

Capítulo 7 Sistema de impermeabilizante con base a mortero y mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*)

Chapter 7 Waterproofing system based on mortar and cactus mucilage (*Opuntia ficus-indica*)

RODRÍGUEZ-URIBE, Juan Carlos†*, SERRANO-ARELLANO, Juan´ y TREJO-TORRES, Zaira Betzabeth´

´División de Arquitectura, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan-ITESHU-TecNM. Dom. Conocido S/N, El Saucillo, Huichapan, Hgo, C.P. 42411, México.

ID 1^{er} Autor: *Juan Carlos, Rodríguez-Uribe* / **CVU CONACYT ID:** 166235

ID 1^{er} Coautor: *Juan, Serrano-Arellano* / **Researcher ID Thomson:** F-1060-2013

ID 2^{do} Coautor: *Zaira Betzabeth, Trejo-Torres* / **CVU CONACYT ID:** 774137

DOI: 10.35429/H.2021.14.1.69.82

J. Rodríguez, J. Serrano y Z. Trejo

* jcrodriguez@iteshu.edu.mx

J. Serrano, J. Rodríguez, Z. Trejo, K. Velázquez, J. Marmolejo, D. Pineda. (AA. VV.) *Arquitectura y sustentabilidad. Handbooks-©ECORFAN-México, Hidalgo, 2021.*

Resumen

A partir del impacto de los cambios climáticos, se desprende nuestra preocupación ante este escenario ya que toda edificación está expuesta a diferentes agentes climáticos como lo es la lluvia misma que puede impactar negativamente en el desempeño integral de la construcción y por supuesto desencadenar un impacto económico, de salud y de funcionalidad para el usuario. La impermeabilización es un requerimiento sustancial para todo tipo de edificaciones ya sea de uso residencial, comercial e industrial. Aspectos como la geometría y los materiales con los cuales se establecen los sistemas estructurales de cubiertas (losas) juegan un papel fundamental al momento de elegir el sistema de impermeabilizante mas efectivo para incorporar a la edificación. Por lo tanto, nuestro principal planteamiento es enlistar el sistema de impermeabilización con base a mortero y mucilago de nopal para protección de las cubiertas de viviendas con el objetivo de lograr un buen desempeño y conservación de la edificación.

Impermeabilización, Sustentabilidad, Materiales

Abstract

Based on the impact of climate changes, our concern about this scenario arises since the entire building is exposed to different climatic agents such as the rain itself, which can negatively impact the integral performance of the construction and of course trigger an impact economic, health and functionality for the user. Waterproofing is a substantial requirement for all types of buildings and sea for residential, commercial and industrial use. Aspects such as geometry and materials with which the structural roof systems (slabs) were obtained play a fundamental role when choosing the most effective waterproofing system to incorporate into the building. Therefore, our main approach is to enlist the waterproofing system based on mortar and nopal mucilage to protect the roofs of houses in order to achieve good performance and conservation of the building.

Waterproofing, Sustainability, Materials

7.1 Introducción

Hoy en día la filtración de agua dentro del proyecto arquitectónico genera impactos adversos en la funcionalidad del proyecto y en la salud de los ocupantes. La función básica que tiene un impermeabilizante es la de impedir el flujo de agua a través de las diferentes capas que forman el sistema de impermeabilización [1].

Debido a los impactos negativos que produce la migración del agua dentro de una edificación es trascendental el uso de impermeabilizantes para evitar la filtración y con ello asegurar un buen desempeño de la edificación. Los impermeabilizantes son sustancias que cortan el paso del agua, impidiendo su paso, y son usados para cubrir materiales que deben permanecer secos. Su funcionamiento es eliminar o reducir la porosidad del material, llenando filtraciones y aislando la humedad. [2].

Los elementos estructurales por los cuales el agua se filtra dentro del espacio arquitectónico son especialmente: la cubierta(losa), muros y sistema de piso, por ende, hay que realizar un análisis minucioso de estos sistemas para identificar un posible escenario de filtración de agua. En la presente investigación haremos énfasis en el sistema de cubierta con base a mortero y mucilago de nopal [3].

