

Comportamiento de los aditivos naturales en revestimientos de tierra. Estudio con caseína, melaza y gel de plátano

Behavior of natural additives in earthen coatings. Study with Casein, molasses and banana gel

Cecilia López Pérez¹, María Lourdes Peralta²

1 Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Arquitectura y Diseño, Grupo GRIMET

2 Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería, Grupo Investigación y Desarrollo UTP

*Autor de correspondencia: lopez.c@javeriana.edu.co

RESUMEN. Dentro de la arquitectura en tierra, los revestimientos tienen como función proteger el muro de soporte contra los agentes atmosféricos que pueden llegar a afectarlo y degradarlo. Como componentes de la mezcla se usan tierra, estabilizantes, aditivos, aglutinantes y agua. Este artículo presenta los resultados de una investigación cuyo objetivo es caracterizar el comportamiento de los revestimientos en tierra en climas tropicales, con la adición de tres aditivos orgánicos: caseína, melaza y gel de plátano, para su uso como recubrimiento en obras de restauración y en nuevas construcciones. A las mezclas se les realizaron pruebas de campo y de laboratorio como proceso metodológico. Las pruebas de campo fueron realizadas en sitio o a pie de obra, pues no requieren de equipo especializado; las de laboratorio, evaluaron sus características sin aditivos, y luego con los aditivos en tres proporciones determinadas, y se buscó identificar su comportamiento frente a los factores ambientales a los que están expuestos los morteros. De acuerdo con los resultados de los ensayos de compresión, retracción y absorción de agua, se evidencia que los morteros con aditivo melaza se recomiendan para edificaciones nuevas, expuestas a un nivel de lluvia medio. No obstante, el uso del mortero no se recomienda para obras de restauración, ya que se evidenció una mayor pérdida de color en superficie. En cuanto a la contracción lineal, los resultados para los aditivos de gel plátano y caseína sugieren que tendrán poca aparición de fisuras o grietas.

Palabras clave. Ensayo, mezcla, normativa, patrimonio, tierra estabilizada.

ABSTRACT. Within earthen architecture, the coatings have the function of protecting the support wall from atmospheric agents that can affect it, degrading it. As components of the mixture, soil, stabilizers, additives, binders and water are used. The article presents the results of an investigation that aims to characterize the behavior of coatings on land, in tropical climates, with the addition of three organic additives: casein, molasses and banana gel, for use as a coating in restoration works. and in new constructions. As a methodology, field and laboratory tests were carried out on the mixtures. The field tests correspond to tests carried out on site, which do not require specialized equipment. In the laboratory, their characteristics were evaluated without additives, and then with the additives in three determined proportions, seeking to identify their behavior against environmental factors. to which mortars are exposed. According to the results of the compression, shrinkage and water absorption tests, it is evident that mortars with molasses additive are recommended for new buildings, exposed to a medium level of rain. However, the mortar is not recommended for restoration works, since a greater loss of color on the surface was evidenced. Regarding linear shrinkage, the results for the banana and casein gel additives suggest that they will have little appearance of fissures or cracks.

Keywords. Test, regulations, heritage, evidence, stabilized land.

Citación: C.T. López Pérez et al., "Comportamiento de los aditivos naturales en revestimientos de tierra. Estudio con caseína, melaza y gel de plátano", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 20, no. 1, pp. (39-48), 2024.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 01 de julio de 2023. **Recibido con correcciones:** 09 de octubre de 2023. **Aceptado:** 15 de diciembre de 2023.

DOI: <https://doi.org/10.33412/idt.v20.1.3867>

Copyright: 2024 C.T. López Pérez et al., This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

1. Introducción

El sector de la construcción produce anualmente gran cantidad de materiales y residuos que generan impactos al medioambiente. Hasta mediados del siglo XIX, la mayoría de los materiales que se usaban en construcción eran de origen natural o con transformaciones relativamente simples, lo que garantizaba que tuvieran un desgaste y una degradación que la misma naturaleza absorbía; en contraste, una de las grandes revoluciones a partir del siglo XX ha sido el nacimiento de materiales complejos, los cuales sustituyen a los naturales transformando sus características mediante procesos químicos.

Un informe de la Comisión Económica para América Latina [1] evidencia que el empleo de nuevos materiales y el incremento en su consumo ha triplicado la extracción de materiales naturales en las últimas cuatro décadas, lo que ha generado un aumento en el uso de combustibles fósiles, metales y materiales contaminantes, se prevé que estas prácticas agudizarán el cambio climático, aumentarán la contaminación atmosférica y reducirán la biodiversidad, conllevando al agotamiento de los recursos naturales.

