



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DE DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS**

**TESIS**

**DESARROLLO DE IMPERMEABILIZANTE NATURAL DE TECHOS EN  
EDIFICIOS HISTÓRICOS A BASE DE CENIZAS DE ORIGEN VEGETAL**

**PRESENTA**

**ING. JULIO CÉSAR PADILLA MARTÍNEZ**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON  
ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCIÓN**

**TUTOR**

**DR. GERARDO ARAIZA GARAYGORDOBIL**

**COTUTOR**

**DRA. LORENA VARGAS RODRÍGUEZ**

**ASESOR**

**DR. MIGUEL ÁNGEL SOTO ZAMORA**

**AGUASCALIENTES, AGUASCALIENTES A 12 DE JUNIO DE 2021**



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 11/06/2021

NOMBRE: Julio Cesar Padilla Martínez ID 118030

PROGRAMA: Maestría en Ingeniería Civil LGAC (del posgrado): Estructuras y Construcción

TIPO DE TRABAJO: ( X ) Tesis ( ) Trabajo Práctico

TÍTULO: Desarrollo de impermeabilizante natural de techos en edificios históricos a base de cenizas de origen vegetal.

IMPACTO SOCIAL (señalar el Impacto logrado): El trabajo de investigación, propicia nuevas alternativas de aplicación de elementos en desuso, como la ceniza. Considerando el análisis realizado a cenizas de origen vegetal permite inferir que su utilización es altamente factible, además de que su incorporación a técnicas tradicionales no presenta restricciones para su utilización en edificios patrimoniales.

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<b>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</b>				
SI				El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI				La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI				Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI				Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI				Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI				El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
NO				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<b>El egresado cumple con lo siguiente:</b>				
SI				Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI				Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predictoral, etc)
SI				Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
SI				Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI				Coincide con el título y objetivo registrado
SI				Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI				Tiene el CVU del Conacyt actualizado
N.A.				Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<b>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</b>				
N.A.				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.				El estudiante es el primer autor
N.A.				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación
N.A.				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.				La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

SI    
 NO

FIRMAS

Elaboró:

\* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGUN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

*Miguel Ángel Soto Zamora*  
Dr. Miguel Ángel Soto Zamora

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

*María Hernández Marín*  
Dr. María Hernández Marín

\* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente al área del tutor o miembro del comité tutorial, según sea el caso

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

*Alexandra Alcántara Colazo*  
Dr. Alexandra Alcántara Colazo

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

*Dr. En C.T.C. Hector Homero Posada Rivas*  
Dr. En C.T.C. Hector Homero Posada Rivas

**Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado**

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... (Cada miembro del Consejo Académico del programa de posgrado y el Art. 105P las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos

Elaborado por: D. Apoyo al Posgrado  
Revisado por: D. Control Escolar/ D. Gestión de Calidad  
Revalidado por: D. Control Escolar/ D. Apoyo al Posgrado

Código: 00-011-10-16  
Actualización: 01  
Emisión: 28/04/20

Dr. En C.T.C. Héctor Homero Posada Ávila  
PRESENTE

Por medio del presente como **Miembros del Comité Tutorial** designado del estudiante **JULIO CÉSAR PADILLA MARTÍNEZ** con ID 118030 quien realizó la tesis titulado: **DESARROLLO DE IMPERMEABILIZANTE NATURAL DE TECHOS EN EDIFICIOS HISTÓRICOS A BASE DE CENIZAS DE ORIGEN VEGETAL.**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 14 de junio de 2020.

Dr/ Gerardo Araiza Garaygordobil  
Tutor de tesis

Dr. Miguel Ángel Soto Zamora  
Asesor de tesis

Dra. Lorena Vargas Rodríguez  
Co-Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

## **Agradecimientos**

A la institución, la Universidad Autónoma de Aguascalientes que me dio la oportunidad de integrarme al grupo de personas que desarrollaron una Maestra gracias a los beneficios y estructuras de trabajo definidas; dentro de esta institución se engloban los centros de apoyo a la formación académica como el Centro de Ciencias de Diseño y de la Construcción así como el gran apoyo de la Dirección de Posgrados quien todo el tiempo estuvo al pendiente de requerimientos y apoyos para impulsar la conclusión de los objetivos dentro de la MIC.

Agradezco de sobremanera el apoyo de mis tutores quienes siempre me dieron la apertura para desarrollar mi trabajo académico y de investigación, los Doctores Gerardo Araiza Garaygordobil y Miguel Ángel Soto Zamora, así mismo a la Dra. Lorena Vargas Rodríguez, quien a pesar de la distancia y problemas de contingencia me oriento y apoyo al máximo desde el inicio de nuestra colaboración.

Extiendo mi reconocimiento a mis compañeros, fuimos muchos los que iniciamos y se generó un entorno jovial que permitió seguir, sin embargo al perfilarnos en cada una de nuestras áreas hubo quienes nos acoplamos de una manera adecuada para apoyarnos y concretar lo que nos fijamos al integrarnos a este programa de Maestría, aunque hubo dificultades se aprendió a ver que existe apoyo en el lugar menos esperado y en ocasiones una pequeña aportación hará que el trabajo enorme de conjunto salga a flote.

Agradezco también al Departamento de construcciones por su apoyo, al permitirme armar un laboratorio provisional en casa, utilizando equipo de los distintos espacios de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, teniendo todas las facilidades para poder realizar la campaña experimental, esto sonaría a algo normal, sin embargo estuvimos frente a una situación atípica en la que no se pudo trabajar libremente por cuestiones de Pandemia, y la flexibilidad que se

otorgó para poder montar y trabajar en casa fue de gran valía y determinante para conseguir lo que hoy se presenta en el trabajo de tesis.

Por último, pero no menos importante, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT que confió en mi para ser beneficiado con su apoyo y trabajar libremente en el desempeño académico y de investigación ya que su apoyo es invaluable, aunque sea cuantificable.



## Dedicatorias

Este es un trabajo que refleja el esfuerzo que pudo hacerse por obtener un grado más académicamente hablando, un esfuerzo que no solo es mío y representa el apoyo de muchas personas, en primer lugar GRACIAS, a mi abuela Isidra que siempre me impulso a seguir a delante sin temer a las consecuencias y los sacrificios, gracias a esa gran mujer que sin pensar en lo que pudiera costarle siempre estuvo dispuesta y estuvo ahí para lo que necesitara económica y moralmente, en ocasiones no fue necesario un peso para motivarme más que sus palabras de ánimo y de aliento a continuar, sabiendo que estaba ahí como respaldo para cualquier adversidad que tuviera y encontrar juntos la manera de superarla. Gracias a mi Madre y mi familia que sin duda sin ellos no habría conseguido hacerlo, aunque hubo malos momentos y presiones siempre aguantaron mis reacciones y pudo concretarse este resultado. El entorno de trabajo con mis compañeros y profesores siempre fue de apoyo y disposición para avanzar por lo que agradezco enormemente la ayuda de mis AMIGOS que sin duda fueron pieza determinante para la conclusión de los objetivos que hoy culminamos. A mis Tías Guadalupe y Eliza que, aunque las fastidiaba siempre me decían “Échale Ganas” o “A darle que no está Fácil”, recibí apoyo moral y en ocasiones económico que me permitió minimizar situaciones que ponían en riesgo el avance y hoy son parte de esta dedicatoria.

No fuera una dedicatoria completa si no se menciona a mis asesores, Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil, por su paciencia y apoyo, y aunque fue difícil arrancar propicio siempre una directriz que me encamino a tomar las riendas y desarrollar mis actividades, Dra. Lorena Vargas quien siempre con palabras firmes, de aliento así como de apoyo me impulso a buscar y continuar trabajando, su apoyo fue invaluable ya que sin conocernos previamente y la poca comunicación siempre fueron momentos de calidad y productivos cuando pudimos coincidir; Dr. Miguel Ángel Soto, su aportación recia y sarcástica para avanzar e integrar interrogantes

de beneficio contaron demasiado y hoy lo sumo a mi cumulo de dedicatorias porque todos lo merecen y son parte de ello.

Repetiré dos dedicatorias más, pero en particular MADRE sin usted no pudiera haberlo hecho, esa paciencia y libertad para poder desarrollar todo lo que se me ocurría se refleja en este resultado, esos momentos de desesperación por sentirme atado y estancado los soportamos juntos y solamente gracias por aguantarlos además de impulsarme cuando quise tirar la toalla y dejar todo perdido. Constanza, hermana mía, esa alegría y entusiasmo cada vez que te platicaba algo sobre mi investigación sin conocer mostrabas una fascinación que me hizo no parar, te volviste mi auxiliar en algunas ocasiones y tus “¿Por qué?” en todo lo que me veías hacer siempre me distraían, pero me hacían reafirmar lo que estaba buscando.

Este trabajo me lo dedico a mí, porque es la conclusión de un proyecto que en determinado momento me salvo de una situación tan hostil de trabajo en la que me encontraba y lo vi como escapatoria, pero terminé viéndolo como una gran aventura en la que encontré nuevas formas de trabajo, de conocimiento y de relación con personas que comparten ideales.

## índice general

índice general.....	1
índice de tablas.....	4
índice de figuras.....	8
índice de gráficos.....	11
Acrónimos .....	14
Resumen .....	15
Abstract .....	17
CAPITULO 1. Introducción.....	19
1.1 Objetivo general.....	21
1.2 Objetivos particulares .....	21
1.3 Pregunta de investigación .....	21
1.4 Justificación .....	21
1.5 Alcances de la investigación .....	22
1.6 Hipótesis.....	23
1.7 Metodología.....	23
1.7.1 Definición de las variables de estudio .....	23
1.7.2 Pasos de la metodología.....	23
CAPITULO 2. Estado actual del conocimiento.....	25
2.1 Revisión y aplicación de cenizas.....	25
2.2 Composición de cenizas.....	25
2.3 Caracterización y comportamiento de impermeabilidad de las cenizas. ....	26
CAPITULO 3. Marco teórico.....	28
3.1 Sistemas de impermeabilización .....	28
3.1.1 Antecedentes.....	28
3.2 Tipos de impermeabilización .....	29
3.2.1 Membranas impermeables.....	29
3.2.2 Impermeabilizantes asfálticos .....	30
3.2.3 Impermeabilizantes tradicionales .....	31
3.3 Materiales utilizados en la conformación de impermeabilizantes naturales. ....	31
3.3.1 Jalcreto .....	31
3.3.2 Tabique .....	32

3.3.3 Cal ..... 33

3.3.4 Mucílago de nopal ..... 33

3.4 Cenizas ..... 34

3.5 Tubo de Karsten ..... 35

3.6 Método de revisión de desgaste de las superficies (Norma ASTM). ..... 36

3.7 Absorción ..... 37

3.8 Permeabilidad ..... 38

3.9 Adherencia ..... 38

3.10 Transpiración ..... 38

CAPITULO 4. Campaña experimental ..... 40

4.1 Objetos de estudios ..... 40

4.2 Variables experimentales ..... 42

4.3 Elaboración de probetas y procedimiento experimental ..... 42

4.5 Extracción de mucilago de nopal ..... 54

4.7 Elaboración de las probetas y aplicación de mezclas ..... 66

4.8 Análisis y observación de propiedades ..... 71

4.8.1 Absorción ..... 72

4.8.3 Permeabilidad ..... 75

4.8.4 Adherencia ..... 80

4.8.5 Transpiración ..... 87

CAPITULO 5. Resultados de la investigación ..... 89

5.1 Caracterización de cenizas ..... 89

5.2 Resultados de rendimiento de cenizas ..... 91

5.3 Obtención y rendimiento de mucílago de nopal ..... 92

5.4 Resultados de absorción ..... 93

5.5 Resultados transpiración ..... 99

5.6 Resultados permeabilidad ..... 105

5.7 Resultados adherencia ..... 134

CAPITULO 6. Conclusiones ..... 140

6.1 Conclusión general ..... 140

6.2 Conclusiones particulares ..... 142

6.3 Nichos de investigación ..... 144

Referencias ..... 145

Anexos..... 147

Norma ASTM ..... 147

Procedimiento para la preparación del impermeabilizante optimo, conforme a los resultados de esta investigación, con mucílago de nopal y un 10% de cenizas de madera en desuso. .... 157



