

Effect of admixture Cabuya polymer on the water resistance of earth blocks for building construction

Verónica Benites, Ingeniera Civil¹; Jenny Sánchez, Ingeniera Civil²; Gaby Ruiz, Mgtr. ²

¹Profesional independiente, Perú, verobz08@gmail.com

²Universidad de Piura, Perú, jenny.sanchez@udep.pe, gaby.ruiz@udep.pe

Abstract— *This research evaluates the effect of the Cabuya admixture (Furcraea andina) in water resistance of traditional earth blocks. The samples were tested under rain and flood conditions through non-standard tests, and the mechanical properties were also evaluated through compressive and indirect tensile standard tests. The results indicate that the water resistance of earth blocks increases significantly, and the mechanical properties in a smaller proportion only.*

Keywords— *Natural polymers, Earthen construction, Earth blocks, Stabilization with polymer, Water resistance, Durability, Sustainable construction*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.59>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

Efecto del extracto de *Cabuya* en la resistencia al agua del bloque de adobe para edificación

Verónica Benites, Ingeniera Civil¹; Jenny Sánchez, Ingeniera Civil²; Gaby Ruiz, Mgtr.²

¹Profesional independiente, Perú, verobz08@gmail.com

²Universidad de Piura, Perú, jenny.sanchez@udep.pe, gaby.ruiz@udep.pe

Resumen— La presente investigación evalúa el uso del extracto de *Cabuya* (*Furcraea andina*) como estabilizador del adobe tradicional frente a la acción del agua. La resistencia al agua se evaluó mediante dos ensayos no normalizados: la prueba del chorro de agua y el ensayo de inmersión. También se evaluó la resistencia mecánica a través de la resistencia a la compresión simple y a la flexión. El extracto de *Cabuya* se dejó reposar por 10 días antes de su incorporación al agua de mezcla para la fabricación de los adobes. Los resultados indican que la resistencia a la acción de la lluvia y a la inundación del adobe estabilizado mejora notablemente respecto al adobe sin estabilizar, aumentando ligeramente las propiedades mecánicas, especialmente la resistencia a la flexión. El extracto de *Cabuya* puede ser usado eficientemente en la fabricación de bloques de adobe resistentes a la acción del agua en edificación.

Palabras clave— Polímeros naturales, bloque de adobe, estabilización, resistencia al agua, durabilidad, construcción sostenible.

I. INTRODUCCIÓN

El adobe consiste en un bloque de tierra sin cocer, con o sin fibras naturales, que se conforma manualmente y sirve para la construcción de muros de albañilería. El adobe es usado para la construcción en todo el mundo debido a su disponibilidad y sencilla tecnología constructiva, ofreciendo un bajo costo de producción, a lo que se añade su buen desempeño como aislador acústico y térmico y un bajo impacto ambiental [1].

Sin embargo, entre las principales desventajas de este material se encuentra su limitada durabilidad, debido fundamentalmente a su afinidad con el agua, lo cual reduce su resistencia mecánica y contribuye con su desintegración. Esta limitación, sumada al creciente desarrollo de otros materiales como el concreto, han ocasionado que las técnicas constructivas con adobe queden relegadas en su uso.

Se estima que alrededor del 50 % de la población en los países en desarrollo, como Afganistán, Bangladesh, Guatemala, India, Irán, Pakistán, Turquía, y en el caso de Sudamérica, Perú, viven en casas de tierra [2]. La mayor parte de estas viviendas suele ubicarse en zonas rurales donde, por lo general, la población cuenta con escasos recursos y por la ubicación geográfica, es común que se vean afectadas por inundaciones del tipo pluvial.

El proceso de adición de otros materiales para modificar las propiedades del adobe se conoce como estabilización y busca principalmente incrementar la durabilidad y las propiedades mecánicas, siendo objeto de estudio de numerosos investigadores [3].

