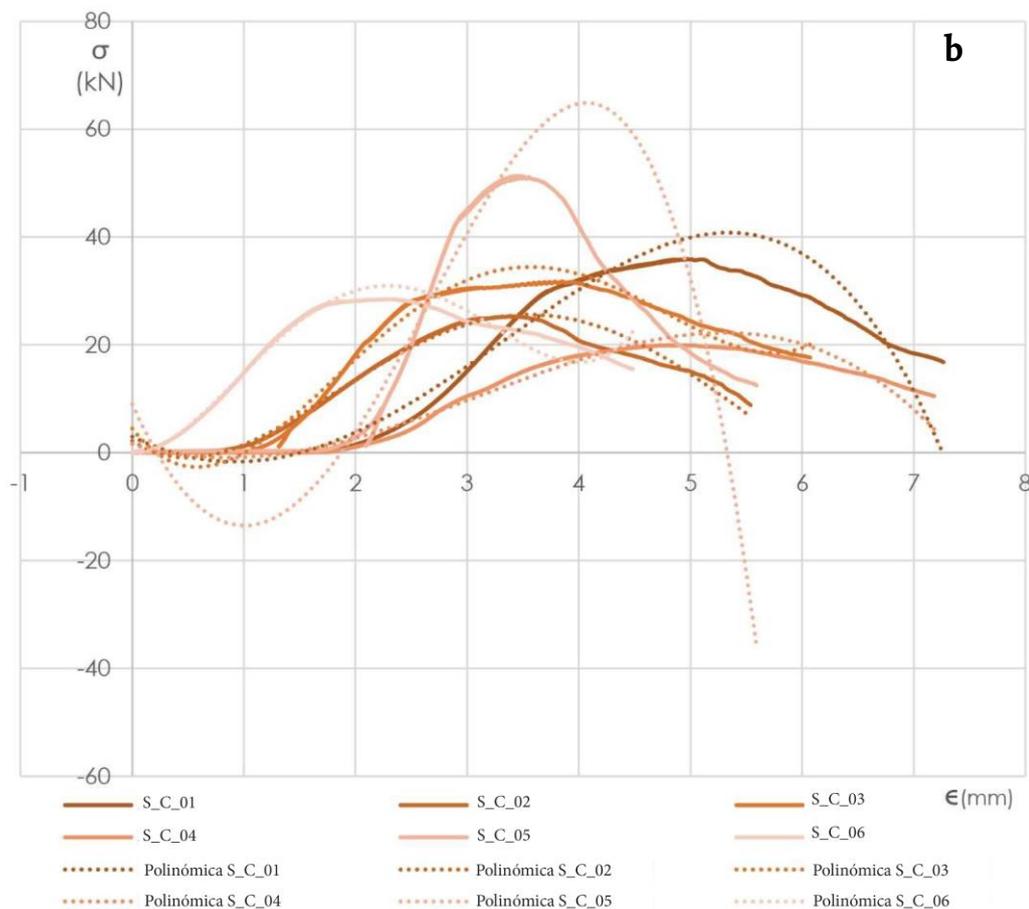
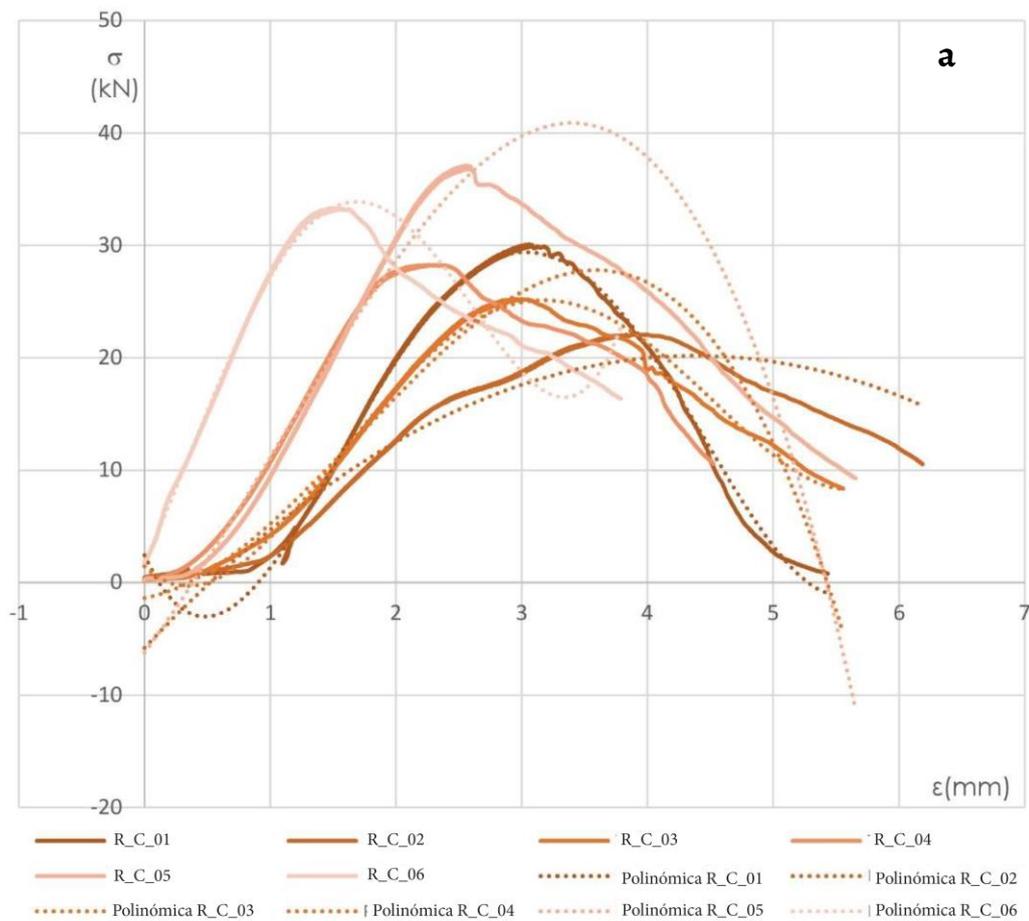
Figura 11. Imágenes microscópicas, obtenidas con microscopio electrónico de barrido JEOL IT 300, de la microestructura de los ladrillos, en la que se observa las microfisuras y tamaño de poros: a) Racar, b) Sinincay y c) El Tejar.