## Índice de tablas

Tabla 1. Características y tipo de superficie a utilizar en probetas. ....	44
Tabla 2. Cantidad de probetas a realizar para cada propiedad de análisis y tipo de mezcla.....	44
Tabla 3. Definición de clave de mezclas con su descripción de composición y porcentaje. ....	45
Tabla 4. Dosificación de mezcla base utilizada por INAH de cal y mucílago de nopal. .	58
Tabla 5. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de origen vegetal con % 5. ....	61
Tabla 6. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de origen vegetal con 10%.....	61
Tabla 7. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de origen vegetal con 30%.....	62
Tabla 8. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de cimbra con 5% en masa.....	62
Tabla 9. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de cimbra con 10% en masa.....	62
Tabla 10. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de cimbra con 30% en masa.....	63
Tabla 11. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 01.....	66
Tabla 12. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 02.....	67
Tabla 13. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 03.....	67
Tabla 14. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 04.....	67
Tabla 15. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 05.....	68
Tabla 16. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 06.....	68
Tabla 17. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 07.....	68
Tabla 18. Definición de probetas y caracterización con clave para cada una de ellas mediante código para la organización de resultados. ....	72
Tabla 19. Caracterización para cada probeta de análisis con tipo de mezcla en los días determinados de observación. ....	76
Tabla 20. Definición de clave para probetas de análisis de adherencia que permitan la organización y caracterización de resultados. ....	81
Tabla 21. Caracterización de probetas para análisis de transpiración con clave y composición de ceniza utilizada. ....	87

Tabla 22. Porcentaje atómico normalizado identificado pro EDS-MEB en cenizas. Contenido en porcentaje de cada elemento por especie vegetal. (Análisis compartido por Dra. Lorena Vargas 2019)..... 89

Tabla 23. Resultado de rendimiento de combustión de madera de huizache..... 91

Tabla 24. Resultado de rendimiento de combustión de madera de cimbra en desuso. 91

Tabla 25. Extracción de mucílago en 3 etapas para valorar rendimiento y adiconamiento a mezclas. .... 92

Tabla 26. Definición de promedio de concentración de la solución agua-mucílago de nopal, con base en el promedio de rendimiento en extracciones. .... 93

Tabla 27. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla base de mucílago de nopal. .... 93

Tabla 28. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 02 con adición de 5% de cenizas de huizache. .... 94

Tabla 29. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 02 con adición de 10% de cenizas de huizache. .... 95

Tabla 30. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 02 con adición de 30% de cenizas de huizache. .... 96

Tabla 31. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 5 con adición de 5% de cenizas de cimbra en desuso ..... 97

Tabla 32. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 5 con adición de 10% de cenizas de cimbra en desuso..... 97

Tabla 33. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 5 con adición de 30% de cenizas de cimbra en desuso..... 98

Tabla 34. Resultados de transpiración en muestras con mezcla base de mucílago de nopal. .... 100

Tabla 35. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 02. .... 100

Tabla 36. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 03. .... 101

Tabla 37. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 04. .... 102

Tabla 38. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 05. .... 102

Tabla 39. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 06. .... 103

Tabla 40. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 07. .... 104

Tabla 41. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla base de mucílago de nopal con 1 día de edad..... 105

Tabla 42. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla base de mucílago de nopal con 8 días de edad. .... 106

Tabla 43. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla base de mucílago de nopal con 15 días de edad. .... 107

Tabla 44. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla base de mucílago de nopal con 30 días de edad. .... 108

Tabla 45. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache con 1 día de edad. .... 109

Tabla 46. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache con 8 días de edad ..... 110

Tabla 47. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache con 15 días de edad..... 111

Tabla 48. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache con 30 días de edad..... 112

Tabla 49. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache con 1 día de edad..... 113

Tabla 50. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache con 8 días de edad ..... 114

Tabla 51. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache con 15 días de edad..... 115

Tabla 52. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache con 30 días de edad..... 116

Tabla 53. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache con 1 día de edad..... 117

Tabla 54. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache con 8 días de edad ..... 118

Tabla 55. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache con 15 días de edad..... 119

Tabla 56. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache con 30 días de edad..... 120

Tabla 57. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad..... 122

Tabla 58. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad..... 123

Tabla 59. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad..... 124

Tabla 60. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad..... 125

Tabla 61. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad. .... 126

Tabla 62. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad. .... 127

Tabla 63. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad..... 128

Tabla 64. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad..... 129

Tabla 65. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad. .... 130

Tabla 66. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad..... 131

Tabla 67. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad..... 132

Tabla 68. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad..... 133

Tabla 69. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla base de mucílago de nopal..... 134

Tabla 70. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache..... 135

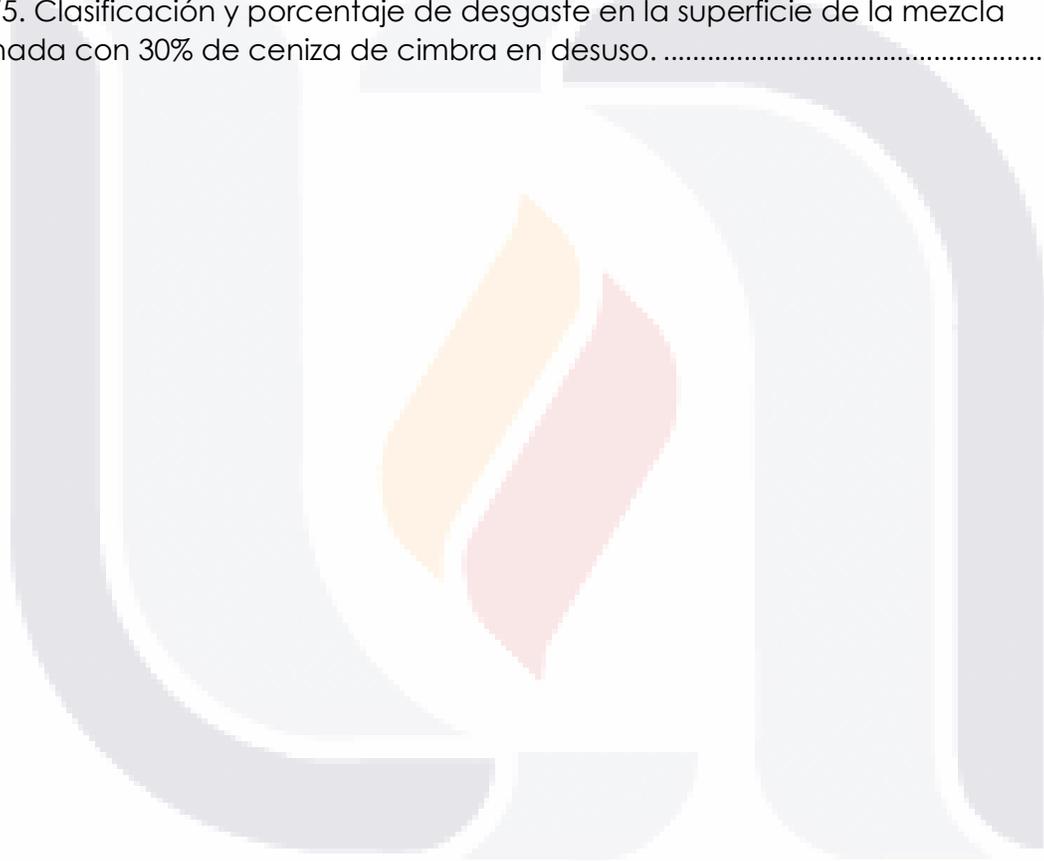
Tabla 71. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache. .... 136

Tabla 72. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache. .... 136

Tabla 73. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 5% de ceniza de cimbra en desuso. .... 137

Tabla 74. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 10% de ceniza de cimbra en desuso. .... 138

Tabla 75. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 30% de ceniza de cimbra en desuso. .... 138



## Índice de figuras

Fig. 1. Cristales prismáticos de calcio alineados e incrustados en estructura de lignina. Micrografía electrónica de barrido de cenizas de huizache. (Propiedad del inventario de la Dra. Lorena Vargas Rodríguez, estudio de laboratorio 2019) .....	27
Fig. 2. Superficies comunes en edificios históricos según manual de INAH .....	41
Fig. 3. Tabiques para la utilización en recubrimiento de mezclas. (Elaboración propia). 43	
Fig. 4. Laboratorio provisional para realización de campaña experimental. ("Elaboración propia") .....	43
Fig. 5. Pila de madera de cimbra en desuso, con espesor de 1-2". (Elaboración propia) .....	46
Fig. 6. Pila de madera de cimbra en desuso, polines de 4x4". (Elaboración propia) .....	46
Fig. 7. Obtención de peso de madera en desuso para análisis de rendimiento de ceniza. (Elaboración propia) .....	47
Fig. 8. Combustión de polines a fuego directo para obtención de cenizas. (Elaboración propia) .....	47
Fig. 9. Obtención de temperaturas en calcinación. (Elaboración propia) .....	48
Fig. 10. Revisión de tablonces para calcinación en masa. (Elaboración propia) .....	48
Fig. 11. Madera en desuso, en proceso de calcinación. (Elaboración propia) .....	48
Fig. 12. Madera de huizache para combustión. (Elaboración propia) .....	49
Fig. 13. Observación de grosor y diámetros de leños de huizache para calcinado. (Elaboración propia) .....	49
Fig. 14. Combustión a fuego directo de madera de huizache. (Elaboración propia) .....	50
Fig. 15. Medición de temperatura de combustión de madera en la envolvente del fuego. (Elaboración propia) .....	50
Fig. 16. Leños de madera de huizache, combustionando para la obtención de cenizas. (Elaboración propia) .....	51
Fig. 17. Acumulación de cenizas después de calcinación de madera. (Elaboración propia) .....	51
Fig. 18. Ceniza Extraída de contenedor, para pesado. (Elaboración propia) .....	52
Fig. 19. Cenizas para criba. (Elaboración propia) .....	52
Fig. 20. Concentrado de cenizas de criba. (Elaboración propia) .....	53
Fig. 21. Cribado de cenizas para preparación de mezclado. (Elaboración propia) .....	53
Fig. 22. Cribado de cenizas y retiro de grumos y sólidos. (Elaboración propia) .....	53
Fig. 23. Preparación de cenizas en mortero para pulverizar y mezclar. (Elaboración propia) .....	54
Fig. 24. Arbustos de <b>Opuntia streptacantha</b> .....	55
Fig. 25. Pencas de nopal previas al pelado. (Elaboración propia) .....	55
Fig. 26. Pesado de nopal, previo al reposo. (Elaboración propia) .....	56
Fig. 27. Nopal en reposo en agua, para extracción de mucílago. (Elaboración propia) .....	56
Fig. 28. Extracción de mucílago, retiro de penca. (Elaboración propia) .....	57
Fig. 29. Ecurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) .....	57
Fig. 30. Solución de Agua-mucílago para mezcla. Ecurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) .....	58

Fig. 31. Jabón de barra a derretir para la utilización en mezcla. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 59

Fig. 32. Jabón de barra derretido para combinación en mezclas. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 59

Fig. 33. Mezclado de componentes de mezcla base. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)..... 60

Fig. 34. Dosificación de Mezcla Base disuelta para aplicación a probetas (Mezcla 01) Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)..... 60

Fig. 35. Conservación de cenizas libres de humedad para mezclado. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 61

Fig. 36. Adición de cenizas a mezclas. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)..... 63

Fig. 37. Mezcla con 10% de ceniza. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)..... 63

Fig. 38. Mezcla con 30% de ceniza en sustitución de la cal. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 64

Fig. 39. Mezclado de materiales para impermeabilizante. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 64

Fig. 40. Resultado de mezcla con 5% de ceniza. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 64

Fig. 41. Resultado de mezcla con 10% de ceniza. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 65

Fig. 42. Resultado de mezcla con 30% de ceniza. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 65

Fig. 43. Mezclas de impermeabilizante con distinta dosificación para aplicación. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)..... 65

Fig. 44. Herramienta utilizada para la aplicación de mezclas impermeabilizantes en probetas. Escurrecimiento de agua y mucilago de nopal. (Elaboración propia) ..... 69

Fig. 45. Identificación de probetas para aplicación de mezclas y posterior realización de pruebas específicas. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)..... 69

Fig. 46. Probetas con primer mano aplicada de impermeabilizante. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 69

Fig. 47. Probetas con segunda mano aplicada de impermeabilizante. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 70

Fig. 48. Aplicación con rodillo de primer mano. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia) ..... 70