Los aditivos son sustancias que se añaden a las mezclas y pueden ser naturales o sintéticas la proporción de estas deben ser menores al 5% del peso del aglomerante, estas le otorgan propiedades al mortero sin importar la fase de su vida, ya sea mientras esté fresco o cuando ha endurecido. Estos alteran las propiedades, en estado fresco: lo vuelven más manejable, aquí pueden entrar los acelerantes, retardantes, endurecedores, aerantes, etc., en estado sólido, propicia el incremento del rendimiento de la masa, una vez que es colocado. La presentación de estos se puede encontrar en forma líquida, pasta y polvos, y su dosificación varía de acuerdo con las necesidades y lo que se requiere obtener. [4].

Los sistemas de impermeabilización son el conjunto de elementos que, combinados entre sí, garantizan que no se produzcan filtraciones y humedades en las edificaciones [5].

7.2 Metodología

La impermeabilización es un requerimiento básico para todo tipo de estructuras de proyectos arquitectónicos como los son proyectos residenciales, comerciales y fabriles, con el objetivo de lograr una protección contra agentes climáticos. Por ende, es importante identificar los materiales más empleados en México que conforman el sistema estructural de cubiertas (losas) y el desempeño que tienen los distintos sistemas de impermeabilizante al ser aplicado sobre las cubiertas.

Materiales empleados en México en la conformación de techos (cubiertas)

En México el problema del deterioro de la vivienda obedece principalmente a las siguientes causas: A. la estructura ocupacional y de ingresos de la población B. Al crecimiento demográfico C. A la especulación sobre los elementos que componen la vivienda (tierra y materiales).

A continuación, en la Tabla 1 se muestra los materiales empleados en la conformación de las cubiertas de viviendas en México de acuerdo con el censo de INEGI 2015 [6].

Tabla 1 Materiales empleados en la conformación de los techos (cubiertas) en México

Material de construcción predominante en techos	Porcentaje (%)
Losa de concreto o viguetas con bovedilla	75.3
Lámina de fibrocemento ondulada (techo fijo)	0.1
Palma o paja	0.4
Madera o tejamanil	2.3
Terrado con vigería	0.5
Teja	2.2
Material de desecho	0.3
Lámina de Cartón	1.2
Lámina metálica	13.0
Lámina de asbesto	4.7

Fuente: Censo INEGI 2015

En la Tabla 1 logramos identificar los materiales más empleados que constituyen las cubiertas (losas) en México como sistemas estructurales destacando ampliamente el uso de concreto reforzado y elementos metálicos de aquí la importancia de identificar el tipo de impermeabilizantes existentes en el mercado y su desempeño en este tipo de materiales.

Impermeabilizante con base a mortero y cal

Los morteros son tan antiguos como la humanidad misma, remontan sus orígenes a las mezclas de cal de la antigüedad, hace alrededor de 12,000 años, cuando se comenzaron a construir las primeras ciudades. En diversas partes del mundo y por lo tanto varias civilizaciones se incluían en las mezclas, elementos de origen natural como extractos de plantas, es el caso del nopal, el aceite de oliva, pegamentos naturales y caseína, por mencionar algunos [7].

Figura 1 Línea del tiempo: Antecedentes de los impermeabilizantes



Fuente: Autoría propia

Con base a las pruebas de porosidad en muestras de mortero en las que se adicionó elementos naturales, se observa reducción en la porosidad y reducción del tamaño de los poros [7].

Figura 2 Modelo conceptual de cubierta de vivienda con impermeabilizante



Fuente: Autoría propia

7.3 Metodología por desarrollar

La principal función de un impermeabilizante es su capacidad de evitar la filtración de agua y humedad a través de materiales con los que integra una edificación, así se analiza la influencia de mezclas de impermeabilizantes elaborados en laboratorio con componentes tradicionales en probetas.

