RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Chirly Marcela Navarro Sanchez Israel Julian Reyes Ibañez
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil
DIRECTOR	Romel Jesús Gallardo Amaya
CODIRECTOR	Jaider Coronel Rojas
TÍTULO DE LA TESIS	El bahareque y la tapia pisada como técnicas ancestrales de construcción sostenible en el municipio de Ocaña
TITULO EN INGLES	Bahareque and tapia pisada as ancestral sustainable construction techniques in the municipality of Ocaña

RESUMEN
(70 palabras)

El presente documento relaciona el uso de la tapia pisada y bahareque como técnicas ancestrales, en donde se define su proceso constructivo y sus fundamentos y principios básicos, además se realiza una caracterización por medio de encuestas y entrevistas, para conocer cuál es la percepción del uso de estas técnicas en el municipio de Ocaña, determinando que actualmente se siguen realizando construcciones nuevas en tapia pisada y bahareque, pero en el sector rural de la región de Ocaña.

RESUMEN EN INGLES

This document relates the general aspects that should be taken into account when carrying out supervision in the construction of 3-story housing, focused on monitoring and technical control and OSH, taking as a reference point the construction of 3-story housing in the municipality of Ocaña, where as a result of the research, a series of recommendations are obtained to apply from the point of view of private auditing to housing projects that normatively do not comply with the minimum area to carry out a technical supervision.

PALABRAS CLAVES	Apisonamiento, bahareque, tapial, entramado, tierra
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Ramming, rammed earth, brickwork, rammed earth, earth

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 81	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 32	CD-ROM:

El Bahareque y la Tapia Pisada como técnicas ancestrales de construcción sostenible en el municipio de Ocaña

Chirly Marcela Navarro Sánchez
Israel Julián Reyes Ibáñez

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingenieria Civil

Msc. Romel Jesús Gallardo Amaya

30 de febrero de 2025

Índice

Pág.

Capítulo 1. El Bahareque y la Tapia Pisada como técnicas ancestrales de construcción sostenible en el municipio de Ocaña 9

1.1 Tipo de monografía 9

1.2 Elección del Tema 9

1.3 Delimitación del tema 12

1.3.1 Delimitación operativa 12

1.3.2 Delimitación conceptual 12

1.3.3 Delimitación geográfica 12

1.3.4 Delimitación temporal 13

1.4 Desarrollo del argumento 13

1.5 Metodología 15

1.5.1 Técnicas de recolección de información 16

Capítulo 2. Fundamentos del bareque y la tapia pisada 19

2.1 Historia y evolución del proceso constructivo 19

2.2 Principios básicos de la técnica en bahareque 21

2.3 Principios básicos de la técnica en tapia pisada 25

Capítulo 3. Procesos constructivos del bahareque y la tapia pisada 34

3.1 Proceso constructivo del bahareque 34

3.1.1 Cimentación y sobrecimiento 34

3.1.2 Entramado o muro de bahareque.....37

3.2 Proceso constructivo de la tapia pisada 43

3.2.1 Cimentación y Sobrecimiento.....43

3.2.2 Levantamiento de muros en tapia pisada.....45

Capítulo 4. Caracterización de la vivienda en tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña 50

4.1 Caracterización del uso de la tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña.....52

Capítulo 5. Normativa nacional e internacional de construcciones en tierra 62

5.1 Normas Internacionales 62

5.2 Normas nacionales sobre construcciones en tierra 65

Conclusiones 70

Referencias.....72

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Esquema Bahareque de tierra 23

Figura 2 Esquema bahareque de tabla.....23

Figura 3 Esquema bahareque metálico.....24

Figura 4 Esquema muro en bahareque encementado 25

Figura 5 Esquema cimentación para muro de tapia 26

Figura 6 Esquema construcción de tapial.....28

Figura 7 Franja granulométrica para tierra en tapia pisada 29

Figura 8 Determinación de la humedad del suelo por tacto y apariencia 30

Figura 9 Partes de un muro en tapia pisada 31

Figura 9 Viga de cimentación para construcción en bahareque.....35

Figura 11 Tipos de cimientos y sobrecimientos para la técnica en bahareque.....37

Figura 12 Tipos de entramados para muros en bahareque.....39

Figura 13 Bahareque embutido en tierra 40

Figura 14 Bahareque en tabla.....40

Figura 15 Bahareque metálico.....41

Figura 16 Bahareque encementado.....42

Figura 17 Tipo de cimentación para tapia pisada 43

Figura 18 Sobrecimiento para tapia pisada 44

Figura 19 Sobrecimiento para tapia con piedra Barichara y concreto.....45

Figura 20 Encofrado de tapial armado.....46

Figura 21 Orden de golpes para la elaboración de tapia pisada 47

Figura 22 Trabe y refuerzo en tapia pisada.....48

Figura 23 Mapa estado de conservación de edificaciones en tapia pisada en Ocaña.....51

Figura 24 Percepción de la tapia pisada y bahareque en Ocaña.....54

Figura 25 La tapia pisada y bahareque como técnicas sostenibles para la construcción en Ocaña 55

Figura 26 Ventajas económicas al usar Tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña.....56

Figura 27 Frecuencia del uso de la tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña.....57

Figura 28 Factores que influyen para hacer más accesibles el uso de la tapia pisada y bahareque 57

Figura 29 Reforzamiento de cimentación de un muro en tapia pisada.....59

Figura 30 Construcción de vivienda en bahareque en la vereda el Rodeo del municipio de Ocaña 60

Figura 31 Construcción de vivienda en tapia pisada.....61

Figura 32 Rango de años de publicación según normas nacionales e internacionales 68

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1 Resistencia de muestras de tapiales con adición de agregados fibrosos.....29

Tabla 2 Recomendaciones para el uso de tierra en tapia pisada.....32

Tabla 3 Valores mínimos para dimensiones, resistencia del material y refuerzo de cimentación 36

Tabla 4 Estado general de conservación de las viviendas analizadas en Ocaña.....50

Tabla 5 Resultados de encuestas realizadas sobre el uso de tapia y bahareque en Ocaña.....52

Tabla 6 Normativas internacionales para la construcción en tierra.....62

Resumen

El presente documento relaciona una investigación sobre el uso de la tapia pisada y bahareque como técnicas ancestrales sostenibles presentes en el municipio de Ocaña Norte de Santander, en donde se realiza una compilación de información sobre los principios básicos y fundamentos al igual que de los procesos constructivos necesarios para realizar un muro en tapia pisada y bahareque; posteriormente se realiza a través de entrevistas y encuestas una caracterización sobre estas técnicas ancestrales en el municipio de Ocaña, obteniendo como resultado que actualmente se siguen construyendo viviendas con estas técnicas en el sector rural, y en el sector urbano no se presentan construcciones nuevas con estas técnicas, sin embargo si se presentan rehabilitaciones o reforzamientos de construcciones patrimoniales o viviendas antiguas, en donde la percepción del uso de estas técnicas por parte de los maestros de construcción en Ocaña, es el costo de este tipo de construcciones es muy similar al costo de una vivienda en mampostería confinada con bloque H-10.

Introducción

El uso de la tapia pisada es una técnica constructiva muy antigua al igual que el bahareque, la cual hoy en día se ha retomado su uso y es objeto de investigaciones por las cualidades que aporta al desarrollo sostenible, ya que estas edificaciones son un buen aislante térmico y no requieren de materiales manufacturados o con una generación de huella de carbono establecida, por lo que hace que estas técnicas sean las menos contaminantes en relación al uso de otros materiales como el ladrillo de arcilla cocida el cual para generar un ladrillo se genera cierta cantidad de dióxido de carbono.

Teniendo en cuenta los beneficios que conlleva el uso de las técnicas en tapia pisada y el bahareque, el presente documento tiene como propósito caracterizar el uso de estas técnicas ancestrales en el municipio de Ocaña mediante el uso de encuestas y entrevistas, con el motivo de establecer cual es la percepción o las creencias en el uso de construcciones en tierra.

En el presente documento se establecen los fundamentos y principios básicos de la tapia pisada y el bahareque en sus distintas tipologías, además se define el proceso constructivo para cada una de estas técnicas y posteriormente se realiza la caracterización de este tipo de construcciones en la región de Ocaña, Norte de Santander. El documento también contempla un componente normativo en donde se realiza un resumen de las principales normas internacionales relacionadas con el tema de estudio y las normas nacionales que involucran las construcciones con tierra.

Capítulo 1. El Bahareque y la Tapia Pisada como técnicas ancestrales de construcción sostenible en el municipio de Ocaña

1.1 Tipo de monografía

Monografía de investigación.

1.2 Elección del Tema

La tapia pisada y bareque, es un sistema constructivo basado en la consolidación mediante el apisonamiento de la tierra, que tiene su origen desde los persas, asirios, egipcios y babilónicos, pasando por China, Grecia, Roma y en los pueblos del mar mediterráneo donde surgió la civilización española. En la colonización, los españoles trajeron la técnica de la Tapia Pisada a América. Sin embargo, en el territorio colombiano los indígenas Chibchas en el interior y Guanes en Santander, ya utilizaban la tierra en sus primitivas construcciones. (Quiñonez E. s.f.). Con respecto a Ocaña, la técnica de la tapia pisada se ha venido usando desde que se fundó el municipio y muestra de ello son las edificaciones que hoy en día aún perduran en el tiempo, como el caso del Complejo Histórico de la Gran convención, el Museo Antón, Garcia de Bonilla, la Iglesia San Agustín, entre otras edificaciones de renombre, sin embargo, entre los años 1920 y 1940 Colombia dejo de ser una nación rural para convertirse en urbana y las construcciones elaboradas con la técnica heredada de los indígenas y españoles entro en desuso, para darle paso a la modernización con materiales como el cemento y el acero que dejaron relegados a la tapia pisada y hoy en día predominan la construcción. (Anónimo 2011).

Dado que casi el 50% de las materias primas del mundo se consumen en la industria de la construcción (Weißenberger y otros, 2014), Hoy en día existe una preocupación a nivel mundial por la sostenibilidad de los materiales utilizados, como el caso del cemento utilizado para el concreto el cual es el responsable de una proporción significativa de las emisiones de CO2 del hombre, por esta razón para el caso de Irlanda, resurge el uso de la tierra apisonada (Thompson et al., 2022). Según Sen y Saha (2022), la práctica de construir viviendas con tierra está más extendida en el subcontinente asiático, es decir, en India, Bangladesh, Pakistán, China, Afganistán, así como en muchas otras partes del mundo, como el sur de Europa, América, Oriente Medio, Australia y algunas partes de África. Se estima que aproximadamente un tercio de los habitantes del mundo residen en edificios de tierra (Smith y Austin, 1989; Houben y Guillaud, 1994; Minke, 2003). Actualmente, con el motivo de ser más amigable con el medio ambiente, crece el interés por el uso de la tapia pisada, como es el caso de Jiang et al. (2024), en donde hacen un estudio experimental en el noroeste de Sichua-China, utilizando cemento, grava, arena y fibras de polipropileno como materiales modificadores de la tierra apisonada mejorando las propiedades del sistema constructivo con tierra.

En Colombia hay regiones donde aún hoy en día, se utilizan las técnicas de construcciones en tierra apisonada, como es el caso del municipio de Barichara Santander, en donde se expiden licencias de construcción en tapia pisada para obras nuevas o remodelaciones (Rivero 2007), sin embargo, este no es el caso para el resto de las regiones del país, pues para el caso de la ciudad de Medellín aún no existe una aceptación comercial para las construcciones en tierra, ya que si se compara la oferta de mano de obra que existe para técnicas convencionales en materiales industrializados con respecto a la que existe actualmente dedicada a construir con

tierra, es realmente grande la diferencia entre ambas, y por eso usar tierra genera un rechazo inicial por parte de quienes están interesados en desarrollar proyectos constructivos, ya que dicho material no resulta rentable, en gran medida, por las implicaciones que trae buscar mano de obra especializada para esas técnicas tradicionales (Yepes y Bedoya 2023).

De acuerdo a lo anterior, con relación al factor económico relacionado con la actividad constructiva en tapia pisada, al requerir de un procedimiento prácticamente artesanal, requiere de mano de obra especializada tapieros, que no en todas las regiones del país se consigue con facilidad, sin embargo, con relación al consumo de materiales, el costo es menor a una construcción convencional, en especial si se construye en el sector rural con poco acceso para ingreso de materiales. En departamentos como Santander y Boyacá, se considera que la mano de obra se encuentra a menor precio debido a que conservan una tradición constructiva más consolidada en cuanto a los sistemas constructivos en tierra. (Perez, 2020)

A pesar de que hoy en día no se utilice en gran medida técnicas constructivas en tierra, es importante resaltar el caso especial del municipio de Barichara, en donde aún existen Tapieros, ingenieros y arquitectos dedicados a esta técnica constructiva, además de contar con iniciativas como el proyecto “De la Tierra Casa Taller”, en donde se imparten talleres a los diferentes usos que se le puede dar a la tierra, considerado como un sitio que atrae a los turistas. Sin embargo, este no es el caso de todas las regiones de Colombia, pues la poca mano de obra capacitada para implementar este tipo de construcciones, es la razón por la cual, no se ha generalizado su uso, por consiguiente, con el desarrollo de la presente propuesta de investigación, se busca indagar sobre dos técnicas constructivas tapia pisada y bahareque, en el municipio de Ocaña Norte de

Santander, para caracterizar el uso de estas técnicas constructivas en la región y los parámetros para su estandarización.

1.3 Delimitación del tema

1.3.1 Delimitación operativa

Esta investigación, se centra inicialmente en el estudio de la historia y evolución de la construcción en tapia pisada y bareque, así como también en el análisis de su sistema constructivo como técnica sostenible para la construcción de edificaciones, igualmente se contempla el análisis del marco legal y el proceso de certificación para este tipo de edificaciones como sostenibles, además se contempla mediante el diseño de una encuesta a nivel local, aplicada a expertos o constructores dedicados a la construcción de edificaciones en tapia pisada y bareque, establecer los parámetros de estandarización para este método constructivo el cual tenga una aplicación para la región de Ocaña y sus alrededores.

1.3.2 Delimitación conceptual

La investigación abarca el estudio de conceptos relacionados con las construcciones en tierra, Construcción sostenible, proceso constructivo de la tapia pisada y bareque, impermeabilización de la tapia pisada, acabados de construcciones en tierra, entre otros.

1.3.3 Delimitación geográfica

La delimitación espacial de la investigación se desenvuelve para las construcciones en tierra localizadas en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander, en donde se espera dar a conocer las características y accesibilidad de los materiales para su construcción desde el ámbito local.

1.3.4 Delimitación temporal

Con respecto al tiempo necesario para el desarrollo de la investigación se estiman tres meses contados a partir de la aprobación de la propuesta.

1.4 Desarrollo del argumento

El uso de las construcciones en tierra, está retomando importancia debido al bajo consumo de energía incorporada en los materiales y a la poca contaminación que genera, además de innumerables investigaciones sobre el tema de estudio, como la de Losini et al. (2023), en donde destacan que las propiedades higrotérmicas de la tierra apisonada representan un gran potencial para mejorar el confort térmico, aunque existe poco conocimiento disponible sobre este tema, es decir hace falta investigación para definir datos y valores de humedad y absorción relativa del calor que sirvan como fundamento para la modelación computacional de la transferencia de calor y humedad necesario para predecir el rendimiento y diseño de las edificaciones en tierra.

Según Sepúlveda (2023), las construcciones en tierra hoy en día, muestran evidencia significativa que resuelve la crisis de la vivienda en los países en desarrollo y también puede

abordar las emisiones excesivas de dióxido de carbono, el calentamiento global y el cambio climático en los países desarrollados. La experiencia ha demostrado que la tierra sigue siendo un material viable, dados los costosos aumentos en el consumo de energía provocados por la producción de materiales de construcción modernos.

Con respecto a la construcción en bahareque, el cual es una metodología compuesta por una estructura entramada en madera de esterilla (redonda) o guadua, rellena con barro u otros materiales de tierra, según Rizo et al. (2021), el adobe y el bahareque en la construcción establece una armonía con el medio ambiente, incluso, viviendas construidas con madera y relleno de bahareque y tapia resultan una buena opción económica y ecológica. El resane resulta sencillo y ayuda a reducir el 30% de emisiones de dióxido de carbono (CO2) que emite la construcción colombiana anualmente en el mundo, además las propiedades sismo-resistentes del bahareque superan su vulnerabilidad sísmica, siendo esta una de las razones por lo que esta técnica ha perdurado en el tiempo y sea considerada una técnica de carácter tradicional.