Fig. 49. Brocha para aplicación de segunda mano de impermeabilizante..... 70

Fig. 50. Aplicación de primer mano en la cual aparecen poros abiertos en la superficie. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)..... 71

Fig. 51. Muestra con porosidad excesiva la cual requirió hasta 4 manos para el sellado completo de la superficie. (Elaboración propia) ..... 71

Fig. 52. Preparación de la muestra para aplicación de mezcla, mediante limpieza de impurezas y material adicional a la probeta. (Elaboración propia) ..... 73

Fig. 53. Horno para secado de muestras. (Elaboración Propia) ..... 74

Fig. 54. Tabiques dispuestos para sacado a 24 horas para tener peso completamente seco. (Elaboración propia) ..... 74

Fig. 55. Pesado de probetas completamente secas. (Elaboración propia) ..... 74

Fig. 56. Obtención de peso seco con impermeabilizante aplicado. (Elaboración propia) ..... 75

Fig. 57. Probetas con superficie preparada para la colocación de tubos de Karsten y observación de permeabilidad. (Elaboración propia) ..... 77

Fig. 58. Verificación de superficies de aplicación. (Elaboración propia) ..... 77

Fig. 59. Probetas sujetas a procedimiento de permeabilidad. (Elaboración propia) ..... 78

Fig. 60. Tubo de Karsten en probeta de análisis. (Elaboración propia) ..... 78

Fig. 61. Observación de graduación y enrace de líquido en tubo de Karsten. (Elaboración propia) ..... 79

Fig. 62. Accidentes y desprendimientos de capa en la colocación de tubo de Karsten. (Elaboración propia) ..... 79

Fig. 63. Kit para prueba de adherencia ASTM. (Elaboración propia) ..... 80

Fig. 64. Lupa para observación de desprendimientos. (Elaboración propia) ..... 82

Fig. 65. Herramienta de corte para forjado de cruz y malla para análisis de desprendimiento sobre la norma ASTM. (Elaboración propia) ..... 82

Fig. 66. Cepillo de limpieza para superficie. (Elaboración propia) ..... 82

Fig. 67. Probetas para revisión de adherencia. (Elaboración propia) ..... 83

Fig. 68. Resultado de corte en superficie con alto índice de desprendimiento. (Elaboración propia) ..... 83

Fig. 69. análisis con lupa del resultado de desprendimiento en superficie. (Elaboración propia) ..... 84

Fig. 70. Tabla de consideraciones para escala de porcentajes de desprendimientos según el resultado de corte; definición de tipo de área. (Elaboración propia) ..... 85

Fig. 71. Limpieza de la superficie cortada para observación de desprendimiento. (Elaboración propia) ..... 86

Fig. 72. Resultado de corte en cruz, sobre superficie de análisis de adherencia. (Elaboración propia) ..... 86

Fig. 73. Probetas con manto aplicado para medir la transpiración. (Elaboración propia) ..... 88

Fig. 74. Probetas en reposo a 24 hora de proceso de transpiración. (Elaboración propia) ..... 88

## Índice de gráficos

Gráfico 1. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas.....	94
Gráfico 2. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 5% cenizas de huizache .....	95
Gráfico 3. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 10% cenizas de huizache.....	95
Gráfico 4. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 30% cenizas de huizache.....	96
Gráfico 5. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 5% cenizas de madera de cimbra en desuso.....	97
Gráfico 6. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 10% cenizas de madera de cimbra en desuso.....	98
Gráfico 7. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 30% cenizas de madera de cimbra en desuso.....	98
Gráfico 8. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla 01 de cada edad y en los periodos de tiempo observados.....	100
Gráfico 9. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 5% de ceniza de huizache de cada edad y en los periodos de tiempo observados.....	101
Gráfico 10. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 10% de ceniza de huizache de cada edad y en los periodos de tiempo observados.....	101
Gráfico 11. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 30% de ceniza de huizache de cada edad y en los periodos de tiempo observados.....	102
Gráfico 12. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso de cada edad y en los periodos de tiempo observados.....	103
Gráfico 13. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso de cada edad y en los periodos de tiempo observados.....	103
Gráfico 14. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso de cada edad y en los periodos de tiempo observados.....	104
Gráfico 15. Volumen permeado en probeta de mezcla base de mucílago de nopal con un día de edad.....	105
Gráfico 16. Volumen permeado en probeta de mezcla base de mucílago de nopal con 8 días de edad.....	106
Gráfico 17. Volumen permeado en probeta de mezcla base de mucílago de nopal con 15 días de edad.....	107
Gráfico 18. Volumen permeado en probeta de mezcla base de mucílago de nopal con 30 días de edad.....	108

Gráfico 19. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de huizache con 1 día de edad..... 110

Gráfico 20. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de huizache con 8 días de edad..... 111

Gráfico 21. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de huizache con 15 días de edad. .... 112

Gráfico 22. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de huizache con 30 días de edad. .... 113

Gráfico 23. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de huizache con 1 día de edad..... 114

Gráfico 24. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de huizache con 8 días de edad..... 115

Gráfico 25. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de huizache con 15 días de edad. .... 116

Gráfico 26. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de huizache con 30 días de edad. .... 117

Gráfico 27. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de huizache con 1 día de edad..... 118

Gráfico 28. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de huizache con 8 días de edad..... 119

Gráfico 29. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de huizache con 15 días de edad. .... 120

Gráfico 30. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de huizache con 30 días de edad. .... 121

Gráfico 31. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad. .... 122

Gráfico 32. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad..... 123

Gráfico 33. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad. .... 124

Gráfico 34. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad. .... 125

Gráfico 35. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad. .... 126

Gráfico 36. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad..... 127

Gráfico 37. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad. .... 128

Gráfico 38. . Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad..... 129

Gráfico 39. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad. .... 130

Gráfico 40. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad..... 131

Gráfico 41. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad. .... 132

Gráfico 42. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad. .... 133

Gráfico 43. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla base. en las edades descritas. .... 135

Gráfico 44. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 5% de cenizas en las edades descritas. .... 135

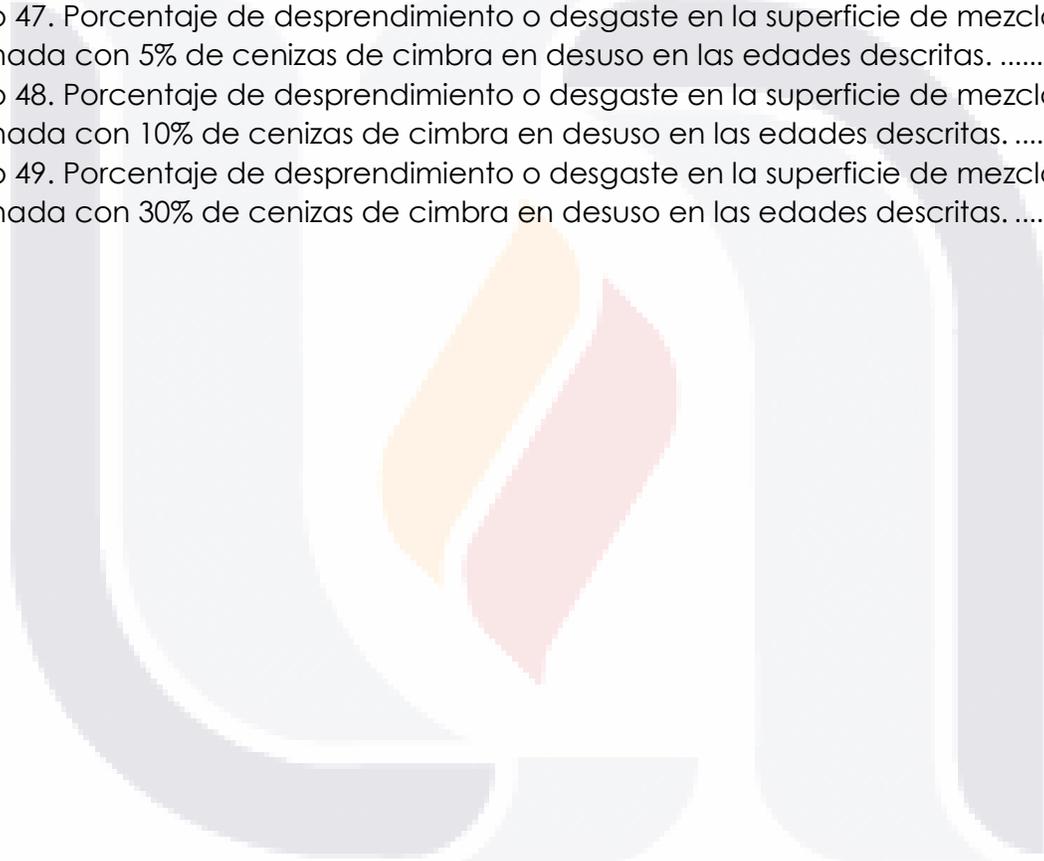
Gráfico 45. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 10% de cenizas en las edades descritas. .... 136

Gráfico 46. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 30% de cenizas en las edades descritas. .... 137

Gráfico 47. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 5% de cenizas de cimbra en desuso en las edades descritas. .... 137

Gráfico 48. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 10% de cenizas de cimbra en desuso en las edades descritas. .... 138

Gráfico 49. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 30% de cenizas de cimbra en desuso en las edades descritas. .... 139



## Acrónimos

ASTM

American Society for Testing and Materials

INAH

Instituto Nacional de Antropología e Historia

UAA

Universidad Autónoma de Aguascalientes



## Resumen

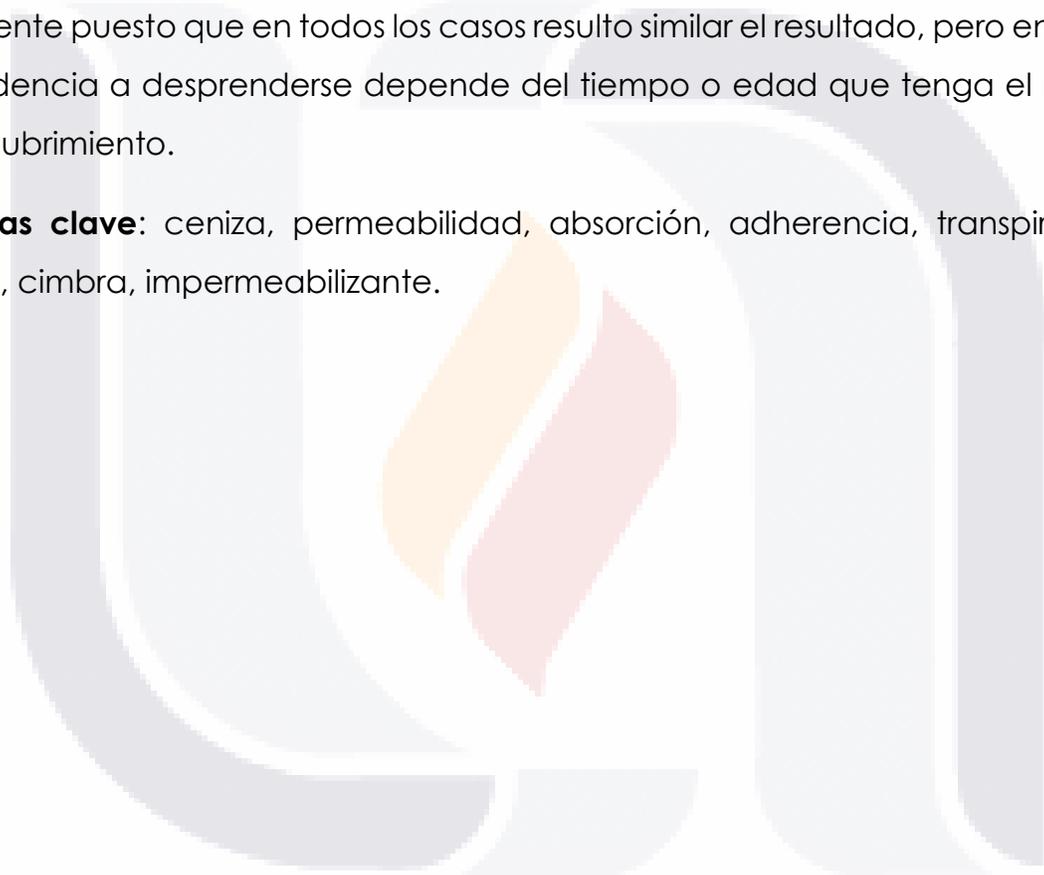
Con el firme objetivo de encontrar una alternativa innovadora en el área de la impermeabilización, sobre todo en el ámbito de restauración, conservación y mantenimiento de inmuebles patrimoniales, se enfoca en este trabajo a la caracterización de las cenizas de origen vegetal con la finalidad de identificar los elementos, factores e incluso condiciones que permiten observar por qué algunas cenizas presentan hidrofobicidad al momento de adicionar agua a su superficie, ya que generan pequeñas esferas de líquido impidiendo el paso a través de la muestra de cenizas observada. Este principio nos permite propiciar ideas de combinación con mezclas de uso común y ya probadas en el ámbito de la construcción; con un desglose de información y antecedentes de estudio en el que las cenizas se han utilizado como aditivos en estabilización de suelos, así como aditivo en sustitución de cemento en morteros, se injiere en que las cenizas por las propiedades de hidrofobicidad que presentan pueden adicionarse en sustitución de la cal a impermeabilizantes aceptados por el INAH.