Diferentes materiales inorgánicos, como el cemento, la cal, el yeso y el asfalto, han sido estudiados como estabilizadores del adobe en la mejora de propiedades resistentes frente a la humedad [4]-[6] y más recientemente se han usado polímeros naturales. Por ejemplo, Vargas et al. [7] utilizaron como polímeros sustancias obtenidas a partir de hojas de tuna, hojas y tallos de plátano y vainas del algarrobo; Sánchez [8] evaluó la estabilización con goma de tuna, clara de huevo y vaselina junto con microfibras de papel en grouts de barro; Galán et al. [3] realizaron pruebas incorporando alginato, un polímero natural obtenido de las paredes celulares de las algas pardas.

Aguilar et al. [9] experimentaron con un biopolímero comercial llamado *Quitosan* para conocer su efecto en la resistencia al agua y resistencia mecánica del adobe, obteniendo resultados positivos para ambas propiedades. Asimismo, Nakamatsu et al. [10] utilizaron un polímero derivado de algas llamado carragenano, que al incorporarlo a la mezcla durante la fabricación del adobe mejora la impermeabilidad, la resistencia a la erosión, la resistencia a la tensión y a la compresión. En ambos se verificó que la incorporación del polímero en el agua de mezcla durante la fabricación del adobe es mucho más eficiente que su aplicación como cobertura superficial después de secado.

La mejora del adobe con polímeros naturales autóctonos es una alternativa sostenible y ambientalmente amigable que puede favorecer la mejora en la calidad de vida en zonas rurales [3], [7], [9], [10]. En esta investigación se evalúa el efecto de la incorporación del extracto de *cabuya*, dejado en reposo durante 10 días, en la estabilización de adobes para muros de albañilería. Se evaluó la resistencia al agua a través de dos ensayos no normalizados: el chorro de agua y el de inmersión, y adicionalmente, el comportamiento mecánico a través de la compresión simple y la flexión.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Caracterización de los materiales

1) Adobe artesanal

El suelo con el cual se elaboraron las muestras de adobe para los ensayos se obtuvo a partir de adobes artesanales procedentes del distrito de Sapolilca, provincia de Ayabaca, departamento de Piura. Estos fueron disgregados con ayuda de una máquina trituradora. El suelo se pasó por el tamiz N°4 para separar la arena de los finos y se separó la fibra.

Mediante ensayos de granulometría y límites de Atterberg se verificó que el suelo presentaba un 65 % de finos arcillosos y un 35% de arena fina a media. Los finos fueron clasificados como arcilla de baja plasticidad arenosa (CL), con un límite

líquido (LL)=27%, un límite plástico (LP)=15% y un índice plástico (IP)=12%.

La fibra encontrada en los adobes correspondió con cáscara de arroz. La cáscara de arroz se caracteriza por su forma de canoa, superficie rugosa y un color amarillento; su longitud varía entre 8 a 10 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho. De acuerdo con su tamaño, una cascarilla pesa entre 2.5 y 4.8 mg [11]. Este material se incluye con el propósito de disminuir el proceso de fisuración por contracción de secado en el adobe.

2) Preparación del polímero

Como polímero se usó el extracto de cabuya (*Furcraea andina*). Esta planta pertenece a la familia de las agaváceas y crece de manera silvestre en países como Ecuador, Bolivia y Perú. Se le puede encontrar en la sierra, principalmente en las vertientes occidentales andinas y los valles interandinos semiáridos, a alturas entre los 1450 hasta los 2800 msnm [12].

La planta (Fig. 1) tiene una altura de entre 2 a 7 metros, sin tallo o con un pequeño tronco corto. Además, está provista de hojas verde-grises, carnosas, muy fibrosas, con espinas en sus bordes y dispuestas en una roseta densa; posee flores amarillas y se reproduce por renuevos que brotan del contorno de sus raíces. Las hojas miden de 1 a 3 m de largo y de 15 a 20 cm de ancho.

