

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,  
Volumen 9, Número 2.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i2](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2)

## **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE MORTEROS BASE CAL CON ADITIVOS ORGÁNICOS**

**EVALUATION OF PHYSICAL BEHAVIOR OF LIME-BASED  
MORTARS WITH ORGANIC ADDITIVES**

**M.C.P.A Paola Guadalupe Pacheco Lira**  
Universidad Autónoma de Yucatán

**Dra. Lilia Narváez Hernández**  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i2.17435](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17435)

## Evaluación del Comportamiento Físico de Morteros Base Cal con Aditivos Orgánicos

**M.C.P.A Paola Guadalupe Pacheco Lira<sup>1</sup>**[Paola.pl87@gmail.com](mailto:Paola.pl87@gmail.com)<https://orcid.org/0000-0001-9015-0085>

Universidad Autónoma de Yucatán

**Dra. Lilia Narváez Hernández**[narvaezl@uaslp.mx](mailto:narvaezl@uaslp.mx)<https://orcid.org/0000-0002-9800-0310>

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

### RESUMEN

La intervención en edificios históricos enfrenta limitaciones debido a la escasez de mano de obra calificada, materiales específicos. La insuficiencia de conocimiento sobre técnicas constructivas tradicionales dificulta la replicación precisa; las restauraciones suelen usar soluciones comerciales, repercutiendo en el acelerando deterioro en las edificaciones. El estudio examina los efectos de los aditivos naturales de extractos de corteza de Chúkum (*Havardia albicans*), Chákaj (*Bursera simaruba*) y Pixoy (*Guazuma ulmifolia*), sobre las propiedades de morteros de cal evaluando su rendimiento en comparación con un mortero testigo sin aditivos. Se elaboraron morteros de cal con de extracto líquido de pixoy, chákay y chukum con una proporción de cal-arena de 1:3 se analizaron parámetros como fluidez, densidad, absorción, pérdida de humedad, características morfológicas y resistencia mecánica. Desde la etapa de preparación, los morteros adicionados con extractos de corteza mostraron una mayor fluidez (16%-35%) en comparación con el mortero sin aditivos. Tras fraguar los morteros con extractos exhibieron menor agrietamiento, un acabado superficial liso, compacto y una rugosidad reducida en comparación con el testigo; estos morteros presentaron menores porcentajes de absorción de agua especialmente con el extracto de pixoy. En cuanto a la resistencia a la compresión, se observó un incremento progresivo en todos los morteros con el tiempo. Los morteros con extractos de pixoy Chákaj y Chúkum no alcanzaron los mismos valores de resistencia que el mortero testigo a los 28 días, aquellos con Chúkum y Pixoy mostraron un aumento significativo en la resistencia a la compresión (37%-50%) después de 90 días sin embargo solo el mortero con Chákaj logró igualar la resistencia del mortero testigo. Los resultados sugieren el uso de estos extractos debe evaluarse en función de las necesidades específicas de cada proyecto.

**Palabras claves:** restauración, morteros, cal, aditivos, orgánicos

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [Paola.pl87@gmail.com](mailto:Paola.pl87@gmail.com)

# Evaluation of Physical Behavior of Lime-Based Mortars with Organic Additives

## ABSTRACT

The intervention in historic buildings faces limitations due to the shortage of skilled labor and specific materials. The lack of knowledge about traditional construction techniques hinders accurate replication; restorations often rely on commercial solutions, accelerating the deterioration of buildings. The study examines the effects of natural additives of Chúkum (*Havardia albicans*), Chákaj (*Bursera simaruba*) and Pixoy (*Guazuma ulmifolia*) bark extracts on the properties of lime mortars by evaluating their performance in comparison with a control mortar without additives. Lime mortars were prepared with liquid extract of pixoy, chákay and chukum with a lime-sand ratio of 1:3 and parameters such as fluidity, density, absorption, moisture loss, morphological characteristics and mechanical strength were analyzed. From the preparation stage, the mortars added with bark extracts showed higher flowability (16%-35%) compared to the mortar without additives. After setting, the mortars with extracts exhibited less cracking, a smooth, compact surface finish and reduced roughness compared to the control; these mortars presented lower water absorption percentages, especially with pixoy extract. As for compressive strength, a progressive increase was observed in all mortars with time. Mortars with Pixoy, Chákaj and Chúkum extracts did not reach the same strength values as the control mortar at 28 days, those with Chúkum and Pixoy showed a significant increase in compressive strength (37%-50%) after 90 days, however only the mortar with Chákaj managed to equal the strength of the control mortar. The results suggest that the use of these extracts should be evaluated according to the specific needs of each project.

**Keywords:** restoration, mortars, lime stone, organic, additives

*Artículo recibido 05 abril 2025*

*Aceptado para publicación: 28 abril 2025*



## INTRODUCCIÓN

Las técnicas y materiales tradicionales se consideran las formas más idóneas para intervenir edificios históricos, dado que respetan los valores arquitectónicos y culturales de las edificaciones originales. Sin embargo, la reutilización de estas técnicas enfrenta limitaciones significativas, como la disponibilidad de mano de obra calificada, materiales adecuados y el tiempo necesario para su ejecución. Además, los conocimientos técnicos sobre los métodos constructivos tradicionales, los elementos arquitectónicos y las técnicas que componen estas edificaciones son insuficientes para garantizar su replicación precisa en proyectos de restauración.

El uso de cemento, y especialmente de concreto armado, revolucionó las intervenciones en los elementos constructivos de edificios históricos. Como señala Stefano Gizzi, “con frecuencia se buscó realizar restauraciones de estructuras antiguas con esquemas propios de materiales modernos” (Gizzi, 2006). Esta práctica, común en regiones como Yucatán, México, promovió el abandono progresivo de las técnicas y materiales tradicionales debido a la accesibilidad, rapidez y menor costo del cemento en comparación con métodos tradicionales.

En el caso de Yucatán, los morteros tradicionales a base de cal, utilizados desde el periodo prehispánico, han sido reemplazados en gran medida por morteros de cemento. Esto ha resultado en una pérdida de conocimiento sobre su elaboración y aplicación. Si bien el uso de morteros de cal ha resurgido en los últimos años, su implementación aún enfrenta desafíos, como la adición de cemento para mejorar la trabajabilidad, a pesar de los efectos perjudiciales que este material tiene en edificaciones de piedra caliza. La facilidad de uso, disponibilidad y resistencia del cemento han dificultado su sustitución total en los morteros de cal.

Aunque la restauración debe ajustarse a las necesidades y condiciones actuales, la falta de información sobre las características históricas, arquitectónicas y materiales de las construcciones, sumada al desconocimiento de las normativas aplicables, ha llevado en algunos casos a intervenciones que modifican y comprometen los valores arquitectónicos de los edificios históricos.

Diversas investigaciones y trabajos han promovido el uso de aditivos orgánicos en morteros de cal para mejorar sus propiedades físico-mecánicas.



Ejemplos de estos aditivos incluyen baba de nopal, algodón, resinas, caseína y sangre, entre otros como se menciona en los trabajos de Diaz (2006) y Martinez et al (2011), por mencionar algunos. En el contexto de Yucatán, el uso de aditivos orgánicos derivados de cortezas de plantas de la región, se remonta al periodo prehispánico como Fray Diego de Landa mencionó en sus relatos (Landa, 1973), actualmente el uso de estos aditivos basados en experiencias de campo, buscan optimizar los morteros de cal para su aplicación en técnicas de restauración.