Según las características de resistencia con respecto al uso de la tapia pisada y su vulnerabilidad sísmica, cabe destacar la investigación realizada por Afanador et al. (2013), en donde determinan el comportamiento de los elementos estructurales que constituyen una construcción en tapia pisada tomando como caso de estudio el Complejo Histórico La Gran Convención (Ocaña, Norte de Santander) concluyendo que esta edificación no es vulnerable por acciones gravitacionales, es decir por su propio peso, sin embargo, los muros en tapia pisada no se consideran como muros de resistencia sísmica.

Por lo anterior, la presente investigación contempla indagar sobre dos técnicas constructivas ancestrales que son la tapia pisada y bahareque utilizadas para la construcción de edificaciones delimitando su uso para el municipio de Ocaña, identificando las fortalezas y falencias que hacen que las construcciones en tierra sean poco convencionales en la región, además como aporte al desarrollo de la investigación, se plantea establecer el procedimiento constructivo utilizado en el municipio de Ocaña para la construcción de viviendas en tapia pisada y bahareque teniendo en cuenta parámetros y principios para la certificación de construcción sostenible.

1.5 Metodología

A continuación, se describen las fases consideradas para el desarrollo de la monografía, teniendo en cuenta la población objeto de estudio es la técnica de construcción en tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña Norte de Santander:

Análisis documental, para conocer a fondo las metodologías, técnicas constructivas y demás datos relevantes sobre el tema de estudio, utilizando como instrumento un Análisis bibliométrico.

Adquisición de información mediante entrevistas que se implementaran a maestros de construcción, profesionales, y/o tapieros que ejerzan o hayan ejercido la construcción en tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña Norte de Santander, el cual se utiliza como instrumento guion de preguntas.

Establecer la muestra objeto de estudio según los profesionales de la construcción (maestros, tapieros, personal con experiencia en construcciones en tierra), que se logren identificar en el municipio de Ocaña, una vez iniciado la realización del proyecto, para posteriormente por medio de una encuesta definir variables y/o parámetros que permitan caracterizar la construcción en tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña,

Cuantificación de la información obtenida mediante las encuestas realizadas, dando a conocer los factores más influyentes sobre el uso de la construcción en tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña, aplicando estadísticas de los factores que se tengan en cuenta para conocer cuál es de mayor importancia.

Por último, se considera establecer los parámetros normativos y de certificación sostenible, así como la estandarización del procedimiento constructivo para la tapia pisada y bahareque.

1.5.1 Técnicas de recolección de información

Las técnicas de recolección de información consideradas para el desarrollo de la investigación se contemplan a continuación:

Análisis documental: Para el desarrollo del proyecto se platea el análisis documental sobre el tema de estudio para conocer el uso actual de las construcciones en tierra a nivel local, nacional e internacional.

La entrevista. En el proceso de elaboración de la investigación, también es necesario del conocimiento propio de los profesionales de la construcción y/o tapieros, que se dedican a la construcción en tapia pisada y bahareque en municipio de Ocaña. Por consiguiente, se considera realizar la entrevista y el dialogo directo con los maestros de obra y/o tapieros con conocimiento de causa, para poder caracterizar mejor este tipo de construcciones.

La encuesta: Se plantea el uso de encuestas con el fin de definir parámetros o variables de evaluación en cuanto al uso de la técnica constructiva en tapia pisada y bahareque, la cual solo debe ir aplicada a una muestra especifica que corresponde a los maestros de obra y/o tapieros, así como constructores que usen estas técnicas para la construcción de edificaciones.

Para el desarrollo de la monografía se plantea una estructura en capítulos que corresponden a:

Capítulo 1. Generalidades. En donde se espera especificar lo relacionado al planteamiento del problema, objetivo, justificación, y método de la investigación.

Capítulo 2. Fundamentos del bareque y la tapia pisada. En donde se hace una compilación de la historia y evolución del sistema constructivo, se analizan los principios básicos y se especifican las técnicas en relación a los materiales tradicionales y modernos para la construcción en bareque y tapia pisada.

Capítulo 3. Procesos constructivos. Se compone de todo lo relacionado a Preparación del terreno, Estructuración y entramado (forma de construcción), relleno y recubrimiento y acabados y protección.

Capítulo 4. Caracterización de la vivienda en tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña. En este capítulo se plantea realizar visitas de campo y entrevistas y/o encuestas para analizar su uso actual en el municipio de Ocaña.

Capítulo 5. Normativa nacional e internacional de construcciones en tierra. En donde se analiza el Marco Legal actual, retos para la certificación y propuestas para la estandarización.

Capítulo 2. Fundamentos del bareque y la tapia pisada

La tapia pisada y el bahareque han sido dos técnicas constructivas que se han heredado de generación en generación, la cual actualmente a pesar de que la construcción de edificaciones se basa en el concreto reforzado y mampostería confinada, se están retomando estas técnicas ancestrales de tapia pisada y bahareque por su rendimiento y aporte al desarrollo sostenible.

2.1 Historia y evolución del proceso constructivo

El uso de la tierra apisonada mayormente conocida como tapia pisada, al igual que el uso de amalgama de barro, tierra revuelto con paja o boñiga de caballo y bambú conocido como bahareque, son dos técnicas son muy antiguas de construcción, con relación al bahareque, según Cárdenas (2024), las culturas indígenas de América Latina son las creadoras de la técnica del bahareque, puesto que los materiales se pueden obtener de un ambiente natural, y muchos grupos indígenas, como los muiscas y los taironas de Colombia, ya construían sus casas con bahareque antes de la llegada de los europeos. Con la llegada de los colonos españoles, el bahareque se mezcló con las técnicas europeas, lo que dio lugar a un desarrollo en la construcción y a la producción de estructuras que se adaptan a las necesidades y al clima de los distintos lugares y que aún hoy en día, han retomado reconocimiento dichas técnicas constructivas debido a las características sostenibles que contribuyen a una disminución en el uso de materiales que generan un mayor grado de residuos y contaminación, lo que ayuda a generar un menor impacto ambiental negativo, al igual que las prestaciones de aislamiento térmico y confort que ofrece la tapia pisada y el bahareque.

Con relación a la historia y evolución de la Tapia pisada, se puede datar sus orígenes desde la Edad Media, cuando los Españoles utilizaron tierra compactada para construir murallas, como lo testifica Plinio quien, en su Historia Natural escrita entre el siglo I y II, se dice que "[…] no hay en África e Hispania paredes de barro, a las que llaman "de molde", porque se levantan, más que construyéndolas, vaciándolas entre dos tablas, las cuales paredes duran siglos por ser inmunes a la lluvia, al viento, al fuego, siendo más fuertes que cualquier cemento" (Olcese, Mariano, 1993, p. 18). Estas obras se expandieron en la península con carácter monumental durante el Periodo Almohade, por lo que se consolidó como tradición constructiva española. (Tepale et al., 2020).

El uso de la tapia pisada en países como Australia, según Prado y Melo (2019), la construcción con tierra en Australia tiene sus orígenes en la segunda mitad del siglo XX, cuando la tapia se vuelve una técnica constructiva popular en todo el país, siendo pioneros en la reglamentación específica para la construcción en tierra, en donde su primer norma fue publicada en 1952 por la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) con la designación de "Bulletin 5", el cual actualmente público en el 2002, el Manual de construcción en tierra australiano.

Según Jorquera (2020), en lo que respecta al territorio chileno, antes de la llegada de los españoles la cultura indígena de la región construía sus casas con materiales naturales que encontraban en el medio como piedra, plantas, paja y bolones de barro la cual era conocida como ranchos, pero con la llegada de los españoles durante los siglos que duro la colonia (1541-1818), se introdujo el uso de la tierra para hacer de las construcciones habitacionales más duraderas,

además por la necesidad de defensa se empezó a abandonar el bahareque y la paja dado que eran materiales más fáciles de destruir mediante incendios y se comenzó a usar de manera masiva el tapial y el adobe.

Con relación al uso de estas técnicas ancestrales en el territorio colombiano, durante el periodo formativo (500 a.C.) se data por parte de culturas indígenas, como los muiscas, el uso del bahareque organizado en pequeños núcleos, como los primeros usos de las construcciones con tierra, los cuales con la llegada de los españoles adecuaron dichas técnicas a las innovaciones tecnológicas introducidas. En los siglos XVII y XVIII la tapia pisada se convierte en el material más popular, se utiliza en los muros de templos, casas y haciendas. Se presenta también una utilización mixta del adobe y la tapia, por la colocación alternada de un tramo de uno y de la otra. A fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX se redescubre el bahareque y se comienza a usar como alternativa más eficiente. En la actualidad, las técnicas de construcción con tierra en Colombia se han configurado y evolucionado de acuerdo con las propias condiciones locales, como el caso del departamento de caldas en donde los carpinteros artesanos diseñaron y construyeron diferentes metodologías de casas en bahareque mezclando distintas técnicas en madera (Sánchez, 2007)

2.2 Principios básicos de la técnica en bahareque

Según Lopez (s.f.), la técnica del bahareque utilizada en la arquitectura del siglo XVI, se basaba por un entramado de madera hincada en el suelo que servía de estructura de soporte, los vacíos se llenaban posteriormente con cañas de maíz, cortezas de árboles o trozos de madera,

para luego aplicar varias capas de barro. Finalmente se colocaba pintura mural o se cubría con tejidos de palma, para el caso de zonas más calidad, permitiendo el control de temperatura interna.

De acuerdo a Muñoz et al. (s.f.) a mediados del siglo XIX, en Colombia la técnica constructiva básica del bahareque se caracteriza por estar compuestas en muros con estructuras de marcos de madera y caña (bambú guadua) con amarres en fibras naturales, rellenos y revestidos con tierra y cagajón, soportados sobre cimentaciones ciclópeas aisladas. Para finales de la década de 1870 y 1880, debido a los terremotos acontecidos, nace la técnica del uso del bahareque llamado el estilo Temblorero, el cual consiste en reutilizar las estructuras de tapia pisada remanentes de los terremotos en donde se reconstruyen incluyendo un segundo piso, pero en bahareque.

Según Muñoz (2010), de acuerdo al arquitecto e historiador Jorge Robledo en su libro titulado "Un siglo de bahareque en el antiguo caldas (1993), las técnicas básicas que se caracterizan corresponden a: Bahareque de tierra, bahareque de tabla, bahareque metálico, bahareque encementado y bahareque intervenido.

Bahareque de tierra. Esta técnica consiste en cimientos en piedra ciclópeo y un sobrecimiento de protección contra humedad en muros bajos de mampostería simple o ladrillos de adobe, la estructura de los muros cargueros es de marcos de madera y guadua, los cuales son rellenados y revocados con una mezcla de tierra y cagajón (excremento de caballo). Ver figura 1.

Figura 1

Esquema Bahareque de tierra



Nota: Tomado de Muñoz et al. (s.f.).

Bahareque de tabla: Esta técnica antigua, al igual que el bahareque en tierra cuenta con una cimentación similar, sin embargo, los paneles o muros no son recubiertos en tierra mezclada con cagajón, si no que se utilizan tablas recubiertas de aceite o cal. Ver figura 2.

Figura 2

Esquema bahareque de tabla



Nota: Tomado de Muñoz (2010).

Bahareque metálico: Esta técnica utiliza una cimentación similar al bahareque en tierra y en tabla, y con relación a su estructura, utiliza marcos estructurales de madera y/o guadua con recubrimiento en laminas metálicas de hierro dulce, galvanizadas o de zinc unidas con clavos, estas técnicas son utilizadas en tiempos más recientes. (Muñoz, 2010). Ver figura 3.

Figura 3

Esquema bahareque metálico



Nota: Tomado de Muñoz (2010).

Bahareque encementado: Con la presencia del cemento portland importado, a partir de la segunda década del siglo XX, los morteros de cemento y arena adquieren popularidad, por lo que, para las regiones del eje cafetero colombiano, se utilizó la técnica del bahareque encementado (Muñoz, 2010), que básicamente consistió en utilizar la misma metodología del bahareque de tablas y metálico, y revocarlo con arena y cemento. En este caso, para lograr una adherencia entre la madera y el revoque esta técnica utiliza malla galponera anclada con clavos

para que el concreto no se desprenda de las tablas o recubrimiento de madera o esterilla de guadua y se logre consolidar conformando una matriz resistente. Ver figura 4.

Figura 4

Esquema muro en bahareque encementado



Nota: Tomado de Muñoz (2010).

De acuerdo a la figura 4, en lo que respecta al bahareque, básicamente se puede catalogar la metodología del bahareque encementado como la técnica más innovadora de la época, aunque teniendo en cuenta el enfoque de sostenibilidad, el bahareque con mezcla de tierra y cagajón, representa la metodología más sostenible ya que utiliza materiales de la naturaleza y genera menos contaminación, además que representa las mejores prestaciones de confort y conservación de la temperatura, en comparación con otras técnicas utilizadas con el bahareque.

2.3 Principios básicos de la técnica en tapia pisada

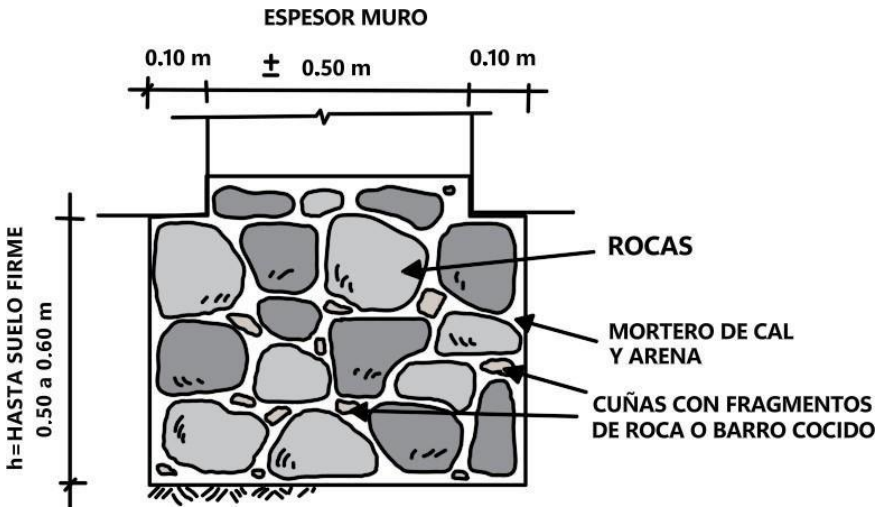
De acuerdo a la evolución sobre el uso de la tierra apisonada, según Graciani (2015) la construcción de tapiales asocia diferentes técnicas como el caso de elementos de apoyo

que en la antigüedad fue conocido como “pie de aguja” y hace referencia a la base en piedra a modo de zócalo para evitar el ascenso de la humedad. Otra técnica utilizada en la antigüedad sobre la construcción de tapiales corresponde a la “rafa” que es un refuerzo que articula verticalmente el paramento en cada tapial. Otra técnica que se extiende a partir del siglo XVII corresponde al término “verdugo” que son las hiladas de ladrillos losas, lajas o rajuelas que se colocan en la base a todo el espesor del tapial con el fin de fortalecer, aislarla de la humedad, homogeneizar y nivelar los asientos.

De acuerdo a Núñez y Mejía (2018), la cimentación es uno de los puntos claves con mayor importancia ya que evita la humedad que es considerada el peor enemigo de este tipo de edificaciones, y consiste en realizar una excavación lineal, para posteriormente llenarlo con rocas angulosas o redondeadas, similares en tamaño y forma a las utilizadas en concretos ciclópeos. Ver figura 5.