El polímero usado como estabilizante es el aguamiel que se extrae del tronco de la cabuya. La cosecha se realiza antes de que salga la flor y cuando la planta alcanza los 3 metros de alto, lo cual generalmente sucede a partir de los 5 años. Para extraer el polímero, se realiza un orificio en el tronco y se raspa reiteradamente hasta que comience a exudar la savia. El jugo se recolecta diariamente, durante aproximadamente 20 días, sacándose, en promedio, entre 4 y 10 litros diarios. Ver Fig. 2.

Vargas et al. [7] estudiaron la influencia del tiempo de las condiciones de preparación del polímero derivado de la tuna en la eficiencia de su efecto estabilizante. Se comprobó que el tiempo de remojo de la tuna en el agua de mezcla influye decisivamente en la resistencia a la erosión del adobe, siendo el tiempo óptimo para la tuna entre 14 y 25 días.



Fig. 1 Planta de cabuya (*Furcraea andina*) usada en la investigación.



Fig. 2 Extracto (aguamiel) obtenido del tronco de la planta de cabuya.

Teniendo en cuenta que las condiciones climáticas locales son de mayor temperatura y menos humedad que en el estudio realizado por [7], se consideró dejar el extracto de cabuya reposando 10 días, a una temperatura ambiente entre 22 a 28°C y entre 65% y 70% de humedad relativa. Luego se añadió al agua de mezcla en una proporción 1:1 en volumen.

B. Elaboración de especímenes

En primer lugar, se determinaron las condiciones de moldeo del adobe de las muestras, mediante las pruebas “Cinta de barro” y “Presencia de arcilla” recomendadas por [13] para la elaboración de una mezcla de adobe. Ver Fig. 3.

El contenido de agua se fijó en 28%, con base en los valores sugeridos por Minke [14], Barrios [15] y Oshiro [16] y verificado con las pruebas empíricas sugeridas por Blondet et al. [17]. Con ello se logró una buena trabajabilidad y se redujo la fisuración al momento del moldeo.

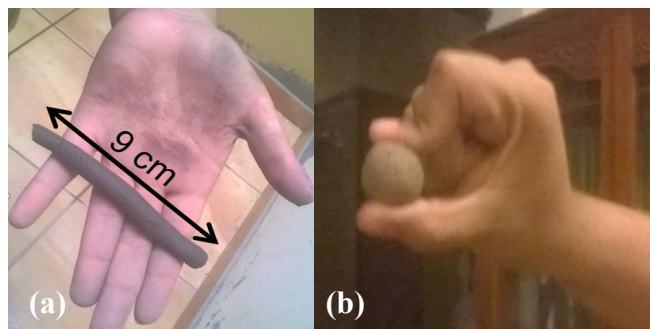


Fig. 3 Pruebas aplicadas al suelo para verificar las condiciones de moldeo de los adobes. (a) Prueba de cintas de barro. (b) Prueba de presencia de arcilla.

Los especímenes elaborados consistieron en una muestra de adobe estabilizado y una muestra de control sin estabilizar. En la Tabla I se muestra el detalle de las muestras evaluadas.

Los especímenes se remodelaron a partir del suelo recuperado de los adobes adquiridos, con las condiciones de humedad determinadas anteriormente. Después de conformarlos manualmente en moldes de madera, se desmoldaron aún húmedos y se dejaron secar por 30 días al aire,

pero sin exposición al sol, con un cambio de posición a los 10 primeros días.

C. Ensayos

Para evaluar la durabilidad de los adobes se aplicaron dos pruebas de tolerancia al agua. Primero, el ensayo no normalizado de chorro de agua [4], [5], [18]. Este ensayo es una prueba comparativa que da una idea de la durabilidad de los adobes al ser sometidos a condiciones de lluvia intensa. El ensayo consiste en aplicar un chorro de agua sobre la superficie del elemento a evaluar y medir la profundidad de la marca dejada sobre ella. En este caso, se aplicó un chorro de 700 psi de presión durante 60 segundos a una distancia de 30 cm de la superficie del adobe (Fig. 4).