A pesar de que las cortezas de pixoy y chukum son endémicas y forman parte de los sistemas constructivos históricos de la región, persisten lagunas de conocimiento y deficiencias en su aplicación. En algunos casos, su uso se limita a tendencias o "recetas" sin fundamentos técnicos o análisis adecuados, lo que compromete su efectividad y sostenibilidad.

Este trabajo propone evaluar el efecto de los extractos de dos especies de plantas endémicas de Yucatán en las propiedades físicas de los morteros a base de cal. La investigación busca aportar información técnica y fundamentada que permita optimizar el uso de estos materiales tradicionales en proyectos de restauración, contribuyendo a la conservación del patrimonio arquitectónico de la región.

### **Aditivos Orgánicos en Yucatán**

La cal ha demostrado ser un excelente material para construcción, es cierto que requiere conocimiento especializado para su preparación y aplicación y que demanda tiempos extensos de hidratación (cal apagada); esto puede ser uno de los motivos por lo cual desde mediados del S. XVII en Europa se comenzara a experimentar para modificar sus propiedades y así obtener materiales resistentes de forma más sencilla (Magar, 2013).

El uso de aditivos orgánicos en los morteros de cal, ha sido observado desde las construcciones prehispánicas hasta los relatos de Fray Diego de Landa, donde se mencionaba el uso de extractos de cortezas en los morteros durante la ejecución de edificaciones en la conquista (Landa, 1973).

Su uso en la conservación pretende mejorar las propiedades de los morteros en función de las necesidades requeridas del tratamiento a aplicar, al modificar características como dureza, tiempo de fraguado, adhesión al soporte, plasticidad entre otras (García & Jáidar, 2004).

En este apartado se describirán las características de los arboles de Chukum y Pixoy, cuyos extractos han sido más utilizados como aditivos en los morteros de cal en la región de Yucatán.



Chukum (*harvdia albicans*), es el nombre del árbol endémico del estado de Yucatán, llega a medir hasta 20 m de alto, se distingue por tener hojas pequeñas dispuestas en pares y generalmente se localiza en zonas de bajos de la región del Petén o sur de Campeche, mientras que en la península de Yucatán es común encontrarlo en la selva media subcaducifolia, [Imagen1](Comisión Nacional Forestal, 2019).

Para la obtención del aditivo es necesario cortar la corteza en tiras verticales paralelas, las cortezas se extraen al realizar una incisión en el tronco para después ir desprendiéndolas poco a poco. Este proceso permite que se extraiga la corteza superficial, que llega a regenerarse sin dañar el núcleo del tronco.

Una vez obtenida la corteza se prepara para su inmersión en agua, golpeando las fibras con un martillo de goma o palo, con el fin de separar las fibras para facilitar la extracción del aditivo. El extracto que es resultante tiene una textura jabonosa, con color rojizo y apariencia turbia. Las proporciones y tiempo de maceración y remojo son variadas, van desde las 24 horas a las 72 horas.

El chukum, utilizado en la cultura maya, como aglutinante en la elaboración de estucos y pinturas. Estas mezclas se utilizaban principalmente como recubrimientos en superficies como cisternas y depósitos de agua al aire libre (García & Jáidar, 2004).

La resina que se extrae del árbol de chukum agua de kuchum es rica en taninos, que le proporciona un color rojo púrpúreo, muy similar al color profundo de un vino tinto y tradicionalmente se utiliza en una mezcla con cemento blanco y piedra caliza para crear una argamasa que se emplea como recubrimiento de superficies, muros interiores y exteriores, pisos y alberca (Rivas, 2020).

Actualmente su uso se ha retomado en morteros con cemento, al ser un material natural propio de la arquitectura mexicana, con textura cálida y pigmentos que van desde los tonos arena hasta los rosados, se ha popularizado su uso tanto en interiores como en exteriores, para cubrir superficies como muros, pisos, techos y en exteriores para piscinas y cuerpos de agua.

Pixoy (*Guazuma ulmifolia*), árbol mediano o arbusto caducifolio, de 2 a 15 m de altura, con diámetro de 30 a 40 cm; en algunos casos se desarrolla como un arbusto muy ramificado y en otros como un árbol monopólico de copa abierta, redondeada y extendida. Su tronco es más o menos recto, produciendo a veces chupones, frecuentemente ramificado a baja altura; sus ramas largas muy extendidas, horizontales y ligeramente colgantes.

La corteza externa de este árbol es ligeramente fisurada como se puede ver en la [Imagen 2], desprendiéndose en pequeños pedazos de color pardo grisáceo; la corteza interna es de color amarillento con algunas partes rojizas o rosas, es fibrosa y con un ligero olor dulce (Comisión Nacional Forestal, 2019).

El árbol de pixoy presenta pequeñas flores en color blanco y amarillo, con olor dulce, que comúnmente son visitadas por las abejas meliponas, otra de sus características es un fruto pequeño en forma de cápsula de color café oscuro o negro cuando ya se encuentra maduro. Es un árbol de raíz profunda, que se propaga por semillas y no es exigente con el suelo (Chab & Laucirica, 2010).

El proceso de extracción de este aditivo es similar al del *chukum* solo que en este caso se utiliza la corteza externa, retirando la parte dura y leñosa. Al momento de colocar la corteza en agua, comienza a teñirla de color rojo, las fibras se hinchan y la parte interna se siente oleosa al tacto; el olor de esta corteza es intenso.

*Chakaj* (*Bursera simaruba*), árbol caducifolio, sus hojas presentan un color verde intenso y brillante en el haz y pálido en el revés, la corteza es verdosa en sus primeros años y cuando alcanza la adultez la capa superficial queda suave y fina con un color café rojizo. Su altura va de los 20 m hasta los 30 m, el diámetro de su tronco puede alcanzar 1 m, la copa es dispersa con pocas ramas gruesas y torcidas. (Chab & Laucirica).

Es un árbol mulato de una especie extendida en México en zonas de humedad y calor, como las zonas costeras del sur y del Pacífico y Atlántico, así como en toda la península de Yucatán. Una de sus características principales es su corteza con escamas, que tiene una coloración que va desde el verde al rojizo, la corteza interna va de un color crema a un rojizo pardo, laminada y fibrosa; el grosor total de la corteza va de 16 a 40 mm (Jaidar Benavides, Ruiz, & Mendoza, 2004). La corteza del *chakaj* al ser raspada produce un exudado transparente, pegajoso y aromático, con lo que se puede producir una goma. Su resina se utiliza como medicina natural para las quemaduras producidas por la resina del árbol del “*chechem*” (Jaidar Benavides, Ruiz, & Mendoza, 2004).

El extracto de *chakaj* se obtiene de la misma forma que el *chukum*, es necesario cortar la corteza del árbol en tiras verticales paralelas, después de un tiempo de remojo en agua, se obtiene un líquido de color transparente ligeramente rojizo y olor dulce.



Este aditivo al mezclarse con la cal no confiere color, brinda consistencia suave y (Orellana & Carrillo, 2007) plástica, pero en mejor grado que el *chukum*; incrementa la plasticidad y dureza de forma notoria en las pastas de cal (Pizzorusso, 2005).

El *chakáj* se ha encontrado en diversos trabajos consultados a lo largo de la investigación con diferentes nombres como *chaká*, *chakáh*, *chakaj*, *palo mulato*, para efectos de este trabajo se utilizará el nombre de *Chakaj*, que es el nombre registrado en la ficha descriptiva de flora del Estado en la página del Centro de Investigación Científica de Yucatán.