El mismo informe evidencia la necesidad de buscar diferentes alternativas de materiales amigables con el medioambiente. Un material ecoamigable es la tierra cruda; es decir, esta no tiene ningún tipo de cocción, el secado de dicho material se realiza de forma natural a partir del calor emitido por el sol y el viento. Sin embargo, una de las limitantes del uso de la tierra como material de forma masiva en la construcción, de acuerdo con Tabares y otros [2] y Day [3], se asocia a problemas funcionales como: poca cohesión estructural, erosión y desintegración.

No obstante, para muchas poblaciones que se encuentran alejadas de los centros urbanos o con baja capacidad económica, la construcción en tierra es la única alternativa. Según el inventario de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, África y los Estados Árabes tienen entre 35 y 40 % de sus construcciones realizadas con tierra. América Latina, Asia Pacífico, Europa y América del Norte registran entre 15 y 25 % [4]

Para solucionar el problema a nivel estructural de la construcción en tierra, diferentes institutos de investigación como los de la Universidad de Kassel en Alemania, Craterre en Francia y la Pontificia

Universidad Católica del Perú, han dedicado recursos al conocimiento del tema. Estos centros tienen una trayectoria de más de veinte años en búsqueda de nuevas formas de reforzamiento de estas construcciones; sin embargo, un número importante de variables y combinaciones de este tipo de edificaciones aún están por estudiar. En lo relacionado con el uso de morteros para intervención de obras patrimoniales persisten las prácticas no apropiadas, como el uso del cemento, que generan más bien deterioros acelerados. [5]

A nivel internacional, la UNESCO, organismo encargado de velar por el patrimonio y la cultura a nivel mundial, recomendó desde mediados de los años setenta el empleo de técnicas tradicionales para la restauración de los monumentos y la vivienda cultural, incluyendo los revestimientos, debido a los serios deterioros causados por las intervenciones con nuevas técnicas y materiales. En este mismo sentido, a partir de 1985, el Consejo de Europa adoptó entre sus países miembros esta recomendación.

No obstante, han sido varios los factores que han impedido que las recomendaciones de la UNESCO hayan sido implementadas en las edificaciones. El primer factor se presenta en la compatibilidad de materiales. El segundo, el limitado conocimiento sobre la elaboración de las mezclas. El tercero, la carencia de estudios que determinen en forma precisa las características de las patologías que presentan. Otro inconveniente de la rehabilitación de los morteros es su limitada capacidad de resistencia a los agentes atmosféricos. Este es el argumento más usado para que a las mezclas tradicionales se les añadan nuevos productos como el cemento o resinas plásticas, que en muchos casos alteran el comportamiento no solo del mortero sino del estrato de soporte. [6] [7]

El último factor se relaciona con los pocos ensayos normalizados dirigidos a morteros ecológicos, que reglamenten estos desarrollos dentro de la construcción. En buena medida se da esta situación porque el material no es homogéneo, pues se han encontrado estudios e investigaciones desarrolladas en países con estaciones y no en áreas tropicales que avalen estos acabados constructivos y sus componentes.

El estudio de Craterre [8] y Minke [9] relaciona el uso de aditivos orgánicos en las mezclas de los revestimientos por parte de las comunidades quienes les otorgan características hidrófugas. El conocimiento

sobre su uso se ha hecho de forma verbal y empírica, sin un respaldo científico o pruebas de laboratorio que sustenten el comportamiento que popularmente se le asigna.

El objetivo de esta investigación es el de caracterizar el comportamiento de los revestimientos en tierra, en climas tropicales, con la adición de tres aditivos: caseína, melaza y gel de plátano, para su uso como recubrimiento en obras de restauración y en nuevas construcciones.

2. Materiales y Métodos/Metodología

En este apartado se describen las características de los materiales empleados en las mezclas, las actividades realizadas, la metodología, normas usadas y la evaluación realizada a los revestimientos.

2.1 Materiales

La caseína y la melaza son comúnmente empleadas en áreas donde se tiene ganado y producción de leche, ambas se encuentran de forma industrial en cualquier expendio de productos agrícolas o de construcción. La caseína es un subproducto derivado de la leche, en base agua que se usa para decorar superficies. La melaza se trabaja en forma líquida, para este proyecto, que corresponde a una melaza grado 2, de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 587 [10], que se encuentra recomendada para la elaboración de alimentos para animales.