Resistencia mecánica (compresión y flexión)

Desde la caracterización físico-mecánicas, según los condicionantes de las normas internacionales aplicadas, existen comportamientos dispersos. Las prestaciones físicas a compresión indican que, el promedio de carga máxima se encuentra entre 37,10 y 51,33 kN, lo cual depende de la procedencia del material y con seguridad también incide el proceso artesanal de producción. Esto a su vez es directamente proporcional con la resistencia a la compresión distribuida entre 3,10 y 9,50 MPa. A nivel específico, el material con mejores condiciones es el proveniente de Sinincay, ya que resiste entre el 10 y 20 % más que el de El Tejar y Racar (Tabla 7), y a su vez, se asocia con la presencia de cuarzo, mullita y espinel, así como con la maleabilidad que le confieren a la masa, no así a la densidad, absorción de agua y porosidad.

Desde el punto de vista estructural, la resistencia a la compresión en la unidad de ladrillo determina su idoneidad para la edificación [78], por ello, además deben soportar una carga de 4 y 3 MPa [79] con disposición perpendicular al plano del muro [80]; este comportamiento se adapta a las características de los ensayos propuestos y vigentes por ser materiales fabricados a mano y tener imperfecciones en su composición exterior y variación de rectitud en las aristas de hasta 8 mm. En términos de obra nueva, son de relevancia otras normas ecuatorianas [74, 79, 81] a fin de seleccionar cada elemento según el requerimiento en la edificación, no obstante, a efectos de arquitectura patrimonial la aplicación es limitada y los estudios son inexistentes. Tal es el punto que, la mayoría de edificios patrimoniales fueron construidos sin control de calidad o cumpliendo normas de construcción [30], por lo que, las grandes variaciones confirman la particularidad de cada dosificación de la materia prima, moldeado y quema (Tabla 7).

A detalle, en el conjunto de los ladrillos provenientes de El Tejar, la resistencia máxima soportada se encuentra entre 3,10 y 7,14 MPa, y $\bar{x} = 5,38$ MPa. Estos son valores lejanos a cumplir con las normas nacionales NTE INEN 0294 [78] y NTE INEN 297 [80]; estas establecen que, para el tipo de ladrillo tipo A, debe cumplir en promedio de cinco unidades un valor de 25 MPa. Así, los ladrillos de Sinincay (3,41 y 9,50 MPa, $\bar{x} = 6,37$ MPa) y Racar (4,32 y 7,35 MPa, $\bar{x} = 5,84$ MPa) reportan valores significativamente inferiores. Además, existen casos con comportamientos particulares (T_C_01 y R_C_01), ya que pasan por un proceso de plastificación previo al colapso, contrario al resto de muestras que sufren una rotura frágil (Tabla 7 y Figura 12).



(cont.)

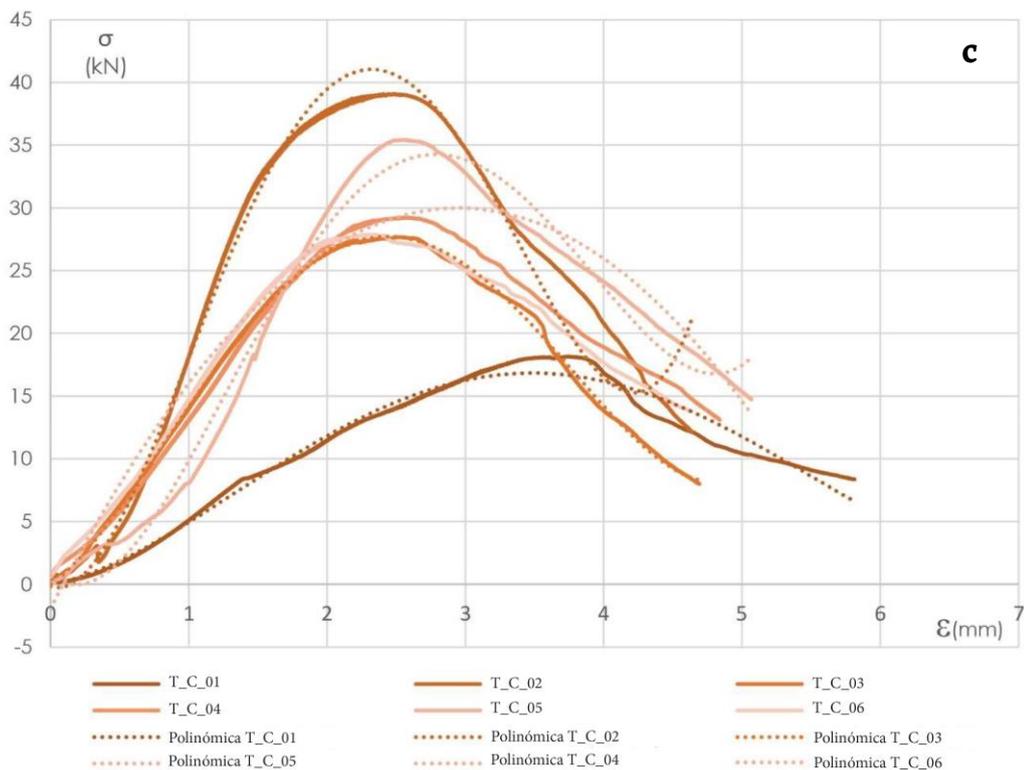


Figura 12. Comportamiento a compresión, obtenido con Hydraulic Universal Testing Machines Shimadzu Concreto 2000X: a) Racar, b) Sinincay; c) El Tejar.

Tabla 7. Reporte de comportamiento a compresión simple, obtenido con Hydraulic Universal Testing Machines Shimadzu Concreto 2000X.