El empleo de extractos vegetales como aditivos en morteros de cal ha sido objeto de diversas investigaciones, destacando su eficacia en la mejora de propiedades físicas y químicas entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

Jaidar, Ruiz & Mendoza (2004) llevaron a cabo un estudio centrado en la caracterización de las cortezas de Pixoy, Chukum y Chakaj. En este trabajo, las proporciones de preparación de los extractos fueron de 13 % para Pixoy, 11 % para Chukum y 14 % para Chakaj. Reportaron la presencia de sulfatos en Chakaj y Chukum, así como cloruros y taninos en los tres extractos. García y Jaidar (2004) exploraron la aplicación de morteros de cal con aditivos orgánicos para recubrimientos, resanes, ribetes, reintegración volumétrica y fijación de pintura mural. Aunque no se especificaron proporciones, los morteros con Chakaj, Chukum y Pixoy demostraron ser los más eficientes, atribuyéndose su coloración a la presencia de taninos. Según las autoras, el Chukum actúa como retardante del fraguado, disminuye la absorción de agua y no inhibe el intercambio de gases con el medio ambiente.

Ruiz (2010) investigó el uso del Pixoy como aditivo en la consolidación de estucos disgregados. Aunque su efectividad como fijativo y consolidante de pintura mural fue limitada, el extracto mostró propiedades adhesivas en aplicaciones específicas. Mediante observaciones macroscópicas, se identificó que el Pixoy es un polisacárido soluble en agua, con un color rojo-naranja intenso, viscosidad característica y partículas sedimentadas tras el reposo. Su composición química incluye taninos, calcio y cloro, lo que se atribuye al uso de piedra caliza y agua potable en su preparación.

Littmann (1960) realizó experimentos con mucílagos extraídos de Chukum, Chacté, Chakaj y Jabín, cortezas que históricamente se mezclaban con cal para mejorar la plasticidad y el fraguado. Sus resultados concluyeron que solo el Chukum presenta propiedades positivas cuando se combina con cal.



Baglioni, Piqué & Sarti (1997) corroboraron que el extracto de Chukum se activa en contacto con cal, facilitando una cristalización ordenada en nanoescala, lo que produce un material altamente plástico, con buen fraguado y alta resistencia.

Otro punto a destacar de los extractos de Chukum y Pixoy en los morteros base cal, es que mejoran la adhesividad, reducen la absorción de agua y presentan una conducción térmica hasta en un 72 % cuando se mezclan ambas resinas (Gallegos, 2012).

El uso de morteros de cal con aditivos orgánicos en la restauración de pintura mural fue evaluado por Fuentes Porto & Otero (2010), utilizando extractos de Chukum, Chacté, Chakaj y Jabín, concluyeron que estos aditivos ofrecen una alternativa accesible y ecológica frente a los aditivos sintéticos, al mejorar la plasticidad y el fraguado de morteros empleados en la consolidación y reintegración de capas pictóricas.

## **Procedimiento Experimental**

### **Materiales**

#### **Preparación de los extractos de Chukum, Pixoy y Chakaj**

Los aditivos utilizados fueron extractos de cortezas endémicas de Yucatán: Chukum, Chakaj y Pixoy. El Chukum y Chakaj se recolectó en el municipio de Opichén y el Pixoy a lo largo de la carretera Muna-Maxcanú. El proceso de extracción se realizó de la siguiente manera:

- Las cortezas se cortaron en tiras verticales paralelas al tronco del árbol. Posteriormente, fueron golpeadas y maceradas utilizando un martillo de goma.
- Para la elaboración de los extractos, se emplearon 400 g de corteza y 3000 ml de agua, dejándolos en reposo durante 48 horas.
- Una vez transcurrido el tiempo de extracción, el líquido fue filtrado con un colador de tela para eliminar sólidos y residuos.
- El extracto obtenido se almacenó en un contenedor hermético bajo refrigeración.

#### **Preparación del Árido**

El árido empleado en este estudio fue polvo de piedra caliza extraído de una cantera ubicada en Ticopó, a 15 km de la ciudad de Mérida. De acuerdo con la norma NMX-C-324-ONNCCE-2004, se determinó la granulometría del material, el cual fue secado durante 24 horas a 110 °C en un horno de convección.



Una vez enfriado, se tamizó a través de una malla número 18 para eliminar partículas gruesas y se almacenó en un contenedor hermético limpio y seco.

### **Preparación de la Cal (apagado)**

Se utilizó cal química MAYACAL®, sometida a dos procesos de apagado según los pasos descritos a continuación:

#### **Primer Proceso de Apagado (con agua)**

**Colocación de la cal en el contenedor:** Se colocó 10 kilos de cal química de la marca MAYACAL® en un contenedor plástico de 19 litros destinado para el apagado. El contenedor utilizado en este caso fue una cubeta de plástico de 19 litros.

**Añadir agua:** Se añade una cantidad de agua equivalente al volumen de cal química depositada en el contenedor. El agua es esencial para iniciar la reacción química que transforma la cal en una pasta hidratada. Se bate la pasta inicial y, gradualmente, se va añadiendo agua hasta que el volumen de la mezcla se haya duplicado en relación a la cantidad de cal inicial. Es importante que la cal aumente su volumen durante este proceso, lo que indica que ha comenzado a reaccionar y se ha formado una pasta homogénea, esta relación es 1:2 con respecto a cal- agua.

**Reposo y batido periódico:** Una vez que se ha formado la pasta de cal, se deja reposar durante una hora. Durante este tiempo, se debe observar que quede una película de agua superficial sobre la pasta, lo que ayudará a evitar que la cal se seque antes de continuar el proceso. Este paso es crucial para mantener la consistencia y evitar la evaporación rápida de la humedad. Durante todo el proceso de apagado y reposo, se agitó cuidadosamente para obtener una cal fina, ya que las impurezas tienden a sedimentarse en el fondo, [Imagen 3].

#### **Segundo Proceso de Apagado (con extractos de cortezas)**

**Colocación de la cal en el contenedor.** En este caso, se utilizó una cantidad precisa de cal química necesaria para la elaboración de morteros de albañilería 1:3 para un molde de tres especímenes, de acuerdo con las normas aplicables, se colocó la cal en un contenedor plástico limpio y seco.

#### **Uso de extractos líquidos de cortezas:**

Para el proceso de apagado se utilizaron extractos líquidos de las cortezas de Chukum, Chakaj y Pixoy, en las mismas cantidades y relación 1:2 cal- extractos líquido de corteza. Se bate la pasta resultante y,



gradualmente, se va añadiendo extracto líquido de cortezas hasta que se haya formado una pasta homogénea. Al igual que en el primer proceso, se deja reposar la pasta durante una hora, asegurándose de que se forme una película de agua superficial para evitar que la cal se seque.

### **Reposo y batido periódico**

Al igual que en el primer proceso, la pasta de cal se deja reposar durante el período necesario y se bate regularmente.

### **Elaboración**

Se fabricaron morteros base cal con dimensiones de  $5 \times 5 \times 5$  cm, siguiendo una proporción de cal: polvo de piedra de 1:3, “Esta proporción corresponde a la más comúnmente utilizada en trabajos de albañilería, como estucos, revocos y junteo” (Martinez et al 2011).