La propiedad por analizar en los ensayos es la permeabilidad/filtración.

El diseño experimental se llevó a cabo con mezclas de impermeabilizantes tradicionales elaborados en laboratorio. El impermeabilizante tradicional con base a cal y mucilago de nopal es el que emplearemos para el desarrollo de la presente investigación.

El proceso del diseño experimental se divide en las siguientes etapas, la primera etapa consiste en elaborar probetas de mortero ya que es uno de los materiales más utilizados en los elementos estructurales que conforman la cubierta de viviendas, la siguiente etapa consiste en la elaboración y dosificación de los impermeabilizantes tradicionales (a base de cal y mucilago de nopal que emplearemos en los ensayos para continuar con el proceso de aplicar los impermeabilizantes tradicionales en las probetas previamente fabricadas con el objetivo de someterlas a ensayos de permeabilidad para identificar el impermeabilizante con mejor desempeño ante la filtración.

Etapa 1. Elaboración de probetas (mortero).

La cubierta es la parte del edificio más expuesta a las incidencias de agentes climáticos como lo es la lluvia, por ende, la trascendencia de protección de este elemento estructural por medio de la impermeabilización.

Se fabricaron en el laboratorio probetas de mortero dado que es el material más empleado para la construcción de cubiertas en viviendas. Las dimensiones de las probetas fueron elegidas por la necesidad de manejo adecuado en laboratorio.

Procedimiento de elaboración de probetas de mortero

1. Para elaborar las probetas se necesitó de un molde en este caso de madera, para hacer el molde se necesitó de dos pedazos de tabla de dimensiones 45 cm de largo, 5 cm de alto y 2 cm de ancho, después se perforaron dos orificios en las tablas a 3 cm de cada esquina, se compraron dos tornillos largos de 35 cm y 4 mariposas para los tornillos, y pasaron los tornillos por los orificios de la madera, y para las esquinas y el centro del molde se usaron 3 pedazos de triplay tipo duela de dimensiones 20 cm de largo, 9 cm de alto y 1 cm de ancho.

Figura 3 Molde para elaborar las probetas de mortero



Fuente: Autoría propia

2. La preparación de probetas de mortero: para fabricar las probetas de mortero se utilizará una mezcla de cemento mortero, cal, arena y agua para realizar una mezcla con proporción 1:1:10, la probeta tiene unas dimensiones de 20 x 20 x 2.5 cm, estas probetas se realizarán con la finalidad de probar los impermeabilizantes y simular las losas, y con las probetas experimentar como será el comportamiento de la losa con el impermeabilizante.
3. Preparación de la mezcla de mortero, para hacer las probetas se realizó una mezcla de cemento mortero, cal, arena de proporción 1:1:10, para esto se midieron los materiales que fueron, mortero cemento, cal, área y agua, y se mezclaron bien hasta tener una mezcla uniforme semi liquida.

Figura 4 Mezcla de cemento-cal-arena



Fuente: Autoría propia

4. Se vació con la ayuda de una cuchara la mezcla de mortero en el molde para elaborar las probetas, y se vibró la mezcla con una varilla.

Figura 5. Vaciado de la mezcla de cemento-cal-arena



Fuente: Autoría propia

5. Una vez vaciada la mezcla de cemento-cal-arena se dejó secar durante 24 horas con el objetivo de realizar el descimbrado de probetas.