Figura 5

Esquema cimentación para muro de tapia



Nota: Adaptado de Núñez & Mejía (2018)

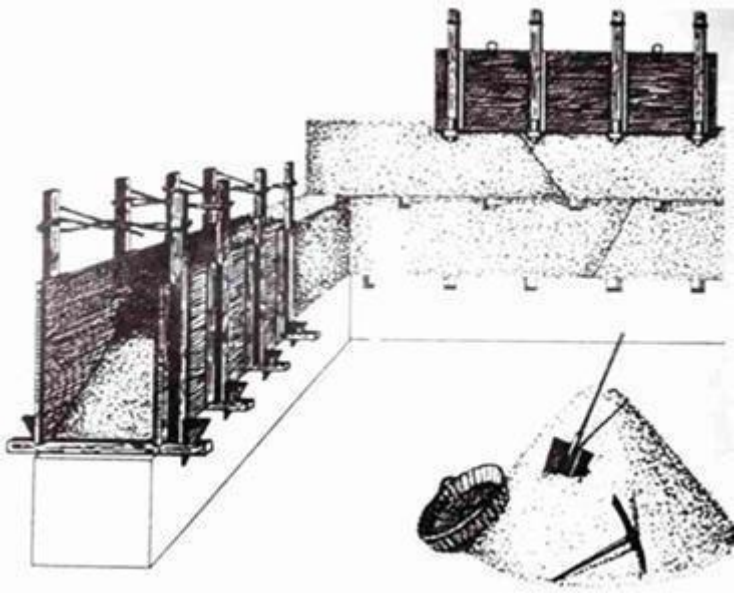
De acuerdo a la figura 5, se puede observar que la cimentación para un muro en tapia pisada, es muy similar a un cimiento en concreto ciclópeo, aunque es importante mencionar que el concreto ciclópeo tiene un acomodo u organización de piedras lisas más separadas con el fin de que el concreto conforme una matriz entre todas las piedras.

Según Guerrero (2009), anteriormente en Latinoamérica, se usaba bloques de tapia pisada para bardas y muros perimetrales de viviendas, y en el interior de viviendas se combinaba la técnica con el adobe para muros divisorios y cuchillas de techo con madera rolliza y teja. En promedio las dimensiones de un tapial son de aproximadamente 3 m de largo, 90 cm de alto y 60 cm de grosor. El molde o cimbra, hecho con tablones de madera, se fija con estacas, puntales y barrotes que aseguran su estabilidad y mantienen el espesor del muro. El proceso constructivo para Guerrero (2009), se realiza por capas de 30 cm de tierra compactada, superpuestas dentro del molde. Una vez completado un bloque, se desplaza horizontalmente la cimbra para continuar el muro, repitiendo el proceso en nuevas "hiladas" hasta alcanzar la altura deseada.

Para la construcción de viviendas en tapia pisada se emplean una serie de herramientas rudimentarias para conformar el pisón y el encofrado que prácticamente es una formaleta para construir cada tapial, por lo general para el caso de regiones como Barichara, municipio de Colombia que según la Resolución 005 del 30 de junio de 1975, es declarado Monumento Nacional el sector antiguo del municipio de Barichara (Santander), y se conserva la construcción con 3 elementos principales que son la tapia pisada, estructuras en bahareque y elementos de acabados realizados en tierra o arcilla de la región. Para el caso de la tapia pisada se utilizan herramientas prefabricadas de madera y lasos para hacer amarres (Silva et al., 2018), tal como se aprecia en la figura 6.

Figura 6

Esquema construcción de tapial



Nota: Fuente: Tomado de Silva et al. (2018).

Otro de los factores importantes a considerar dentro de los principios básicos de la técnica de tapia pisada, corresponde a la resistencia y composición de la tierra utilizada para la conformación de muros o tapiales, en donde según Ahumada (2019), se recomienda que la tierra utilizada preferiblemente sea de color rojiza y que no tenga ninguna clase de vegetación o ente extraño, en donde para un óptimo material de tierra para ser usado en tapia pisada debe estar dentro de los limites porcentuales de granulometría adecuada que son:

Gravilla: 0 al 15%.

Arena: 40 al 50%

Limo: 35 al 20%

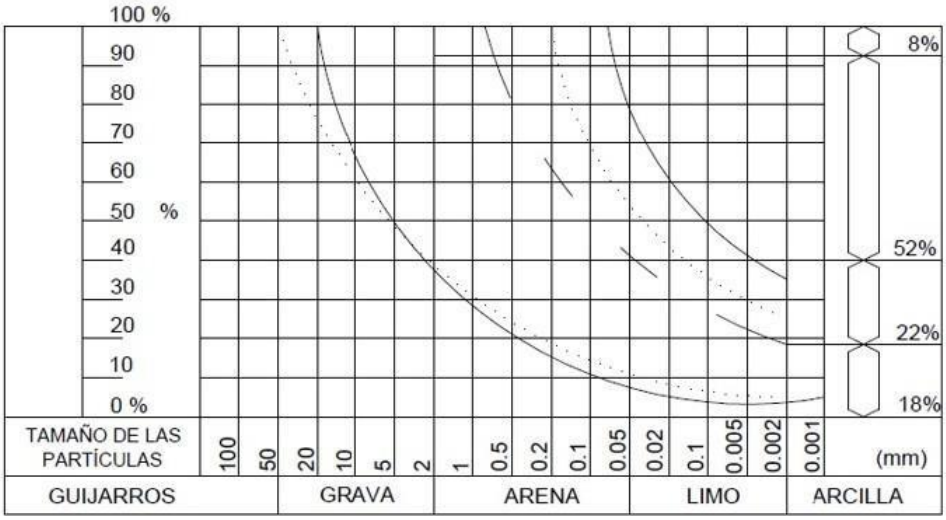
Arcilla: 15 al 25%

De acuerdo a los limites porcentuales correspondientes a cada uno de los materiales y a para el uso de la tierra en tapia pisada, según Bauluz del Rio y Barcena (1992) en la figura 7 se

puede observar la curva de franja granulométrica recomendada para la cual es adecuado un material de tierra en tapia pisada.

Figura 7

Franja granulométrica para tierra en tapia pisada



Nota: Fuente: Bauluz del Rio y Barcena (1992).

Con relación a la resistencia a la compresión que puede soportar un tapial, según la conformación de la tierra, de acuerdo a la investigación realizada por Ahumada (2019), se realiza una serie de muestras en donde se evalúa la resistencia a la compresión de probetas de tapia pisada con adición de diferentes agregados fibrosos. Los resultados se observan en la Tabla 1

Tabla 1

Resistencia de muestras de tapiales con adición de agregados fibrosos

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA (kg/cm^2)
Muestra de tierra con fibra de fique	32,0
Muestra de tierra con fibra de coco	23,0
Muestra de tierra con hojas de pino secas	20,0
Muestra de tierra con paja	24,0

Nota: Tomado de Ahumada (2019).

De acuerdo a la tabla 1, la resistencia para cada material con adición de un agregado fibroso, corresponde a la cantidad de peso soportado por cada muestra evaluada, en donde las adiciones de los agregados fibrosos se realizaron en porcentajes del 3 al 5%, para obtener una resistencia aceptable, por el cual el agregado fibroso predilecto que mejor aporte a la resistencia resulta, corresponde al uso de fibra de fique.

Con relación a la composición óptima para el uso de la tierra preparada para usar en un muro de tapia pisada corresponde al contenido de humedad, el cual es considerado uno de los principios básicos para el uso de esta técnica, y en obra de forma artesanal se puede realizar una prueba de campo que consiste en tomar una pequeña muestra de tierra preparada y apretarlo en la mano, de tal forma que al abrir la mano y si la muestra de suelo se compacta como se muestra en la figura 8, quiere decir que tiene una humedad aceptable. (Jiménez y Martínez 2020)

Figura 8

Determinación de la humedad del suelo por tacto y apariencia



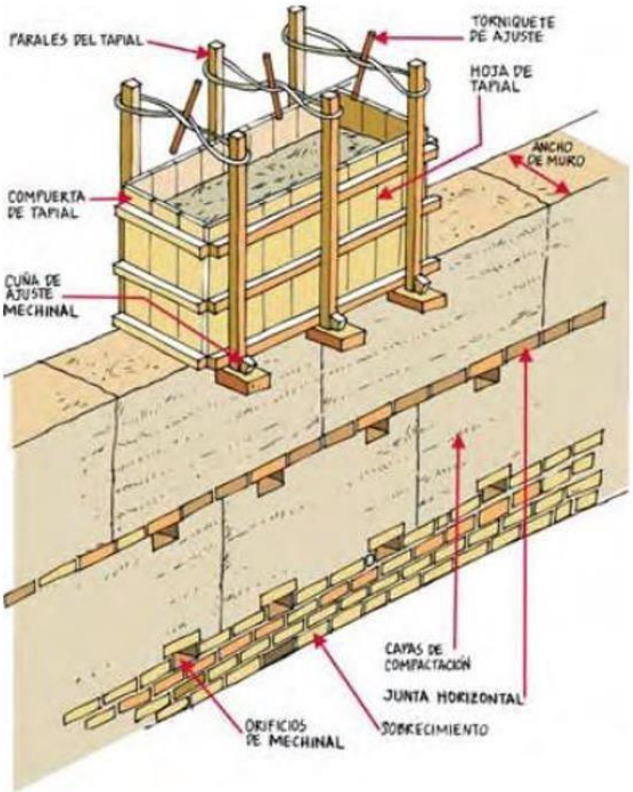
Nota: Departamento de Agricultura de EE. UU. ([USDA], 2005).

De acuerdo a la figura 8, se observa una forma sencilla para verificar el grado de humedad en tierra a usarse para tapia pisada, el cual cuando la tierra comprimida con la mano al soltarla no se desborona, significa que tiene una humedad óptima. (Afanador y Salazar, 2021)

Con relación a las partes de un muro en tapia pisada, en la figura 9, se pueden apreciar los diferentes componentes que conforman un muro en tapia pisada, desde el sobrecimiento, el cual es construido en ladrillos de adobe o arcilla cocida al igual que las juntas horizontales, y la construcción de cada tapial que debe contener además orificios de mechinal, los cuales son orificios pasantes en donde se introducen cuartones de madera o madera rolliza también llamada agujas que tienen una función muy importante ya que sirven para posicionar cada formaleta o hoja de tapial, que a través de parales y cuñas se ajustan y se acomodan a las agujas o madera pasante que sostiene el peso de la formaleta en madera o hoja de tapial. En la parte superior del tapial para sostener la conformación de la formaleta se utiliza un torniquete de ajuste con laso y madera rolliza. Ver figura 9.

Figura 9

Partes de un muro en tapia pisada



Nota: Tomado de Afanador y Salazar (2021).

De acuerdo a la figura 9, la construcción de muros en tapia pisada, es una técnica que se puede desarrollar con el uso de materiales locales, siempre y cuando se cuente con mano de obra especializada. A continuación, en la tabla 2, se pueden apreciar las propiedades y recomendaciones para que se tenga un material de tierra óptimo para su uso en la técnica de tapia pisada.

Tabla 2

Recomendaciones para el uso de tierra en tapia pisada

Aspectos	Recomendaciones
Propiedades idóneas del material:	
Tipo de suelo	Se recomienda el uso de suelo arcilloso-limoso con buen contenido de grava y arena, evitar suelos expansivos.
Proporción ideal de componentes	20–30% arcilla, 30–50% arena, 20–30% limo y grava.
Tamaño máximo de contenido de grava	Hasta 20 mm, idealmente no más de 10 mm.
Plasticidad	Se recomienda hacer pruebas de campo comprimiendo con la mano una muestra de suelo húmeda en donde el suelo debe ser moldeable pero no pegajoso.
Contenido de humedad óptimo	La humedad debe estar en el rango de 10–15% de humedad para compactación.
Densidad seca máxima	Se recomienda 1.6–1.9 g/cm³ (dependiendo del suelo).
Procedimiento constructivo:	
Sistema de cimentación	Se recomienda el uso de cimentación en concreto ciclópeo 60% concreto y 40% piedra con un espesor mínimo de 60 cm. Las excavaciones para la cimentación deben realizarse hasta encontrar firme, en caso de obtener profundidades mayores a 60 cm, se recomienda usar un sobrecimiento en ladrillos de arcilla cocida conservando el mismo espesor del concreto ciclópeo y con una altura de 20 a 50 cm.
Preparación de la tierra	Se recomienda Cernir o tamizar el material para retirar piedras >3 cm. Mezclar en seco los componentes antes de añadir agua y evitar materia orgánica en exceso, mezclar homogéneamente, proteger de la lluvia.
Humedad óptima	Para lograr una humedad de compactación similar a la del Proctor estándar (humedad

Aspectos	Recomendaciones
	entre el 8% y 15%). El suelo debe formar una bola que al apretarlo no debe desmoronarse.
Tapiales o Encofrado	Se recomienda el uso de formaletas metálicas o de madera bien ancladas, resistentes y fáciles de desmontar. Altura recomendada por tongada: 40–60 cm.
Colocación de tierra en tapiales	Colocar el suelo en capas (tongadas) de 10–15 cm antes de compactar. Se recomienda mantener la misma altura en cada tongada.
Compactación	Se recomienda compactar en capas de 10–15cm con pisón manual de madera. Se deben lograr densidades cercanas al 90–95% del Proctor estándar.
Curado	Curar el muro durante al menos 7 días manteniéndolo húmedo, cubierto con costales o plástico, evitando el sol directo o lluvias intensas.
Uniones entre tongadas	Humedecer ligeramente la superficie de la tongada anterior antes de colocar la nueva para asegurar buena adherencia.
Desencofrado	Retirar las formaletas 24 a 48 horas después del compactado, verificando que la tapia haya ganado resistencia suficiente.
Protección base/corona	Elevar el muro al menos 30 cm sobre el nivel del terreno. Colocar aleros o cubiertas sobresalientes para evitar erosión por escorrentía y lluvia directa.
Consideraciones climáticas	No construir durante lluvias intensas. Evitar desecación rápida en climas cálidos. Planificar según la estación seca.
Adición de fibras naturales:	
Adición de fibras	Se pueden agregar fibras naturales (paja, fique, cabuya) al 1–2% en peso seco para mejorar tenacidad y controlar fisuración. Misma proporción, con hasta 1–2% de fibras naturales añadidas (en peso del suelo seco).
Control de fisuras	Agregar fibras naturales y mantener una compactación homogénea.
Adición de refuerzos	Se recomienda el uso madera rolliza la cual se debe instalar a medida que se construye cada tapial, y se utiliza como traslape entre tapiales.

Nota: Autores.

Capítulo 3. Procesos constructivos del bahareque y la tapia pisada

Con relación al proceso constructivo, tanto el bahareque como la tapia pisada, básicamente comparten algunos criterios para el uso de estas técnicas ancestrales como es el caso de la cimentación en empedrado que utilizarla hoy en día se optaría por la metodología de concreto ciclópeo. Al igual que las primeras hiladas después del concreto ciclópeo para ambas técnicas se utiliza ladrillo cocido macizo, el cual cumple la función de aislar la húmeda del suelo hacia la edificación. En este orden de ideas, tanto para la técnica del bahareque como para el uso de la tapia pisada, el proceso constructivo como mínimo debe contemplar la cimentación, aislamiento de humedad, conformación de muros, techos, instalación de carpintería en madera y acabados. A continuación, en los siguientes literales se define el procedimiento constructivo para cada técnica.

3.1 Proceso constructivo del bahareque

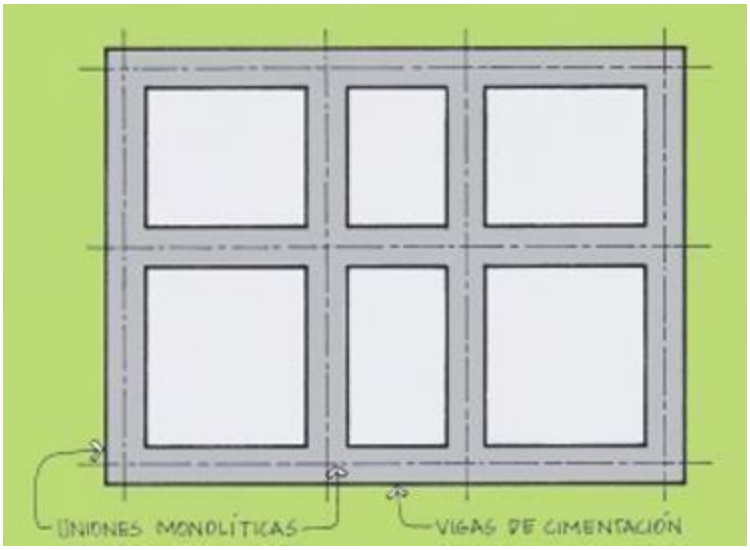
A continuación, se relacionan las fases del proceso constructivo para la construcción de muros en bahareque, teniendo en cuenta los tipos de bahareques mencionados en el capítulo anterior, de los cuales, las técnicas más ancestrales corresponden al uso de bahareque con tierra, y actualmente, la técnica que tiene validez como sistema estructural según el decreto 052 del 2002 y el Titulo E capítulo 7 de la Norma NSR-10, corresponde al bahareque encementado.