### **Morteros con aditivos orgánicos de Chúkum, Chákaj y Pixoy:**

#### **Proceso de elaboración**

Materiales utilizados: Cal química apagada con extracto líquido de corteza de chukum, pixoy y chakaj

- Proceso de apagado de la cal: La cal fue apagada con el extracto líquido y dejada en reposo durante 24 horas.
- Muestras preparadas: Se elaboraron morteros con cal apagada con extracto, polvo de piedra y agua hasta alcanzar la consistencia deseada para un mortero de albañilería.

#### **Observaciones generales**

- Requerimiento de agua: Durante la mezcla, se observó que la mezcla con extractos líquidos requería más agua para alcanzar la manejabilidad deseada. Se comenzó añadiendo 100 ml de agua en cada mezcla y se realizaron ajustes adicionales según el tipo de aditivo y su necesidad, ver volúmenes finales en [Tabla 1]
- El chakaj requería más agua, mientras que el chukum pixoy no presentó la necesidad de ajustes significativos



**Tabla 1** Tabla de volúmenes finales. Elaboración propia.

Muestra	Cal	Aditivo Líquido para apagado de cal	Agua para apagado de cal	Polvo de piedra	Agua añadida durante mezclado
Testigo		No aplica	281.5 ml	687.5 g	100 ml
Chaká	250 g	281.5 ml	No aplica	687.5g	120 ml
Chukúm		281.5 ml	No aplica	687.5 g	90 ml
Pixoy		281.5 ml	No aplica	687.5 g	100 ml

Testigo (sin aditivo)

Los morteros se colocaron en moldes metálicos con dimensiones internas de 50 mm. Para facilitar el proceso de desmolde, las caras internas de los moldes fueron previamente recubiertas con una fina capa de aceite mineral. Las probetas se almacenaron a temperatura ambiente en un ambiente ventilado, con una humedad relativa promedio del 66%, durante un periodo de siete días [Imagen 4].

El desmolde se realizó al séptimo día, verificando que las probetas presentaran endurecimiento y consistencia adecuados. Posteriormente, se registró el peso de las probetas inmediatamente después del desmolde, así como a los 15 y 28 días [Imagen 5],[Imagen 6].

### **Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los morteros base Cal/Aditivos Orgánicos**

#### **Determinación de fluidez**

La fluidez del mortero fresco es realmente importante, ya que indica cuán bien se comportará al aplicarlo. Se mide como un porcentaje del diámetro que alcanza el mortero al ser dispersado en la mesa de fluidez. Para los morteros de cemento, se busca que esta fluidez esté en un rango de  $110\% \pm 5\%$ , la fluidez se determinó de acuerdo a la NMX-C-061-ONNCCE.

#### **Aspecto morfológico de los morteros**

El agrietamiento de los morteros es, sin duda, uno de los problemas más comunes y desafiantes; éste puede surgir por diversas razones, como cambios en la temperatura, humedad o incluso la mezcla misma. Controlarlo puede ser complicado, pero es fundamental para asegurar la durabilidad del mortero. Por otro lado, la pulverancia puede ocurrir tanto durante el fraguado como después. Esto puede afectar no solo la apariencia de la superficie, sino también la consistencia general de los elementos, lo que podría comprometer su rendimiento.

### Porcentaje de absorción y densidad

Para determinar el porcentaje de absorción y la densidad de los morteros, se utilizó la norma ASTM 127. La gravedad específica y la absorción son características cuyos valores se consideran para calcular el control del agua en los morteros.

### Rugosidad de las probetas

La rugosidad se define como una medida de la forma de las superficies que conforman una discontinuidad, describiendo el conjunto de asperezas presentes en una superficie en comparación con una idealmente lisa.

En este estudio, el índice de rugosidad fue determinado mediante parámetros de análisis de color (SCI y SCE) en los morteros testigo y los morteros con adiciones de Chukum y Pixoy. Las mediciones se realizaron después de seis meses de curado, siguiendo los lineamientos establecidos en la norma NOM-Z-77-1987.

Para llevar a cabo las mediciones, se utilizó un espectrofotómetro portátil de la marca Konica Minolta, en el laboratorio LANCIC CICCOR, bajo la supervisión del Dr. Javier Reyes Trujeque. Los datos recolectados fueron procesados utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta E: \sqrt{(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (L_1 - L_2)^2}$$

El término  $\Delta E$  en el contexto de la medición de la rugosidad en morteros generalmente hace referencia a un cambio en el valor de *color* o *difusión espectral* entre dos superficies o muestras, y es un indicador comúnmente utilizado para cuantificar diferencias de color o variación superficial en materiales. En el contexto de la rugosidad de morteros,  $\Delta E$  se utiliza para describir el cambio o diferencia en las propiedades ópticas (como el color) que pueden verse afectadas por la textura o la calidad de la superficie de los morteros. Si el  $\Delta E$  es bajo, significa que las diferencias de rugosidad (relacionadas con la textura de la superficie) son pequeñas, mientras que un  $\Delta E$  alto indica que hay variaciones más notables, es decir, una mayor rugosidad (Kobayashi et al, 2013).

Donde  $\Delta E = \text{color o difusión espectral}$  entre dos superficies

L = Luminosidad

a = Coordenadas rojo / verde

b = Coordenadas amarillo / azul



El término  $\Delta E$  en el contexto de la medición de la rugosidad en morteros generalmente hace referencia a un cambio en el valor de *color* o *difusión espectral* entre dos superficies o muestras, y es un indicador comúnmente utilizado para cuantificar diferencias de color o variación superficial en materiales. En el contexto de la rugosidad de morteros,  $\Delta E$  se utiliza para describir el cambio o diferencia en las propiedades ópticas (como el color) que pueden verse afectadas por la textura o la calidad de la superficie de los morteros. Si el  $\Delta E$  es bajo, significa que las diferencias de rugosidad (relacionadas con la textura de la superficie) son pequeñas, mientras que un  $\Delta E$  alto indica que hay variaciones más notables, es decir, una mayor rugosidad (Hunt, 2011).

### **Pérdida de humedad**

La pérdida de humedad que ocurre primariamente después de que el mortero se ha endurecido, se conoce como retracción por secado, esta propiedad o condición ayuda a minimizar los agrietamientos en los morteros ya aplicados o en seco. Una vez desmoldados los morteros, se registró el peso a los 7, 15, 28 y 365 días.

### **Resistencia mecánica a compresión**

Uno de los objetivos de este trabajo es poder observar los cambios en la resistencia a compresión de los morteros de albañilería, para esto se realizaron pruebas de compresión a los 28 días y a los 90 días posteriores a su elaboración de acuerdo con la norma NMX-C-061-ONNCCE, estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Construcción de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, en la Prensa Universal Satec.

Para los cálculos se registrará la carga máxima total y la resistencia del espécimen se calculará como:

$$\text{Resistencia} \left( \frac{Kg}{Cm^2} \right) = \frac{\text{Carga de ruptura (Kg)}}{\text{Área (Cm}^2\text{)}}$$

## **RESULTADOS**

Se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas sobre mortero testigo y morteros con aditivos de Pixoy, Chákaj y Chukum en polvo.