Tres especímenes de 30.50 cm x 15.25 cm x 7.62 cm fueron ensayados tanto para la muestra de control como para la muestra estabilizada, registrándose la profundidad de penetración del chorro de agua para cada conjunto.

En segundo lugar, el ensayo de inmersión en agua propuesto por Micek et al. [19], como un indicador de la durabilidad frente a condiciones de inundación. Los resultados se califican cualitativamente en relación con el deterioro de la unidad de acuerdo con las categorías propuestas por [19] (Tabla II). Como se trata de una prueba basada en la observación relativa, se requiere de la valoración individual de las unidades por parte de tres personas y una clasificación después de la observación general.

Para esta prueba se utilizaron las mismas unidades de muestra ensayadas en la prueba de chorro de agua; se sumergieron durante 24 h, tras las cuales se evaluó su deterioro (Fig. 5).

TABLA I
 DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS DE ADOBE EVALUADAS

Espécimen	Polímero (lt/m3)	Descripción
MC	0	Muestra de control, adobe sin estabilizar.
ME	221.39	Muestra de adobe estabilizado con extracto de cabuya.



Fig. 4 Prueba del chorro de agua.



Fig. 5 Ensayo de inmersión en los adobes.

TABLA II
 DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DETERIORO EN LAS MUESTRAS DE ADOBE APLICADOS PARA EL ENSAYO DE INMERSIÓN SEGÚN [19]

Clasificación	Símbolo	Descripción
Despreciable	N	La unidad no muestra ningún daño visible. No hay hendiduras producidas por la presión de la inserción con un dedo.
Ligero	L	La unidad no muestra ningún daño visible, pero podría ocurrir con una ligera presión.
Moderado	M	La unidad muestra daños estructurales visibles y hendiduras con una ligera presión. El agua que queda en el tanque es de color marrón debido a la descomposición de la unidad.
Severo	S	La unidad pierde la mayor parte de sus superficies o bordes. El agua que queda en el tanque es de color marrón y fangosa por la erosión, y la unidad no puede soportar ningún tipo de presión.

Como control complementario, se evaluaron propiedades mecánicas del adobe a través del ensayo de compresión simple (ASTM C170-06) en cubos de 5 cm de lado y del ensayo de módulo de rotura por flexión (NTP 399.613 2005) con especímenes prismáticos de 30.50 cm x 15.25 cm x 7.62 cm. En la Fig. 6 se muestran los especímenes usados para estos dos ensayos.



Fig. 6 Especímenes usados para los ensayos mecánicos. a) Especímenes para la compresión simple. b) Especímenes para el módulo de rotura.

III. RESULTADOS

A. Análisis de la durabilidad frente a la acción del agua

1) Prueba del chorro de agua

El ensayo de chorro de agua simula las precipitaciones pluviales a las que puede estar sometido el adobe. En publicaciones anteriores [4] se ha calculado la penetración como un porcentaje del espesor de la unidad de muestra; sin embargo, esto no es consistente, dado que la variación del espesor de la unidad no altera los resultados de penetración obtenidos. Por este motivo, se decidió determinar la penetración como un valor absoluto en milímetros; las mediciones se muestran en la Fig. 7.

Se observa que los adobes sin estabilizar presentaron una penetración promedio de 4.67 mm; mientras que el adobe estabilizado con polímero presentó una penetración promedio de 0.17 mm. La aplicación del chorro de agua sobre las muestras estabilizadas no causó daño en el adobe, pero sí la salpicadura, dejando una marca alrededor, aunque ésta no excedía 1 mm (Fig. 8).