3.1.1 Cimentación y sobrecimiento

Para realizar la construcción de una edificación en bahareque, es importante tener en cuenta el lugar en donde se logra llevar a cabo la cimentación, el cual puede estar ubicado en terrenos planos como en terrenos inclinados. De acuerdo al Decreto 052 por el cual se modifica el Decreto 33 de 1998, es decir la NSR-98, y que actualmente es derogado por el decreto 926 de 2010 es decir NSR-10, establece los sistemas de cimentación para bahareque encementado como un sistema reticular de vigas que configuren anillos rectangulares o anillos rectangulares que se funden de manera monolítica (Presidencia de la República de Colombia, 2002, Articulo 1). Ver figura 9.

Figura 10

Viga de cimentación para construcción en bahareque



Nota: Obtenido del Manual de construcción Sismo Resistente de viviendas en bahareque encementado. Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS] (2001).

De acuerdo a los lineamientos para la construcción de vigas de cimentación según el capítulo E, de la Norma NSR-10, establece en este caso que la cimentación de una estructura en bahareque encementado se debe regir según los lineamientos del Título C y para sobrecimientos

en adobe se debe cumplir con el Titulo D, de la norma NSR-10, sin embargo, se puede considerar lo establecido por el al Decreto 052 de 2002, como una recomendación en especial para zonas de amenaza sísmica bajas e intermedias, en donde recomienda los valores dimensionamiento, concretos y refuerzo para cimentaciones según la tabla 3.

Tabla 3

Valores mínimos para dimensiones, resistencia del material y refuerzo de cimentación

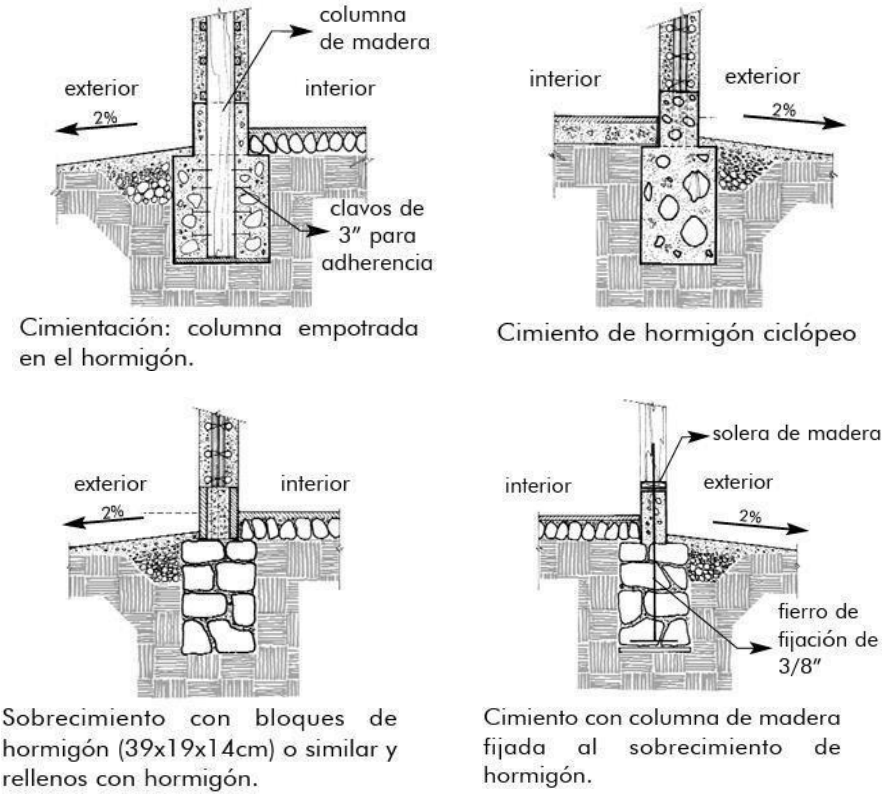
Descripción	Casa de Un piso	Casa de Dos pisos	Resistencia del concreto y/o acero
Anchura	250 mm	300 mm	f'c = 17 MPa
Altura	200 mm	300mm	f'c = 17 MPa
Acero Longitudinal	4 N°3	4 N°4	fy = 420 MPa
Estribos	N°2 a cada 200 mm	N°2 a cada 200 mm	fy = 235 MPa
Bastones verticales para anclajes de muros	N°3	N°4	fy = 250 MPa

Nota: Tomado de: (Presidencia de la República de Colombia, 2002, Decreto 052, Articulo 1).

Teniendo en cuenta la tabla 3, existen otras técnicas de cimentación que no justamente involucran la construcción de una viga de cimentación en concreto reforzado, como es el caso de la Guía de construcción parasísmica propuesta por Carazas & Rivero (2002), los cuales proponen 4 formas distintas para la conformación de la cimentación y sobrecimiento de una construcción o muro en bahareque, los cuales dependen o están en función de la disponibilidad del material, los costos y rapidez en la puesta en obra. En la Figura 11, se pueden apreciar las 4 técnicas de cimentación y sobrecimiento en donde el ancho mínimo de una cimentación debe ser de 40 cm y se recomienda que tenga una relación de 1.5 veces el ancho del muro. Con respecto a la altura mínima de una cimentación en anillo utilizando materiales diferentes al concreto reforzado debe ser como mínimo de 20 cm.

Figura 11

Tipos de cimientos y sobrecimientos para la técnica en bahareque



Nota: Tomado de Carazas & Rivero (2002).

De acuerdo a la figura 11, se observan las 4 tipologías para cimientos y sobrecimientos que pueden ser aplicados para bahareques en tierra, bahareque en tabla, bahareque metálico y bahareque encementado.

3.1.2 Entramado o muro de bahareque

El entramado hace referencia a los muros que conforman la estructura o vivienda, el cual, para el caso de una estructura de bahareque puede ser en madera rolliza (madera de sección circular) o bambú y esterilla de bambú o guadua que sirve para conformar el panel a embutir de

tierra o a cubrir con madera, lámina metálica o revoque con malla y cemento, según la tipología de bahareque que se desee implementar. Teniendo en cuenta que cualquier tipología de bahareque a utilizar contempla el uso de madera, inicialmente antes de comenzar la construcción con esta técnica ancestral, se debe realizar un debido proceso a la madera, con el fin de inmunizarla de forma que garantice su durabilidad.

Cuando la construcción en bahareque se realiza con madera aserrada, para la elección de la madera desde su origen, se debe utilizar madera de durabilidad natural alta, en donde para hacer el corte del tronco, se debe realizar en época seca y se deja en el suelo seco unos 30 días, en el lugar en donde se corta (Vásquez 2003). Para el caso del bambú, guadua o caña, el tratamiento consiste en cortar la guadua con diámetros promedio de 20 mm y 4 mm de espesor, y el corte debe hacerse como mínimo 40 cm por encima del suelo y después de un nudo, debe ser cortado en edad adulta y es necesario dejar la guadua cortada en el campo de corte de forma vertical sin quitar ramas y evitando el contacto con el suelo, para que pueda expulsar la sabia contenida al interior, debe dejarse así entre 4 a 8 días. (Bárbaro, 2007)

Con relación al entramado o muro de bahareque, independientemente de la técnica o tipología a utilizar, según el Manual de construcción sismo resistente de viviendas de uno y dos pisos de bahareque encementado, se pueden clasificar 3 formas para la composición de la madera o guadua que son el esqueleto o estructura de un muro en bahareque, en te caso, un muro en bahareque, puede tener un entramado estructural arriostrado el cual soporta tanto cargas verticales, como cargas horizontales; el entramado estructural no arriostrado, solo puede resistir cargas verticales, y el entramado no estructural, solo puede soportar cargas de su peso propio y

generalmente se pueden usar para muros divisorios al interior de una vivienda. (AIS, 2001). En la figura 12, se puede apreciar los distintos entramados a utilizar con la técnica de bahareque.

Figura 12

Tipos de entramados para muros en bahareque



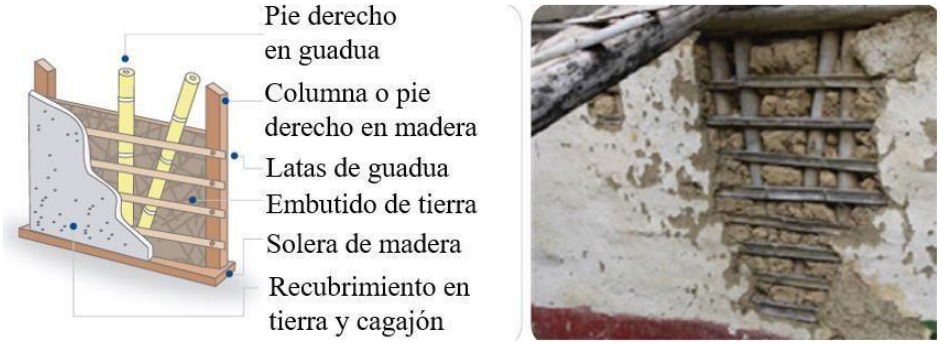
Nota: Fuente: AIS (2001).

De acuerdo a la figura 12, los parales o pie derecho deben ser guadas de diámetro en promedio de 12 cm y debe estar en distancias iguales que pueden variar entre 30 a 40 cm, los cuales una vez armados se clavan a las soleras inferior y superior que pueden ser de madera aserrada o guadua y rigidizados con riostras en caso de soportar cargas verticales. (SENA, 2012)

3.1.2.1 Bahareque de tierra. Para el caso del bahareque embutido de tierra, se debe disponer de esterilla o latas de guadua de 4 cm promedio de ancho, clavadas horizontalmente con una separación promedio de 8 cm, el relleno se debe realzar con arcilla húmeda o barro mezclado con paja previamente, a medida que se va rellenando se va presionando la arcilla con los dedos hasta que esta quede a ras de la parte externa de las latas de guadua. Una vez relleno el muro se debe dejar secar durante un mes o más, para posteriormente aplicar dos capas de pañete en tierra y boñiga en una relación 1:2, o cemento y arena en proporción 1:5. (SENA 2012). En la figura 13, se puede apreciar la descripción de la técnica.

Figura 13

Bahareque embutido en tierra

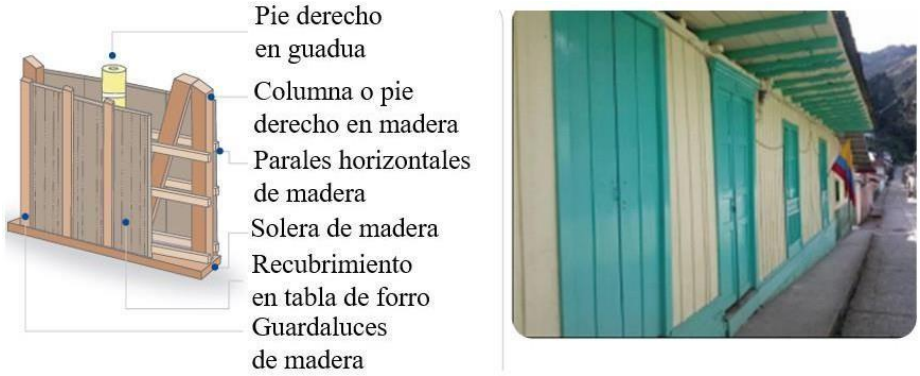


Nota. Fuente: Suramericana S.A. (2020)

3.1.2.2 Bahareque de tabla. Generalmente la estructura o entramado se construye con cuartones de madera (2" x 4") con los parales situados a distancias promedio de 30 cm. Adicionalmente, se instalan parales horizontales a una altura modular promedio de 90 cm. que se constituyen en el soporte para el anclaje vertical de las tablas. El recubrimiento del entramado se hace con tablas de forro (1/2" x 10"), localizadas verticalmente y ancladas a los parales y/o parales horizontales con puntilla de 2". (SENA 2012). Ver figura 14.

Figura 14

Bahareque en tabla

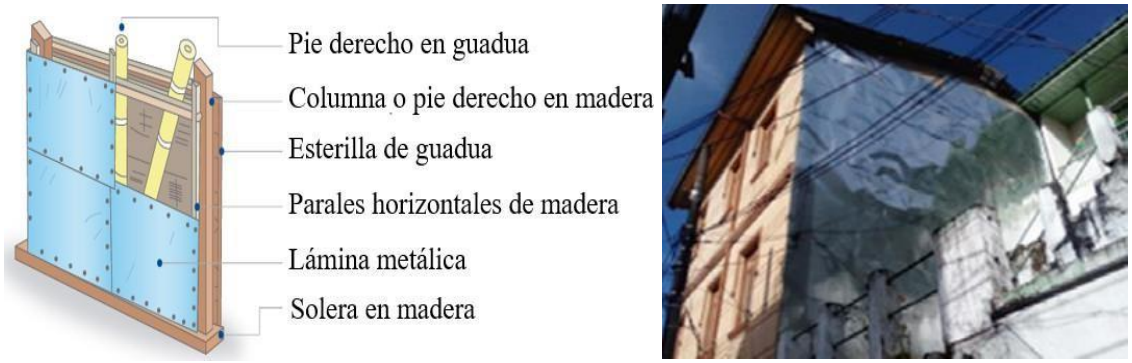


Nota. Fuente: Suramericana S.A. (2020)

3.1.2.3 Bahareque metálico. El armazón de este tipo de bahareque se construye normalmente con cuartones de madera (2” x 4”) o guadua, con los espacios separados una media de 30 cm, y un armazón de paneles horizontales modulados a una altura media de 30 cm. Esto crea un esqueleto de soporte que permite la mejor fijación posible de las láminas metálicas de recubrimiento. Se utilizan clavos para fijar a la estructura las chapas metálicas, que pueden ser lisas o decorativas y estar hechas de hierro dulce, galvanizado o zinc. Por último, la pintura de esmalte en aceite se utiliza para la protección ambiental y el revestimiento. Este revestimiento suele aplicarse a las fachadas, por lo que la pared suele tener por un lado adobe y por la otra chapa metálica. (SENA 2012). Ver figura 15.

Figura 15

Bahareque metálico



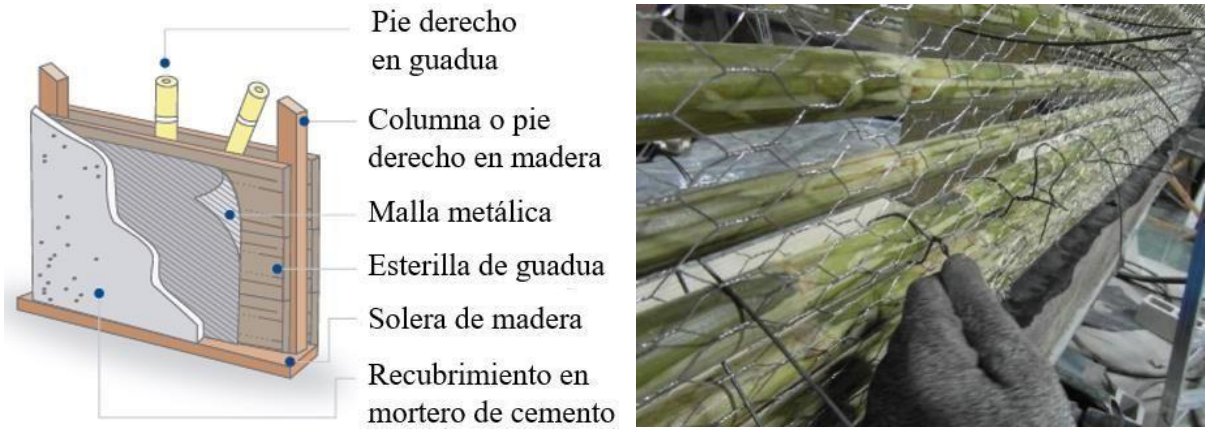
Nota. Fuente: Suramericana S.A. (2020)

3.1.2.4 Bahareque encementado. El bahareque encementado comparte el mismo procedimiento que el bahareque embutido en donde se utiliza guadua o madera y se instalan esterillas o latas de guadua de manera horizontal que luego se forran con malla metálica para ser recubierta por un revoque de cemento. El procedimiento constructivo consiste inicialmente en realizar la instalación y tendido de tuberías de redes que van dentro de los muros, así mismo las

cajas para salidas eléctricas. Luego se realiza instalación de la esterilla de guadua de manera horizontal, permitiendo un espaciamiento entre las cintas (para que penetre el mortero), posteriormente se instala la malla de vena o tipo gallinero que sirve de refuerzo y de soporte para una mayor adherencia del mortero. Para aplicar el mortero se debe humedecer la esterilla o estructura del muro y se debe aplicar una lechada de mortero liquido de relación 1:1. (SENA 2012). Ver figura 16.