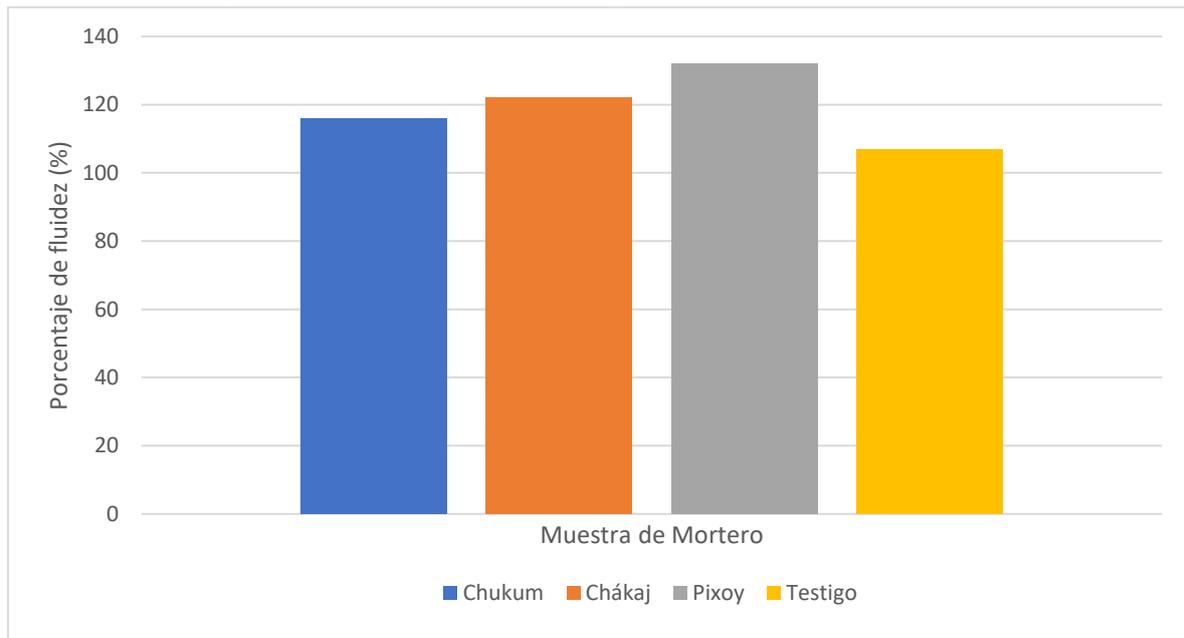
### **Fluidez**

En cuanto al porcentaje de fluidez, como se observa en la Gráfica 1, las mezclas que incluyeron cal apagada con el aditivo mostraron una notable mejora en la fluidez en relación con la muestra testigo, el



mortero con extracto de Chúkum (116%) destacó como el más fluido, alcanzando una expansión de 22.6 cm con 22 golpes en la mesa de fluidez. Le siguieron las mezclas con extractos de Pixoy (135%) y Chákaj (122%), las cuales también demostraron una consistencia favorable en comparación con el mortero testigo (107%). Este último presentó la menor fluidez dentro de este grupo, evidenciando la influencia positiva de los aditivos naturales en las propiedades reológicas del mortero [Gráfica1].

Gráfica 1 Porcentaje de fluidez en los morteros sin y con adiciones de extractos naturales.



Fuente: Elaboración propia.

Los morteros con aditivos de Chúkum, Chákaj y Pixoy presentaron un mayor porcentaje de fluidez en comparación con el mortero testigo. Esto indica que ambos aditivos favorecen la manejabilidad y plasticidad de los morteros, lo que facilita su trabajo durante el proceso de fraguado. Estos hallazgos respaldan lo mencionado por Jaidar Benavides, Ruiz y Mendoza (2004), quienes enfatizan la importancia de la trabajabilidad de los morteros en términos de facilidad para mezclar, compactar y colocar; se resalta que la trabajabilidad está directamente relacionada con la fluidez o consistencia del mortero. En aplicaciones prácticas, un mortero más fluido permite una manipulación más sencilla y uniforme, lo cual es esencial para los morteros de albañilería.

### Aspecto Morfológico de los morteros

Se analizaron diversas características morfológicas de los morteros, con los siguientes resultados:

## **Pulverancia**

Una de las características observadas fue la textura superficial de los morteros. Las muestras de mortero que contenían *Pixoy* y *Chúkum* presentaron una consistencia más homogénea y una capa brillante, lo que indica una menor porosidad. En cambio, los morteros testigos y aquellos con aditivo de *Chákaj* mostraron una mayor opacidad y porosidad, con evidentes desprendimientos.

## **Acabado superficial**

Los morteros que incorporaron aditivos de *Pixoy* y *Chukum* mostraron un acabado superficial más homogéneo y compacto, acompañado de una capa brillante que disminuye gradualmente con el tiempo, lo cual sugiere una mayor plasticidad en su composición. En contraste, los morteros testigo y *chákaj* presentaron una superficie opaca, con una porosidad más pronunciada y tendencia a desprendimientos. Como se observa en la [Imagen10], estos morteros experimentaron descarapelamiento, evidenciado por el desprendimiento de capas en las zonas afectadas por agrietamientos.

En cuanto a la variación del color, se observó que a los 7 días el mortero con *Chukum* presentó el tono más intenso, seguido por el *Pixoy*, mientras que el mortero testigo y *chákaj* mostraron un color más claro y casi sin diferencias. Sin embargo, como se aprecia en [Imagen 8].[Imagen 9], esta diferencia en la intensidad cromática del *chukúm* y *pixoy* disminuye al día 28, momento en el que se estabiliza.

## **Agrietamiento**

El agrietamiento se observó tanto al momento del desmolde como con el paso del tiempo y las manipulaciones subsecuentes. Los morteros con los aditivos de *Pixoy* y *Chúkum* fueron los que presentaron menos o casi nulos agrietamientos en comparación con el mortero testigo. Es relevante señalar que el tiempo de secado podría ser un factor influyente en la aparición de grietas. En este caso, los morteros con aditivos naturales parecieron secar más rápidamente, lo que podría haber ayudado a reducir la formación de grietas. Esto contrasta con los morteros testigos y aquellos con *Chákaj*, que mostraron una mayor tendencia a agrietarse. [Imagen 10],[Imagen11],[Imagen12].

## **Absorción y densidad de los morteros**

Los resultados obtenidos en el presente estudio [Tabla2] indican que el mortero testigo y *chákaj* presentaron el mayor porcentaje de absorción de agua, seguido del mortero con *Pixoy* y finalmente, el mortero con extracto de *Chúkum*.

El mortero con Chúkum mostró un valor de absorción de agua 24.07% menor en comparación con el mortero testigo, mientras que el mortero con Chákaj tuvo una absorción similar al testigo. La reducción en la absorción observada en el mortero con Chúkum es especialmente significativa, dado que la disminución en la absorción de humedad es crucial para la durabilidad de materiales de construcción, particularmente en edificaciones de piedra caliza, que son susceptibles al deterioro por humedad

**Tabla 2** Porcentajes de absorción y densidad de los morteros en estado seco.

<b>Material</b>	<b>Densidad</b>	<b>Absorción</b>
Chúkum	1.80 g/cm <sup>3</sup>	0.224 %
Chakáj	1.68 g/cm <sup>3</sup>	0.306 %
Pixoy	1.73 g/cm <sup>3</sup>	0.299 %
Testigo	1.4 g/cm <sup>3</sup>	0.303 %

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de densidad de los morteros con extractos presentaron diferencias con respecto al mortero testigo. La densidad del mortero con adición de chukum presentó un incremento del 28.57% mientras que la densidad del mortero con adición de pixoy tuvo un incremento del 23.57%, el mortero con Chákaj incrementó un 20%, porcentajes con respecto al mortero testigo.