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que las cenizas independientemente de la fuente vegetal que se utilicen cuentan con una composición atómica similar. El elemento que diferencia a un tipo de ceniza de otra es el contenido de lignina, el polímero graso responsable de que las cenizas presenten repelencia al agua; dicho polímero se encuentra presente en mayor escala en maderas duras y de mayor edad. conociendo las características que hacen de las cenizas un elemento repelente a los líquidos se propone cimbra en desuso como fuente alterna de cenizas para poder realizar mezclas y observaciones que apoyen o permitan refutar la hipótesis propuesta de desarrollo de un impermeabilizante natural a base de cenizas de origen vegetal.

En los experimentos realizados con probetas de tabique recocido, se observaron con recubrimiento de mezclas adicionadas con 5%, 10% y 30% de cenizas tanto de huizache (única especie de las 4 que se observaron que presento hidrofobicidad) y cenizas de cimbra en desuso, en las observaciones realizadas

se enfatizó en las propiedades de: permeabilidad, adherencia, absorción y transpiración. El resultado obtenido fue que, al comparar la absorción de probetas sin recubrimiento, probetas con mezcla tradicional de impermeabilización y mezcla adicionada con cenizas, la absorción baja en todos los casos recubiertos, sin embargo, la eficiencia optima es con el contenido de ceniza de 10% con cenizas de cimbra en desuso, mostrando un desempeño mayor tanto en permeabilidad y transpiración. El único análisis en el que resulto similar o poco representativa la diferencia entre muestras fue en la propiedad adherente puesto que en todos los casos resulto similar el resultado, pero en todos la tendencia a desprenderse depende del tiempo o edad que tenga el manto de recubrimiento.

**Palabras clave:** ceniza, permeabilidad, absorción, adherencia, transpiración, lignina, cimbra, impermeabilizante.



## **Abstract**

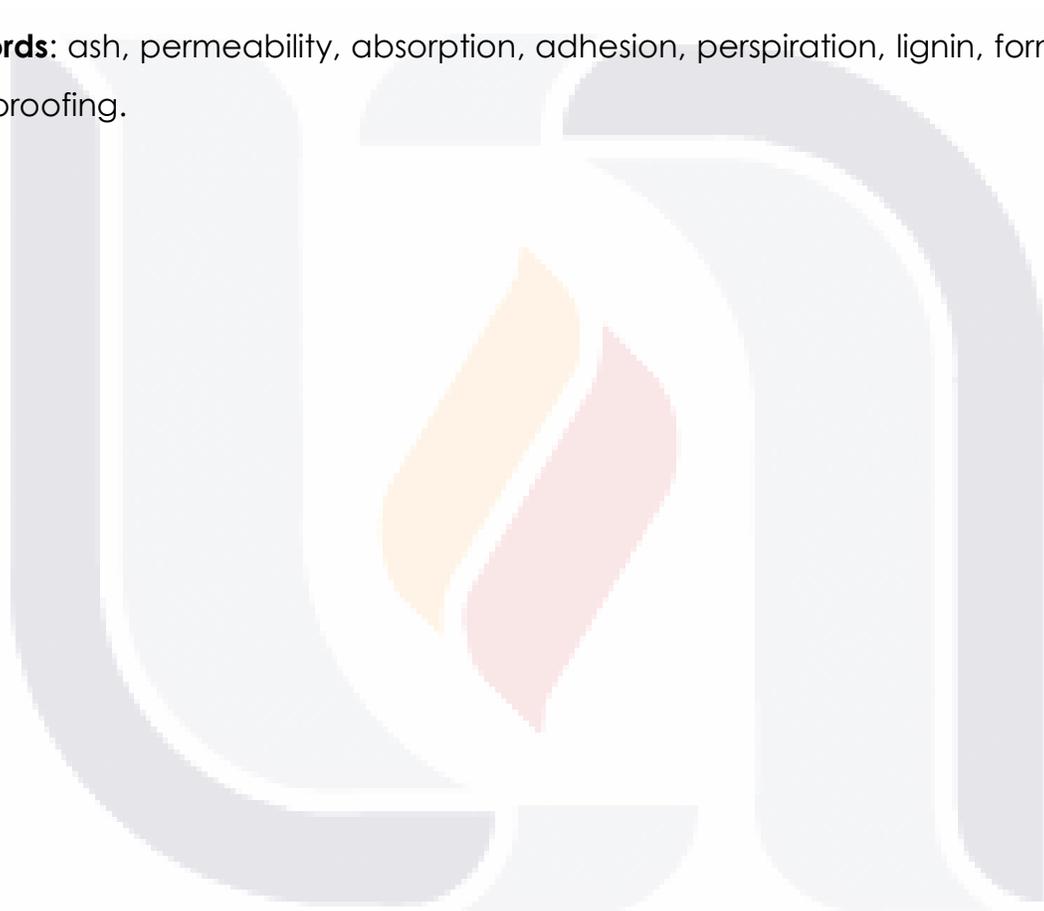
With the objective of finding an innovative alternative in the waterproofing area, especially in the for field restoration, conservation and maintenance of heritage buildings, this work focuses on the characterization of ashes of plant, with the purpose to identify the elements, factors and even conditions that allow observing why some ashes show hydrophobicity when adding water to their surface, since they generate small spheres of liquid preventing the passage through the ash sample observed. This principle allows promote ideas of combination with mixtures of common use and already proven in the construction sector; With a breakdown of information and study background in which the ashes have been used as additives in soil stabilization, as well as an additive to replace cement in mortars, it is inferred that the ashes, due to the hydrophobicity properties they present, can be added in substitution of lime to waterproofing agents accepted by the INAH.

The results obtained in this investigation show that the ashes, regardless of the plant source used, have a similar atomic composition. The element that differentiates one type of ash from another is the lignin content, the fatty polymer responsible for the ash's repellency to water; This polymer is present on a larger scale in hardwoods and older ones. Knowing the characteristics that make ash a repellent element to liquids, disused falsework is proposed as an alternative source of ash to be able to make mixtures and observations that support or allow to refute the proposed hypothesis of development of a natural waterproofing based ashes from plant.

In the experiments carried out with test tubes of bricks, they were observed with coating of mixtures added with 5%, 10% and 30% of both huizache ashes (the only species of the 4 that were observed to present hydrophobicity) and disused formwork ashes. In the observations made, the properties of: permeability, adherence, absorption and perspiration were emphasized. The result obtained was that, when compare the absorption of uncoated specimens, specimens with a traditional waterproofing mixture and a mixture added with ashes, the

absorption low in all coated cases, however, the optimal efficiency is with the ash content of 10 % with disused formwork ash, showing a higher performance in both permeability and breathability. The only analysis in which the difference between samples was similar or not very representative was in the adherent property since in all cases the result was similar, but in all the tendency to detach depends of the time or age of the coating mantle.

**Keywords:** ash, permeability, absorption, adhesion, perspiration, lignin, formwork, waterproofing.



## **CAPITULO 1. Introducción**

La impermeabilización es un proceso imprescindible en las construcciones ya sea de manera preventiva o correctiva, empleada para la protección y aislamiento de humedad en una edificación. Las alternativas de protección a muros y losas en edificios hoy día son diversas. Se cuenta con una gama de productos comerciales o industriales, además de técnicas naturales que se emplean dependiendo del tipo de superficie y edificación que se trate. Puntualizando en la restauración, preservación y remodelación en edificios con características particulares, tales como edificios patrimoniales; este tipo de edificaciones están sujetos a normativas y procedimientos regulados y establecidos por el INAH que cuenta con manuales y normas en las que existen restricciones de utilización de impermeabilizantes no naturales en las mencionadas construcciones.

Las técnicas de impermeabilización en edificios catalogados implementan formas de protección a infiltración de agua con materiales como cal, arena, piedra alumbre, jabonatos entre otros materiales que permiten desarrollar macillas (mezclas) que funcionan como capa de sello y protección de las superficies de los inmuebles.

Hoy día existen diversos métodos constructivos que han utilizado cenizas como materiales que sustituyen a otros, dependiendo el método y el proceso a desarrollar. En la estabilización de tierras, Parra (2018) nos da una visión amplia de que, al considerar la cal como un material ampliamente utilizado en procesos constructivos, siendo el principal componente en diversas técnicas de construcción puede ser sustituido para generar variantes de dosificación, que al tener un porcentaje óptimo brinda mejores características de desempeño en el suelo. Así mismo Rendon (2019) describe en sus investigaciones realizadas a probetas de concreto con distintos porcentajes de ceniza volante activada favorece enormemente a las características de los concretos tanto en

durabilidad, así como permeabilidad y resistencia mecánica a edades diferentes.

Las cenizas han sido objeto de análisis y estudio de muchos expertos para encontrar nuevas formas de utilización, por lo que se valora un nuevo caso de aplicación, en el que se enfoca y considera revisar la característica de baja permeabilidad en cenizas partiendo de observaciones preliminares en el comportamiento de las capas superficiales de cuerpos específicos de residuos de combustión.

Se parte de la suposición de que las cenizas pueden ser un agente impermeable, al ser objeto de estudio en otras mezclas, se plantea hacer un análisis de sustitución de materiales a técnicas naturales de impermeabilización que pueda utilizarse en superficies de edificios para la protección de humedades, sustituyendo en porcentaje a la cal por cenizas en la mezcla utilizada comúnmente como impermeabilizante en inmuebles catalogados por el INAH, a base de cal con mucílago de nopal.

Las técnicas tradicionales de impermeabilización tienen buena eficiencia en su composición habitual, sin embargo, en la realización de esta investigación se podrá observar su desempeño al momento de adicionar cenizas de origen vegetal, así como cenizas de cimbra en desuso que permite generar una visión amplia sobre la factibilidad de utilizar nuevos materiales como aditivo que permitan reforzar o al menos igualar los resultados de técnicas tradicionales.

Para este análisis se determinan las características químicas micrográficas y de composición de cenizas, con lo que se logra determinar su comportamiento y así fundamentar la propiedad hidrófoba de las cenizas con base en observación de composición y estructura. El análisis se enfoca en cenizas que pueden emplearse en las mezclas aplicables a probetas que asemejen las características y composición de las superficies de losas construidas en edificios patrimoniales y

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

con base en ello asentar la factibilidad, funcionamiento y ventajas de la utilización de cenizas como componente para un impermeabilizante natural.

### **1.1 Objetivo general**

Desarrollo y caracterización de impermeabilizante de composición natural a base de cenizas de origen vegetal (biomasa), como componente adicional en el mortero de cal utilizado para bóvedas, terrados y superficies de cuña en edificios patrimoniales.

### **1.2 Objetivos particulares**

- A. Determinación de las características y propiedades que hacen a la ceniza de origen vegetal un material impermeable.
- B. Caracterizar el comportamiento de mezclas de mortero de cal, adicionadas con cenizas de origen vegetal en distintos porcentajes, analizando específicamente las propiedades de permeabilidad, adherencia, transpiración y absorción.

### **1.3 Pregunta de investigación**

¿Es factible una reformulación eficaz de impermeabilizante natural de techos para edificios históricos o catalogados con la adición de cenizas vegetales que presentan características de impermeabilidad?