Figura 6 Descimbrado de probetas de mortero



Fuente: Autoría propia

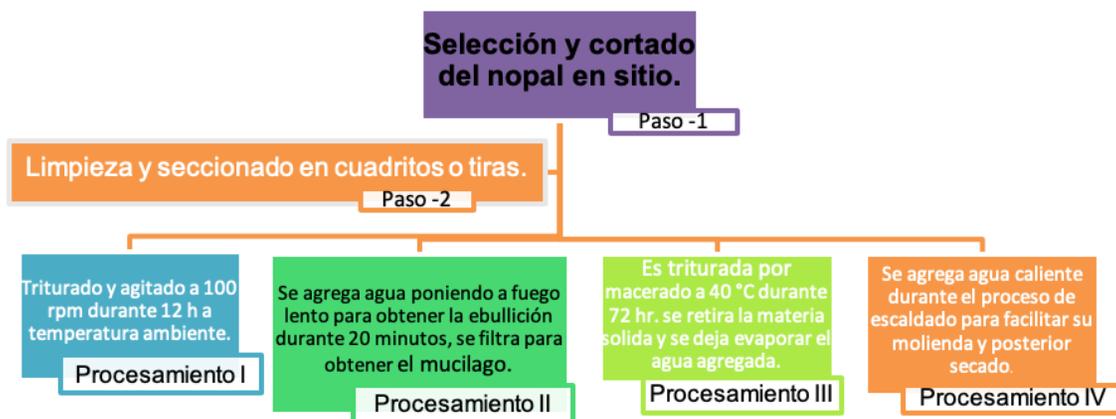
6. Para hacer todas las probetas se realizó la mezcla y se vació en el molde, se dejó secar durante 24 horas y después se desmolda así se repitió el proceso durante 5 días para la elaboración de todas ellas, por último, se etiquetaron las probetas.

Figura 7 Acomodo y etiquetado de las probetas

Fuente: Autoría propia

Etapa 2. Dosificación de impermeabilizante tradicional a base de cal y mucilago.

Para fabricar el impermeabilizante tradicional a base de cal se elaboró en laboratorio una mezcla de agua, cal, cemento blanco y con una dosificación resultante por medio de los volúmenes y pesos volumétricos de los materiales que se emplearon. Extracción del mucilago de nopal. Se describe a continuación la metodología de extracción del mucilago de nopal.

Figura 8 Metodología de extracción del mucilago

Fuente: Autoría propia

Procedimiento de la extracción de baba de nopal (Opuntia ficus-indica).

1. El primer paso para comenzar la extracción de mucilago de nopal es recolectar pencas de nopal de la especie (*Opuntia ficus-indica*), para esto se viajó a una zona semiárido en el municipio de Ixmiquilpan, en el municipio de Ixmiquilpan hay zonas protegidas en las cuales está prohibido extraer cactáceas, por lo que se buscó una zona en la que se permita extraer cactáceas, en este caso un terreno de cultivo el que se encuentran plantadas pencas de nopal para la venta y el consumo humano, en el terreno se encontraron nopales de la especie opuntia que se usa para el consumo humano.
2. Al recolectar los nopales, se escogieron los nopales que estaban semi maduras con una vida de entre 2 – 3 años, se escogieron los nopales que ya no se recolectan para el consumo, para de esta manera aprovechar los nopales que ya no son aptos para la venta.

3. Con una cubeta de plástico y un cuchillo se cortaron las pencas de los nopales seleccionados, después con cuidado se manejaron para no espinarse y se colocaron dentro de un recipiente, para de esta manera manejarlos y transportarlos mejor.
4. Después de recolectar las pencas de nopal, se procedió a quitarles las espinas menos profundas con una escoba y después se procedió a pelar las pencas del nopal para retirar las espinas más profundas y también para retirar un poco la piel del nopal.
5. Con ayuda de una tabla de corte y un cuchillo cortamos la penca de nopal en julianas y después en pequeños cuadros.
6. Con los nopales limpios y picados en pequeños cuadros, los depositamos en un recipiente limpio.
7. Después de picar 4 pencas de nopal medianos y colocarlos en un recipiente, se les agrego 2 litros de agua purificada, con la finalidad de hacer que los nopales suelten el mucilago de su interior.
8. Después de agregar el agua el recipiente se tapó y se dejó reposar el agua con el nopal por 3 días, este procedimiento se hace para hacer que el nopal libere el mucilago de su interior.
9. Posteriormente de remojar los nopales en agua por tres días el nopal ya habrá soltado el mucilago de su interior por lo que se procedió a extraer el mucilago que se liberó, para esto con ayuda de un colador se separó el mucilago liquido del material solido que son los trozos de nopal.
10. Posteriormente de remojar los nopales en agua por tres días el nopal ya habrá soltado el mucilago de su interior por lo que se procedió a extraer el mucilago que se liberó, para esto con ayuda de un colador se separó el mucilago liquido del material solido que son los trozos de nopal.
11. Después de colocar el mucilago en frascos de vidrio de les coloco una tapa para sellar el interior y evitar la descomposición del mucilago, y posterior mente se etiquetaron para identificarlos.