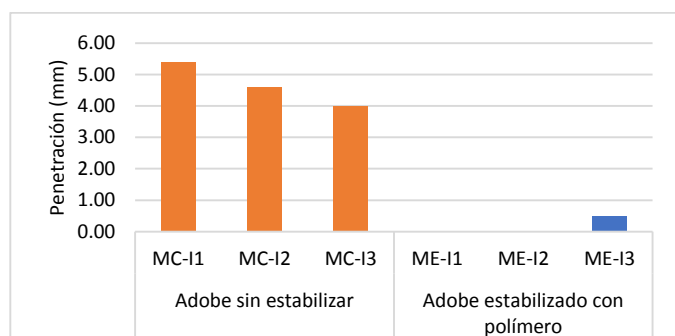


Fig. 7 Penetración registrada en los adobes evaluados tras el ensayo de chorro de agua.

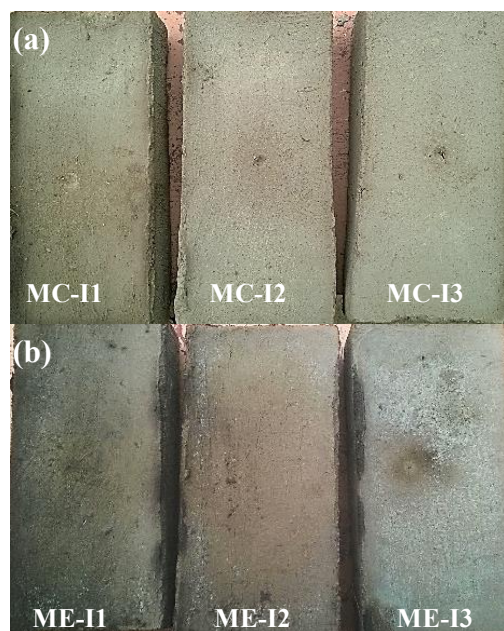


Fig. 8 Muestras ensayadas por el chorro de agua. a) Adobe sin estabilizar. b) Adobe estabilizado.

Se deduce que, pese a que hay un ligero efecto causado por la salpicadura, la superficie de los adobes estabilizados ofrece una buena resistencia al golpe de agua. Es evidente la mejora en el desempeño del adobe estabilizado, dado que los niveles de penetración obtenidos en ningún caso exceden el milímetro.

2) Ensayo de inmersión

El ensayo de inmersión simula una posible inundación producto de las precipitaciones pluviales o del derretimiento de nieve; los resultados se observan en la Tabla III.

Las muestras de adobe sin estabilizar mostraron daños severos: perdieron su estructura, su consistencia final fue lodosa y el agua se tornó color marrón debido a la desintegración del adobe.

En el caso de las muestras estabilizadas se observó en dos de ellas que presentaban daños muy ligeros, casi sin ningún daño visible y, además, al aplicar presión con el dedo no se formaban hendiduras. Por otra parte, la tercera muestra presentó fisuras en su estructura, pero al aplicar una ligera presión con el dedo no se formó ninguna hendidura.

Al parecer, la Cabuya recubre los granos de tierra con una película impermeable que hace a la mezcla resistente a la acción del agua. Es claro que las partículas no se separan entre sí, lo que podría también tener un efecto en su resistencia mecánica.

Los resultados indican que un adobe estabilizado con el extracto de cabuya posee una mejor resistencia al contacto con el agua en comparación con el adobe sin estabilizar. Esto confirma que el uso de este polímero es efectivo para reducir la destrucción del material cuando es sometido al agua durante inundación y/o precipitación.

TABLA III
RESULTADOS DEL ENSAYO DE INMERSIÓN EN LAS MUESTRAS SIN ESTABILIZAR (MC) Y ESTABILIZADAS CON CABUYA (ME)

Espécimen	Deterioro en la unidad
MC-I1	Severo
MC-I2	Severo
MC-I3	Severo
ME-I1	Moderado
ME-I2	Ligero
ME-I3	Ligero

B. Análisis de las propiedades mecánicas

1) Resistencia a la compresión

Los adobes estabilizados presentaron cierta mejora en la resistencia a la compresión, pero muy poco significativa con respecto a las muestras de control. Se obtuvo como resultado promedio 27.32 kg/cm² en el adobe estabilizado y 24.92 kg/cm² en el adobe sin estabilizar (Fig. 9). Esto supone un incremento del 9.6% cuando se usa el extracto de cabuya.