### **1.4 Justificación**

Con base en el conocimiento que se tiene sobre la gran producción de contaminantes y residuos tóxicos por parte del sector industrial, el cual se puede decir que ascienda miles de toneladas de materia residual en forma de cenizas volantes o biomasa en procesos arduos de combustión, provenientes de industrias dedicadas a la generación de energética y producción de acero. Es importante en el ámbito sustentable de la construcción aprovechar materiales y

productos que permitan optimizar recursos, así mismo la posible factibilidad del aprovechamiento de un material nocivo y de desperdicio en el medio ambiente, podría resultar un gran acierto para algunos métodos constructivos el implementar residuos de biomasa en el campo de impermeabilización natural, partiendo de la suposición de que existen propiedades de repelencia a el agua por parte de algunas cenizas.

Se considera la viabilidad del desarrollo de esta investigación enfocado a de materiales que hoy día no se utilizan y que son desperdicio en industrias y otras fuentes de producción de biomasa. Al valorar las formas de impermeabilización utilizadas en edificios patrimoniales, y que deben contar con materiales específicos naturales para su utilización, se decide implementar cenizas que, si bien por sí solas muestran características impermeables, se espera que al momento de implementarse en una técnica de impermeabilización natural. Se pueda desarrollar un producto con estándares aceptables y funcionales para su utilización como aditivo a dosificaciones de mezclas que cumplan con los requerimientos. Con el análisis a cenizas vegetales se pretende dar pauta a contemplar la futura fuente de la materia prima que puede tener otras vertientes y tipos de cenizas con las mismas características que en este estudio se plantean.

### **1.5 Alcances de la investigación**

En este trabajo se lleva a cabo una investigación y análisis de cenizas resultantes de distintas fuentes de origen vegetal, así mismo se identifican las fuentes potenciales de la materia prima, para el análisis de características de cenizas en mezclas de impermeabilización se observan las propiedades principales de funcionamiento de un recubrimiento impermeable (adherencia, absorción, transpiración y permeabilidad) en intervalos de tiempo para las probetas con el objeto de conocer su comportamiento y eficiencia en su aplicación.

Después de observar y analizar los resultados obtenidos y comparados entre muestras, mezclas y edades se tendrá un alcance explicativo de la inclusión de cenizas como sustitución de la cal que permitan preservar una función

impermeable en superficies de edificios patrimoniales y validar su utilización como una técnica adecuada con desempeño óptimo aplicable a estos inmuebles.

## 1.6 Hipótesis

“La impermeabilidad de cenizas vegetales puede aportar excelentes resultados al adicionarlo a los morteros de cal utilizados en bóvedas, terrados y superficies de cuña de edificios patrimoniales.”

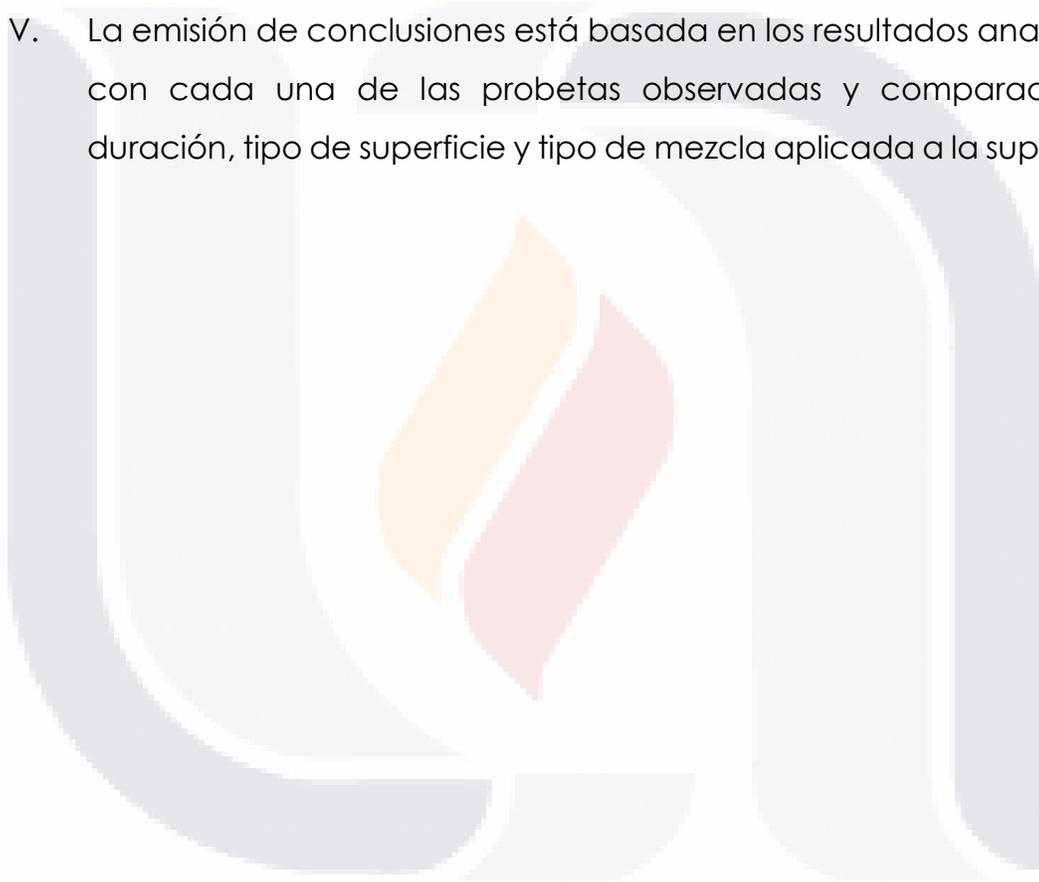
## 1.7 Metodología

### 1.7.1 Definición de las variables de estudio

- I. Permeabilidad
- II. Absorción
- III. Transpiración
- IV. Adherencia

### 1.7.2 Pasos de la metodología

- I. Identificar y explicar con base en experimentos de laboratorio la composición y comportamiento hidrófobo de las cenizas.
  - a. EDS-MEB para generar micrografías de la estructura de las cenizas.
  - b. Análisis de la composición de la materia de Biomasa.
- II. Se establece la técnica de impermeabilización de la cual parte el análisis, se adiciona cenizas para realizar pruebas de cada una de las variables establecidas: permeabilidad, absorción, transpiración y adherencia, se adicionan cenizas en mezclas a la técnica seleccionada, sustituyendo cal por cenizas un porcentaje de 5%, 10% y 30% en masa respecto a la dosificación general de la mezcla.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- III. Se elaboran probetas (superficies de aplicación) para el ensaye de las muestras de mezclas obtenidas de la dosificación con las cenizas adicionadas y llevar a cabo del análisis de propiedades una vez aplicadas.
  - IV. Los resultados se analizan en intervalos de tiempo, los cuales se registrarán para realizar graficas comparativas tanto de superficies como de variables técnicas con cada uno de los procedimientos para su medición.
  - V. La emisión de conclusiones está basada en los resultados analizados con cada una de las probetas observadas y comparadas en duración, tipo de superficie y tipo de mezcla aplicada a la superficie.
- 

## **CAPITULO 2. Estado actual del conocimiento**

### **2.1 Revisión y aplicación de cenizas**

Respecto a la revisión de aplicaciones de las cenizas en la construcción, Mondólo (2013) establece la utilización de cenizas en morteros, hormigones o mezclas de concreto que muestran un gran desempeño en una concentración del 15%, en sustitución de cemento en cada una de estas dosificaciones. Por su parte Carrasco (2014) asienta que la biomasa de combustión funciona como alternativa de sustitución de la cal para la estabilización de suelos, dando alto rendimiento en tanto a propiedades y trabajos mecánicos. Por último, el trabajo que presentan Vázquez et al. (2014), estuvo basado en la propiedad cementante de cenizas (de la biomasa del papel, ENCE). Fabricaron probetas de material compactado para evaluar propiedades mecánicas y las compararon con unas de base arcilla roja.

### **2.2 Composición de cenizas**

La composición química elemental más abundante de las cenizas de biomasa es Ca, K, Mg, Al, Fe, y en menor medida P (Vassilev, 2013). "No obstante, la afinidad de esta composición por el agua, existen cenizas que dependiendo de factores como la temperatura alcanzada en la combustión que las produjo y la naturaleza de la fuente (especie vegetal) entre otros, resultan repelentes de agua. Los factores antes mencionados, están relacionados con el contenido total de carbono orgánico presente en las cenizas (otorgando un carácter graso)" aseveración realizada por Dra. Lorena Vargas en investigaciones realizadas con el comportamiento de cenizas. Las observaciones no se han publicado aun, sin embargo, con base en estos antecedentes se inicia el desarrollo de investigaciones sobre desarrollo de nuevas técnicas de impermeabilización. Así las cenizas se clasifican con base a rangos de temperatura que relacionan su composición química particular.

## 2.3 Caracterización y comportamiento de impermeabilidad de las cenizas.

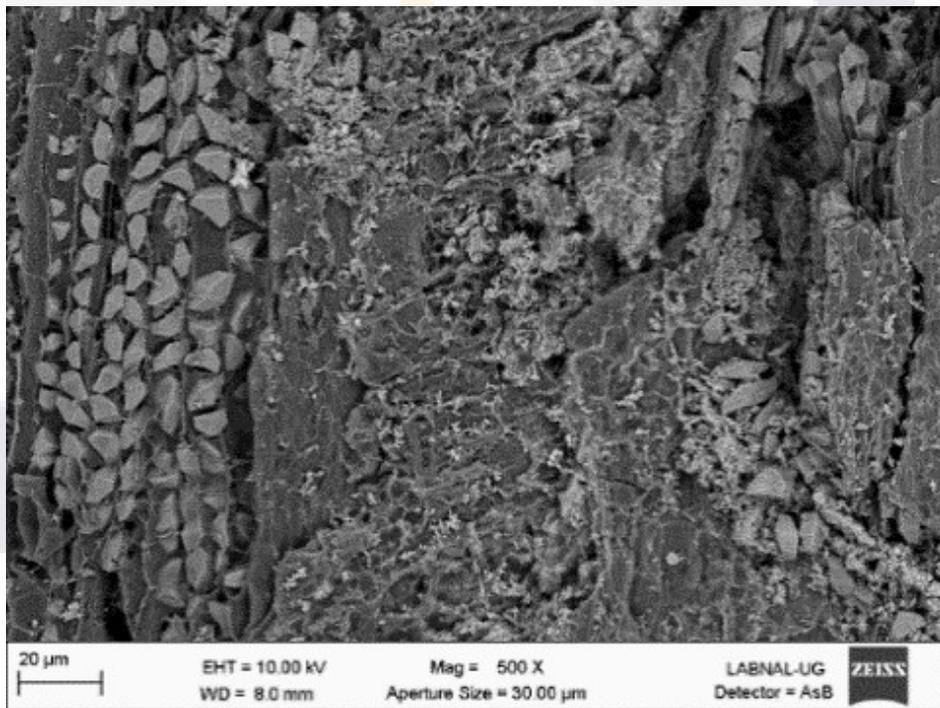
Bodí et al. (2011), han demostrado que más del 30% de las 48 muestras de cenizas de los sitios de cinco incendios forestales exhibieron repelencia al agua, con niveles de permeabilidad de gota de agua por tiempo que van desde bajo a extremo. Las especies vegetales dominantes de las que derivaron las cenizas fueron la ***Pinus halepensis***, ***Quercus coccifera*** y ***Rosmarinus officinalis*** y para las que se determinó la capacidad de repulsión al agua, encontrando diferencias significativas entre ellas.

Por ende, puede concluirse que existe un contraste con lo que generalmente se supone, los hallazgos demuestran que las cenizas de los incendios de vegetación pueden ser repelentes al agua. Algunas cenizas presentan la propiedad de "hidrofobicidad" o rechazo al agua.

Berenguer (2012), cita que los factores que principalmente controlan la hidrofobicidad en cenizas obtenidas luego de los incendios forestales son, el tipo de vegetación, la cantidad de hojarasca y la materia orgánica presente; además de la temperatura alcanzada durante el mismo incendio. Se observa que el fuego convierte algunas sustancias orgánicas en hidrofóbicas por pirólisis o por alteraciones moleculares de la materia orgánica (Atanassova y Doerr, 2011; Savage et al., 1972 citados por Berenguer, 2012). Así, mayores contenidos de carbono orgánico en las cenizas podrían provocar la manifestación de la propiedad de hidrofobicidad. Respecto al carbono orgánico, un componente importante que se conoce es la lignina; es el 2º polímero más abundante en biomasa vegetal y de característica hidrofóbica. Es considerado una matriz continua impermeabilizante (Hernández, 2013), una red polimérica tridimensional al azar formada por unidades de fenilpropano, que cementa las fibras de celulosa de la madera y proporciona la rigidez en las plantas (Cordero et al., 2007).