Este incremento de la densidad en los morteros con extractos puede deberse a componentes que incrementan la densidad del mortero al mejorar la cohesión entre los materiales o al ocupar más espacio en la matriz. Es posible que los aditivos reduzcan la porosidad del mortero, lo que resultaría en un material más compacto y denso.

Estos resultados coinciden con investigaciones previas, como las de Gallegos et al. (2012), quienes observaron que los extractos naturales pueden disminuir la absorción de agua, logrando una reducción de hasta un 15% al calentar los extractos a 90 °C como parte del proceso. Por su parte, el extracto de Chukum, ampliamente reconocido como un impermeabilizante natural, también mejora propiedades mecánicas al combinarse con cal, proporcionando mayor plasticidad, adhesividad y retrasando el fraguado en 10-20 minutos, de acuerdo con García y Jáidar (2004). No obstante, los análisis de absorción no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras con y sin Chukum.

## Rugosidad y pérdida de humedad

El análisis del índice de rugosidad mostró diferencias significativas entre los morteros con aditivos naturales y el mortero testigo [Gráfica 2].

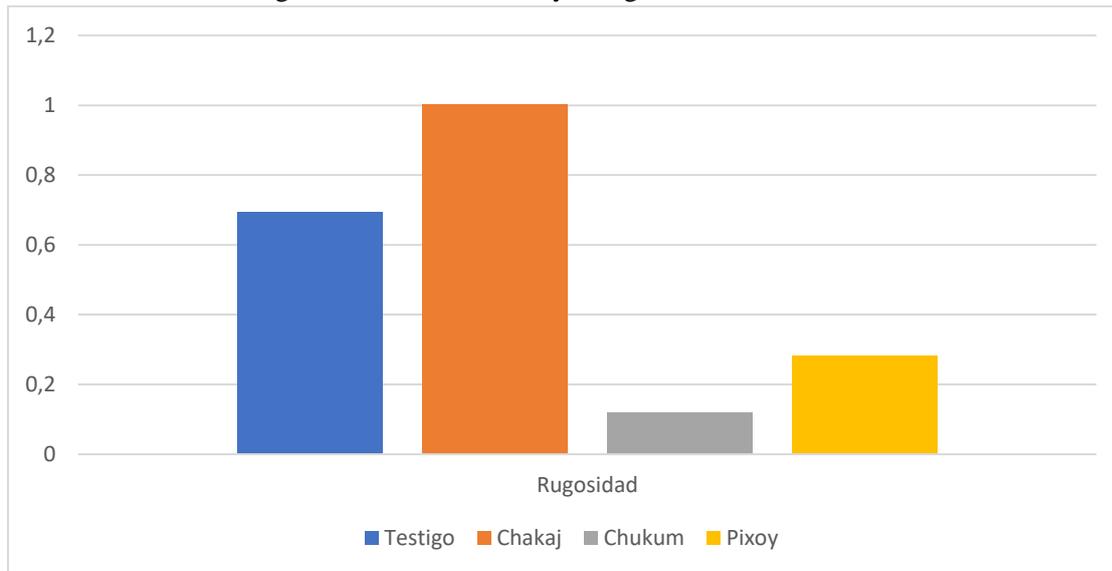
El mortero con *Chúkum* presentó una disminución del 82.5% en la rugosidad superficial en comparación con el mortero testigo. Esta reducción significativa sugiere que el *Chúkum* actúa como un agente nivelador, posiblemente debido a su alto contenido de mucílagos, que mejoran la homogeneidad de la mezcla y reducen la formación de irregularidades superficiales (Jaidar Benavides et al , 2004). Este hallazgo es consistente con estudios previos que han demostrado que los aditivos ricos en polisacáridos, como el mucílago de nopal, pueden mejorar la trabajabilidad y suavidad de los morteros (Martinez Molina, y otros, 2014).

Por otro lado, el mortero con *Pixoy* mostró una reducción del 59.1% en la rugosidad superficial respecto al testigo. Aunque este valor es menor que el observado con el *Chúkum*, sigue siendo una mejora considerable. Esto podría atribuirse a las propiedades adhesivas del *Pixoy*, que favorecen una distribución más uniforme de los componentes del mortero, reduciendo así las irregularidades superficiales (Lorenzo Mora & Carrascosa Moliner, 2019). Sin embargo, la menor eficacia en comparación con el *Chúkum* podría deberse a diferencias en la composición química y la viscosidad de los extractos utilizados.

En contraste, el mortero con *Chákaj* registró un aumento del 30% en la rugosidad superficial respecto al testigo. Este resultado sugiere que el *Chákaj* podría estar introduciendo irregularidades en la matriz del mortero, posiblemente debido a la presencia de partículas más gruesas o a una menor capacidad para homogeneizar la mezcla.

Este hallazgo es relevante, ya que indica que no todos los aditivos orgánicos mejoran la textura superficial de los morteros, y algunos incluso podrían tener un efecto adverso (Ravi, Rajesh, & S, 2017)

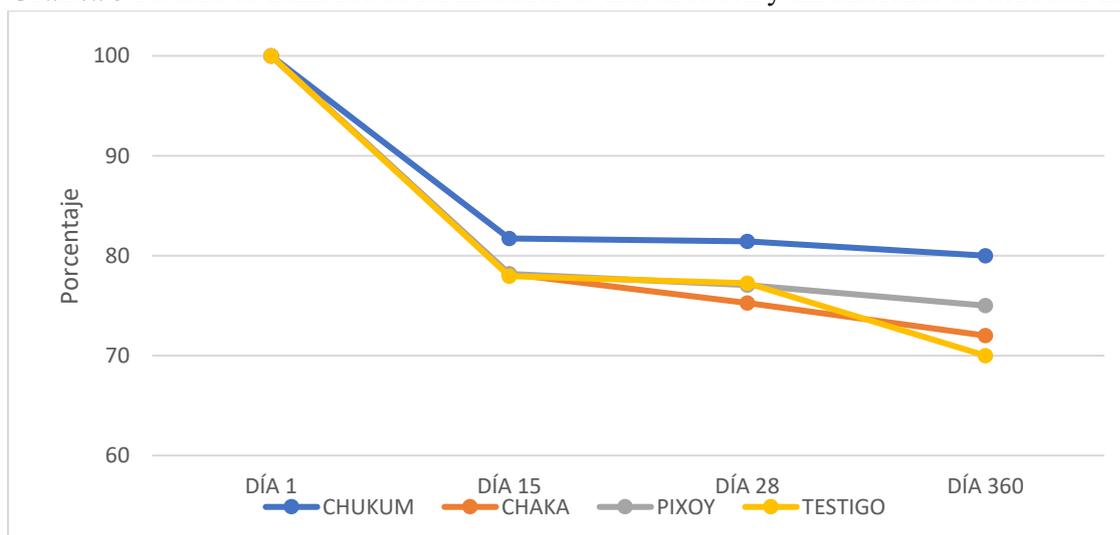
**Gráfica 2** Índice de rugosidad entre morteros y testigos.



Fuente elaboración propia.