Al parecer, la estabilización del adobe con el extracto de Cabuya no logra mejorar la resistencia a la compresión, como ocurre con la mayoría de los polímeros naturales, pues no densifica adecuadamente la mezcla del adobe. Si bien hay una mayor adherencia de las partículas entre sí como efecto del polímero, no es suficiente para superar las fuerzas de

compresión. Al parecer, la estabilización de este polímero se da más por crear una película impermeabilizante alrededor de las partículas, que mejora la estabilidad frente al agua, pero no implica una mejora significativa respecto a las propiedades mecánicas. Asimismo, todos los especímenes, sin estabilizar y estabilizados, presentaron una rotura frágil (Fig. 10 y Fig. 11), aunque con una cierta mejora de la integridad del material en las muestras estabilizadas.

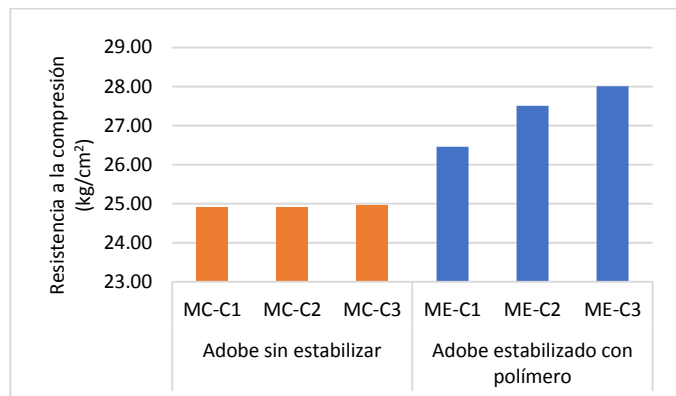


Fig. 9 Efecto de la Cabuya en la resistencia a la compresión del adobe.



Fig. 10 Fallas en los especímenes de adobe sin estabilizar, tras el ensayo de compresión.



Fig. 11 Fallas en los especímenes de adobe estabilizados con cabuya, tras el ensayo de compresión.

2) Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión se evaluó mediante el módulo de rotura en prismas rectangulares, usando dos puntos de apoyo. Se observó que el extracto de cabuya mejora la resistencia a la flexión de los adobes en casi un 200% (Fig. 12). Aunque el valor del módulo de rotura en todos los adobes, con y sin estabilizar, supera ampliamente al valor mínimo de 2.06 kg/cm² establecido por [20] para adobes en edificación, la estabilización incrementa este valor significativamente.

Este resultado pone en evidencia la función aglutinante que cumple el polímero en este caso. Los polímeros naturales modifican la estructura granular, proporcionando cohesión, disminuyendo la excesiva plasticidad de la arcilla y evitando el agrietamiento por contracción de secado [21]. Pero, en este caso, al mejorar la cohesión se genera una mayor resistencia a la tensión, que es producida por las fuerzas de atracción que existe entre los granos en contacto [8]. Esto explicaría el poco efecto registrado en la resistencia a la compresión.

Existe una relación (r) entre módulo de rotura (F) y la resistencia a la compresión (R), $r = F/R$, cuyo valor varía según el tipo de material. Mientras mayor sea el valor de r , más dúctil será el material; a menor r , el material será más frágil. En la Fig. 13 se muestran los valores de r obtenidos para cada tipo de adobe.

Se observó que los adobes estabilizados presentan un r mayor al de los adobes sin estabilizar. Los adobes estabilizados con extracto de cabuya obtuvieron un r de 41%, mientras que los adobes sin estabilizar presentaron un r de 17%. Esto también explica la mejora en la integridad al final del ensayo de los especímenes estabilizados sometidos a compresión simple respecto a los especímenes sin estabilizar. Es claro entonces que el polímero incrementa la tenacidad del adobe y aumenta su ductilidad, aunque la falla no deja de ser frágil.