Figura 16

Bahareque encementado



Nota. Imagen Izquierda tomado de: Suramericana S.A. (2020). Imagen derecha tomado de: Kaminski et al. (2016)

De acuerdo a la figura 16, es importante mencionar que unas de las técnicas que actualmente tiene validez o se encuentra incluida dentro de la normativa para la construcción sismo resistente en Colombia NSR-10, corresponde al sistema de bahareque encementado, en donde la norma establece diferentes criterios para su diseño sismorresistente según la zona de amenaza sísmica en donde se localice la obra nueva en bahareque.

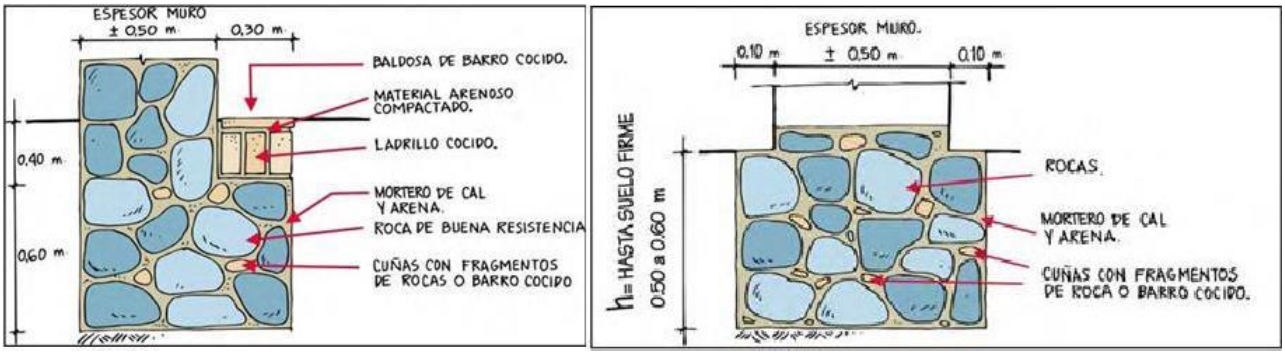
3.2 Proceso constructivo de la tapia pisada

3.2.1 Cimentación y Sobrecimiento

Ancestralmente la técnica en tapia pisada estaba compuesta por una cimentación corrida en conglomerado de piedra enlazado con mortero de cal y arena; hoy en día este tipo de cimentación se conoce como concreto ciclópeo ya que se utiliza piedra y mezcla de concreto, igualmente también se utiliza viga de cimentación en concreto reforzado. Según el Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada elaborado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS] (2004) la cimentación puede ser de dos tipos en forma de L y en T invertida, tal como se aprecia en la figura 17.

Figura 17

Tipo de cimentación para tapia pisada



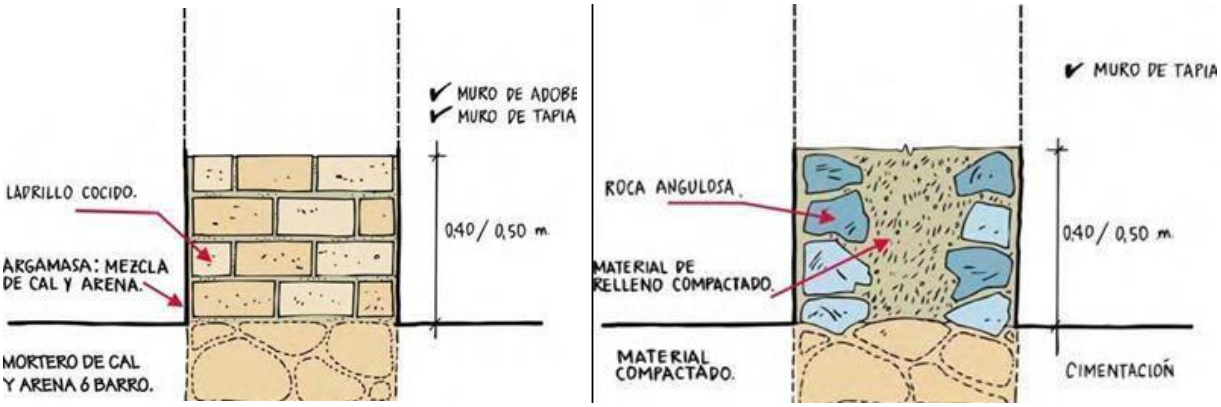
Nota: Tomado de AIS (2004).

De acuerdo a la figura 17, se puede decir que cuando existen casas colindantes se puede utilizar la cimentación en forma de L para muros perimetrales, y para el caso de la cimentación en forma de T invertida, se puede utilizar para muros divisorios en tapia pisada.

Con respecto al sobrecimiento de un muro en tapia pisada, cumple una función importante, ya que aísla la tapia pisada de la humedad del suelo, al igual que sirve para nivelar la superficie en donde se edifican los tapiales. Por lo general los sobrecimientos tienen una altura promedio de 50 cm y se construyen en ladrillo cocido sentado con cal y arena; también se pueden construir con fragmentos de roca y barro. (Gómez, 2018). Ver figura 18.

Figura 18

Sobrecimiento para tapia pisada



Nota. Fuente: AIS (2004).

De acuerdo a la figura 18, por lo general en la mayoría de construcciones antiguas que se edificaron con la técnica ancestral de tapia pisada utilizaban sobrecimientos en ladrillos de arcilla cocida, por el contrario, para las edificaciones en tapia pisada en el sector rural se utilizaban los materiales que se podían obtener del medio como piedra y barro o ladrillo en adobe, es decir ladrillo de tierra sin ser cocido. Para el caso de regiones como Barichara, municipio de Colombia, se utiliza una cimentación en concreto reforzado y como sobrecimiento se emplea la piedra Barichara rellena con mezcla de concreto, el cual es una técnica propia de la zona, de acuerdo a los materiales disponibles de la región. Ver figura 19.

Figura 19

Sobrecimiento para tapia con piedra Barichara y concreto



Nota: Tomado de Sánchez y Vergel (2022).

De acuerdo a la figura 18, se observa que el sobrecimiento empleando concreto y piedra Barichara, no conlleva a la creación de una superficie lisa, lo cual da a entender que de esta forma se obtiene una mejor adherencia entre el tapial y el sobrecimiento.

3.2.2 Levantamiento de muros en tapia pisada

Luego de tener construido la cimentación y los sobrecimientos, se coloca por encima del sobrecimiento el encofrado en madera gruesa y los travesaños que soportan el peso del encofrado, las dimensiones tanto del pisón como del encofrado corresponden a:

El pisón de madera tiene una dimensión de 150 cm de alto x 2 pulgadas en el mango del pisón y en la parte inferior de la pala tiene una dimensión de 30 cm de ancho x 50 cm de alto con un espesor de aproximadamente 2 pulgadas (el peso del pisón es de

aproximadamente 20 lb); los tableros del tapial tienen una dimensión de 230 cm de ancho x 130 cm de alto, compuesto en madera de 2 pulgadas y apuntalado con madera de 3 pulgadas; las compuestas tienen una dimensión de 50 cm de ancho (que es el espesor de los muros en tapia pisada) x 150 cm de alto, compuesto en madera de 2 pulgadas y apuntalado con madera de 3 pulgadas; los tornillo de acero tienen una dimensión de una pulgada de diámetro del tornillo x aproximadamente 70 cm de largo; los costados de madera tiene una dimensión de 2 pulgadas de diámetro x 190 cm de altura. (Sánchez y Vergel, 2022).

En la figura 20, se puede apreciar el encofrado armado para la conformación de un tapial típico utilizado en la región de Barichara.

Figura 20
Encofrado de tapial armado

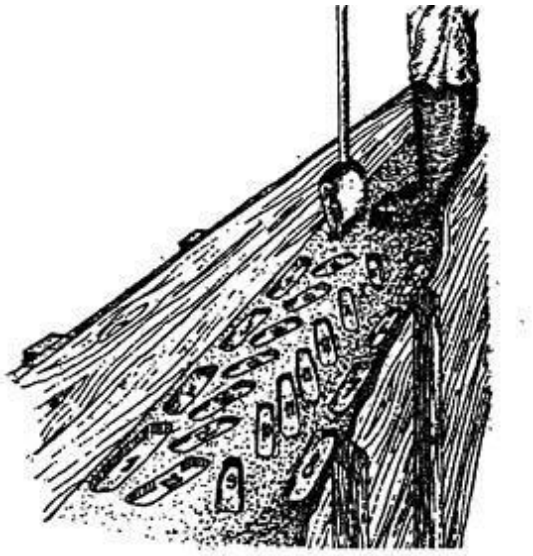


Nota: Tomado de Sánchez y Vergel (2022).

De acuerdo a la figura 20, antes de disponer a echar la tierra al tapial, se debe extender un poco de mortero de cal y arena en los bordes para impedir que la tierra salga por las juntas mejorando así el acabado del muro, las capas de tierra se deben depositar de manera que no superen los 10 cm de altura y el golpe de caída del pisón debe ser aproximadamente 30 cm, al notar el cambio de ruido y que el pisón no deja marcas, se continua con la capa siguiente. (SENA, 2012), el orden de los golpes para la elaboración de la tapia pisada se recomienda según el esquema que se observa en la figura 21.

Figura 21

Orden de golpes para la elaboración de tapia pisada



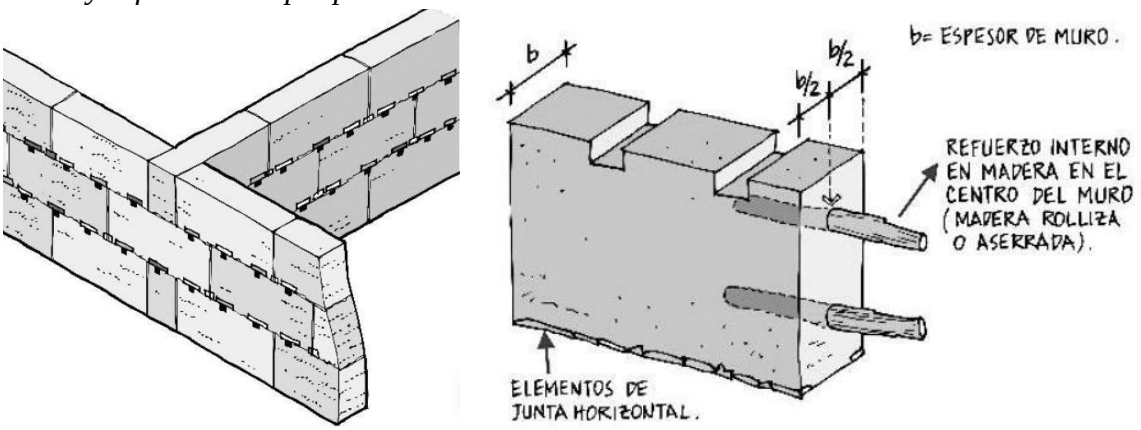
Nota. Fuente: SENA (2012).

Luego de terminar la primera hilada de un muro en tapia pisada, la segunda hilada debe hacerse de forma ajedrezada, en donde para realizar la junta horizontal se debe escarificar la superficie del muro que recibirá la nueva hilada con un pico. Otra de las técnicas para juntas horizontales es utilizar trozos de teja, ladrillos cocidos, esterilla de guadua, los cuales ayudan a proporcionar una superficie de fricción entre las dos hiladas. Para el caso de las esquinas,

algunos maestros tapieros suelen utilizar refuerzo interno de madera junto con la trabe de cada tapial. (Yamín et al. 2007). En la figura 22 se puede apreciar el trabe de las tapias y el refuerzo en madera.

Figura 22

Trabe y refuerzo en tapia pisada



Nota: Tomado de Yamín et al. (2007).

De acuerdo a la figura 22, se puede apreciar que para el trabe de la tapia pisada se utilizan elementos como madera rolliza que sirven refuerzo entre tapiales. Este tipo de refuerzos al tratarse de madera rolliza, para que tenga una durabilidad y resistencia adecuada debe pasar por un proceso de secado de la madera o extracción de la humedad y de inmunización contra enfermedades causadas por hongos, bacterias e insectos como el caso del comején.

De acuerdo a lo anterior el tipo de madera recomendada para el refuerzo de tapiales corresponde a la madera rolliza la cual se distingue por ser madera de sección circular que no ha sido aserrada y según Arango (1990) "si la cadencia del proceso de tala lo permite, las ramas y raíces del árbol en tierra deben conservarse durante una o dos semanas con el fin de acelerar la

salida de los líquidos contiene la madera", por consiguiente para el caso de la técnica constructiva en tapia pisada y para el uso de refuerzos de tapiales en madera rolliza, se recomienda un secado natural de la misma, en donde se deja a la intemperie, teniendo en cuenta que no se debe realizar la tala y proceso de secado en temporada de lluvias, en ese caso de debe dejar la madera bajo cubierta y aislada del suelo húmedo.

Con relación a las diferentes metodologías y procedimientos para la inmunización de la madera rolliza, según Guerrero & Lobaton (2022), existen diferentes metodologías para la inmunización de la madera en donde lo mas recomendable es el uso del método artesanal o superficial que consiste en aplicar con una brocha sustancias a base de clorpirifos, piretroides y organofosforados, los cuales son insecticidas que eliminan de la madera insectos que viven se reproducen y se alimentan de esta. De manera artesanal, se emplean sustancias como el ACPM o aceite de moto quemado, que mezclados con pentaclorofenol, sirven de inmunizante para maderas.

Otra de las técnicas para inmunizar la madera, corresponde al método por inmersión, el cual consiste en sumergir la madera en tanques de agua mezclados con sustancias de sales de boro que ayuda a absorber el contenido de humedad de la madera.

Capítulo 4. Caracterización de la vivienda en tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña

El presente capitulo relaciona la implementación del uso de la tapia pisada y el bahareque en el municipio de Ocaña, en donde por medio de una encuesta y entrevistas, se logra definir la percepción de estas técnicas ancestrales en la región del municipio de Ocaña.

Como precedente a la caracterización de estas técnicas ancestrales, vale la pena mencionar la investigación realizada por Gaona & Gaona (2022) en donde realiza una caracterización de los daños identificados en las edificaciones de tapia pisada del centro histórico del municipio de Ocaña, identificando 89 edificaciones del área urbana según el nivel de conservación o daño. Ver en tabla 4, los resultados de la investigación realizada por Gaona & Gaona (2022).

Tabla 4

Estado general de conservación de las viviendas analizadas en Ocaña

Estado de Conservación	# de viviendas	%
Conservado	75	84,3%
Buen estado	12	13,5%
Daño	2	2,2%
Daño grave	0	0,0%
Estado emergencia	0	0,0%
Total	89	100,0%

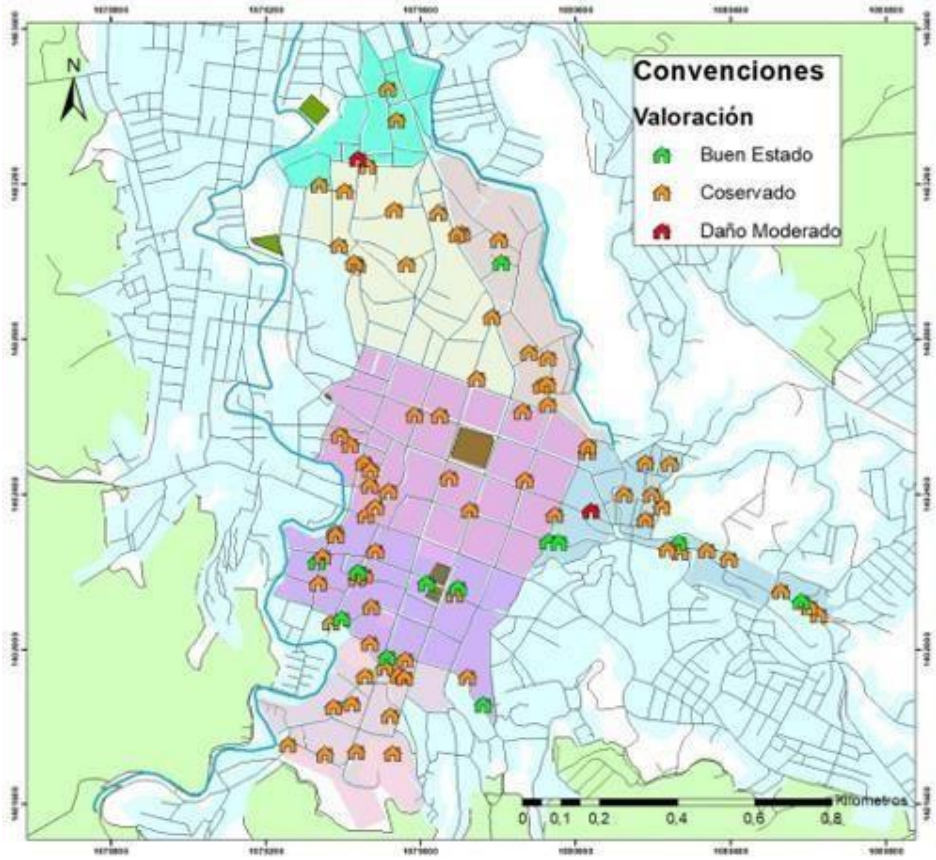
Nota. Tomado de Gaona & Gaona (2022).