En cuanto al vástago de plátano, por ser un desecho de producción agrícola, es fácil de obtener en áreas rurales de clima medio a cálido. Craterre [8] y Neumann, Heredia y otros [11] documentan su uso en zonas tropicales y rurales. Este se obtiene a partir del bagazo o vástago de la planta de plátano que es un residuo de la producción del banano. El bagazo se cocina para obtener un jugo natural que se adiciona a la mezcla de tierra mejorando sus propiedades hidrofugas. El agua para la elaboración de las probetas cumple las normas NTC 3459 [12] y AASHTOT T 26 [13].

A esta mezcla se le adiciona fibra, para seleccionarla se tiene en cuenta la disponibilidad del material, tanto en climas fríos como cálidos; además la fibra es un componente de bajo costo. Por ello, se escogió la cascarilla de arroz, por su disponibilidad, pues actualmente se emplea como abono de jardín y en zonas productoras de arroz.

2.2 Dosificaciones

Basados en estudios de Becerra [14] y Craterre [8] se recomienda realizar una mezcla base formada por tierra arcillosa, arena, fibra y “cal total” con las proporciones que se indican en la Tabla 1, la cual ha sido probada para climas tropicales. Las medidas se expresan en partes.

Tabla 1. Mezcla base

Material	Tierra arcillosa	Arena	Fibra	Cal Total
Dosificación	1	3	1,5	Hasta obtener la plasticidad que permita su aplicación

Se resalta que los estudios mencionan varios parámetros comunes para la realización de la mezcla para revestimientos: La tierra debe estar seca y cernida por la malla No. 40 (aproximadamente 0.5 mm). Una vez se realice la mezcla se debe dejar reposar un tiempo mínimo de 12 horas. La mezcla debe estar en estado plástico.

A partir de la mezcla base descrita, se trabajó con cuatro tipos de dosificaciones: Mezcla sin aditivo y mezcla base con tres porcentajes distintos de aditivo en proporciones de 3, 15 y 25 % del peso seco total. Para determinar el porcentaje de aditivo se tomó como referencia el documento de Proterra [15] donde se determina que los aditivos se pueden añadir a la mezcla con un mínimo de 3 % y un máximo de 25 % del volumen. Se tomaron estos dos valores como proporción mínima y máxima y para el tercer porcentaje se tomó un valor medio de 15 %.

2.3 Programa experimental

2.3.1 Pruebas de campo

A las mezclas se le pueden realizar pruebas de campo y pruebas en laboratorio. Las pruebas de campo corresponden a pruebas realizadas en sitio o a pie de obra, que no requieren de equip vo especializado. Su función es la de probar distintas tierras y de acuerdo con los resultados se selecciona la más adecuada para su uso como revestimiento. Para realizar las pruebas de campo a las mezclas, se siguió el procedimiento descrito en el “Manual de Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra” [16].

Los resultados obtenidos en las pruebas de campo pueden ser vinculados con el comportamiento de las pruebas experimentales, como lo evidencia la Tabla 2.

Tabla 2. Ensayos de campo

Identificación	Ensayo
Actividad química	Ensayo de olor
Granulometría	De la bola
Contracción	Cinta
Cohesión	Frotado y lavado
Plasticidad	Rollo
Resistencia	Pastilla

Para la prueba de olor se tomaron muestras de las mezclas y se humedecieron de acuerdo con lo descrito por Minke [9] hasta formar una pasta, luego se procedió a hacer la prueba de olor a cada una. El autor menciona que la tierra es inodora, por lo que si se presenta olor a moho es porque contiene humus o materia orgánica en descomposición.

En la prueba de bola con el barro ligeramente húmedo se forma una bola de 4 a 5 cm de diámetro, la cual se dejó caer de una altura de 1.00 m. Si se desmoronaba en el piso, significa que se trataba de un barro arenoso que no se debe utilizar en el mortero. Si la bola se deformaba mostrando pocas o ninguna fisura, quiere decir que el barro tiene alto contenido de arcilla y debe ser mezclada con arena o partículas gruesas.

Para la prueba de cinta, se tomó como referencia la norma DIN 18952 [17] citada por Minke [9]. Entretanto, para calcular la contracción se utilizó la siguiente fórmula (1):

$$K = \frac{Lb - Ls}{Lb} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

K = Contracción

Lb= Longitud de la barra húmeda

Ls= Longitud de la barra seca

Para la prueba de lavado y frotado se coloca una capa sobre las manos formando un guante. Al realizar el lavado de manos, el modo en el que se elimina indica su composición. Los suelos con grandes trazas de arena son fáciles de lavar; los suelos limosos son pulverulentos y de difícil lavado; los suelos arcillosos son difíciles de

lavar, debido a que dejan restos de coloración rojiza en la piel.