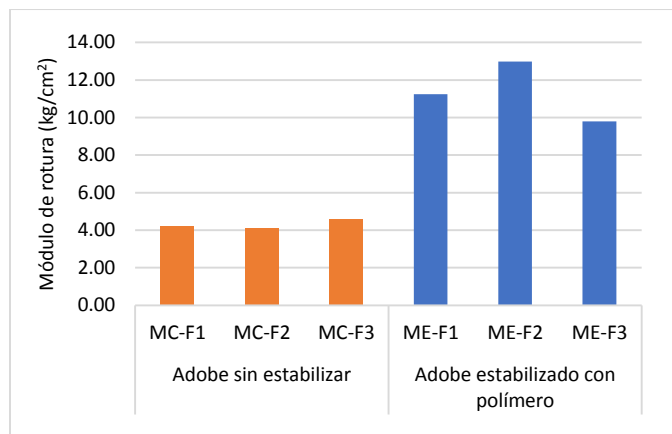


Fig. 12 Efecto del extracto de Cabuya en el módulo de rotura del adobe.

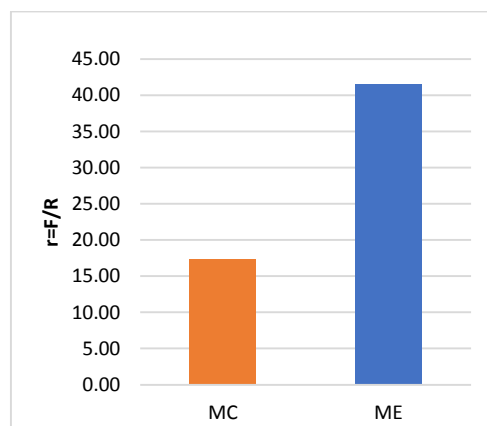


Fig. 13 Relación $r = F/R$ entre las muestras ensayadas.

IV. CONCLUSIONES

El extracto de Cabuya es un polímero vegetal que sí contribuye significativamente con la estabilización del adobe, mejorando sus propiedades de resistencia al agua al actuar como un polímero aglutinante que reduce a casi cero el efecto de daño por inmersión y a la acción del chorro de agua en el adobe. Esto se traduce en un mejor comportamiento del adobe frente a condiciones de inundación y de lluvia constante.

Su efecto sobre las propiedades mecánicas se refleja como un incremento significativo en la resistencia a la flexión de las unidades, siendo menor su efecto en la resistencia a la compresión simple, aunque también positivo.

El extracto de Cabuya podría sustituir a otros materiales como la tuna, la cal, el cemento o las cenizas volcánicas en la estabilización de adobes para albañilería, ya que presenta propiedades de resistencia al agua muy similares a los obtenidos con ellos. Sin embargo, por ser un polímero natural y de tipo aguamiel, se requiere evaluar la atracción de insectos o bacterias en el adobe que pudieran poner en riesgo a las personas o los animales. Se sugiere también ampliar las investigaciones con este polímero para determinar las condiciones óptimas en que debe encontrarse al momento de adicionarse al adobe, con el fin de lograr el mejor desempeño como estabilizante. Asimismo, se recomienda analizar la evolución a lo largo del tiempo de las propiedades del adobe estabilizado con extracto de Cabuya.

Los polímeros vegetales son una alternativa viable y económica para la estabilización de adobe. Se sugiere evaluar otras sustancias de carácter nativo local para valorar su efecto como soluciones sustentables.