En cuanto a la pérdida de humedad, los resultados a 15 días de curado indicaron que el mortero testigo y con chákaj presentaron la mayor pérdida, mientras que los morteros con Pixoy y Chukum mostraron valores de 81.72% y 78.19%, respectivamente. Barbeta, Bosch y Vendrell (2015) reportaron una tendencia similar, observando que los aditivos naturales redujeron hasta en un 3%-5% la pérdida de humedad en morteros de tierra durante períodos iniciales de curado.

**Gráfica 3** Pérdida de humedad de las muestras de morteros con y sin adiciones de extractos naturales.



Fuente: Elaboración propia.

A los 365 días de curado, el mortero testigo alcanzó una pérdida acumulada de 70%, frente a valores superiores en los morteros con Chukum (80%), Pixoy (75%) y Chákaj (72%). Comparativamente, García-Solís y Van Balen (2019) señalaron que los morteros con aditivos naturales, como mucílagos de

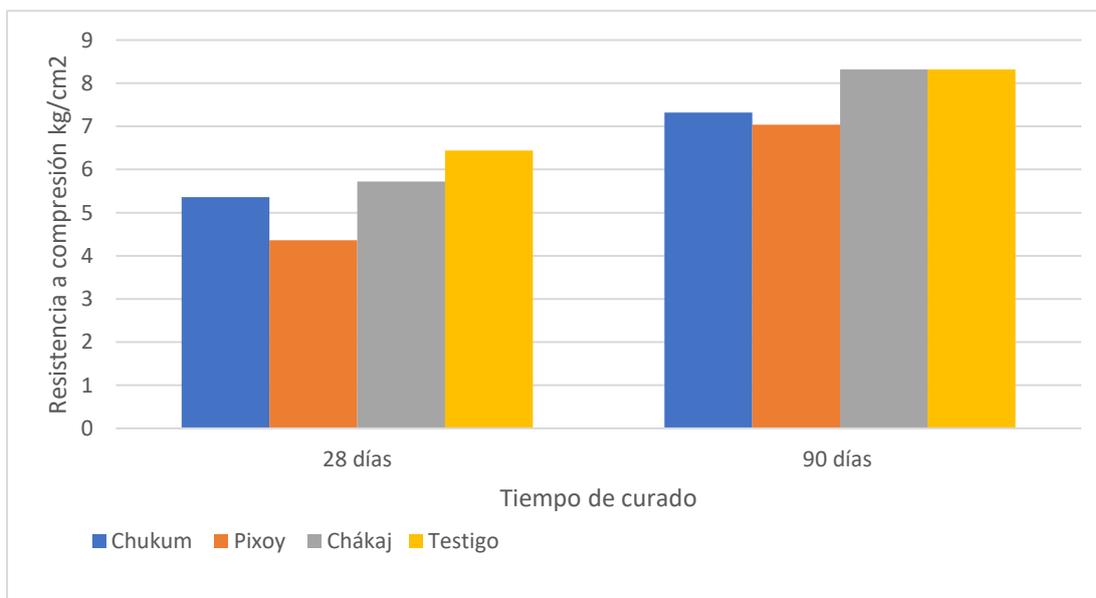
origen vegetal, lograron mantener un 3% -6% más de humedad en pruebas de larga duración. Los valores reportados en este estudio son consistentes con esos hallazgos y sugieren que la adición de Chukum y Pixoy tiene un efecto similar al observado en otros extractos naturales reteniendo 14.29% y 7.14% más la humedad en comparación con el mortero testigo.

En conclusión; en términos de rugosidad como de retención de humedad, no solo concuerdan con estudios previos, sino que, en algunos casos, como la reducción de rugosidad, superan los valores previamente reportados. Esto subraya el potencial de estos aditivos naturales en la mejora de las propiedades de los morteros.

### Resistencia Mecánica

En las pruebas de resistencia a compresión, los resultados revelaron diferencias significativas entre los morteros con aditivos naturales y el mortero testigo. A los 28 días, el mortero con Chukum alcanzó una resistencia de 5.36 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el mortero con Pixoy logró 4.36 kg/cm<sup>2</sup>, el chákaj 5.72% y el testigo obtuvo 6.44 kg/cm<sup>2</sup>. A los 90 días, el mortero con Chukum incrementó su resistencia a 7.32 kg/cm<sup>2</sup>, el Pixoy a 7.04 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el mortero testigo y con chákaj alcanzaron su resistencia máxima de 8.32 kg/cm<sup>2</sup>, como se muestra en [Gráfica 4].

**Gráfica 4** Resistencia mecánica a compresión de las muestras de morteros con y sin aditivos extractos naturales.



Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que el mortero testigo y con chákaj registraron la mayor resistencia a compresión a los 90 días, estos presentaron mayores niveles de agrietamiento, pulverulencia, absorción de humedad y pérdida de peso en comparación con los morteros con aditivos de chúkum y pixoy. Barbeta, Bosch y Vendrell (2015) observaron una tendencia similar, reportando que morteros estabilizados con extractos naturales mostraron una resistencia a compresión entre un 5% y 15% menor que los morteros convencionales, pero presentaron una mejora en propiedades relacionadas con la durabilidad, como una reducción en la absorción de agua hasta en un 20% y menor agrietamiento.

De manera similar, la investigación sobre morteros de cal con aditivos orgánicos, realizada en el área maya, reportó una resistencia a la compresión menor en los morteros con aditivos en comparación con los morteros convencionales (García-Solís et al 2013).

No obstante, los morteros con aditivos demostraron un mejor desempeño en términos de manejo y reducción de fisuración, lo que sugiere ventajas en aplicaciones no estructurales.

En general estos estudios coinciden en que los morteros con aditivos naturales tienen una menor resistencia mecánica que los morteros convencionales, pero estos aditivos ofrecen beneficios adicionales, como una mejor manejabilidad y menor propensión a la fisuración, lo que los hace adecuados para aplicaciones no estructurales (Lorenzo et al, 2019).

En conclusión, aunque el mortero testigo obtuvo una mayor resistencia a compresión máxima, los aditivos naturales, como el Chukum y el Pixoy, mejoraron otras propiedades esenciales, como la reducción de agrietamiento y absorción de humedad. Estas características, destacadas también en investigaciones previas, refuerzan el potencial de estos aditivos para aplicaciones en conservación y restauración de edificaciones históricas.

## **CONCLUSIONES**

El efecto de la adición de pixoy, chákaj y chukum mejoró la fluidez en los morteros de cal con incrementos que van del 16 al 35% con respecto al mortero testigo facilitando su manejabilidad.

Los morteros con aditivos de Pixoy y Chukum mejoraron el acabado superficial, mostrando mayor homogeneidad, menor porosidad y mejor resistencia al agrietamiento y pulverización en comparación con el mortero testigo y con chákaj.



Dos de los extractos redujeron el índice de rugosidad en un 82.5% para el mortero con chukum y un 59.1% para el de pixoy, lo que sugiere que contribuyen a una superficie más lisa y uniforme, ideal para aplicaciones de aplanado o acabados.

La adición de Chukum no mostró cambios significativos en la absorción de humedad en comparación con el mortero testigo. Sin embargo, los morteros con Pixoy presentaron una reducción del 4% en la absorción de humedad, lo que los hace más adecuados para aplicaciones que requieren una baja absorción, como en edificaciones de piedra caliza. En cuanto a la densidad, ambos aditivos, Chukum y Pixoy, incrementaron la densidad de los morteros entre un 23% y un 28%.