La prueba de rollo indica la cantidad de arcilla (material cohesivo) que contiene la tierra. Para realizarla se debe tomar una muestra de tierra y llevarla a un estado plástico formando un rollo de aproximadamente 15 cm de largo y 2 cm de grueso. El rollo no debe presentar muestras de fisuras o resquebrajamiento que indiquen presencia de partículas gruesas.

La prueba de pastilla indica el tipo de la tierra en función de su resistencia; para esta prueba se prepara una muestra de suelo en estado plástico y se llena un molde de 60 mm de diámetro por 10 mm de espesor. Si al romperla se pulveriza entre los dedos, indica baja cohesión, y que es un suelo arenoso con poca arcilla no apto para los revestimientos.

2.3.2 Ensayos en laboratorio

Para establecer el uso de los revestimientos con aditivos naturales como material de construcción, se establece como procedimiento evaluar primero sus principales características sin aditivos, y luego, añadir aditivos en las tres proporciones determinadas, buscando identificar su comportamiento frente a los factores ambientales a los que están expuestos los morteros.

- **Normas de referencia**

Luego de la revisión de resultados obtenidos en estudios previos, se definieron como base para el análisis de resultados de la presente investigación, los datos relacionados en la Tabla 3. Estas normas y procedimientos incluyen referentes internacionales reconocidos como estándares, además de sus equivalentes normas en el país en el que se encuentra el material del caso de estudio.

Tabla 3. Normas de referencia

Prueba	Norma
Arena	
Distribución granulométrica	INVE 213-13 [18] (ASTM C 131-14)
Peso unitario	INVE 217-13 [19] (ASTM C29/C29M-17a)
Densidad y absorción	INVE 222-13 [20] (ASTM 128-15)
Gravedad específica	INVE 128-13 [21] (ASTM 128-15)
Tierra arcillosa	

Prueba	Norma
Límites de Atterberg	INVE 125-13 [22], INVE 126-13 [23] e INVE 123-13 [24] (ASTM D 4318-17)
Morteros	
En estado fresco	
Fluidez del mortero	INVE 325-07 [25] (ASTM C-230/ C 230 M – 98)
En estado Endurecido	
Flexión	INVE 324-07 [26] (ASTM C 348 –14)
Compresión	INVE 323-13 [27] (ASTM C 109/C 109M –16)
Retracción	DIN 189-52 [17]
Goteo	Procedimiento descrito por Minke [9], Romeral; Guinea; Salas [7]
Absorción de agua por capilaridad	ASTM C 67-14
Intemperismo	Procedimiento descrito por Romeral; Guinea; Salas [7]
Pruebas químicas y fraguado	Referenciado por López y Celis [28]

- **Hidratación**

Un factor inicial que se debe tener en cuenta dentro del proceso de ejecución de revestimientos, es el tiempo de reposo que debe tener la mezcla. Neves [16], Minke [9] y Schmidt [29] mencionan la importancia de hidratar la mezcla durante doce horas, como mínimo, con el fin de obtener mayor capacidad de trabajo, disminuir la retracción, incrementar la cohesión del barro y facilitar el proceso de mezcla.

- **Análisis de arena**

A la arena se le realizan pruebas de distribución granulometría, peso unitario, densidad y absorción y gravedad específica.

- **Análisis de tierra arcillosa**

A la tierra arcillosa se le realizan los límites de Atterberg, de acuerdo con las normas INV E 125-13 [22], INVE 126-13 [23]y INVE-123-13 [24].

- **Ensayos fisicoquímicos**

A nivel químico, a la tierra y a la arena se le realizaron las pruebas en laboratorio para determinar la presencia de

carbonatos, sulfatos y cloruros. Estos compuestos pueden generar una baja capacidad aglutinante produciendo deterioro en un mortero. Inicialmente, se hizo la comprobación de reactivos y las pruebas con reactivos químicos de acuerdo con lo descrito por López y Celis [28].

- **Ensayos en estado fresco (húmedo)**

Los ensayos en estado húmedo de los morteros permiten analizar el grado de consistencia que tiene la mezcla y comprobar si la dosificación de los componentes admite la trabajabilidad de ésta. En esta fase se determina el contenido de humedad de la mezcla y la fluidez.