De datos de investigación aun no publicados, pero compartidos para la colaboración en el desarrollo del presente proyecto de tesis, se han analizado cenizas de origen vegetal tomando como especies mezquite, huizache,

penca de nopal y residuos de caña de azúcar. En los que los estudios hechos por la Dra. Lorena Vargas, analiza estructuras micrográficas (fig. 1) y composición química elemental de diversas cenizas vegetales para relacionar con la propiedad de hidrofobicidad y proyectar futuras aplicaciones basadas en esta propiedad; destacando que estructuras residuales en forma de matriz y carácter orgánico “lignina” son las responsables de la propiedad hidrofóbica de las cenizas, único caso en el huizache. Por lo que la lignina en perspectiva del presente estudio promete aplicaciones innovadoras y hacia la industria bajo esta propiedad poco descrita.



*Fig. 1. Cristales prismáticos de calcio alineados e incrustados en estructura de lignina. Micrografía electrónica de barrido de cenizas de huizache. (Propiedad del inventario de la Dra. Lorena Vargas Rodríguez, estudio de laboratorio 2019)*

## **CAPITULO 3. Marco teórico**

### **3.1 Sistemas de impermeabilización**

#### **3.1.1 Antecedentes**

La manera tradicional de impermeabilizar las azoteas de las edificaciones no contemplaba ningún material de origen industrializado, por lo que de manera común se recurría a la utilización de materiales naturales tomados del lugar en que se desarrollaba la edificación. En antiguas construcciones como conventos, casonas e incluso iglesias era común encontrar terrados como sistema de techado, la forma de conformar esta cubierta era mediante la colocación de trabes, asentando losetas de barro para conformar una base y tendiendo una capa de tierra con espesores de hasta 80 centímetros dependiendo del espacio y sección de techado, al final utilizando tabique rojo se colocaba en la superficie para generar una superficie resistente y rugosa para aplicar una mezcla de piedra alumbre que brindaba un recubrimiento impermeable de protección esto según Díaz et al. (2006). Este sistema de impermeabilización de azotea se utilizó previamente a la industrialización de productos sintéticos.

A principios del siglo XX, al presentarse el desarrollo industrial petrolero y el desarrollo de materiales que derivan de mezclas de petróleo crudo y asfalto, este material comenzó a ser utilizado en construcciones como producto impermeable debido a sus propiedades flexibles y maleables. Desde el siglo pasado los derivados del petróleo han sido utilizados como materia prima para hacer tratamiento de humedades hasta hacer su aparición la techumbre de cartón asfáltico, se trata de una lámina de cartón grueso cubierta de emulsiones asfálticas que hace la función de una cubierta aislante e impermeable previo al enladrillado de petatillo tradicional.

En los años sesenta se desarrollaron nuevos materiales que propician una revolución en la industria de materiales plásticos, logrando impulsar las

ideas y provocar la innovación en distintas vertientes tales como el desarrollo de nuevos materiales como la fibra de vidrio, siendo un material de múltiples aplicaciones en diversos ámbitos siendo determinante el área de los impermeabilizantes obteniendo un enmallado de fibra de vidrio fina y de espesores muy delgados y que determina el inicio de los impermeabilizantes de membrana prefabricada, mejor llamada, membrana de refuerzo de fibra de vidrio (Espinoza, 2016). Durante las décadas de los 60's y 70's la utilización de asfalto y cartón asfáltico fue desplazada casi en su totalidad por las membranas impermeables, pero considerando aumento de población en ciudades, efectos contaminantes y problemas climáticos, hace cada vez más palpable que el sistema de membrana se intemperiza a corto plazo obligando al cliente a renovar esta membrana continuamente, lo que implica que el costo invertido no logra amortizarse además de la problemática del retiro de capas existentes. Químicamente se continúa investigando materiales y lograr la obtención de productos que mantengan capas sumamente delgadas y adicionado fibras obtener nuevos productos que al ser aplicados con calor, en forma de vulcanizado, permiten lograr un sello óptimo en superficies, generando así mismo resistencia a infiltraciones por precipitación y desgastes de intemperización de materiales y rangos de espesor de mayor importancia, con lo que se obtiene una mayor flexibilidad en los cambios de temperatura de la materia (Cruz, 1999.)

### **3.2 Tipos de impermeabilización**

#### **3.2.1 Membranas impermeables**

Este tipo o sistema de impermeabilización consiste en la utilización de mallas o telas con una flexibilidad que permite moldearse y adaptarse a cualquier tipo de superficie requerida, la fabricación y desarrollo de este tipo de materiales ha venido cambiando a lo largo de los años, teniendo como base principal las

TEISIS TESIS TESIS TESIS TESIS

mallas de fibras sintéticas orgánicas con alta resistencia y durabilidad. Hoy día la implementación de este sistema tiene amplias variantes tanto en componentes, así como la estructura y forma de las mallas utilizadas. La estructura o composición de la malla que se implementara como material impermeable dependerá directamente de la superficie en la que se aplicara teniendo como condicionantes la rugosidad, inclinación y aditivos potenciales para la conformación de la capa impermeable.

Las membranas emplean como aditivos materiales solventes o de composición directa para aplicación que son altamente resistentes y con durabilidad similar a la de las mallas que, al aplicarse sobre estas, se vuelven un manto de refuerzo resistente a condiciones climáticas y ambientales de tipos diversos. Su ultimación dependerá del espacio seleccionado recomendando su utilización solamente sobre superficies horizontales con inclinaciones menores a los 60°.

### **3.2.2 Impermeabilizantes asfálticos**

Los sistemas de impermeabilización asfáltico con productos químicos elaborados con asfaltos, minerales y fibras de refuerzo que proporcionan gran impermeabilidad, existen variantes en su presentación ya que son viscosos o en guan de sus variantes puede aparecer como membrana pudiendo quedar en la clasificación de otro sistema impermeable, los impermeabilizantes de este tipo están normados y cuentan como ventaja la protección efectiva contra corrosión ante agentes atmosféricos, pueden estar bajo tierra y funcionar de manera adecuada si como contacto continuo con el agua. Puede utilizarse en superficies verticales y horizontales, la utilización convencional de la variante viscosa es en su mayoría en cimentaciones, depósitos de agua, jardineras, muros de contención y demás elementos que puedan quedar bajo tierra. las membranas asfálticas utilizadas en azotea son de alta resistencia y su forma de aplicación es bastante ágil mediante herramientas químicas que fusionan su capa prefabricada a la superficie existente bajo condiciones rugosas, en espacios lisos la adherencia tiende a ser menor que en espacios rugosos.

### **3.2.3 Impermeabilizantes tradicionales**

Existen diversos sistemas tradicionales de impermeabilización que son implementados en la autoconstrucción desde siglos pasados, siendo el enladrillado un sistema constructivo implementado por los españoles a su llegada a México, este sistema tiene una efectividad grandiosa ante los efectos de humedad e impermeabilidad. Es un método constructivo que utiliza materiales aglutinantes, arenas y agua para generar una lechada o chalpaque que se aplica directamente sobre la superficie conformada por ladrillounteado a hueso, sellando juntas y formando una capa protectora cabe mencionar que este sistema no utiliza componentes adicionales de origen químico o manufacturado industrialmente para su implementación. Además de este tipo de impermeabilizante existen otras técnicas que utilizan cal y otros materiales naturales para la protección de superficies; en todos los casos se generan masillas o mezclas que con base a la dosificación establecida o utilizada de manera empírica presentan diversos estándares de funcionamiento después de su aplicación en la superficie seleccionada.

### **3.3 Materiales utilizados en la conformación de impermeabilizantes naturales.**

#### **3.3.1 Jalcreto**

Para la conformación de rellenos en azoteas además de losas, es muy común la utilización del Jalcreto, que no es más que una variante del concreto o quizá también pudiera incorporarse a la línea de morteros, siendo un concreto de bajo peso volumétrico que es un elemento estratégico para la disminución de cargas en estructuras puesto que es un material bastante ligero en su agregado de composición, su utilización es bastante amplia además de los rellenos en general, sirve en las losas que tienden a utilizar los sistemas de enladrillado para la nivelación de la superficie previa a su colocación, de igual manera así como los

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

sistemas de enladrillado funge como relleno y nivelador en la colocación de pisos; su uso trasciende además a la fabricación de elementos secundarios como block, bovedilla y viguetas que apoyan el aligeramiento de losas con buenas resistencias y funcionamiento. Entre las ventajas de este material encontramos que favorece ampliamente las operaciones de colocación de cuñas, ladrillos y pisos, no presenta asentamientos, es adaptable y resistente a climas diversos, ampliamente manipulable y maleable, y su función principal que es la reducción de cargas muertas en las estructuras.

### **3.3.2 Tabique**

El uso en la construcción de los tabiques de arcilla es una técnica de las más antiguas. el tabique como elemento principal en la conformación de muros de mampostería, así como elementos estructurales y arquitectónicos en la mayoría de las construcciones actuales.

El ladrillo o tabique de arcilla se ha utilizado durante los tiempos medievales y modernos. A pesar de variadas modificaciones en los usos de ladrillo de arcilla, la forma y la producción con el paso del tiempo e innovación de procesos, la simplicidad que hizo su éxito se mantuvo. Numerosos edificios construidos con ladrillos de arcilla prevalecieron hasta el siglo XXI, (James W.P. Campbell; Will Pryce, 2004) que da testimonio de la fuerza de este material a lo largo de siglos de tormentas de lluvia, nieve, las altas temperaturas y el deterioro inducido por el hombre.

Existen tipos y tamaños de tabique dependiendo de su utilización y su resistencia. La forma usual del tabique es un cubo de dimensiones 7x14x28 centímetros, este para la mampostería en muros, así como dimensiones diversas en la fabricación de cuñas o elementos arquitectónicos utilizados para fachadas o conformación de losas, además de sistemas de impermeabilización.

### **3.3.3 Cal**

Un material aglutinante que se emplea en la edificación desde épocas prehispánicas es la Cal, un material que actualmente es utilizado en la elaboración de morteros y pinturas, los morteros generalmente se utilizan para juntar mampostería, generar aplanados en paredes, la cal es un elemento ampliamente utilizado en construcciones históricas y catalogadas para restauración o reparación de los inmuebles.

Existen derivados de la cal, como la cal hidráulica que funciona como cementante cuando se mezcla con agua, mostrando un fraguado inmediato, caso contrario a la cal viva, que tiene características bioclimáticas con periodos amplios de tiempo ya que cuenta con propiedades hidrófugas que le permiten transpirar por sus poros lo cual da salida a humedades contenidas. La cal se puede utilizar para generar morteros que se emplean como impermeabilizante. Cuando la cal viva se apaga en obra, y la pasta resultante se satura de agua en un medio hermético, esta cal vuelve a su estado natural, se convierte en una roca caliza, la cal apagada no tiene propiedades adherentes y su fijación es mecánica (De Guzmán, 2001).

### **3.3.4 Mucílago de nopal**

El mucílago es un carbohidrato complejo. Torres Acosta et al. (2004) da una aseveración sobre la adición de mucilago de nopal en mezclas de morteros, asegurando que genera un efecto de mayor durabilidad en elementos, pudiendo desarrollar nuevas técnicas de conformación de estructuras económicas y preservarles. La utilización de mucílago de nopal combinado con cal, en estudios mexicanos refleja un aumento a las propiedades adherentes y repulsión de agua. De forma tradicional se emplea como manto repelente de agua en muros de tabique o conformados de adobe. Cárdenas et al. (1998) asienta que vestigios indican que culturas históricamente hablando empleaban

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

jugo de nopal en conjunto con la cal como materiales básicos en la restauración y protección de construcciones.

Estudios realizados prueban que el jugo extraído de pencas de nopal hervidas dosificado con cal en proporciones específicas permiten el desarrollo de mezclas o mantos protectores a superficies. Abrajan et al. (2008) indica que se ha realizado la evaluación mediante pruebas de penetración y ruptura en superficies de cal secas y conforme se incrementa el contenido de mucílago de nopal se obtiene una reducción en deformaciones y estrés máximo de las capas, realizando la comparación con un elemento testigo.

### **3.4 Cenizas**

Las cenizas son producto de la combustión de materiales, compuestas por sustancias orgánicas no combustibles o bien sales minerales. Los residuos en forma de polvo que quedan de una combustión de alguna materia que se expulsan al aire combinadas con el humo también se pueden llamar ceniza. Hoy día las cenizas después de analizar su comportamiento y características específicas han empezado a utilizarse en diferentes ramos constructivos como aditivos en mezclas de concreto o morteros.