Los resultados de pérdida de humedad indican que los morteros con aditivos de chukum y pixoy mantienen mejor la humedad durante el curado en comparación con el mortero testigo y chákaj. Esto sugiere que los aditivos contribuyen a una mayor retención de agua, lo cual puede mejorar la durabilidad y el desempeño de los morteros en aplicaciones constructivas.

A pesar de los beneficios observados en términos de morfología y propiedades funcionales, el mortero testigo y con aditivo de chákaj presentaron la mayor resistencia a la compresión, alcanzando 8.32 kg/cm<sup>2</sup> a los 90 días. Esto indica que, en aplicaciones estructurales que requieren alta resistencia mecánica, los morteros sin aditivos podrían ser más apropiados, aunque con mayores niveles de agrietamiento y absorción.

Los morteros con aditivos de Pixoy y Chukum destacan por sus ventajas en acabados, resistencia al agrietamiento y baja absorción de agua, lo que los hace ideales para aplicaciones en aplanados o superficies expuestas a condiciones ambientales severas. Sin embargo, el Chukum presentó mejores resultados en comparación con el Pixoy, destacándose por su mayor eficacia en mejorar las propiedades del mortero. A pesar de estos avances, su uso debe ser selectivo, y para aplicaciones estructurales que requieren alta resistencia, como el rejunteo de mampostería, capas estructurales (relleno), para reparar elementos sometidos a cargas. los morteros testigos y con chákaj siguen siendo la opción más adecuada. En conclusión, la investigación demuestra que los aditivos naturales en morteros son una estrategia eficaz para mejorar propiedades clave de los materiales de construcción, impulsando alternativas sostenibles.



El Pixoy destaca como solución para reducir la absorción de agua, mientras que el Chukum ofrece ventajas multifuncionales que mejoran su desempeño. Estos resultados sientan las bases para futuras investigaciones orientadas a optimizar la formulación de morteros base cal con aditivos naturales y ampliar su aplicación en proyectos arquitectónicos y de conservación del patrimonio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASHWORTH, G. J. & TUNBRIDGE, J. E. (2000). *Retrospect and prospect on the tourist-historic city*.

London: Elsevier.

ASTM C-127. (s.f.). *Densidad y absorción del agregado grueso*. American Society for Testing and Materials.

ASTM INTERNATIONAL. (2020). *Standard test method for color and color-difference measurement*

by tristimulus colorimetry (ASTM E1347-06). En línea:

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/106127/54a278e4d564446fa637af69493ebf71/ASTM-E1347-06-2020-.pdf>.

BAGLIONI, P., PIQUÉ, G. & SARTI, E. (1997). "New autogenous lime-based grouts used in the conservation of lime-based wall paintings". *Studies in Conservation*, 42, pp. 43–54.

BARBETA, A., BOSCH, M. & VENDRELL, M. (2015). *Estabilización hidrofugante para revocos de tierra con extractos naturales*.

CAZOLA, B. & VIVAS, J. (198-). *Manual de prácticas del laboratorio de concreto*. Universidad Autónoma de Yucatán.

CHAB, J. & LAUCIRICA, G. (2010). *Especies vegetales para uso en el medio urbano*. Mérida, Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán.

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL. (2019). *Especies recomendadas*. En línea:

[https://www.conafor.gob.mx/catalogo\\_veg\\_tormento/especies/detalles/10](https://www.conafor.gob.mx/catalogo_veg_tormento/especies/detalles/10). [Consulta: 22.04.2025].

DÍAZ CALDERÓN, M. G. (2016). *Aditivos orgánicos e inorgánicos en morteros de cal: Revisión histórica para su aplicación en intervenciones actuales*. Morelia, Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



- FUENTES PORTO, A. & OTERO, A. (2010). “La técnica pictórica de los mayas al servicio de la restauración de estucos y pintura mural en México, Calakmul: Un ejemplo de restauración ecológica”. *XII Reunión técnica. Vero una conservació-restauració sostenible: reptes*. Barcelona.
- GALLEGO, R., ARANDA, Y., GÓMEZ, E. & SUÁREZ, E. (2012). “Thermal study in a coating added with *Havardia albinas* and *Guazuma ulmifolia* Lam.” *International Journal of Engineering and Technical Research*, 4.
- GARCÍA SOLIS, C. & JÁIDAR BENAVIDES, Y. (2013). “El uso de aditivos orgánicos en el área maya”. En: *La cal, historia, propiedades y uso*. México: UNAM.
- GIZZI, S. (2006). *III Bienal de restauración monumental*. Sevilla.
- INSTITUTO ANDALUZ DEL PATRIMONIO HISTÓRICO. (2001). *Morteros empleados en construcciones históricas*.
- JÁIDAR BENAVIDES, Y., RUIZ, M. & MENDOZA, D. (2004). “Un acercamiento a la caracterización de extractos vegetales empleados en conservación”. *La ciencia de los materiales y su impacto en la arqueología, IV*.
- LANDA, D. DE. (1973). *Relación de las cosas de Yucatán*. México: Porrúa.
- LITTMANN, E. (1960). “Ancient Mesoamerican mortars, plasters, and stuccos: The use of bark extracts in lime plaster”. *American Antiquity*, 25(4), p. 223.
- LORENZO MORA, F. & CARRASCOSA MOLINER, B. (2019). “Influencia de los aditivos orgánicos naturales en la resistencia a la cristalización de sales en morteros tradicionales de cal con distinto árido. Análisis del caso: Sitio arqueológico La Blanca, Petén, Guatemala”. *Devenir*, 6(12), pp. 11–26.
- MAGAR, V. (2013). “El uso de la cal en conservación: la experiencia internacional”. En: *La cal, historia, propiedades y uso*, pp. 175–180. México: UNAM.
- MARTÍNEZ MOLINA, W. et al. (2011). “Contribución del aplanado de morteros de cal para restauración sobre muretes de mampostería”. En: *Actas del 2do Congreso Iberoamericano y X Jornada “Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio”*.
- NMX-C-061-ONNCCE-2001. (2001). *Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulico*.



- NMX-C-324-ONNCCE-2004. (2004). *Determinación de la granulometría de la arena de sílice utilizada en la preparación de los morteros de cementantes hidráulicos*.
- NOM-Z-77-1987. (1987). *Metrología dimensional. Estados de superficie, parámetros de rugosidad, especificaciones*. Norma Oficial Mexicana de Metrología.
- ORELLANA, R. & CARRILLO, L. Y. (2007). *Árboles recomendables para las ciudades de la Península de Yucatán*. Mérida, Yucatán: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- PASQUEL, A. (2001). “Gomas: una aproximación a la industria de alimentos”. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1(1), pp. 1–8.
- PIZZORUSSO, G. (2005). *Malte messicane di area Maya. Studio degli effetti degli estratti di Chaca sul processo di presa*.
- RIVAS, I. (2020). “Chukum, el estilo de acabado natural más utilizado en la Riviera Maya”. *AD Magazine*. En línea: <https://www.admagazine.com/arquitectura/chukum-el-estilo-de-acabado-natural-mas-utilizado-en-la-riviera-maya-20210101-7917-articulos>. [Consulta: 22.04.2025].
- RUIZ MARTÍN, M. C. (2010). “El pixoy como material de conservación de pintura mural y relieves policromos en el área maya”. *Estudios de la Cultura Maya*, 35. En línea: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-25742010000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-25742010000100003). [Consulta: 22.04.2025].
- TORRACA, G. (2005). *Porous building materials science for architectural conservation*. Roma: ICCROM.