- **Contenido de humedad**

Para determinar la humedad con la que se trabajan los revestimientos, primero, se establece el contenido de humedad natural de la mezcla base. La fórmula empleada (2) fue:

$$W = \left[\frac{y_{ap} - y_p}{y_p} \right] * 100 \quad (2)$$

Donde:

W= Humedad en %

y_{ap}= Peso específico aparente

y_p= Peso específico aparente seco

- **Fluidez de la argamasa**

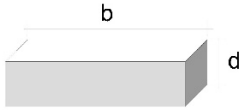
Con esta prueba se busca evaluar si el contenido de agua del mortero llega a un valor de escurrimiento óptimo para su utilización como revestimiento. El valor de escurrimiento es una medida de humedad que le proporciona deformabilidad al mortero si se somete a un esfuerzo, y que permite su trabajabilidad. Para el desarrollo de los ensayos se tomó como base las instrucciones de la Norma INVE-325-07 [25] utilizando la mesa de flujo.

- **Ensayos en estado endurecido**

Los ensayos permiten analizar la capacidad que tienen las mezclas para soportar esfuerzos y deformaciones; y a su vez, establecer cómo pueden influir las tensiones de carga mecánica en la durabilidad y adherencia a los soportes. El comportamiento mecánico con y sin aditivos permite la comparación entre los morteros, siendo un dato necesario en cualquier producto que se desee aplicar dentro de una construcción, de allí la importancia de tener este aporte para su implementación dentro de una edificación de restauración o vivienda nueva.

- **Flexión**

El procedimiento del ensayo se realiza de acuerdo con lo establecido en la norma INVE-324-07 [26] y las siguientes fórmulas (3) y (4).



$$fb = \frac{M}{S} \quad (3) \quad S = \frac{bd^2}{6} \quad (4)$$

Donde:

fb = Esfuerzo de flexión

b= Ancho de la sección transversal

M= Momento flexionante

d= Peralte de la sección transversal

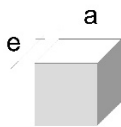
S= Módulo de sección

Como datos de referencia se establecen los relacionados en la norma DIN 18952 [17] y los trabajos realizados por Minke [9] y González Serrano [30].

- **Compresión**

El ensayo de compresión simple se realiza para establecer la resistencia o esfuerzo a compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación, utilizando una probeta en forma cuadrada.

El procedimiento para llevar a cabo las pruebas se realiza de acuerdo con lo determinado por la norma INVE-323-13 [27]. Para determinar la carga a compresión se usó la siguiente fórmula (5):



$$fc = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Donde:

fc = esfuerzo resistente promedio a compresión

P = fuerza axial de compresión

A = área de la muestra a compresión = a*e

- **Retracción/Contracción**

La retracción en un mortero es la reducción de volumen que sufre el mortero, debido a la evaporación

del agua y del amasado que se produce antes, durante y después del fraguado. En cuanto a la contracción, esta determina la variación de la longitud de la muestra del mortero al disminuir el contenido de humedad cuando pasa del límite líquido hasta el límite de contracción. La contracción permitirá, al igual que en la retracción, determinar las posibles fisuraciones o alteraciones con respecto a la longitud original. Para este estudio se tomó como modelo el referenciado por González Serrano [30], ya que permite una optimización del material y uso de la cámara de curado.

- **Absorción de agua**

Los ensayos de evaluación frente al agua consisten en pruebas de caracterización que permitan establecer parámetros de respuesta de los revestimientos afectados por humedad; así como el grado de permeabilidad y la estabilidad dimensional que se presenta después del secado; todas estas pruebas son relevantes como elementos de protección. Para establecer el comportamiento de los morteros afectados por el agua, se realizan tres tipos de ensayos: goteo, absorción de agua por capilaridad y prueba de intemperismo.

- **Goteo**

Por lo general, los morteros de tierra se encuentran expuestos a la lluvia, siendo sensibles a la erosión si se encuentran en estado húmedo; por lo que se requiere conocer la resistencia al escurrimiento del agua. El ensayo busca establecer el comportamiento de la mezcla frente a un goteo permanente al que se puede ver expuesto la mezcla por lluvia continua. La prueba se realiza sobre una sola cara. Para el ensayo de goteo se tomó como referencia lo reportado por Romeral y otros [7], Castilla [6] y Minke [9].

- **Absorción de agua por capilaridad**

Los parámetros de respuesta de las diferentes dosificaciones, cuando son afectadas por la humedad de succión de agua por capilaridad, lo que determina el grado de porosidad y permeabilidad del mortero, así como la estabilidad dimensional que va a tener durante el proceso de secado; también permite establecer cuál de las mezclas de morteros absorbía más agua en el mismo periodo de tiempo. Como referencia para el ensayo se tomó lo reportado por Gonzalo Sánchez [31] sobre el uso de la norma UNE-EN 1015-18 [32]. mayor cantidad de agua absorbida se relaciona con una mayor porosidad. La prueba permite establecer

- **Intemperismo**

Además de los ensayos que se plantean en el ámbito del laboratorio, se programaron pruebas de desgaste en exterior, como método de comprobación de la resistencia de las probetas con diferentes dosificaciones por agentes atmosféricos como la lluvia natural y la luz solar.