Muestras		Características				
		Carga Máxima (kN)	Resistencia (MPa)	Varianza	Desviación estándar	Coef. de variación
El Tejar	T_C_01	18,13	3,10	28,26	±8,62	1,17
	T_C_02	39,10	7,146	152,15	±12,33	1,17
	T_C_03	27,69	5,264	74,32	±8,62	1,17
	T_C_04	29,22	4,993	84,71	±9,20	1,12
	T_C_05	35,41	7,125	126,58	±11,25	1,37
	T_C_06	27,87	4,70	78,29	±8,84	1,27
Sinincay	S_C_01	35,97	7,13	92,90	±9,64	1,45
	S_C_02	25,30	5,89	52,04	±7,21	1,29
	S_C_03	31,77	6,13	84,48	±9,19	1,32
	S_C_04	19,96	3,41	22,38	±4,73	1,55
	S_C_05	51,33	9,50	234,08	±15,30	1,24
	S_C_06	28,48	6,17	79,72	±79,72	1,18
Racar	R_C_01	30,10	5,72	82,88	±9,11	1,08
	R_C_02	22,09	4,32	43,05	±6,56	0,98
	R_C_03	25,23	5,30	58,02	±7,62	1,06
	R_C_04	28,26	5,85	77,10	±8,78	1,17
	R_C_05	37,10	7,35	131,73	±11,48	1,14
	R_C_06	33,33	6,52	115,72	±10,75	1,16

Tabla 8. Reporte de comportamiento a la flexión, obtenido con Hydraulic Universal Testing Machines Shimadzu Concreto 2000X.

Muestras	Características					
	Carga Máxima (kN)	Resistencia (MPa)	Varianza	Desviación estándar	Coef. de variación	
El Tejar	T_F_01	1,32	0,08	0,12	±0,35	0,77
	T_F_02	2,75	0,16	0,87	±0,93	0,95
	T_F_03	7,20	0,45	6,50	±2,54	0,62
	T_F_04	1,43	0,09	0,34	±0,58	0,98
	T_F_05	0,87	0,05	0,21	±0,46	0,99
Sinincay	S_F_01	1,22	0,08	0,10	±0,32	0,78
	S_F_02	2,32	0,16	0,50	±0,71	0,91
	S_F_03	1,74	0,11	0,29	±0,54	0,90
	S_F_04	1,54	0,10	0,65	±0,80	1,06
	S_F_05	1,41	0,09	0,30	±0,55	0,93
Racar	R_F_01	1,14	0,07	0,16	±0,40	0,89
	R_F_02	0,66	0,04	1,51	±1,23	1,92
	R_F_03	1,53	0,09	0,16	±0,40	0,77
	R_F_04	1,23	0,07	0,13	±0,37	0,86
	R_F_05	4,88	0,29	1,89	±1,37	0,42

Por su parte, a flexión se determina que, el rango de la resistencia oscila entre 0,04 y 0,454 MPa, con valores promedio de 0,171, 0,114 y 0,113 MPa que corresponden a las muestras de Tejar, Sinincay y Racar, respectivamente. A su vez, la norma ecuatoriana [48, 62] bajo los ensayos característicos determina como mínima una resistencia de 2 MPa en el promedio de los ladrillos cerámicos ensayados [34, 62], es decir, ninguno es admisible para uso, debido a diversas condiciones como el tipo de amasado y la quema (Figura 9 y Tabla 8). Pese a ello, el material de mejores condiciones es el de Sinincay, cuya carga promedio es 0,114 MPa.

Por otro lado, debido al bajo nivel tensional de las mamposterías [82], asociado a la calidad de la materia prima, la elasticidad, salvo que hubiese un alto deterioro como en algunos bienes del CHC, está condicionada a la resistencia y a la densidad. De ello, los ladrillos de Sinincay presentan las mejores condiciones, mientras que, en los de Racar la mayor absorción de agua, menor temperatura de cocción y fracturación interna, los hace altamente vulnerables, es decir, se incrementa la posible deformación de los ladrillos en el sistema de mampuestos. Además, a pesar de ello, en muchos casos los materiales encontrados en las fábricas históricas tienen mejores prestaciones y un comportamiento más satisfactorio que las soluciones actuales [83], por lo que, el optar sistemáticamente por alguno de estos materiales, puede ser no necesariamente idóneo. En el CHC, este particular resulta significativo, ya que la ubicación geográfica y los condicionantes sísmicos refieren un riesgo latente [82, 84].

Durabilidad

Las propiedades físicas, como determinantes de la calidad, resistencia longevidad y estabilidad de los bienes deben evaluarse [1] desde los agentes de deterioro. En el caso del ladrillo, los mayores están relacionados con la calidad de la arcilla cruda, es decir, la materia prima y las condiciones de fabricación, además del ambiente y el factor antrópico [85]. De hecho, se ha reconocido que, como ocurre con la mayoría de los materiales de albañilería, varios procesos pueden actuar para alterar las propiedades físicas y químicas del ladrillo cocido [69], y el grado de alteración depende normalmente de la exposición a la intemperie, del ataque químico y de un diseño estructural inadecuado, el cual se enmarca en las características de la arquitectura patrimonial del CHC [82, 84].

En el ensayo de heladicidad, método por el cual se determina la durabilidad de los ladrillos, se reproduce el efecto de la variación cíclica de la cristalización del hielo en el interior saturado

en agua, se reveló que, los ladrillos de El Tejar y Sinincay presentan cambios evidentes a simple vista, con formación de lascas, fisuras, grietas y pérdida de rugosidad (Figura 13). Este fenómeno está relacionado con las características de porosidad, la facilidad de movimiento de los fluidos al interior del ladrillo y la saturación del agua en el sistema poroso. En los dos casos, se genera expansión en el volumen cuando el agua cambia a hielo en un 9 % [86], y se observa en la cantidad de agua que se absorbe.

En contraste, los ladrillos de Racar presentan grandes fisuras, pérdida de material y desplazados (Figura 13), lo cual se relaciona con el proceso de fabricación artesanal; las piezas presentan variaciones de unidad en unidad, principalmente cuando se realiza con rapidez el secado y causa la formación de grietas y fisuras [66, 87]. Asimismo, los efectos agresivos que tiene la heladicidad se entienden al relacionar el alto porcentaje de absorción de agua con las imperfecciones del proceso artesanal, y, por lo tanto, determinan la menor durabilidad en relación a los otros ladrillos estudiados.