La Tabla 1 muestra la relación de la dosificación que se realizó para obtener el mucílago de nopal.

Tabla 1 Cantidad de agregados para obtener mucílago

Materiales		
Materia prima	Cantidad	Unidad de medida
Nopal	2.320	kg
Agua	2.320	litros
Total	4.640	Kg/Litro

Fuente: Autoría propia

Figura 9 Proceso de extracción de mucilago de nopal (Ver procedimiento de extracción de mucilago de nopal)



Fuente: Autoría propia

Proceso de elaboración de impermeabilizante con base a mucilago de nopal (Opuntia Ficus Indica)

Para el diseño y fabricación del impermeabilizante tradicional a base de cal, piedra de alumbre, jabón neutro y mucilago de nopal, se necesita de algunas materias primas, a continuación, se describen los materiales necesarios y las cantidades a utilizar.

Tabla 2 Materiales empleados para la fabricación de Impermeabilizante a base de mucilago de nopal

Material	Unidad	Cantidad (Gramos)
Mucilago de nopal	Gramos	70
Cal de saco	Gramos	30
Piedra de alumbre	Gramos	20
Jabón neutro	Gramos	15
Agua purificada	Gramos	250
	Total	385

Fuente: Autoría propia

Las herramientas que se necesitan para la fabricación del impermeabilizante tradicional de cal, piedra de alumbre, jabón neutro y mucilago de nopal, se describen en la siguiente tabla.

Tabla 3 Herramientas utilizadas para la fabricación de Impermeabilizante a base de mucilago de nopal

Herramienta	Cantidad
Recipiente de acero de 2 litros	1
Recipiente de vidrio de ½ litro	1
Jarra medidora de ½ litro	1
Termómetro digital	1
Mortero de vidrio de laboratorio	1
Rallador	1
Cucharas medidoras de ¼-1 Taza	1
Báscula	1

Fuente: Autoría propia

Figura 10 Materiales y equipo empleados para la elaboración del impermeabilizante a base de mucilago de nopal

Fuente: Autoría propia

Proceso de elaboración del impermeabilizante a base de mucilago de nopal (Ver Figura 9)

1. El primer paso para comenzar con la fabricación del impermeabilizante es rallar el jabón neutro, en este punto se ralla en jabón neutro con ayuda de un rallador especial para obtener trozos pequeños de jabón y el proceso de disolución en agua sea más rápido.
2. El segundo punto es medir la cantidad de jabón a utilizar, se calibro la báscula para que el peso de la cuchara medidora no sumara al peso del material, el jabón se pesó en una báscula y se fue agregando hasta obtener 15 gramos de jabón rallado.
3. El siguiente punto es moler la piedra de alumbre, en este punto se molió la piedra de alumbre con ayuda de un mortero de vidrio de laboratorio, se molió 20 gramos de piedra de alumbre hasta obtener pequeños trozos, este proceso se hace para que la piedra de alumbre se disuelva más rápido con la mezcla.
4. El siguiente punto es medir y pesar la cantidad de cal de saco a utilizar para fabricar el impermeabilizante, en este punto se midió la cal con una báscula, se calibro la báscula para que el peso de la cuchara medidora no sume al peso del material, se midieron 30 gramos de cal o 1/4 de taza.
5. Medida de la cantidad de mucilago de nopal a utilizar para la fabricación del impermeabilizante, en este caso se utilizó el mucilago de nopal extraído en procesos anteriores, se midió el mucilago con una taza medidora para obtener 70 ml de mucilago para agregar a la mezcla.
6. El proceso de la fabricación del impermeabilizante con mucilago de nopal, para empezar con el proceso se midió 250 ml de agua purificada que posteriormente se colocó en un recipiente de acero para posteriormente calentarlo.