Para las pruebas de intemperismo se optó por construir dos grupos de muestras para ubicarlas en climas distintos. El grupo uno se dejó a una temperatura promedio de 13.5°C, clasificado como un clima frío con una humedad que oscila entre 77 y 83 % y una altitud de 2600 msnm. El grupo dos se dejó en una temperatura que oscila entre los 22 y 32°C, clasificado como un clima cálido con una humedad entre 21 a 74 % y una altitud de 710 msnm. Las probetas se dejaron expuestas a temperatura ambiente durante doce meses, estaban ubicadas a 45° con respecto a la horizontal, y orientadas en sentido oriente-occidente donde se observó una mayor radiación solar. El tiempo de radiación solar, tanto para el grupo uno como el dos, fue de 12 horas en promedio al día.

Para las pruebas de intemperismo en morteros de tierra cruda no hay una norma establecida. Trabajos como los de Minke [9], González Serrano [30], López y Celis [28] y Romeral y otros [7] se han realizado como forma de comparar el comportamiento de los revestimientos probados en laboratorio frente a los expuestos a ambientes atmosféricos y resistencia al paso del tiempo.

- **Prueba de fraguado**

Para determinar la consistencia de fraguado de un mortero, existe el método no destructivo de análisis mediante el uso de Fenolftaleína; con ello se determina el nivel de carbonatación por efecto del medio ambiente [28].

- **Color/Luminancia**

Otra de las cualidades que poseen los morteros y que se evalúa dentro de la presente investigación es el color, para ello, se realizan pruebas de luminancia. Al igual que la prueba de goteo, el registro solo se realiza sobre la superficie expuesta permanentemente a la luz.

Cuando se puede determinar cuánta luminancia (luz visible) recibirá el revestimiento se puede establecer qué grado de cambio de color puede sufrir este. A mayor luminancia mayor cambio de color por destrucción radiante [33].

Para el ensayo que ayude a determinar los diferentes grados de matiz de los revestimientos y los valores HSL (Hue, Saturation and Lightness), se utilizó un analizador de color portátil (RGB-1002 - Lutron Electronic) equipado con un sensor externo que tiene una geometría de medición de color de 45°/0°.

3. Resultados y discusión

3.1 Pruebas de campo

Las pruebas de campo mostraron que la composición y características básicas del material lo hacían apto para ser empleado en la construcción.

3.2 Ensayos de laboratorio

La distribución granulométrica de la arena mostró que estaba compuesta en un 7 % de gravas, un 78.5 % de arena y un 14 % de limos que indicaban a un suelo muy limoso. Los resultados de los Límites de Atterberg realizados a la tierra corresponden a una arcilla muy limosa, con una plasticidad media y aceptable para realizar los distintos morteros.

Los análisis a nivel físico-químico no evidenciaron la presencia de carbonatos, sulfatos y cloruros, puesto que los materiales eran aptos para su uso en los morteros para los revestimientos.

3.2.1 Resultados en estado húmedo

A las diferentes mezclas de morteros se les estableció el contenido de humedad natural. El rango de humedad hallado fue del 25 %, considerado aceptable de acuerdo con los trabajos previos de González Serrano [30] y Minke [9]. Se concluye que, en estado húmedo, el valor de escurrimiento corresponde a un estado plástico con lo que se garantiza la trabajabilidad del revestimiento.

3.2.2 Resultados en estado seco o endurecido

- **Ensayos a flexión**

Los resultados evidencian que después de un 3 % de aditivo no se obtiene mejora a flexión con los aditivos. El esfuerzo resistente promedio a flexión a los veintiocho días de los tres aditivos muestra que el aditivo que mejor comportamiento presenta es el de la melaza de 0.51 N/mm², pues supera los mínimos aceptables para morteros predosificados que han sido ensayados en estudios previos, es de 0.38 N/mm².

- **Ensayo a compresión**

Los ensayos de compresión determinan que todos los aditivos contribuyen a aumentar la capacidad a compresión del revestimiento, si se compara con el mortero sin aditivo; siendo las muestras con melaza las que presentaron las mayores resistencias a compresión. Todas superan el valor mínimo aceptado por Craterre, de 0,2 N/mm², y la mezcla que contiene un 25 % de melaza supera el mínimo establecido por la Norma DIN 18952 [17] de 2 N/mm².