Se debe evaluar también el impacto ambiental que resultaría del uso masivo de esta especie en la estabilización del adobe para edificación. La familia de las agaváceas, que incluye a la Cabuya, tiene gran importancia a nivel ecológico y económico por sus diferentes usos como plantas medicinales, para extracción de fibras vegetales, para tratamientos de belleza, obtención de bebidas, entre otros. La extracción del aguamiel se puede realizar sin cortar la planta y pueden aplicarse técnicas de recolección que respeten el ciclo de regeneración de la especie. Aunque estas plantas crecen de manera abundante en diferentes países de América del Centro y Sur, son resistentes a ambientes hostiles, y se reproducen con facilidad, su crecimiento es lento [12] y será necesario mantener un adecuado control sobre las actividades de extracción del aguamiel, para evitar una sobreexplotación de estas plantas.

REFERENCIAS

- [1] M. Siller, A. Cárdenas, G. Arista y J. Rodríguez, «Diseño de bloques de suelo estabilizado para uso urbano en San Luis Potosí,» de *Congreso Internacional de Investigación Academia Journals*, Celaya, México, 2012.
- [2] M. Islam y K. Iwashita, «Seismic response of fiber-reinforced and stabilized adobe structures,» de *Getty Seismic Adobe Project Colloquium*, Estados Unidos, 2006.
- [3] C. Galán, C. Rivera, J. Petric, «Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre,» *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 1462-1468, 2010.
- [4] I. Alam, A. Naseer y A. Shah, «Economic stabilization of clay for earth buildings materials,» *Construction and Building Materials*, pp. 154-159, 2015.
- [5] G. Chen, *Analysis of stabilized adobe in rural East Africa.*, San Luis Obispo, California: California Polytechnic State University, 2009.
- [6] M. Rodríguez y B. Saroza, «Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba,» *Materiales de Construcción*, vol. 56, n° 282, pp. 53-62, 2005.
- [7] J. Vargas, E. Heredia, J. Bariola, P. Mehta, *Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas*, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 1986.
- [8] K. Sánchez, *Propuesta de aditivos naturales y microfibras de papel para reparar fisuras en muros de monumento históricos de tierra*, Lima: Pontificia Universidad católica del Perú, 2010.
- [9] R. Aguilar, J. Nakamatsu, E. Ramírez, M. Ellegren, J. Ayarza, S. Kim, M. Pando, L. Ortega-San-Martin, «The potential use of chitosan as a biopolymer additive for enhanced mechanical properties and water resistance of earthen construction,» *Construction and Building Materials*, vol. 114, n° 2016, pp. 625-637, 2016.
- [10] J. Nakamatsu, S. Kim, J. Ayarza, E. Ramírez, M. Ellegren, R. Aguilar, «Eco-friendly modification of earthen construction with carrageenan: Water durability and mechanical assesment,» *Construction and Building Materials*, vol. 139, n° 2017, pp. 193-202, 2017.
- [11] D. Quiceno, M. Mosquera, *Alternativas tencológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible*, Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2010.
- [12] G. Pino, «Estado actual de las suculentas en el Perú,» *Zonas Áridas*, vol. 10, pp. 155-173, 2006.
- [13] Ministerio de vivienda, «Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada,» *El Peruano*, 07 abril 2017
- [14] G. Minke, *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*, Uruguay: Fin de Siglo, 2008, p. 24.
- [15] P. Oshiro, *La ayuda en caso de desastre: Construcción de una vivienda económica en adobe estabilizado.*, Lima: Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES), 1990.
- [16] M. Ramírez, *Deterioro y estabilización del adobe*, México: Instituto Politécnico Nacional, 2011.
- [17] J. Micek, *Adobe Brick Design. Senior Project*, San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2006.
- [18] M. Amorós, *Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
- [19] MSJC, *Building code requirements for masonry structures (ACI 530-02/ASCE 5-02)*, Estados Unidos: Masonry Standard Joint Committee, 2011.
- [20] G. Barrios, «Comportamiento de los suelos para la confección de adobes,» *Informes de la Construcción*, vol. 37, n° 377, pp. 43-49, 1986.
- [21] M. Blondet, J. Vargas, D. Torrealva y A. Rubiños, *Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de costo saludables y seguras*, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010.