Teniendo en cuenta la tabla 4, se puede apreciar que, en el municipio de Ocaña, persisten edificaciones conservadas y en buen estado con la técnica ancestral en tapia pisada, en donde

para tener una mejor apreciación sobre la ubicación dentro del área urbana del municipio de Ocaña, se puede apreciar la figura 23 en donde se observa el plano del área urbana de Ocaña y la señalización de las edificaciones estudiadas por Gaona & Gaona para determinar su estado de conservación.

Figura 23

Mapa estado de conservación de edificaciones en tapia pisada en Ocaña



Nota. Fuente: Gaona & Gaona (2022).

De acuerdo a la figura 23 se puede apreciar que las casas en técnicas ancestrales en el municipio de Ocaña, se conservan en buen estado y algunas presentan daños menores.

4.1 Caracterización del uso de la tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña

Para el desarrollo de la caracterización del uso de las técnicas de tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña, se realizó una encuesta a maestros de construcción y albañiles con experiencia en el uso de la tapia pisada y bahareque, en donde se pudo realizar en total 32 encuestas de las cuales se determinó que actualmente en el municipio de Ocaña no se pierde la tradición de la construcción de vivienda en tapia pisada y bahareque pero en el sector rural, en el sector urbano solo se habla de reforzamientos de estructuras en tapia pisada para su conservación. En la siguiente tabla 5, se puede apreciar el resultado de las encuestas realizadas.

Tabla 5

Resultados de encuestas realizadas sobre el uso de tapia y bahareque en Ocaña

N° Pregunta	Descripción	#Respuestas
Pregunta 1	Actualmente ¿por qué la construcción en Tapia pisada y bahareque no es una técnica convencional para la construcción de viviendas urbanas en el municipio de Ocaña?	
	A. Falta de mano de obra especializada (maestros de obra, tapieros)	13
	B. Dificulta para conseguir los materiales	17
	C. Demoras en el proceso constructivo	2
	D. Percepción negativa o tradicionalista	0
Pregunta 2	En su opinión, ¿construir viviendas en tapia pisada y bahareque podrían ser una solución sostenible para el municipio de Ocaña?	
	A. Sí, tienen un alto potencia	13
	B. Tal vez, dependiendo de su implementación	5
	C. No, no son viables actualmente	8
	D. No sé suficiente sobre estas técnicas para opinar	6
Pregunta 3	¿Cree que las técnicas de tapia pisada y bahareque ofrecen ventajas económicas frente a métodos convencionales de construcción en el municipio de Ocaña?	
	A. Sí, son significativamente más económicas	9
	B. Tal vez, dependiendo del proyecto	17
	C. No, suelen ser más costosas	2
	D. No estoy seguro/a	4

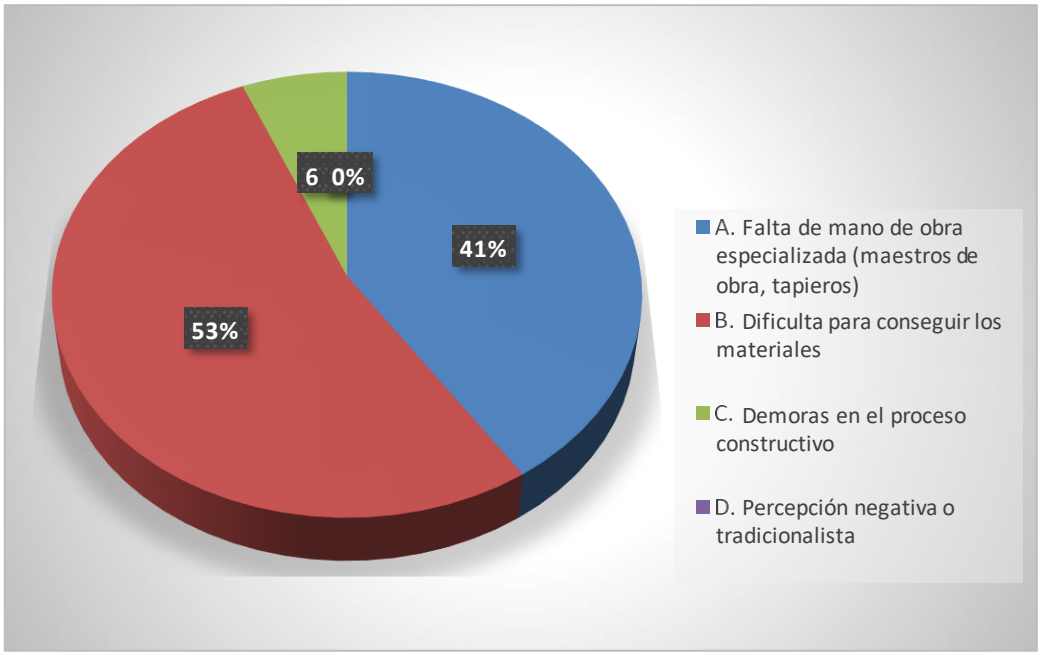
N° Pregunta	Descripción	#Respuestas
Pregunta 4	Teniendo en cuenta que antiguamente en Ocaña se construía en tapia pisada y bahareque ¿Cómo considera la durabilidad de estas técnicas frente a las construcciones convencionales hoy en día en Ocaña?	
	A. Superior	0
	B. Igual	3
	C. Inferior	27
	D. No estoy seguro/a	2
Pregunta 5	¿Considera que el uso de la tapia pisada y bahareque pueden ser técnicas rentables para proyectos comunitarios (escuelas, centros de salud, etc.) en el municipio de Ocaña?	
	A. Sí, completamente	7
	B. Tal vez, dependiendo del proyecto	4
	C. No, no son rentables	5
	D. Son rentables cuando la comunidad pone la mano de obra	16
Pregunta 6	¿Cree que las técnicas de tapia pisada y bahareque ayudan a preservar el patrimonio cultural del municipio de Ocaña?	
	A. Sí, son fundamentales para la identidad cultural de Ocaña	7
	B. Tal vez, pero requieren adaptaciones modernas	18
	C. No, no tienen relevancia cultural actual	5
	D. No estoy seguro/a	2
Pregunta 7	¿Qué tan común cree que es el uso de la Tapia pisada y el bahareque en la construcción actual en Ocaña?	
	A. Muy común	0
	B. Algo común	8
	C. Poco común	11
	D. Nada común	13
Pregunta 8	¿Considera que las técnicas de tapia pisada y bahareque son respetuosas con el medio ambiente?	
	A. Totalmente de acuerdo	22
	B. Algo de acuerdo	5
	C. En desacuerdo	0
	D. No estoy seguro/a	5
Pregunta 9	¿Qué tan accesibles cree que son la construcción de viviendas en tapia pisada y bahareque para personas de bajos ingresos en el municipio de Ocaña?	
	A. Muy accesibles	7
	B. Algo accesibles	5
	C. Poco accesibles	14
	D. Nada accesibles	6
Pregunta 10	¿Qué factores considera esenciales para fomentar el uso de la tapia pisada y bahareque, en la construcción de viviendas en el municipio de Ocaña?	
	A. Divulgación de beneficios ambientales	7
	B. Incentivos gubernamentales	2
	C. Capacitación de constructores	4
	D. Materiales más accesibles	19

Nota. Elaborado por Autores.

Con el propósito de hacer un análisis de resultados, con relación a la percepción del uso de la tapia pisada y bahareque que existe en el gremio de la construcción en el municipio de Ocaña, se puede apreciar la gráfica en la figura 24.

Figura 24

Percepción de la tapia pisada y bahareque en Ocaña

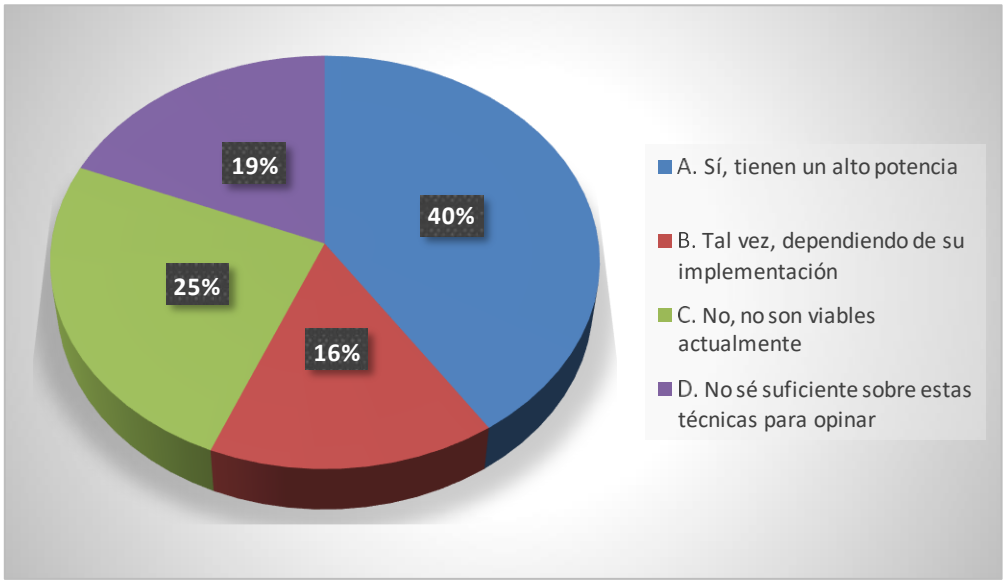


Nota. Autores.

De acuerdo a la figura 24, se puede apreciar que, para el gremio de la construcción, el 53% afirma que existe dificulta para conseguir los materiales, ya que, si se habla del área urbana, no existe una ferretería actualmente en la ciudad, que distribuya tierra con características especiales para ser usado como tapia pisada, por otra parte, el 41% de los encuestados afirma que hace falta mano de obra especializada con experiencia en este tipo de edificaciones. Con respecto a demoras en el proceso constructivo el 6% de los encuestados afirma que es un factor negativo dado a las demoras en la edificación de bahareque o tapia pisada.

Figura 25

La tapia pisada y bahareque como técnicas sostenibles para la construcción en Ocaña



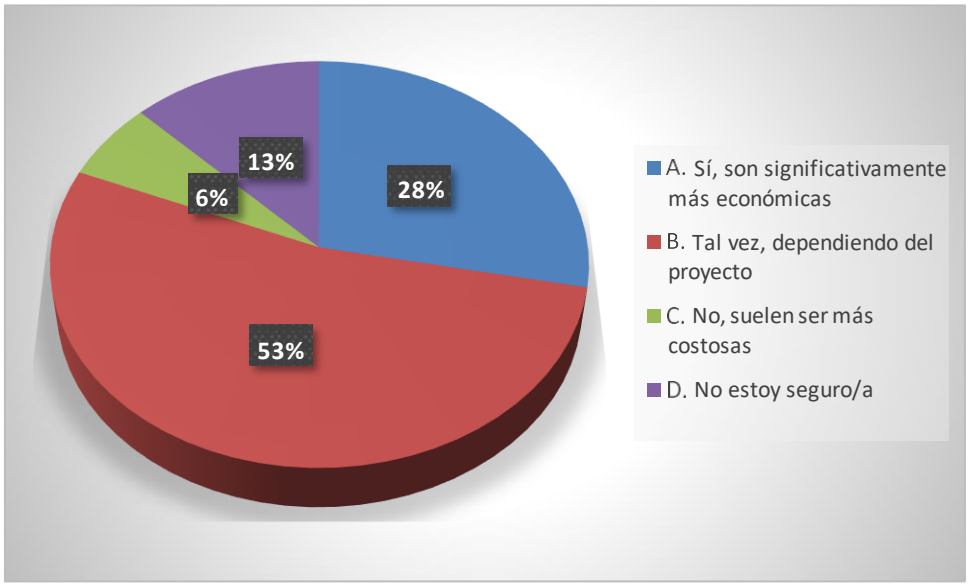
Nota. Autores.

De acuerdo a la figura 25, se puede apreciar que, con respecto al uso de la tapia pisada y bahareque como técnicas sostenibles para el municipio de Ocaña, el 40% de los encuestados afirma que, si tiene un gran potencial, el 25% afirma que no son viables actualmente, puesto que, como técnica para usar en el área urbana de Ocaña, los espacios y áreas de las viviendas son pequeños, lo que ocasiona que al usar estas técnicas se reduzca el área aprovechable de una vivienda.

Con relación a la percepción que tienen los constructores en el municipio de Ocaña sobre las ventajas económicas que conlleva el usar técnicas ancestrales como la tapia pisada y bahareque se puede apreciar en la gráfica de la figura 26.

Figura 26

Ventajas económicas al usar Tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña



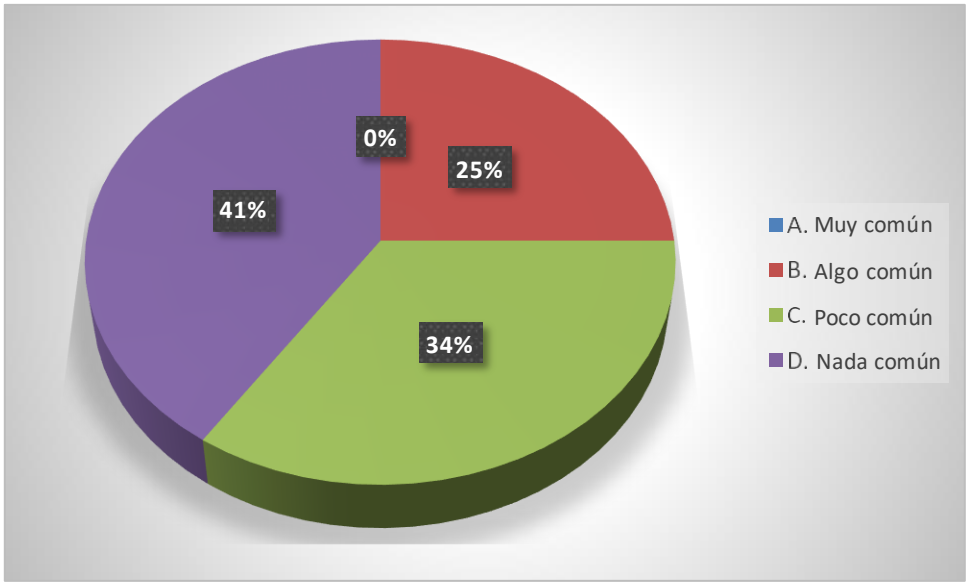
Nota. Autores.

De acuerdo a la figura 26, se puede observar que el 53% afirma que tal vez, dependiendo del proyecto puede ser ventajoso construir con tapia pisada y bahareque, en especial en el sector rural en donde no exista acceso a materiales; por otra parte el 28% afirma que si son significativamente más económicos, el 13% de los encuestados no está seguro y el 6% afirma que suelen ser más costosos en especial cuando se debe sacar la tierra transportarla y hacer la estructura para el caso de la tapia pisada.