- **Ensayo de retracción/contracción**

El comportamiento de las muestras con caseína y gel de plátano, al tener la reducción más baja en sus dimensiones, indica que estos morteros son los más estables de los analizados; además, al reducirse la contracción también se disminuye considerablemente la probabilidad de que aparezcan fisuras por cambios de humedad en el mortero durante su vida útil.

- **Ensayos de goteo**

De acuerdo con la clasificación propuesta en el trabajo de Romeral, Guinea y Salas [7] acerca del comportamiento alto, medio o bajo para la prueba de goteo, todas las probetas presentaron un comportamiento alto, ya que ninguna presentó perforación, ni fisuras, ni agrietamientos durante las seis primeras horas, ni después de veinticuatro horas de ensayo de goteo.

Las probetas que contenían melaza al 3 y al 15%, necesitaron un mayor tiempo que las demás para llegar a la misma condición de saturación por goteo. Este comportamiento indica que las mezclas de melaza absorben de manera más lenta el agua, repeliendo mejor la humedad. Igualmente, los resultados indican que en porcentajes superiores al 15 % no se obtiene un mejor comportamiento en el tiempo de absorción de agua por goteo, pues la mezcla pierde cohesividad de los componentes granulares, disminuyendo la interacción para la cual diseñó el mortero.

- **Influencia de absorción de agua por capilaridad**

Los resultados evidencian que el mortero que más absorbe agua es el de caseína al 25 %. Esto se debe a que cuando se supera el 15 % de aditivo se pierde la cohesividad y la estabilidad estructural necesaria para resistir los efectos del agua.

- **Influencia del intemperismo**

Las probetas del grupo 1 que se dejaron expuestas en un clima frío presentaron ninguno o pocos cambios de color, microfisuras, fisuras, grietas, derrumbamiento parcial, tampoco se evidenciaron la aparición de manchas. Las probetas del grupo 2 expuestas a un clima cálido presentaron un comportamiento homogéneo sin microfisuras, fisuras, grietas, derrumbamiento parcial y aparición de manchas.

- **Prueba de color/luminancia**

Al calcular el valor promedio de la variación de luminancia para el grupo 1, indica que el mortero que menor cambio de color tiene es la de melaza; es decir, tendrá un color más estable; mientras que la mezcla con caseína es la que mayor variación presenta en cuanto a color, demostrando que será la mezcla que mayor cambio de color presentará por deterioro fotoquímico. El cálculo del valor promedio de la variación de luminancia para el grupo 2 sugiere que las mezclas que más pierden color son las que contienen gel de plátano y melaza, mientras que las que contienen caseína se mantiene mejor el color.

4. Conclusiones

De acuerdo con los ensayos de compresión, retracción y absorción de agua se evidencia que los morteros con aditivo melaza se recomiendan para edificaciones nuevas, expuestas a un nivel de lluvia medio.

En cuanto a la contracción lineal, los resultados para los aditivos de gel plátano y caseína sugieren que, una vez aplicado el mortero sobre una superficie, en una nueva edificación, se tendrá poca aparición de fisuras o grietas.

Si la edificación que se está restaurando o construyendo tiene una exposición a alto nivel freático no se recomienda la aplicación de morteros con caseína o gel de plátano en porcentajes mayores a 25 % de aditivo ya que presenta una mayor absorción de humedad.

El estudio realizado con la prueba de fraguado valida lo desarrollado por estudios previos en cuanto a mantener un espesor no superior a 2 cm del revestimiento, sin importar la superficie de aplicación si es en obra nueva o en restauración.

El ensayo de color resultó relevante para los morteros. El mortero de melaza no se recomienda para obras de restauración, porque se evidenció una mayor pérdida de color en superficie, especialmente en regiones con alta luminancia, por lo que cambia el color, perdiéndose la

estética que se desea como acabado de una edificación patrimonial.

De los tres aditivos empleados, el que mejor comportamiento tiene respecto a los morteros sin aditivos es el de melaza, ya que presenta mayor resistencia a la compresión, reduce las dilataciones y la erosión.