En el caso del ensayo de cristalización de sales, se observa al final de los ciclos la formación de eflorescencias, pérdida de material en la superficie y el aumento del porcentaje de absorción de agua (Figura 13 y Tabla 9). Esto se debe a que, cuando la disolución rica en sales ingresa al sistema poroso, generalmente por capilaridad, las sales solubles sufren disolución y precipitación favorecida por los cambios de temperatura y humedad [66]. A su vez, el efecto nocivo de la cristalización de sales está relacionado con el empuje de los cristales al crecer de tamaño y la generación de tensiones que superan la resistencia del ladrillo y generan estas eflorescencias [69].

De otro lado, también se observa que, la durabilidad no depende de la materia prima y la temperatura de cocción alcanzada, sino a los procesos de producción en su totalidad, particularmente el secado, amasado y moldeado [87]. Un claro ejemplo es el ladrillo de Racar; pese a exponer la temperatura de cocción más alta y la buena calidad de materia prima, presenta mayor desgaste (Figura 13).

En todos los casos, la afección de las prestaciones físicas, y estéticas derivadas, bajo procesos que cuestionan su solvencia y se aproximan a la realidad de la arquitectura patrimonial y sus materiales, también se traduce en disminución de valores patrimoniales. El detrimento estético, limitaciones funcionales y disminución de confort afectan al empoderamiento ciudadano a partir del reconocimiento de tales valores; esta visión no es individual, se asocia al vecindario, la familia, los amigos, por lo que, se trata de una perspectiva multi actoral, que determina una visión más integral de los valores existentes y una mayor implicación en los temas patrimoniales [88]. Es decir, el estado de conservación de la estética patrimonial trasciende de una aspiración narcisista [89], implica la puesta en valor de los materiales [13] en un nivel tan relevante como el de la arquitectura en general, como parte de la atmósfera [90] de los espacios, en este caso, el paisaje urbano histórico de Cuenca y las personas que se encuentran ahí, en sus disposiciones relativas y en los sentimientos que evocan.

Tabla 9. Porcentaje de absorción de agua antes y después del ensayo de cristalización de sales.

Muestra	Absorción de agua antes del ensayo (%)	Absorción de agua después del ensayo (%)
Sinincay	18,23	28,02
Racar	19,96	29,47
El Tejar	17,06	26,65

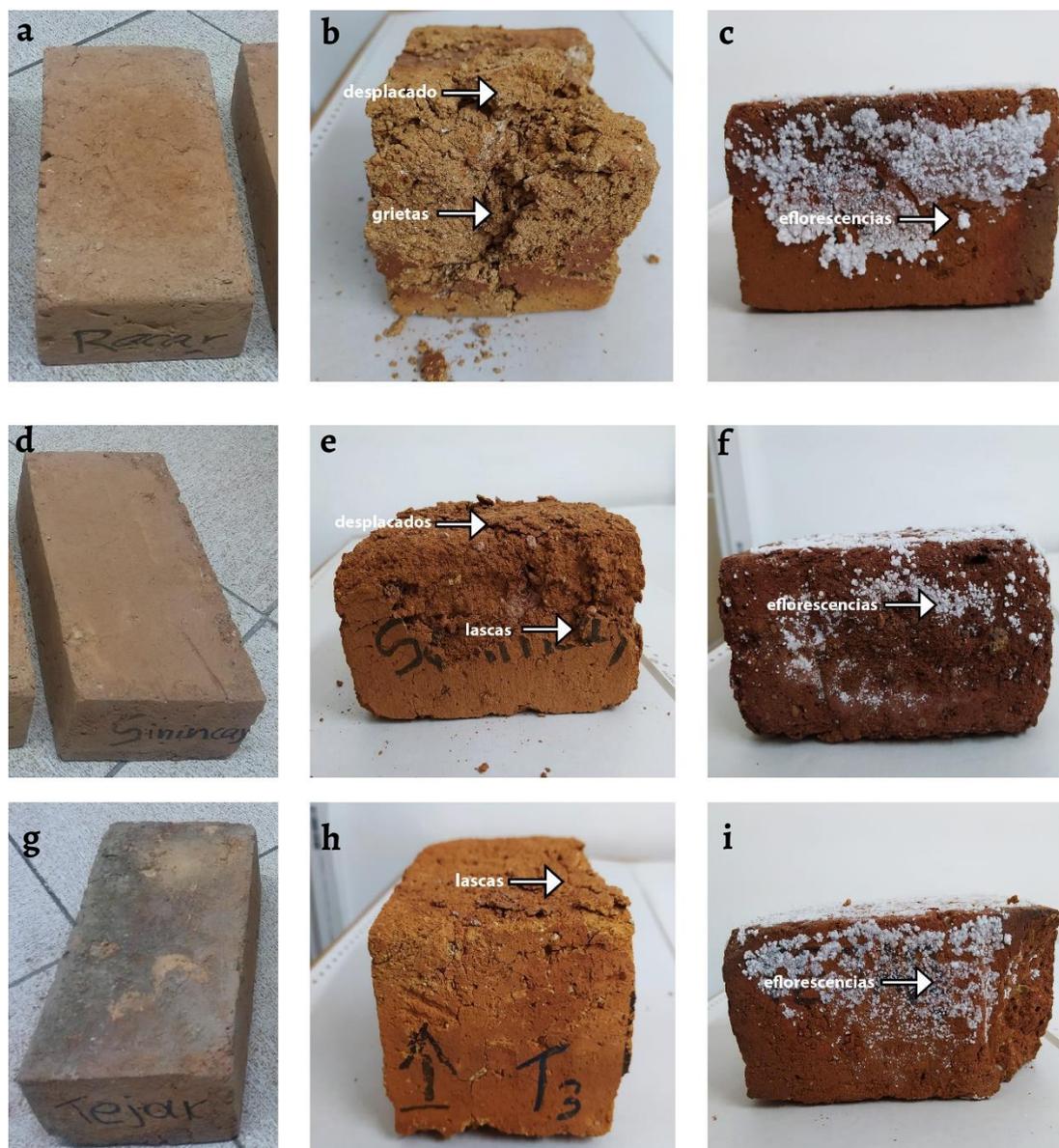


Figura 13. Reporte de ensayos de durabilidad: En los ladrillos de Racar: *a)* sin tratamiento; *b)* posterior al ensayo de heladicidad; *c)* posterior al ensayo de cristalización de sales; En los ladrillos de Sinincay: *d)* sin tratamiento; *e)* posterior al ensayo de heladicidad; *f)* posterior al ensayo de cristalización de sales; En los ladrillos de El Tejar: *g)* sin tratamiento; *h)* posterior al ensayo de heladicidad; *i)* posterior al ensayo de cristalización de sales.