Con respecto al uso de las técnicas de bahareque y tapia pisada en la actualidad en el municipio de Ocaña, en la siguiente figura 27, se puede apreciar la gráfica en donde se observa el resultado de la encuesta sobre el uso actual de estas técnicas ancestrales en el municipio de Ocaña, en donde durante la realización de encuestas se pudo evidenciar que, en Ocaña, este tipo de construcciones se sigue llevando a cabo solo en el sector rural.

Figura 27

Frecuencia del uso de la tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña

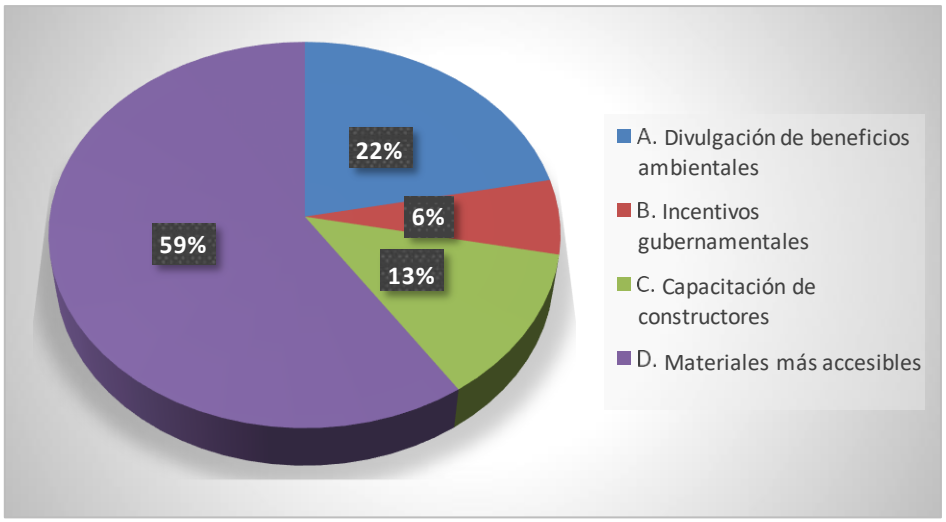


Nota. Autores.

De acuerdo a la figura 27, se puede observar que el 41% de los encuestados afirma que estas técnicas ancestrales no son nada común en el municipio de Ocaña, el 34% afirma que son poco común, el 25% afirma que son algo común.

Figura 28

Factores que influyen para hacer más accesibles el uso de la tapia pisada y bahareque



Nota. Autores

De acuerdo a la figura 28 se puede apreciar que el 59% de los encuestados afirma que uno de los factores fundamentales que influye en el uso de estas técnicas ancestrales corresponde al acceso de materiales, ya que si se pretende realizar una construcción en el área urbana difícilmente se podrá utilizar material del mismo lote, y para el caso del sector rural, de acuerdo a las entrevistas realizadas se observa que en muchas fincas hoy en día prefieren construir casas en material de bloqueH-10, que con tapia pisada y bahareque, ya que el precio con relación a estas técnicas ancestrales es muy similar debido a la abundante mano de obra que se requiere para sacar la tierra y posteriormente realizar la construcción.

Con relación a la construcción actual en Ocaña de viviendas en tapia pisada, vale la pena mencionar la construcción de una edificación de 3 niveles en el área urbana del municipio de Ocaña, a cargo del Maestro Wilder Perez Armesto, el cual dentro de su experiencia con esta técnica ancestral afirma que por lo general se suelen usar en fincas que no tengan acceso a carretera y que por obligación tengan que construir viviendas con tapia pisada que suelen realizarse con cimentación en concreto ciclópeo y con muros en tierra con espesores de 30 cm para casas de un piso. Con relación a las obras de reforzamiento de estructuras en tapia pisada en el municipio de Ocaña, se evidencia la edificación ubicada en San Agustín, la cual presenta una falla estructural en su cimentación, en donde el maestro Wilder Perez, propone una metodología de reforzamiento con grafiles que son pedazos de varillas de 3/8” colocados sobre el agrietamiento de la cimentación y relleno con una amalgama o mezcla de tierra de la misma tapia, cal, arena y agua en donde utiliza una relación 1:1:1. En la siguiente figura 29 se puede apreciar la metodología realizada para el reforzamiento de la cimentación de un muro en tapia pisada.

Figura 29

Reforzamiento de cimentación de un muro en tapia pisada



Nota. Autor.

Con relación a la construcción de viviendas en tapia pisada y bahareque, se aprecia que todavía existen obras con estas técnicas ancestrales, pero en el sector rural, en donde se identifica la casa en bahareque construida por el propietario de la misma, en la vereda el Rodeo, perteneciente al municipio de Ocaña, la cual se realiza con madera rolliza para parales verticales y lata para el entramado horizontal, en donde el relleno en este caso se realizó de tierra mezclado con boñiga de vaca. En este caso el propietario de la vivienda, al realizar la mano de obra, si afirma que construir en bahareque representa un ahorro significativo si el constructor es el mismo beneficiario. En la figura 30, se observa la vivienda en bahareque que actualmente no está totalmente terminada, puesto que solo se realizaron acabados interiores y el exterior de los muros perimetrales se van trabajando según la disponibilidad del propietario.

Figura 30

Construcción de vivienda en bahareque en la vereda el Rodeo del municipio de Ocaña



Nota. Autor.

Con relación a edificaciones en tapia pisada se identifica la construcción de una vivienda en la finca del señor Libardo Armesto, en la vereda Cerro Negro del municipio de Ocaña, en donde de acuerdo a la apreciación del maestro encargado de la construcción el señor Moisés Coronel Perez, afirma que "al usar tapia pisada requiere de muchos jornales porque la sacada de la tierra vale plata" y el tiempo estimado para este tipo de casas en tapia pisada tarda entre 3 a 4 meses con acabados, sin embargo es una técnica que no se ha perdido, porque lastimosamente la malla vial para vias terciarias en la provincia de Ocaña predomina el mal estado y la falta de carretera para muchas fincas, por lo que construir casas en tapia pisada si puede ser una opción viable en aquellas zonas alejadas en donde no existen carreteras o caminos en donde ingresen carros de carga. En la figura 31, se puede apreciar la construcción de la casa en tapia pisada en la finca del señor Libardo Armesto, el cual consta de una estructura rectangular con 3 habitaciones

y un corredor en donde no cuenta con techo si no con una estructura en madera conocida como marquesina que sirve para el secado del café.

Figura 31

Construcción de vivienda en tapia pisada



Nota. Autor.

De acuerdo a la figura 31, se puede apreciar que a pesar de que en el casco urbano no se construyen casas en bahareque y tapia pisada, en el sector rural de la región del municipio de Ocaña, esta tradición no se ha perdido, puesto que todavía existen personas que construyen con estas técnicas ancestrales por necesidad al no tener acceso de carreteras o por economizar costos si la mano de obra es puesta por el propietario de la construcción.

Por lo anterior es importante precisar que la percepción de los maestros en el municipio de Ocaña, es que la técnica en bahareque y tapia pisada tienen costos muy similares a técnicas convencionales como mampostería confinada en bloque H-10.

Capítulo 5. Normativa nacional e internacional de construcciones en tierra

En el presente capitulo se relacionan las normas nacionales e internacionales que rigen la construcción en tierra, en el uso de las técnicas de tapia pisada y bahareque.

5.1 Normas Internacionales

Con relación a la normativa internacional es importante mencionar la "NORMA ANDINA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CASAS DE UNO Y DOS PISOS EN BAHAREQUE ENCEMENTADO", el cual es una norma desarrollada por INBAR (Red Internacional de Bambú y Ratán, en donde establece los criterios y parámetros de diseño sismo resistentes para la construcción de una vivienda de uno y dos pisos utilizando bambú y madera. Con relación a las demás normas internacionales relacionadas directamente con las construcciones en tierra, en la siguiente tabla 6, se puede apreciar el resumen de las normas vigentes:

Tabla 6

Normativas internacionales para la construcción en tierra

Tipo de Documento	Titulo	Año de Aprobación	Contexto	Organismo	País
Norma técnica	ABNT NBR 13553 - Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos.	2012	Establece los requisitos para los materiales a ser empleados en la construcción de paredes monolíticas de suelo-cemento sin función estructural.	Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).	Brasil

Tipo de Documento	Titulo	Año de Aprobación	Contexto	Organismo	País
Norma técnica	ABNT NBR 17014 - Taipa de pilão - Requisitos, procedimentos e controle.	2022	Establece los requisitos y las condiciones generales para la ejecución, control y aceptación de la tapia. Esta norma no se aplica a las paredes sometidas a cargas predominantemente horizontales, como a muros de arrime y paredes de contención. Establece criterios de evaluación que consideran las especificidades de la tapia, sugiriendo requisitos mínimos para el alcance de la calidad y durabilidad del producto final, así como la preposición de directrices para su replicabilidad.	Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).	Brasil
Norma técnica	NCh 3332-Estructuras-Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda. Requisitos del proyecto estructural.	2013	Establece definiciones sobre las diversas técnicas constructivas con tierra; consideraciones de la intervención (criterios estructurales y criterios patrimoniales); una metodología de diagnóstico y análisis de las estructuras construidas con tierra. Además, plantea bases de diseño y cálculo; y anexos sobre materiales, sistemas de refuerzos y pruebas.	Instituto Nacional de Normalización (INN)	Chile
Norma técnica	NTM 002Proyecto de Intervención estructural de construcciones de tierra.	2013	Establece definiciones sobre las diversas técnicas constructivas con tierra, los criterios de intervención y el proyecto estructural de construcciones de tierra. Plantea cómo realizar el análisis del estado de la construcción previo a la intervención; las propiedades mecánicas de los materiales; bases de diseño y cálculo; la intervención estructural; la reparación; el sistema de refuerzos; la ejecución de las intervenciones; y el plan de mantención de la construcción. Agrega anexos sobre materiales y sistemas de refuerzos y pruebas de laboratorio.	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)	Chile
Norma técnica	NEC-SEVIVIENDA -Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros	2014	Establece definiciones de algunas de las técnicas de construcción con tierra y en especial criterios para su diseño en zonas sísmicas. En el apartado Generalidades define los términos Adobe, Bahareque o Quincha, Tapial y Tapialera.	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) / Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON).	Ecuador

Tipo de Documento	Titulo	Año de Aprobación	Contexto	Organismo	País
Norma Técnica	UNE 41410Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.	2008	Define los bloques de tierra comprimida utilizados en muros de albañilería portantes y no portantes, para muros interiores y para fachadas vistas y revestidas. Determina las condiciones que deben cumplir los bloques y los ensayos propios, así como el marcado que permite identificar dichos aspectos.	Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) - Comité Técnico AEN/CTN 41 Construcciones	España
Reglamento	Reglamento de Construcción, Urbanismo y Ornato para el Municipio de Villa Nueva.	2005	En su Artículo 9 determina que las edificaciones que se consideren parte del patrimonio cultural no podrán ser modificadas en su tipología arquitectónica y sistema constructivo, ya que cualquier mejora o rescate que sea necesario practicar tendrá que llevarse a cabo con la participación de instituciones competentes y de conformidad con las leyes vigentes. Existen construcciones de tierra patrimoniales en la ciudad y su ejido.	Consejo Municipal de Villa Nueva.	Guatemala
Norma Técnica	NXM-C-508 Industria de la Construcción-Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal Especificaciones y métodos de ensayo.	2015	Establece las especificaciones y métodos de ensayo de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal, usados en muros de carga, divisorios, pudiendo o no ser aparentes, y techos en bóvedas, así como los métodos de ensayo adecuados a las formas prismáticas con empatía entre ellos.	Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCE)	México
Norma Técnica	E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada.	2017	Su aplicación es obligatoria para la elaboración de materiales de construcción para edificaciones de tierra reforzada (adobe reforzado y tapial reforzado). La norma se refiere a las características mecánicas de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada, al diseño sismorresistente para edificaciones de tierra reforzada, a los elementos estructurales fundamentales de las edificaciones de tierra reforzada, así como al comportamiento de los muros de adobe y tapial, de acuerdo con la filosofía de diseño sismorresistente.	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).	Perú

Nota. Tomado de Rotondaro et al. (2024), modificado por autor.

5.2 Normas nacionales sobre construcciones en tierra

Con respecto a las normas colombianas que regulan la construcción en el país relacionadas con las técnicas ancestrales en tapia pisada y bahareque, se mencionan las siguientes:

Ley 163 de 1959. "Por la cual se dictan medidas sobre defensa y conservación del Patrimonio Histórico, Artístico y Monumentos Públicos de la Nación" (Congreso de Colombia, 1959)

Ley 397 de 1997. (Ley General de Cultura). "Por la cual se desarrollan los artículos 70, 71 y 72 y demás artículos concordantes de la Constitución Política y se dictan normas sobre patrimonio cultural, fomentos y estímulos a la cultura, se crea el Ministerio de la Cultura y se trasladan algunas dependencias". (Congreso de Colombia, 1997)

Decreto 052 de 2002. Por medio del cual se modifica y adiciona el Capítulo E del Decreto 33 de 1998, por el cual se establecen parámetros para casas de uno y dos pisos en bahareque encementado. (Presidencia de la República de Colombia, 2002).

Decreto 926 de 2010. Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes NSR-10, en donde se habla del bahareque encementado en el Titulo G.

Decreto 2113 de 2019. "por el cual se incorpora al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017 - Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada, y se dictan otras Disposiciones" (Presidencia de la República de Colombia, 2019), en donde se establecen los criterios y procedimientos que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad sísmica e intervenir el sistema estructural de edificaciones patrimoniales de adobe y tapia pisada, de acuerdo con los niveles de intervención establecidos en el apéndice A-1: conservación integral, conservación del tipo arquitectónico, conservación contextual y con los tipos de obras permitidas en el apéndice A-2.

Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. Elaborado en el 2001, con el objetivo de ser utilizado como una guía técnica idónea con alternativas de intervención o rehabilitación sísmica para disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones existentes de adobe y tapia pisada. No fue pensado para la construcción de viviendas nuevas ni para la ampliación de viviendas existentes. Se analizan los efectos de los sismos y la vulnerabilidad de las construcciones de adobe y tapia pisada, y se describen ambos sistemas constructivos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS], 2001).

Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. El Manual es una guía técnica idónea útil para los propietarios de edificaciones de bahareque tradicional que decidan intervenirlas a raíz de daños por agentes ambientales, cargas de servicio, movimientos sísmicos, u otro fenómeno. No fue pensado para edificaciones nuevas. (AIS, 2004)

De acuerdo al marco legal internacional y nacional, a nivel internacional, se puede apreciar que en países como Perú, existen normas como la E.080 (Diseño y construcción con tierra reforzada), la cual aplica para la construcción nueva en tapia pisada, pero con la salvedad de que debe ser un sistema de tierra reforzado, al igual que la norma brasilera ABNT NBR 17014 (Tierra apisonada - Requisitos, procedimientos y control), la cual relaciona las técnicas y conceptos básicos para la construcción, seguimiento y control de construcciones en tapia pisada. Por el contrario, con respecto a las demás normas mencionadas en la tabla 6 del presente documento, solo relacionan técnicas para la preservación y conservación de estructuras en tierra existentes o patrimoniales, como es el caso de Colombia, en donde por medio del Decreto 2113 de 2019 se incorpora a la norma NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017 - Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada.

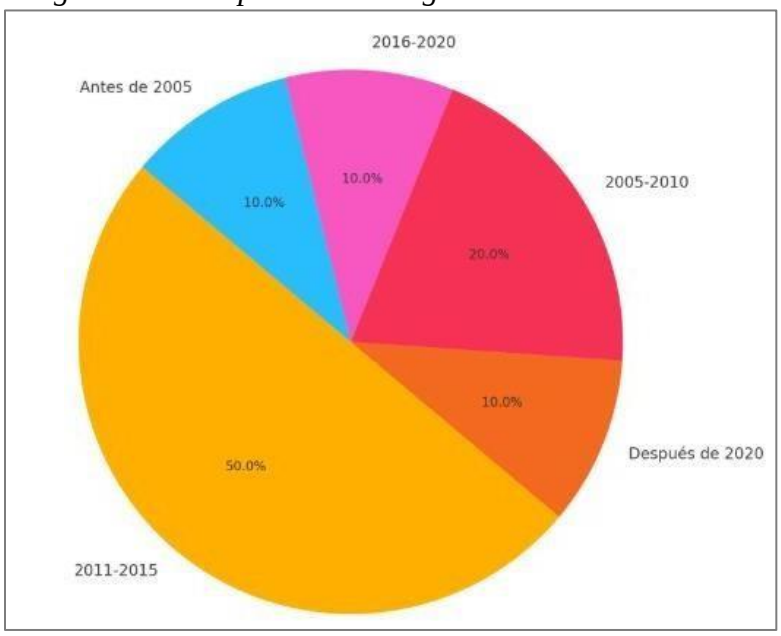
Para el caso del territorio colombiano, actualmente, no existe una normativa que contemple los parámetros de diseño estructural, propiedades térmicas y características sostenibles para el uso de la tapia pisada en la construcción nueva, ya que las normas que regularizan la construcción en Colombia y la actualización de los códigos de construcción vigentes, solo se han enfocado en la estructuración o técnicas de construcción para la conservación de estructuras existentes patrimoniales en tapia pisada, sin embargo, dentro de la norma colombiana NSR-10 Titulo E. Literal E.8, se incluye el uso de la técnica en bahareque encementado para la construcción de viviendas de uno y dos pisos.