Como recomendación, durante el desarrollo de esta investigación se hizo evidente la necesidad de ampliar y complementar con nuevas líneas de trabajo. Entre esas, una línea de investigación debe ser dirigida a comparar el comportamiento del mortero con aditivos químicos que ofrece el mercado. Otra línea puede desarrollarse a partir de la base de datos establecida, para determinar el comportamiento frente a otros factores como sismos, sales, erosión, adherencia, impacto, fuego, calor, comportamiento térmico y acústico, compatibilidad con otros materiales. Una línea complementaria sería el uso de morteros con otros aditivos naturales y fibras.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Universidad Tecnológica de Panamá y al Departamento de Arquitectura y la Vicerrectoría de Investigación de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, por el apoyo para el desarrollo del estudio presentado.

REFERENCIAS

- [1] Comisión Económica para América Latina (CEPAL), «La extracción mundial de materiales se triplicó en cuarenta décadas y agudiza el cambio climático y la contaminación atmosférica,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.cepal.org/es/comunicados/la-extraccion-mundial-materiales-se-triplico-cuatro-decadas-agudiza-cambio-climatico-la>.
- [2] A. Tavarez, A. Costa y H. Varum, «Common Pathologies in composite adobe and reinforced concrete constructions,» *Journal performance of Constructed facilities*, pp. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)cf.1943-5509.0000200](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)cf.1943-5509.0000200), 2012.
- [3] R. Day, «Performance of historic adobe structure,» *Journal Performance of Constructed Facilities*, pp. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(1993\)7:3\(164\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(1993)7:3(164)), 1993.
- [4] UNESCO, *Inventario de arquitectura en tierra*, Nueva York: Craterre-Ensag, 2012.
- [5] G. Minke, *Revoques de barro*, Cali, Colombia: Editorial Merlín ID, 2013.
- [6] F. Castilla, *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*, Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [7] J. Romeral, M. Guinea y J. Salas, «Primeros resultados del trabajo de investigación sobre la tierra como material de construcción, en el IETcc,» *Informes de la construcción Vol. 37, No. 377*, pp. 5-22, 1986.
- [8] Craterre, *Recettes traditionnelles & classification des stabilisants d'origine animale ou végétale*, Grenoble, Francia: Craterre, 2011.
- [9] G. Minke, *Manual de construcción en tierra*, Uruguay: Editorial Fin de Siglo, 2008.
- [10] NTC-587-03, *Industrias alimentarias y melaza de caña*, 2003.
- [11] J. Neumann, E. Heredia, J. Bariola y P. Mehta, *Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas*, Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 1986.
- [12] NTC-3459, *Agua para la elaboración de mezclas*, 2001.
- [13] AASHTOT T 126, *Standard method of test for quality of water to be used in concrete*, 1990.
- [14] O. Becerra, *Taller de acabados arquitectónicos con arcillas andinas*, Palmira, 2017.
- [15] Proterra, *Técnicas mixtas de construcción con tierra*, s.f: Proterra, 2003.
- [16] C. Neves, O. Borges y R. Rotondaro, «Selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra,» 2009. [En línea]. Available: http://redproterra.org/index.php?option=com_content&task=view&id=3&Itemid=1&lang=es.
- [17] DIN-18952, *Preparación de muestras de barro, plasticidad normalizada, ensayo de retracción y compresión*, 1971.
- [18] INVE-213-13, *Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos*, 2013.
- [19] INVE-217-13, *Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto*, 2013.
- [20] INVE-222-13, *Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino*.
- [21] INVE-128-13, *Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral*, 2013.
- [22] INVE-125-13, *Determinación del límite líquido de los suelos*, 2013.
- [23] INVE-126-13, *Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos*, 2013.
- [24] INVE-123-13, *Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos*, 2013.

- [25] INVE-325-07, *Fluidez de morteros (mesa de flujo)*, 2007.
- [26] INVE-324-07, *Resistencia a la flexión de morteros*, 2007.
- [27] INVE-323-13, *Resistencia a la compresión de morteros*, 2013.
- [28] C. López y C. Celis, «Determinación de fraguado de morteros de cal mediante fenolftaleína.» *Memorias III Congreso de arquitectura y construcción con tierra*, pp. 23-33, 2010.
- [29] U. Schmidt, Buena tierra. Apuntes para el diseño y construcción con adobe, Quito, Ecuador: CIDAP, 2001.
- [30] A. M. González, *Revocos de tierra cruda. Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcillas en construcción*, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2015.
- [31] V. Gonzalo, *Morteros de barro estabilizados con fibras de paja, esparto y sisal para su uso como revestimientos*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2012.
- [32] UNE-EN-1015-18, *Métodos de ensayo de los morteros para albañilería*, 2003.
- [33] Konika-Minolta, «Como la iluminación afecta las obras de arte en los museos,» 2018. [En línea]. Available:
<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2015/05/como-la-iluminacion-afecta-las-obras-de-arte-en-los-museos/>.