Conclusiones

El uso del ladrillo artesanal en Cuenca es una condición significativa del territorio; está asociado tanto a las prácticas edificatorias cuanto, a los saberes ancestrales de su producción, lo cual lo posiciona como el material local predilecto, es decir, como un recurso atemporal de la construcción y la identidad. A pesar de lo anterior, el proceso de producción y uso presentan vulnerabilidad intrínseca establecida desde la caracterización de las muestras. La variación significativa de las propiedades químicas, mineralógicas, físicas y de durabilidad disminuyen el potencial de uso del ladrillo artesanal, frente al industrial o semi industrial, generalmente sujetos a procesos de control de calidad que disminuyen dicha problemática.

A detalle, las semejanzas y diferencias encontradas en los análisis de caracterización muestran relaciones diversas. Las semejanzas entre la materia prima de Racar, Sinincay y El Tejar son propias de las características geológicas del territorio, mientras que las diferencias en la granulometría, superficie específica y plasticidad están dadas por los procesos de producción de cada ladrillera. La materia prima de Sinincay que tiene un mayor contenido de la fracción

arcilla, por tanto, mayor área de superficie y la única que cumple las condiciones de calidad para ser usadas en la elaboración de ladrillos macizos, según el diagrama de Winkler. A su vez, en el caso de los ladrillos, se evidenció que la composición mineralógica está estrechamente ligada con el proceso de quema y las propiedades físicas resultantes. Así, los ladrillos de Racar y Sinincay exhibieron los rangos de temperatura de quema más altos (> 1000 °C) favoreciendo la fusión de los minerales y provocando el rellenado de los poros con la consiguiente disminución de la porosidad y aumento de densidad y permeabilidad. Estas características les otorgan las mejores propiedades de durabilidad.

De otro lado, el conocimiento de la vulnerabilidad de los ladrillos a los ciclos de hielo-deshielo y a la cristalización de sales posibilitarán la mejora de un material altamente aceptado por la sociedad y permitirá proyectar múltiples acciones técnicas. Por ello, se deben orientar operativamente los resultados reportados hacia los procesos de producción artesanal, evaluar la compatibilidad de las acciones y establecer protocolos técnicos sobre el ladrillo artesanal de producción contemporánea usado en los bienes patrimoniales.

Finalmente, es claro que, la situación de la calidad y capacidad del ladrillo artesanal a partir de la materia prima y el proceso de producción, alcanza a la conservación patrimonial y acentúa la utilidad de la investigación a la hora de evaluar y priorizar materiales compatibles para las labores de intervención. También se posiciona nuevas rutas de investigación, como las siguientes; a) el análisis particularizado de la arquitectura de hornos y tejares en zonas que, como San Sebastián y Sinincay, han acogido dicha actividad y pueden enmarcarse en categorías como el patrimonio de la producción artesanal y pre industrial; b) la evaluación de tratamientos de conservación aplicados a edificios patrimoniales, cuya eficacia o problemática pueda trascender a los profesionales, productores y administración pública para regular su uso y; c) la dinámica del trabajo familiar como motor de la producción histórica de ladrillo artesanal en Cuenca, y por tanto, parte del patrimonio inmaterial local.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Católica de Cuenca y al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural por el apoyo para la ejecución del proyecto denominado Los materiales en el estudio histórico – constructivo - ambiental de los conjuntos histórico. El caso de Cuenca. ETAPA 2. Dicho proyecto se realizó bajo convenio interinstitucional entre el año 2019 y el año 2021.

REFERENCIAS

1. Kumar Mishra, A.; Mishra, A.; Anshumali, 'Geochemical characterization of bricks used in historical monuments of 14-18th century CE of Haryana region of the Indian subcontinent: Reference to raw materials and production technique', *Construction and Building Materials* **269** (2021) 121802, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121802>.
2. Vele, J., 'Cathedral of Immaculate Conception of Cuenca: Building and process of materials', Trabajo de Maestría, Universidad de Lovaina, Lovaina (2015).
3. Sanmartín, F.; Tuba, M., 'Análisis y determinación de los costos de la explotación, procesamiento, acabado y comercialización de ladrillo y teja de los diferentes talleres de la parroquia rural de Sinincay, cantón Cuenca año 2014', Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2014), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21877>.
4. Zarankin, A., 'Arqueología de la Arquitectura. Another brick in the Wall', *Revista do Museu de Arqueología e Etnología. Suplemento* **3** (1999), 119-128, <https://doi.org/10.11606/issn.2594-5939.revmaesupl.1999.113463>.
5. Torres-Quezada, J.; Torres, A.; Isalgue, A.; Pages-Ramón, A., 'The evolution of embodied energy in andean residential buildings. Methodology applied to Cuenca-Ecuador', *Energy and Buildings* **259** (2022) 111858, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111858>.
6. Cultrone, G.; De La Torre, M. J.; Sebastián, E. M.; Cazalla, O.; Rodríguez-Navarro, C., 'Behavior of brick samples in aggressive environments', *Water, Air, and Soil Pollution* **119** (2000) 191-207, <https://www.proquest.com/openview/ebeabf36d37c6bcd6ed8do2d3f24c190/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=54157>.
7. Lourenço, P.; Van Hees, R.; Fernandes, F.; Lubelli, B., 'Characterization and damage of brick masonry', in *Structural Rehabilitation of Old Buildings, Building Pathology and Rehabilitation*, eds. A. Costa, J. Guedes, H. Varum, Vol. 2, Springer, Berlín (2014) 109-130, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39686-1>.
8. Mayo Corrochano, C.; Sanz Arauz, D., 'Los morteros históricos del castillo Cifuentes (Guadalajara, España)', *Conservar Património*, in press, <https://doi.org/10.14568/cp2020061>.