De acuerdo a la tabla 6, en donde se analiza el marco legal a nivel internacional sobre las construcciones en tierra y teniendo en cuenta la norma colombiana, en la siguiente figura 32, se

puede apreciar el rango en el año de publicaciones de las normas publicadas antes del 2005, entre el 2005 y 2010, entre el 2011 y 2015, entre el 2016 y 2020 y después de 2020, en donde se observa que, según las normas referentes al uso de las construcciones en tierra analizadas, se concluye que la mayor actualización o publicación de normas sobre el uso de la tierra se presenta en el rango de años de 2011 al 2015.

Figura 32

Rango de años de publicación según normas nacionales e internacionales



Nota: Autores.

De acuerdo a la figura 32, se puede apreciar que las normas sobre el uso de la construcción en tierra, después del año 2020, representa el 10% del compendio de las normas consultadas, lo cual es un indicador bastante bajo, que reafirma que el tema de las construcciones en tierra no se considera como una opción, para el desarrollo de la construcción nueva de viviendas de interés social. En este orden de ideas, el uso de la tapia pisada como técnica constructiva para la construcción de la vivienda nueva, no cuenta con suficiente respaldo

normativo, ya que, para el caso de Colombia, el marco legal sobre la construcción en tierra, esta enfocado a la preservación patrimonial, que no responde aún a las necesidades de diseño estructural moderno con técnicas de tierra.

Por lo anterior, es importante precisar que los retos para la certificación de las construcciones en tierra en Colombia, pueden depender de dos factores fundamentales que son la creación de normas específicas para el diseño estructural de nuevas edificaciones en tierra y la creación de protocolos estandarizados de ensayos y control de calidad de materiales y sistemas constructivos con tierra.

Con respecto a la estandarización para el uso de construcciones en tierra, especialmente para la construcción de viviendas, deben gestionarse programas desarrollados por entidades públicas, que promuevan el uso de la vivienda sostenible de interés social con esta técnica constructiva en tierra especialmente para el sector rural, en donde no exista la limitante del área, ya que en el sector urbano, en muchos casos se tienen lotes muy reñidos en cuanto a sus dimensiones lo que reduciría considerablemente su área útil al usar técnicas constructivas como la tapia pisada.

Otro de los factores que puede influir en la estandarización para el uso de la construcción en tierra en Colombia, para ser aplicado como norma a nivel nacional, consiste en involucrar entidades publicas como el SENA, en donde se promueva el desarrollo y la certificación de capacitaciones y técnicas de construcción en tierra para obras nuevas.

Conclusiones

Con relación a los fundamentos para el uso de la tapia pisada y bahareque, se puede apreciar en la actualidad que las pocas edificaciones o construcciones de viviendas que se siguen construyendo conservan las mismas técnicas ancestrales de generación en generación, en donde el único material moderno que se incluye en las nuevas edificaciones corresponde al uso del cemento para el revestimiento en mortero de concreto y al concreto ciclópeo y concreto reforzado para la cimentación de muros en tapia pisada y bahareque.

De acuerdo a los procesos constructivos contemplados para la construcción en bahareque, se concluye que actualmente la mejor técnica de construcción corresponde al bahareque encementado, ya que posee propiedades sismorresistentes, el cual mezclado con la técnica del bahareque embutido de tierra, y revestido con malla de venas o malla galponera y mortero de arena y cemento, ya que la técnica de bahareque encementado, no incluye el relleno en tierra, a diferencia de tener en cuenta un relleno de tierra, puede ser una propiedad que contribuya a la aislación térmica de una vivienda, mejorando así el confort al interior de la vivienda y disminuyendo el consumo de energía ya que al no generarse tanto calor al interior disminuye el consumo de energía, lo que contribuye positivamente a la sostenibilidad.

De acuerdo al uso de la técnica de tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña, la percepción de los maestros de construcción de la región consideran que son técnicas que actualmente tienen un costo similar al de una vivienda en mampostería confinada, debido al incremento en la mano de obra y a la extracción y transporte del material, lo que hace que estas

técnicas en el sector urbano, y dado a las condiciones de los lotes de la ciudad que por lo general son de dimensiones de 7x14 m, hace que estas técnicas sean inviables en el área urbana, no obstante en el sector rural, todavía se siguen construyendo viviendas de un piso en tapia pisada y bahareque, en donde por lo general la mano de obra no calificada la ejecuta el propietario de la vivienda con el motivo de abaratar los costos de los jornales.

Según la caracterización de las técnicas constructivas de la tapia pisada y bahareque en el municipio de Ocaña, desarrollado mediante la aplicación de encuestas y entrevistas, se obtiene como resultado que el 53% de los encuestados concuerdan con que la poca percepción del uso de la tapia pisada y bahareque es debido a la dificultad para conseguir los materiales. El 41% de los encuestados afirman que la poca percepción de estas técnicas ancestrales depende de la falta de mano de obra calificada para este tipo de construcciones, y el 6% de los encuestados que las demoras en el proceso constructivo son las razones por las que estas técnicas no suelen ser comúnmente usadas.

A pesar de que existen manuales y normas que regulan la construcción y rehabilitación o reforzamiento de estructuras patrimoniales o construcciones en tapia pisada y bahareque, hace falta normas para la construcción de obras nuevas en tapia pisada, y para las distintas tipologías de construcciones en bahareque, debido a que la Norma NSR-10 solo incluye parámetros para construcciones nuevas pero en bahareque encementado, dejando por fuera las demás tipologías de bahareque, que también pueden representar buenas prestaciones estructurales y térmicas.

Referencias

Afanador et al. (2013). Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada. *Revista Facultad de Ingenieria.* 22(35). Pp. 47-59. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413940774004

Afanador y Salazar (2021). *Investigación sobre la innovación y evolución del sistema constructivo de la tapia pisada en Barichara comparado con otros países en los últimos veinte años*. [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio Institucional. https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/12327

Ahumada (2019). *Propuesta para el mejoramiento de las características físicas y mecánicas en la tierra empleada para la tapia pisada.* [Trabajo de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/db67fa6b-50d5-42ce-8150-0d98db2cd14d/content

Anónimo (2011). *La tapia pisada una técnica ancestral.* Barichara una tradición ecológica. https://reconstruyendotradicionecologica.wordpress.com/2011/10/31/hola-mundo/

Arango (1990). Manual de secado de la madera. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4888/Secado_madera.pdf?sequence=1.

Asociación Colombiana de Ingenieria Sísmica [AIS] (2001). *Manual de construcción Sismo Resistente de viviendas en bahareque encementado.* https://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrvbe/guadua_lared.pdf

Asociación Colombiana de Ingenieria Sísmica [AIS] (2004). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.* *https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Adobe_sistema_constructivo.pdf*

Bárbaro (2007). Transformación e industrialización del bambú. *Sustainable Technologies.* https://www.sustainable-technologies.eu/wp-content/PDF-articles/bambu-2.pdf

Bauluz del Rio y Barcena (1992). *Bases para el diseño y construcción con tapial.* (1ª ed.). Madrid: Centro de Publicaciones, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, D.L. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=236582

Carazas & Rivero (2002). *Bahareque Guía de construcción Parasísmica.* https://www.misereor.org/fileadmin/user_upload_misereororg/cooperation/es/construccion/guia-de-construccion-bahareque-parasismica.pdf

Cárdenas (2024). *Paredes en Bahareque como alternativa sostenible en la Ingeniería Moderna.* [Trabajo de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/f0f9fe5d-165e-4f7b-8c3a-66e0fa0f5880/content

Departamento de Agricultura de EE. UU. ([USDA], 2005). *Cálculo de la humedad del suelo por Tacto y Apariencia.* https://drive.google.com/file/d/1z4XutsyFrn_0-Xdgiq2_WMCEiQEflYh/view

Gaona & Gaona (2022). *Creación de una guía de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, para las construcciones en tapia pisada del centro histórico del municipio de Ocaña de Norte de Santander.* [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional. https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/1167

Gomaa et al. (2023). Automatización en la construcción con tierra apisonada para la industria 4.0: antecedentes, avances actuales y perspectivas de futuro. *Revista Journal of Cleaner Production.* Vol. 398. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/pii/S0959652623007278

Gómez (2018). *Consideraciones sobre la normalización de la arquitectura en tierra en Colombia.* [Trabajo de pregrado, Fundación Universitaria de Popayán]. Repositorio Institucional. https://fupvirtual.edu.co/repositorio/files/original/3df9239e84cc9b67ace0afe92131514ec9180830.pdf

Graciani (2015). Terminología asociada a la obra de tapia (s. XVI-XVIII). Evolución, ambigüedades y variantes semánticas. *ResearchGate.* https://www.researchgate.net/publication/292159555_GRACIANI_GARCIA_Amparo_Terminologia_asociada_a_la_obra_de_tapia_siglos_XVI-XVIII

Guerrero (2009). El Tapial, un sistema constructivo tradicional. *Foro Académico, 2.* https://revistas.inah.gob.mx/index.php/foro/article/view/4610

Guerrero & Lobaton (2022). *Análisis de precios unitarios de casas hechas en madera inmunizada para vivienda rural como base en avalúos por método de reposición*. [Trabajo de posgrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/99db3f9d-5a8b-4a45-ae7e-3af95b3d3e33/content

Jiang et al. (2024). Estudio experimental sobre las propiedades térmicas y de humedad de los edificios de tierra apisonada modificada en invierno. *Revista Building and Environment.* Vol. 258. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S0360132324004256

Jiménez y Martínez (2020). *Reducción de las dimensiones típicas de muros en tapia pisada mediante el aumento de la resistencia por medio de la hidrometría óptima y adiciones de cal.* [Trabajo de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/d7ae3373-d7b9-4fb9-81eb-26bb79816100/content

Jorquera (2020). Hacia una historia de la arquitectura y construcción con tierra en Chile, un país sísmico Gremium. *Editorial Restauro Compas y Canto S. A. C.V.* 7(E2). 62-79. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=684175692007

Kaminski et al. (2016). Guía de diseño para la vivienda de bahareque encementado. *INBAR Internacional Network for bamboo & Rattan.* *https://www.researchgate.net/publication/328724226_Guia_de_diseno_para_la_vivienda_de_bahareque_encementado*

Lizcano (2014). *Vivienda vernácula como alternativa sostenible "propuesta arquitectónica con tierra, paja, piedra, madera y materiales reciclados en el barrio Nidia de la ciudad San José de Cúcuta, Colombia.* [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander]. Repositorio Institucional. https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/2620

Lopez (s.f.). Rastros y rostros de las construcciones en tierra cruda. *ResearchGate.* https://www.researchgate.net/publication/237243398_RASTROS_Y_ROSTROS_DE_LAS_CONSTRUCCIONES_EN_TIERRA_CRUDA

Losini et al. (2023). Caracterización higrotérmica ampliada de tierra apisonada no estabilizada para la construcción moderna. *Revista Construction and Building Materials.* Vol. 409. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S095006182303622X

Muñoz (2010). *Tipificación de los sistemas constructivos patrimoniales de "Bahareque" en el Paisaje Cultural Cafetero de Colombia.* (1ª ed.). Editorial Blanecolor Ltda. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/64733/9789588280400.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Muñoz et al. (s.f.). *El "Estilo Temblorero" y el "Bahareque" en la formación universitaria: Arquitecturas patrimoniales con tierra en el paisaje cultural cafetero de Colombia.* Universidad de Florencia, Italia. https://flore.unifi.it/retrieve/e398c37c-1120-179a-e053-3705fe0a4cff/CONSTRUCCION%20CON%20TIERRA%20PARADISO.pdf

Núñez y Mejía (2018). *Análisis del comportamiento estructural de la técnica vernácula de muros en tapia pisada con inclusión de caña brava.* [Trabajo de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga]. Repositorio Institucional. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5181/digital_36384.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Perez J. (2020). *Análisis de precios unitarios de construcciones tradicionales en tapia pisada en Boyacá y Santander.* [Trabajo de posgrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/7ec3d66d-d340-432e-9d42-0aa9cd412aaa/content

Prado y Melo (2019). Descripción del uso de la tapia pisada con tierra estabilizada en Australia. *Revista Nodo.* 14(27). 63-72. https://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/166/135

Presidencia de la República de Colombia (2002). Decreto 052 de 2002. Por medio del cual se modifica y adiciona el Capítulo E del Decreto 33 de 1998. Diario Oficial 44.686 del 24 de enero de 2002. https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1011727

Quiñonez E. (s.f.). *Tapia Pisada.* Blog Saberes Patiamarillos Barichara. https://www.saberespatiamarillos.com/barichara-tapia-pisada

Rivero (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia *Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*. 20(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632007000200015

Rizo et al. (2021). El bahareque y el adobe como técnica constructiva sismo-resistente. *Revista Formación Estratégica.* 3(01). https://www.formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/46

Rotondaro et al. (2024). Marcos normativos de la arquitectura y construcción con tierra en Iberoamérica. *Red Iberoamericana PROTERRA. https://redproterra.org/wp-content/uploads/2024/04/Marcos-Normativos-de-la-Construccion-con-Tierra-en-Iberoamerica-ISBN-978-631-00-3034-0.pdf*

Sánchez (2007). La arquitectura de tierra en Colombia, procesos y culturas constructivas. *Revista apuntes.* 20(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-97632007000200006&script=sci_arttext

Sánchez y Vergel (2022). *Manual de interventoría técnica para la construcción con tapia pisada en fase constructiva para el municipio de Barichara, Santander.* [Tesis de posgrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional. https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/1165

SENA (2012). Construcción de muros en tapia y bahareque. https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/construccion_muros_tapia_bahareque.html#

Sen y Saha (2022). Investigación experimental y numérica de las características de resistencia mecánica de muros de tierra apisonada reforzados con fibra natural. *Revista Geotextiles y Geomembranas.* Vol. 50. pp 970-993. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S0266114422000668

Sepúlveda (2023). *Análisis de los criterios de interventoría técnica en el desarrollo de procesos constructivos de edificaciones en tierra.* [Tesis de posgrado, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional. https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/bitstream/handle/20.500.14167/3312/trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Silva et al. (2018). *La tapia pisada como técnica constructiva vernácula.* [Trabajo de posgrado, Universidad Santo Tomas, Bucaramanga]. Repositorio Institucional.https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/d00365ef-96ba-4718-a7c1-a9d834d88819/content

Suramericana S.A. (2020). *Construcción en bahareque, conocimiento para el desarrollo de capacidades. https://www.segurossura.com.co/empresasura/Documentacion%20Formacion/ficha-tecnica-estructuras-bahareque.pdf*

Tepale et al. (2020). Aproximación histórica a los orígenes de la construcción con tapia en México durante el siglo XVI. *Editorial Restauro Compas y Canto S. A.* 7(E2). 24-37. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=684175692004

Thompson et al. (2022). Una revisión de las pautas de construcción actuales para informar el diseño de casas de tierra apisonada en zonas sísmicamente activas. *Revista Ingenieria de la Construcción.* Vol. 54. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/pii/S2352710222006799

Vásquez (2003). *La calidad de las maderas y sus aplicaciones.* [Documento de trabajo, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín]. Repositorio institucional. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75281

Yamín et al. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies.* 20(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632007000200009

Yepes y Bedoya (2023). La construcción sostenible en el ámbito de la educación superior en Medellín, Colombia. El caso de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura (Bogotá),* 25(2). Pp. 10-22. https://www.redalyc.org/journal/1251/125176913015/