7. El siguiente punto es verter los 250 ml de agua purificada en el recipiente de acero para calentarlo, y posteriormente se calentó el agua hasta su punto de ebullición que aproximadamente es de 100 °C, y posteriormente se tomó la temperatura del agua con un termómetro digital, la lectura de la temperatura de agua fue: 67.7 °C o 153.86 °F.
8. El siguiente punto es vaciar el agua caliente en un recipiente de vidrio resistente a altas temperaturas y posterior mente verter 30 gramos de jabón neutro rallado y mezclarlo bien con cuidado de no generar burbujas de aire en la mezcla.
9. Después de mezclar bien el jabón con el agua se le agrega 20 gramos de piedra de alumbre a la mezcla, se le agrego 20 gramos de piedra de alumbre previamente molido y se mezcló bien hasta que todos los trozos solidos de piedra se disuelvan en la mezcla.
10. Después de mezclar bien el jabón, la piedra de alumbre con el agua caliente se le agrego cal de saco, se le agrego 30 gramos de cal de saco a la mezcla, se agregó la cal y se mezcló bien hasta obtener una mezcla semi liquida, sin grumos y homogénea.
11. El siguiente punto es agregar el mucilago de nopal obtenido en procesos anteriores, se le agrego 70 ml o 70 gramos de mucilago de nopal, se le agrego el mucilago de nopal a la a la mezcla y se revolvió bien con los materiales anteriores hasta tener una mezcla homogénea y semilíquida.
12. Se mezclan bien los materiales hasta que se obtenga una mezcla homogénea, consistente y semilíquida.
13. Al tener la mezcla lo siguiente es aplicar el impermeabilizante en la zona a impermeabilizar, para este paso primero se tiene que limpiar la zona a impermeabilizar cuidando de no dejar polvo en la zona, y después aplicar la mezcla en la zona, para aplicarlo se tendrá que tener una brocha de pintor con la que se aplicará la mezcla en 3 capas y después se deja reposar o secar por al menos 24 horas.

Figura 11 Proceso de elaboración del impermeabilizante a base de mucilago de nopal (Ver metodología de impermeabilizante a base de mucilago de nopal)

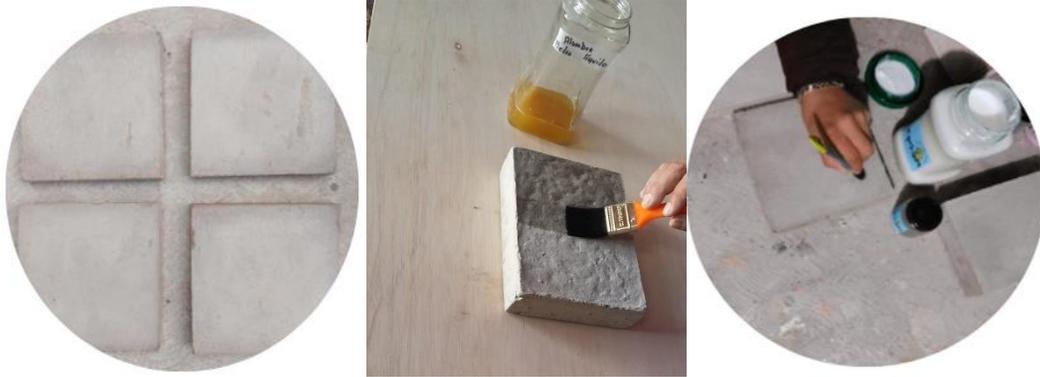


Fuente: Autoría propia

Etapa 3. Aplicación de los impermeabilizantes tradicionales elaborados en probetas

Se aplico el impermeabilizante a las probetas previamente elaboradas. Se limpiaron previamente las probetas con el objetivo de contar con superficie homogénea para aplicar el impermeabilizante. El impermeabilizante se aplicó por medio de una brocha en una capa. En la Figura 12 muestra el proceso de aplicación de impermeabilizante en las probetas.