9. Marras, S. I.; Ihtiaris, I. A.; Hatzitrifon, N. K.; Sikalidis, K.; Aifantis, E. C., 'A Preliminary study of stress-assisted penetration in ceramic bricks', *Journal of the European Ceramic Society* **20** (2000) 489-495, [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(99\)00186-7](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(99)00186-7).
10. Cultrone, G.; Sidraba, I.; Sebastián, E., 'Mineralogical and physical characterization of the bricks used in the construction of the "Triangul Bastion", Riga (Latvia)', *Applied Clay Science* **28**(1-4) (2005), 297-308, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2004.02.005>.
11. Benici, H.; Binici, F.; Akcan, M.; Yardin, Y.; Mustafaraj, E.; Corradi, M., 'Physical-Mechanical and Mineralogical Properties of Fired Bricks of the Archaeological Site of Harran, Turkey', *Heritage* **3**(3) (2020) 1018-1034, <https://doi.org/10.3390/heritage3030055>.
12. Vandiver, P., 'The Role of Materials Research in Ceramics and Archaeology', *Annual Review of Materials Research* **31** (2001) 373-385, <https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.31.1.373>.
13. Aguirre Ullauri, M., 'Materiales históricos, lectura histórico constructiva y caracterización. El caso de Cuenca (Ecuador)', Tesis Doctoral, Departamento de Composición Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (2021), <https://oa.upm.es/69331/>.
14. Yahya, H. A.; Abdul Samad, M., 'The role of building materials in architectural design', *Applied Mechanics and Materials* **679** (2014) 6-13, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.679.6>.
15. Carta de Machu Picchu, Ciudades Históricas. Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos en Monumentos Históricos, Cuzco (1977), <http://mec-edupaz.unam.mx/index.php/mecedupaz/article/view/75301/66664>.
16. Villavicencio, P., 'Intervención en fachadas de ladrillo visto y activación económica. Estudio arquitectónico en el Centro Histórico de Cuenca (Ecuador)', Protocolo de trabajo de titulación de pregrado, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca (2020).
17. Venta, George J.; Eng., P., *Life cycle analysis of brick and mortar products*, The ATHENATM Sustainable Material Institute, Ottawa (1998), https://calculatelca.com/wp-content/themes/athenasoftware/images/LCA%20Reports/Brick_And_Mortar_Products.pdf.
18. Shakir, A.; Mohammed, A., 'Manufacturing of Bricks in the Past, in the Present and in the Future: A state of the Art Review', *International Journal of Advances in Applied Sciences* **2**(3) (2013) 145-156, <http://doi.org/10.11591/ijaas.v2.i3.pp145-156>.
19. Dean, C., *A Culture of Stone: Inka. Perspectives on Rock*, Duke University Press, Durham (2010).
20. Sjoman, L., *Cerámica Popular. Azuay y Cañar*, Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares, Cuenca (1991), <http://documentacion.cidap.gob.ec:8080/handle/cidap/351>.
21. Gomis, D., 'Chaullabamba, una ventana abierta hacia nuestro pasado', *Catedral Salvaje* **24** (1989) 4-5.
22. Orellana, F., 'Inventario, caracterización y expediente técnico de las ladrilleras y tejares del cantón Cuenca', *Consultoría contratada por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural*, Dirección Técnica Zonal 6, Cuenca (2014).
23. Arteaga, D., *El artesano en la ciudad colonial (1555-1670)*, Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares y Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo del Azuay, Cuenca (2000).
24. Averardo, M., *Cátedra Introducción a la tecnología Área de la Tecnología y la producción. El ladrillo: Orígenes*, Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia (2009), <https://arquitectologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf>.
25. Espinoza, P.; Calle, M., 'La cité cuencana: el afrancesamiento de Cuenca en la época republicana (1860-1940)', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2002), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5992>.
26. Molina Prieto, F.; Hinojosa de Parra, R., 'De la mampostería colonial al ladrillo a la vista. Los chircales de Bogotá y su impronta en la arquitectura y el desarrollo urbano, periodo 1810-1920', *Revista Nodo* **10**(5) (2011) 91-112, <https://core.ac.uk/download/pdf/236383144.pdf>.
27. García, D.; Guartazaca W., 'Capacidad sísmica de las Estructuras de Mampostería del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad del Azuay, Cuenca (2019), <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9424>.
28. Chérres, M.; Peñafiel, C., 'Determinación del índice de vulnerabilidad de las edificaciones de la ciudad de Cuenca', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2000).
29. Jiménez, J.; Cabrera, J.; Sánchez, J.; Avilés, F., 'Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del centro histórico de la ciudad de Cuenca: Lineamientos generales y avances del proyecto', *Maskana* **9**(1) (2018) 59-78, <https://doi.org/10.18537/mskn.09.01.07>.
30. García, H.; Degrande, G., 'Performance and seismic vulnerability of a typical confined masonry house in Cuenca-Ecuador', in *Proceedings of 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE*, Curran Associates, Inc., Santiago Chile (2017) 1-12, <https://www.wcee.nicee.org/wcee/article/16WCEE/WCEE2017-4206.pdf>.
31. Llivisaca Mejía, J. (2020), 'Influencia del grado de simetría y la disposición equidistante de los pilares sobre los modos de vibración de una estructura de mampostería no reforzada típica del Centro Histórico de Cuenca', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2020), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34725>.
32. Gómez, P., 'Estudio y Análisis de nuevas tipologías de ladrillos introducidos en cuenca para la aplicación en la Autoconstrucción', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2013), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4743>.
33. Avecillas, K., 'Residuos de ladrillo y vidrio líquido como elementos expresivos para el diseño interior', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad del Azuay, Cuenca (2016), <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5925>.
34. Rosas, C.; Torres, A., 'Utilización del ladrillo en acabados. Cuenca', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2014), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20869>.
35. Tenesaca, G.; Rasco, J., 'Diseño de un modelo de negocios para el sector ladrillero artesanal del cantón Cuenca período 2017-2019', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2018), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28536>.
36. Swisscontact; Comisión de Gestión Ambiental. *Proyecto Eficiencia Energética en ladrilleras artesanales*. Informe de Levantamiento de catastro y sistematización de encuestas de línea base. Cuenca (2010).
37. Allen, E.; Hallon, R., *Fundamental of residential construction*, 3^{era} edición, John Wiley & Sons, San Francisco (2011).