Las cenizas vegetales son polvo rico en minerales diversos, se trata del residuo que permanece en el sitio luego de una combustión del material. En el mundo y en México se producen en miles de toneladas al año de forma accidental (caso de los incendios de bosques, por ejemplo) o provocada durante diversos procesos de manufactura. Sin embargo, son mínimas las aplicaciones y aún menos las que demandan grandes volúmenes, en esto la de relleno de huecos para nivelación de terrenos y la de uso agrícola en mineralización de suelos con mejora en el pH del suelo son los casos relevantes. Vázquez et al. (2014), enuncia que en el Complejo Industrial de Pontevedra de ENCE Energía y celulosa, residuos generados en volumen de al menos 12,000 toneladas al año en aproximación, son cenizas, material de residuo que puede valorarse como alternativa de uso en distintas aplicaciones constructivas o de innovación para ser utilizadas, ya que la

cantidad de producción además de ser nociva en salud tiene a generar gastos exorbitantes para su disposición a otros espacios.

Algunas cenizas presentan la propiedad de “hidrofobicidad” o rechazo al agua. Berenguer (2012), cita que los factores que principalmente controlan la hidrofobicidad en cenizas obtenidas luego de los incendios forestales son, los residuos de hojarasca, materia orgánica encontrada, así como la vegetación existente; además de la temperatura alcanzada en la duración del incendio. Puede observarse que al combustionar existe una transformación de sustancias de origen orgánico en hidrofóbicas a causa de la pirolisis o incluso por cambios moleculares del material calcinado (Atanassova y Doerr, 2011). Así, mayores contenidos de carbono orgánico en las cenizas podrían provocar la manifestación de la propiedad de hidrofobicidad. Respecto al carbono orgánico, un componente importante que se conoce es la lignina; es el 2º polímero más abundante en biomasa vegetal y de característica hidrofóbica. Es considerado una matriz continua impermeabilizante (Hernández, 2013), una malla en forma tridimensional formada por partículas e fenilpropano de forma irregular, que logra un efecto cementante sobre las fibras de celulosa en la madera y da una postura rígida a las plantas (Cordero et al., 2007).

### **3.5 Tubo de Karsten**

Durante el inicio de la década de los 70's, Rudolf Karsten Ingeniero alemán, implemento un instrumento el cual lleva su nombre; el instrumento utilizado para observar infiltración de agua en un cuerpo es un tubo graduado de vidrio de color transparente con una base en forma de cirulo dimensionada de 2.5 centímetros de diámetro. Los tubos desarrollados presentan dos tipos de estructura que permiten realizar observaciones verticales y otra empleada en la evaluación de superficies horizontales. La base circular del tubo de Karsten es fijada a la superficie de análisis. Para la determinación de la permeabilidad de materiales se utilizan ensayos del tubo de Karsten, método estandarizado por el ICOMOS y el comité RILEM25. El tubo de Karsten destaca por su utilización en

trabajos para la preservación de monumentos históricos, con él es posible determinar la absorción de líquidos en superficies porosas, además de evaluar el desempeño de impermeabilizantes o repelentes de agua observando su absorción previa y posterior de su aplicación.

Los resultados del tubo de Karsten permiten realizar comparativas entre cada muestreo. Al ser una prueba no destructiva brinda gran aceptación y relevancia al ser implementado en obras de conservación de patrimonio histórico, permite observar el desempeño de materiales en estado y ubicación real ya que se puede realizar sobre superficies verticales y superficies horizontales. (Hendricks, 2013).

### **3.6 Método de revisión de desgaste de las superficies (Norma ASTM).**

Existe una norma que se emite con la designación fija D3359-97, es una norma designada para la valoración y revisión de calidad en materiales, en este caso enfocamos a la ASTM o bien Standard Test Methods for Measurin Adhesion by Tape Test.

Referente al ASTM, se definen observaciones pertinentes tales como:

Consideraciones:

- A. Los métodos de prueba cubren procedimientos de evaluación de adherencia en películas de revestimiento a probetas aplicando y quitando cinta sensible a la presión sobre cortes realizados en la película de recubrimiento.
- B. Este método se diseña primordialmente dos variantes A para la utilización en sitios de trabajo y B para análisis adecuado en laboratorios; la prueba B no es considerada adecuada para películas de más de 5 milésimas de pulgada.
- C. El método es ampliamente utilizado para definir si la adhesión de un recubrimiento a un sustrato esta realizada a un nivel adecua.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- D. En sistemas multicapa pueden producirse fallas en la adherencia entre capas de modo que la adherencia del sistema de revestimiento del sustrato no está determinado.
  - E. Esta norma aborda problemas de seguridad y si los hay, asociarlos con la forma de utilización.

#### Importancia de utilización en pruebas

- A. Considerando que un revestimiento debe cumplir la función de proteger o decorar una superficie, debe adherirse a él por la vida útil esperada. Debido a que el sustrato y la preparación de la superficie tiene efectos drásticos sobre la adhesión, un método de evaluación de adhesión a sustratos, así como tratamientos es la prueba ASTM

### **3.7 Absorción**

Los materiales presentan la propiedad de acaparar una cantidad de agua, la cual está directamente relacionada con la propiedad impermeable, esta característica es la absorción. Los efectos en materiales e inmuebles relacionados con la absorción causan y muestran consecuencias de desgaste acelerado, de desmoronamiento y bajas resistencias reflejadas en la disminución notoria de la vida de un inmueble. Proteger y controlar la absorción de líquidos del suelo y de lluvia son extremadamente complejos, tratándose además de edificios patrimoniales considerar un impermeable se vuelve difícil al sujetarse a normativas y requerimientos del INAH, por lo que buscar alternativas de control y disminución en la absorción son extremadamente importantes ya que establecer nuevos métodos de conformación natural permite la preservación de inmuebles y edificios patrimoniales.

### **3.8 Permeabilidad**

La condición de un cuerpo a permitir que un fluido pase a través de él es la permeabilidad, esta característica es un determinante en la valoración del desempeño de un manto impermeable, el conocer la permeabilidad de un cuerpo o superficie arroja un indicativo excelente del desempeño y repelencia a líquidos de un materia o inmueble. La permeabilidad habrá de ser analizada, mediante métodos específicos y funcionales que científicos han utilizado para establecer parámetros y desempeños.

### **3.9 Adherencia**

En los mantos impermeables, una de las propiedades más importantes que garantiza calidad y establece en normas para su comercialización y adecuada eficiencia es la Adherencia, la cual es la propiedad que indica la compatibilidad de materiales para generar una unión que permita generar una resistencia en la superficie de contacto de un material con otro. La adherencia permitirá valorar el tiempo y capacidad de desgaste de un manto impermeable aplicable a superficies.

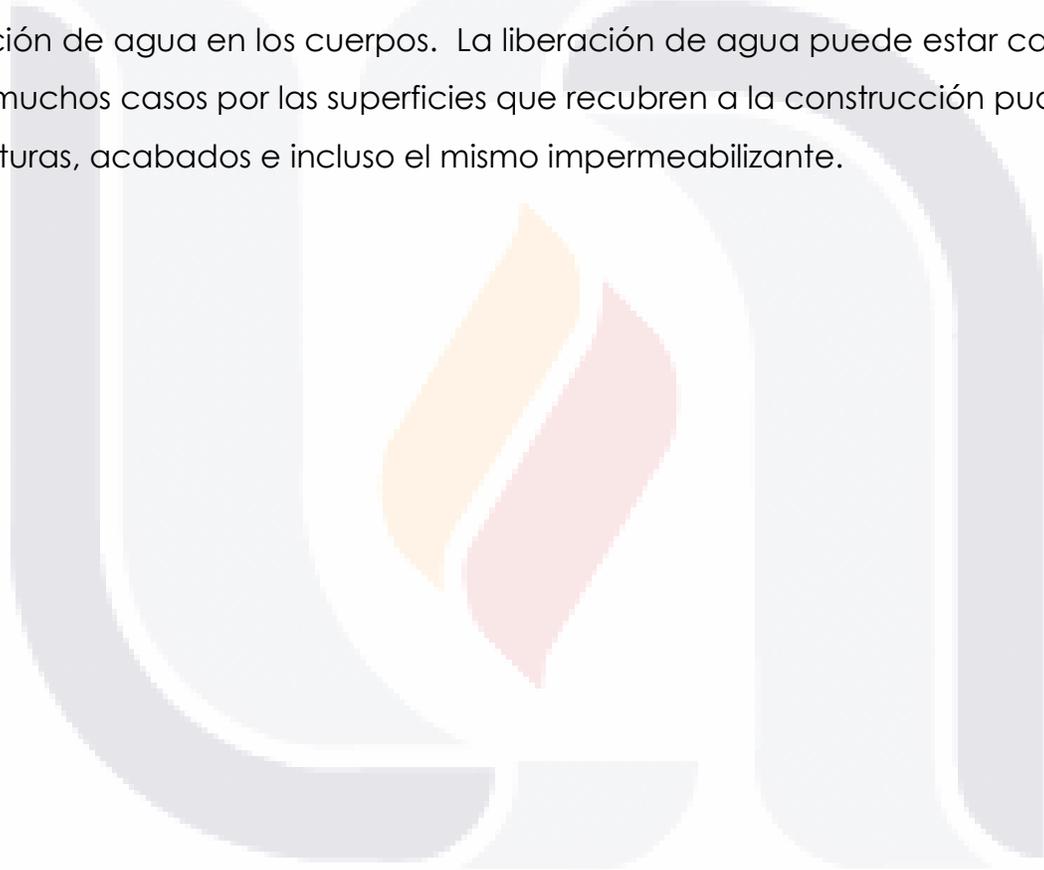
Existen normas estandarizadas que dan parámetros importantes que permiten observar y definir un desempeño adecuado en la adherencia entre mantos impermeables y las superficies que los reciben, determinando así la factibilidad de poderse implementar en una inmueble considerando las condiciones de exposición natural, rugosidad y otros factores que afectan y/o benefician la adherencia.

### **3.10 Transpiración**

Existen efectos y comportamiento en materiales y sustancias de los cuales de forma natural permiten liberar y concentrar distintos tipos de efectos en su

funcionamiento, un claro efecto es la propiedad de liberar humedad, la transpiración.

La transpiración en un cuerpo o material es la propiedad que permite evaporar agua en la superficie de los cuerpos. El alto contenido de humedad en una construcción se ve reflejado también en los daños superficiales; se conoce que afectaciones de corrosión, desgaste, salitre y demás problemáticas se presentan en un inmueble debido a la acumulación de agua y humedad, sin embargo, otras causas también están directamente relacionadas por la lenta o nula liberación de agua en los cuerpos. La liberación de agua puede estar causada entre muchos casos por las superficies que recubren a la construcción pudiendo ser pinturas, acabados e incluso el mismo impermeabilizante.



## **CAPITULO 4. Campaña experimental**

Si bien hoy día se han realizado observaciones del comportamiento de las cenizas, en esta investigación se valora y observa el comportamiento en su incorporación a mezclas utilizadas en la impermeabilización de manera tradicional generando una técnica natural que presente una eficiencia adecuada para su utilización.

Para ello se analizan las propiedades técnicas en las mezclas que se generan para observación como capa impermeable, adicionando cenizas en sustitución de cal en la técnica de impermeabilización a base de mucilago de nopal con cal.

La campaña experimental se lleva a cabo utilizando dos fuentes de cenizas, para con ello analizar las características particulares de cada una de ellas observando el comportamiento que presentan las muestras en la combinación como sustituto de la cal.