Figura 12 Impermeabilizante aplicado en las probetas



Fuente: Autoría propia

Etapa 4. Monitoreo de filtración en probetas

Con la ayuda de inyectores se aplicó una cantidad de agua sobre la superficie de las probetas con el objetivo de medir la permeabilidad del sistema. El monitoreo de la filtración consistió en observar en un tiempo (t) la cantidad de agua que se filtró de la cara superior de la probeta a su cara inferior. En la Figura 13 observamos la colocación de agua en las probetas por medio de los inyectores.

Figura 13 Monitoreo de filtración en probetas



Fuente: Autoría propia

7.4 Resultados

Los resultados que se obtuvieron a partir del ensayo de filtración/permeabilidad en las probetas de concreto son los siguientes:

Tabla 4 Resultados de los ensayos de filtración

Impermeabilizante	Cantidad de agua agregada	Filtración después de 6 horas	Filtración después de 12 horas	Filtración después de 24 horas	Total, de mililitros
Probeta Impermeabilizante a base de cal + mucilago	30 mililitros	1 mililitros	1.5 mililitros	2.5 mililitros	6.5 mililitros
Probeta Impermeabilizante sin	30 mililitros	4 mililitros	7 mililitros	9.5 mililitros	25 mililitros

Fuente: Autoría propia

7.5 Agradecimientos

Igualmente deseo agradecer el apoyo brindado por los estudiantes del ITESHU, C. CAMACHO-CAMACHO, Hans, C. PEREZ-MEZQUITE, Juan Daniel, & C. AGUILAR-GARCÍA, Karen y C. DIMAS-DIMAS, Pablo para el desarrollo de la presente investigación.

7.6 Conclusiones

La impermeabilización es un componente fundamental para la protección de las construcciones ante los agentes climáticos. Comprobamos un desempeño por demás sobresaliente del impermeabilizante con base a mucilago de nopal ya que la filtración de agua en la probeta de mortero fue menor comparado con aquella a la cual no se aplicó impermeabilizante. Recomendémosnos continuar con el estudio al profundizar el estudio de las variables que intervienen en el sistema (filtración, porosidad, permeabilidad).

Con el sistema de impermeabilización adecuado junto con la calidad de los procesos de implementación aseguraremos mitigar la filtración de agua por lluvia dentro de la edificación tomando en cuenta valores como la geometría y material de la cubierta (losa) y la ubicación del proyecto (clima). Se evidencio un muy buen desempeño del impermeabilizante con base a mucilago de nopal respecto a la filtración de agua.

7.7 Referencias

- [1] Ocelli Larrea, E. C. (1973). La impermeabilización y su utilización en México (Doctoral dissertation).
- [2] Kubal, M. T. (2008). Construction waterproofing handbook.
- [3] Villalobos González, J. C. (2016). Análisis costo-beneficio de aislamientos térmicos en edificios industriales.
- [4] Rodríguez Haro, E. I. (2016). Caracterización del comportamiento físico-mecánico de morteros de cal hidratada dosificados con agregados orgánicos.
- [5] Cruz, R. C. A., Álvarez, J. J. C., & Posada, A. A. (2013). Mejora del proceso en el control de la calidad para el diseño de los sistemas de impermeabilización en las edificaciones. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 7(2), 1-51.
- [6] Censo INEGI 2005.
- [7] Ventolà, L., Vendrell, M., Giraldez, P., & Merino, L. (2011). Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3313-3318.