38. Xavier, G. C.; Saboya, F.; Maia, P. C.; Alexandre, J., 'Durabilidad de ladrillo cerámicos reforzados con polvo de granito', *Materiales de Construcción* **62**(306) (2012) 213-229, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4242809>.
39. Fernández, R., 'Conservar o Restaurar ¿posiciones encontradas?', in *Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles*, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Sevilla (2006) 10-15.
40. Norma ISO 13320:2020. *Particle size analysis – Laser diffraction methods*. Technical Committee ISO/TC 24/SC 4. Particle characterization, Geneva (2020).
41. Norma INEN 296, *Ladrillos cerámicos. Determinación de absorción de humedad*, Quito (1977).
42. Norma UNE-EN 772-3, *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería, Parte 3: Determinación del volumen neto y del porcentaje de huecos por pesada hidrostática de piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería*, AENOR, Madrid (1999).
43. Norma UNE 993-1:2018 (Ratificada), *Métodos de ensayo para productos refractarios conformados densos, Parte 1: Determinación de la densidad aparente, de la porosidad abierta y de la porosidad total (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en enero de 2019)*, Comité Técnico Nacional 61 - Material refractario, Madrid (2019).
44. Instituto do Patrimonio Historico e Artístico Nacional, *Carta de Cabo Frio*, Brasilia (1989), <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Cabo%20Frio%201989.pdf>.
45. Orlando-Ratti, J.; Contreras-Escandón, C.; Véliz-Párraga, J., 'Cultura constructiva y vivienda progresiva. El caso de "Los Almendros", Portoviejo – Ecuador', *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación* **4**(8) (2021) 19-45, <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0022>.
46. Norma UNE-EN 772-1:2011+A1:2016, *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión*, Comité técnico 41/SC1 – Edificación, Temas Generales, Madrid (2016).
47. Norma UNE-EN 67042:1988, *Piezas cerámicas de arcilla cocida de gran formato. Determinación de la resistencia a la flexión*, Comité técnico 136, Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción, Madrid (2015).
48. Norma INEN 295 1977-05, *Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la flexión*, Subcomité Técnico CO 02.07, Ladrillos Cerámicos. Quito (1976).
49. Norma UNE 67028 EX/97, *Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de heladicidad*, Comité Técnico Nacional 136, Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción, Madrid (2015).
50. Norma UNE 67029 EX/95, *Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de eflorescencia*, Comité Técnico Nacional 136, Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción, Madrid (2015).
51. Ramírez, J., *Estudio de las transformaciones de las fases cristalinas de las arcillas en el proceso de quema de la cerámica*, Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito (2019), <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20116>.
52. Linares, J.; Huertas, F.; Capel, J., *La arcilla como material cerámico*, Universidad de Granada, Granada (1983).
53. Mamani, R., 'Estudio y evaluación de formulaciones de mezclas para la obtención de ladrillos de arcilla en la ciudad de Cusco', Tesis de pregrado, Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (2015), <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2918>.
54. Monatshebe, T.; Mulaba-Bafubandi, A.; Kasongo, D., 'Mechanical properties and mineralogy of artisanal clay bricks manufactured in Dididi, Limpopo, South Africa', *Construction and Building Materials* **225** (2019) 972-982, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.247>.
55. Murad, E.; Wagner, U., 'Pure and impure clays and their firing products', *Hyperfine Interactions* **45**(1-4) (1989) 161-177, <https://doi.org/10.1007/BF02405878>.
56. Moore, D. M.; Reynold, R. C., *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, Oxford University Press, Inc., New York (1989).
57. Santos, J. D.; Malagón, P. Y.; Córdoba, E. M., 'Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander', *DYNA* **78**(167) (2011) 50-58, <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25762>.
58. Zea, N., *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala (2005).
59. Ghale, D. B.; Bohara, N. B.; Duwal, N.; Bhattarai, J., 'Investigation on the mineralogical phase of ancient brick samples Of Kathmandu Valley (Nepal) using XRD and FTIR analysis', *Rasayan Journal of Chemistry* **12**(2) (2019) 402-408, <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2019.1224034>.
60. Parrado-Morera, B. J.; Toloza-Calderón, J. T., 'Determinación de la superficie específica en suelos caoliniticos y bentoniticos mediante la técnica de adsorción de agua destilada aplicando diferentes gradientes térmicos', Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá (2017), <http://hdl.handle.net/10983/14454>.
61. Murray, H., *Applied clay mineralogy*, Elsevier, Indiana (2007).
62. García León, R.; Bolívar León, R., 'Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander', *INGE CUC* **13**(1) (2017) 53-60, <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.05>.
63. Fernández Martínez, A.; Sánchez, C. J.; Porras, J.; Acosta, A., 'Caracterización tecnológica de las materias primas Cerámicas de La Sagra (Toledo)', *Geogaceta*, **20**(3) (1996) 713-716, <http://hdl.handle.net/10272/12256>.
64. Alvarez, D.; Sánchez, J.; Corpas-Iglesias, F.; Gelves, J., 'Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta (Colombia)', *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* **57**(6) (2018) 247-256, <https://doi.org/10.1016/j.bscev.2018.04.002>.
65. Rodrigues Barbosa, V. H.; Soares Marques, M. E.; Rodrigues Guimarães, A. C., 'Caracterização mineralógica de um solo do Acre visando à produção de agregados artificiais de Argila Calcinada para uso em pavimentos', *Matéria (Rio de Janeiro)* **23**(3) (2018) 1-11, <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0515>.

66. Cultrone, G., 'Ladrillos', in *Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles*, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura y Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Sevilla (2006) 146-159, <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/iaph/servicios/publicaciones/detalle/78682.html>.
67. Sandford, F.; Liljegren, B., 'La formación de color en ladrillos rojos y amarillos', *Materiales de Construcción* **14**(113) (1964) 40-48, <https://doi.org/10.3989/mc.1964.v14.i113.1792>.
68. Karaman, S.; Ersahin, S.; Gunal, H., 'Firing temperature and firing time influence on mechanical and physical properties of clay bricks', *Journal of Scientific and Industrial Research* **65** (2006) 153-159, <https://n9.cl/4d768>.
69. Hewat, J., 'Approaches to the Conservation of Salt Deteriorated Brick', Tesis de maestría, Universidad de Pensilvania, Filadelfia (1996), https://repository.upenn.edu/hp_theses/278.
70. Frandes-de-la-Noval, J.; Sánchez-Hernández, E.; Linares-Alonso, A.; Casanova-Gómez, A.; Solís-Escalona, N., 'Obtención de cerámica estructural por sinterización reactiva con materia prima nacional', *Revista Cubana de Química* **28**(1) (2016) 431-443, <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v28n1/ind07116.pdf>.
71. Cultrone, G.; Rodríguez-Navarro, C.; Sebastian, E.; Cazalla, O.; De La Torre, M., 'Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing', *European Journal of Mineralogy* **3**(13) (2001) 621-634. <https://doi.org/10.1127/O935-1221/2001/0013-0621>.
72. Afanador, N.; Guerrero, G.; Monroy, R., 'Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería', *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* **2**(1) (2012) 43-58, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=Soi124-81702012000100003.
73. Torraca, G., *Porous building materials: materials science for architectural conservation*, ICCROM, Rome (2005), https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-02/2005_torraca_porous_building_eng_106444_light.pdf.
74. Norma NTE INEN 297, *Ladrillos cerámicos, Requisitos*, Quito (1977).
75. Zúñiga Suárez, A., 'Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación de ladrillos mejorados tecnológicamente', Tesis Doctoral, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (2018), https://oa.upm.es/52643/1/ALONSO_ZUNIGA_SUAREZ.pdf.
76. Thormann, P., 'Una contribución a la determinación y la influencia de la adherencia entre ladrillos sílico-calcareos y morteros', *Materiales de Construcción* **21**(141) (1971) 61-73, <http://dx.doi.org/10.3989/mc.1971.v21.i141.1520>.
77. Betancourt, D.; Martirena, F.; Day, R.; Diaz, Y., 'Influencia de la adición de carbonato de calcio en la eficiencia energética de la producción de ladrillos de cerámica roja', *Revista de Ingeniería de Construcción* **22**(3) (2007) 187-196, <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732007000300005>.
78. Bravo, D.; Flores, L., 'Análisis estático no lineal de paredes de ladrillo de las casas de Cuenca', Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2015), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23119>.
79. Norma NTE INEN 0294 (1978), *Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la compresión*, Quito (1977), <https://ia802907.us.archive.org/12/items/ec.nte.0294.1978/ec.nte.0294.1978.pdf>.
80. Código de Práctica Ecuatoriano, CPE INEN 5, *Código Ecuatoriano de la Construcción. Mampostería de Ladrillo*, Quito (1984).
81. Norma NTE INEN 0297, *Ladrillos cerámicos. Requisitos*, Quito (1977), <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/297.pdf>.
82. Jiménez-Pacheco, J.; Quezada, R.; Calderón-Brito, J.; Ortega-Guamán, E.; García, H., 'Characterization of the built heritage of historic centres oriented to the assessment of its seismic vulnerability: The case of Cuenca, Ecuador', *International Journal of Disaster Risk Reduction* **71** (2022) 102784, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102784>.
83. Hughes, D.C.; Weber, J.; Kozłowski, R., 'Roman Cement for the Production of Conservation Mortars', in *2nd Conference on Historic Mortars - HMC 2010 and RILEM TC 203-RHM final workshop*, RILEM Publications SARL, Praga (2010) 1043-1050.
84. Zamora, G.; Aguirre Ullauri, M., 'Consideraciones sobre la vulnerabilidad del patrimonio arquitectónico. Estudio de caso: la iglesia de El Sagrario, Cuenca, Ecuador', *Intervención* **1**(21) (2020) 257-327, <http://200.188.19.41/index.php/intervencion/article/view/6299>.
85. Benavente, D.; Linares-Fernández, L.; Cultrone, G.; Sebastián, E., 'Influence of microstructure on the resistance to salt crystallisation damage in brick', *Materials and Structures* **39** (2006) 105-113, <https://doi.org/10.1617/s11527-005-9037-0>.
86. Konrad, J. M., 'Physical processes during freeze-thaw cycles in clayey silts', *Cold Regions Science and Technology* **16**(3) (1989) 291-303. [https://doi.org/10.1016/0165-232X\(89\)90029-3](https://doi.org/10.1016/0165-232X(89)90029-3).
87. Barranzuela, J., 'Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura', Tesis de Grado, Universidad de Piura, Piura (2014), <https://hdl.handle.net/11042/1755>.
88. Heras, V.; Moscoso Cordero, M.; Wijffels, A.; Tenze, A.; Jaramillo, D., 'Heritage values: towards a holistic and participatory management approach', *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development* **9**(2) (2019) 199-211, <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-10-2017-0070>.
89. Smith, L., 'El "Espejo Patrimonial" ¿Ilusión Narcisita o Reflexiones Múltiples?', *Antípoda* **12** (2011) 39-63, <https://doi.org/10.7440/antipoda12.2011.04>.
90. Ingold, T., *La vida de las líneas*, Colección Antropología, Ediciones Universidad Alberto Hurtado, Santiago (2018).

RECIBIDO: 2022.4.5

REVISTO: 2022.6.26

ACEPTADO: 2022.7.19

ONLINE: 2022.10.24



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.