### **4.1 Objetos de estudios**

- i. Muestras de cenizas provenientes de origen huizache y de cenizas de cimbra en desuso.
- ii. Comportamiento de las mezclas de mucílago de nopal con cal como técnica tradicional de impermeabilización, adicionado con cenizas en sustitución de cal en porcentaje de masa.
  - a. Técnica tradicional de impermeabilización.
    - i. Impermeabilizante con cal y mucilago de nopal
      1. Calidra
      2. Mucílago de Nopal
      3. Jabón de barra
      4. Agua

iii. Probetas que se analizan sin aplicación de impermeabilizantes, también probetas con aplicación de mezcla de impermeabilizante sin adicionar cenizas y probetas con aplicación de mezclas con porcentajes de masa de cal sustituidos por la misma masa de cenizas.

a. Superficies propuestas:

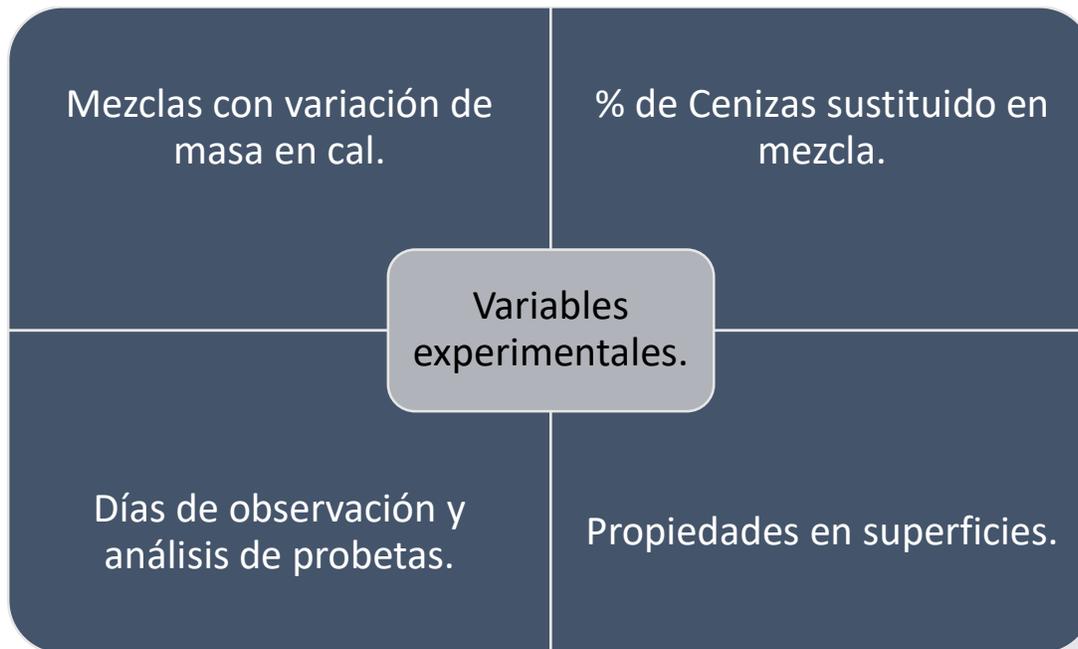
i. Tabique rojo recocido

Determinado por el INAH que en entrepisos y cubiertas (fig. 2) es común su conformación por vigas de madera en sentido horizontal, las vigas se colocan encima de muros en sentido contrario al claro más largo; encima de las vigas de madera, se tienden tabiques, tables e incluso tejamaniles que permiten colocar rellenos de tierra sobre entrepisos, en caso de tratarse de azoteas implica el tendido de entortados de cal-arena recubiertos con impermeabilizantes de jabón y piedra alumbre (Díaz E., Fuentes L., s/f).



Fig. 2. Superficies comunes en edificios históricos según manual de INAH

## 4.2 Variables experimentales



## 4.3 Elaboración de probetas y procedimiento experimental

Uno de los elementos de una construcción con mayor afectación de la humedad, son las azoteas, la conservación de este elemento determina en gran manera la vida útil de las edificaciones. Las afectaciones que se encuentran son agentes climáticos o constructivos a los que debemos enfrentarnos para su protección. Con base en los materiales que se han observado y que se tiene conocimiento de que las losas en edificios históricos están conformadas por cuñas, rellenos y recubrimientos simples conformando un sistema de techado; observando la capa superior que es cuña permite optar por una superficie similar para realizar el análisis para esta investigación. Para este caso se decreta y se define el tabique rojo recocido que cuenta con las mismas características que la cuña, así como su composición, varía el espesor y dimensiones del elemento, pero la superficie es similar, para el caso de estudio nos interesa un área rugosa y no tanto el espesor por lo que es factible utilizar el tabique como superficie fig. 3, para estudio el tabique seleccionado se obtiene de la ladrillera “Los vela”

ubicada en la comunidad de Matancillas Jalisco, lugar donde se realizó el montaje de laboratorio provisional que permitió realizar los estudios y experimentos con mezclas de ceniza como se muestra en la fig. 4, así mismo en la Tabla 1 se asientan las características de dimensión del tipo de tabique a utilizar.



Fig. 3. Tabiques para la utilización en recubrimiento de mezclas. (Elaboración propia)



Fig. 4. Laboratorio provisional para realización de campaña experimental. ("Elaboración propia")

Tabla 1. Características y tipo de superficie a utilizar en probetas.

Material	Probeta de Utilización		Cantidad de Probetas
	Dimensiones (cm)	Espesor (cm)	
Tabique regular de construcción como superficie	14 x 28	7	116

Para la campaña experimental que se realizó de Noviembre de 2020 a Marzo de 2021 se implementaron pruebas a probetas como se muestra en la Tabla 2, para hacer el análisis de las variables propuestas (Adherencia, Absorción, Permeabilidad y Transpiración) estas probetas tienen dimensiones establecidas como se muestra en la Tabla 1, siendo el tabique rojo recocido la superficie definida para aplicación de mezclas, para el análisis y observación de comportamiento en cada una de ellas.

Tabla 2. Cantidad de probetas a realizar para cada propiedad de análisis y tipo de mezcla.

Tipo de Mezcla	Cantidad total de Probetas				Total
	Permeabilidad	Transpiración	Adherencia	Absorción	
Probeta sin impermeabilizar	1	1	1	1	4
Mezcla Base	4	4	4	4	16
Mezcla Ceniza de Cimbra 5%	4	4	4	4	16
Mezcla Ceniza de Cimbra 10%	4	4	4	4	16
Mezcla Ceniza de Cimbra 30%	4	4	4	4	16
Mezcla Ceniza de huizache 5%	4	4	4	4	16
Mezcla Ceniza de huizache 10%	4	4	4	4	16
Mezcla Ceniza de huizache 30%	4	4	4	4	16
Total					116

Así mismo, para diferenciar cada una de las mezclas específicas se establece el nombramiento para cada una de ellas, para que permita diferenciar cantidad de cenizas adicionada, tipo de ceniza utilizada, así como el tipo de impermeabilizante utilizado, se describen las mezclas para su diferenciación en la tabla 3.

*Tabla 3. Definición de clave de mezclas con su descripción de composición y porcentaje.*

<b>Descripción de Mezclas</b>		
<b>Clave de mezcla o diferenciación</b>	<b>Composición</b>	<b>Observación</b>
Mezcla Base		Mezcla regular sin adición de cenizas
01/ Mezcla 01	Cal-Mucílago de Nopal	
Mezcla 02	Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de huizache	Mezcla con 5% de adición de cenizas
Mezcla 03	Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de huizache	Mezcla con 10% de adición de cenizas
Mezcla 04	Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de huizache	Mezcla con 30% de adición de cenizas
Mezcla 05	Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de Cimbra	Mezcla con 5% de adición de cenizas
Mezcla 06	Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de Cimbra	Mezcla con 10% de adición de cenizas
Mezcla 07	Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de Cimbra	Mezcla con 30% de adición de cenizas

#### **4.4 OBTENCION DE LAS CENIZAS VEGETALES Y DE CIMBRA**

La obtención de la madera es punto determinante en este análisis, para lo cual, con base en las observaciones realizadas a las especies vegetales de caña de azúcar, mezquite, huizache y penca de nopal, ha permitido optar por el huizache como madera vegetal a analizar. Así mismo como candidato se determina la utilización de madera mixta, la cual es madera en desuso y por su composición y procedencia permite considerarse fuente para el análisis ya que por lo general son maderas duras de pino las utilizadas para polines y hojas de madera para cimbrado.

Primero se buscó la fuente de madera de cimbra, esta ha sido de manera sencilla contando con el apoyo de empresas que en la construcción se dedican a este

giro comercial, no ha sido difícil obtenerla, por lo que se cuenta con fuentes cercanas y disponibles, se han seleccionado de pilas de madera que se destinan a la combustión para ladrilleras, tal como se ve en las Fig. 5, 6.



*Fig. 5. Pila de madera de cimbra en desuso, con espesor de 1-2". (Elaboración propia)*



*Fig. 6. Pila de madera de cimbra en desuso, polines de 4x4". (Elaboración propia)*

Después de la acumulación de la madera en desuso, se limpió de clavos, astillas o cualquier otro material que tuviese adicional, para ello se acumuló y se mantuvo en asoleamiento para combustionar estando completamente, se

obtuvo el peso total de la madera calcinada (fig. 7) para así analizar el rendimiento que tenemos para obtener cenizas para utilización en las mezclas.



*Fig. 7. Obtención de peso de madera en desuso para análisis de rendimiento de ceniza. (Elaboración propia)*

En la combustión de los polines de madera, se combustionaron con soplete a temperatura de 180-250 °C tal como se observa en la Fig. 8, al contar con la madera encendida se observan las temperaturas generales de combustión en las que alcanzan temperaturas mayores a los 550 °C teniendo como límite inferior 320°C; las lecturas de temperatura fueron realizadas con termómetro digital de temperatura máxima de registro de 550°C como se observa en la Fig. 9, Fig. 10 y Fig. 11.



*Fig. 8. Combustión de polines a fuego directo para obtención de cenizas. (Elaboración propia)*



Fig. 9. Obtención de temperaturas en calcinación. (Elaboración propia)



Fig. 10. Revisión de tablones para calcinación en masa. (Elaboración propia)

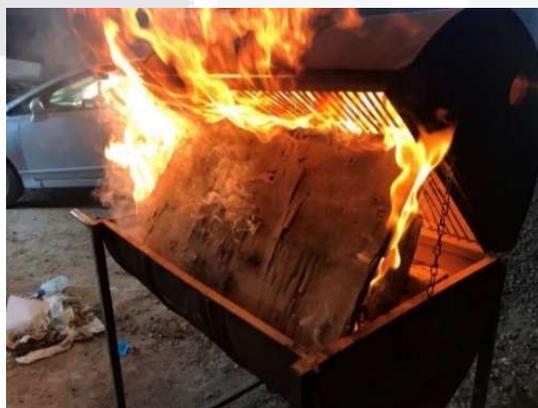


Fig. 11. Madera en desuso, en proceso de calcinación. (Elaboración propia)

Respecto a la madera de huizache no fue difícil de conseguir, al ser uno de los principales tipos de madera que ladrilleras y otros negocios utilizan, se consiguieron tramos de madera de 15 a 30 centímetros de diámetro (Fig. 12 y 13) y con capas/betas de madera más maduras esto ya que se sabe que con la madurez de una madera es que concentra mayor lignina, la cual es el elemento o polímero en la composición de la madera que favorece el efecto impermeable en las cenizas resultantes.



*Fig. 12. Madera de huizache para combustión. (Elaboración propia)*



*Fig. 13. Observación de grosor y diámetros de leños de huizache para calcinado. (Elaboración propia)*

En las Fig. 14, 15, 16 y 17 es apreciable el proceso de encendido, combustión y obtención de cenizas de huizache.



*Fig. 14. Combustión a fuego directo de madera de huizache. (Elaboración propia)*



*Fig. 15. Medición de temperatura de combustión de madera en la envolvente del fuego. (Elaboración propia)*



Fig. 16. Leños de madera de huizache, combustionando para la obtención de cenizas. (Elaboración propia)



Fig. 17. Acumulación de cenizas después de calcinación de madera. (Elaboración propia)

En todos los casos se registra la cantidad en peso de madera combustionada de madera en desuso o de huizache, así mismo se registran los tiempos que tardan en calcinarse y las temperaturas de la envolvente del fuego, considerando que en el interior la temperatura tiende a ser mayor a 550° ya que es el máximo que registro nuestro termómetro manual, las temperaturas de la envolvente oscilaron entre los 350-550°C.

Una vez que se cuenta con la madera totalmente calcinada, se extrae para pesarla y definir el porcentaje o rendimiento obtenido, como se muestra en la Fig.18.



*Fig. 18. Ceniza Extraída de contenedor, para pesado. (Elaboración propia)*

Al momento de combustionar, quedan residuos de mayor tamaño que no se convierten en cenizas, así como residuos que algunos polines de la madera en desuso albergan en su interior por los trabajos a los que son sometidos por lo que la separación de ellos se realiza mediante criba con mallas de acero como se observa en las Figuras 19, 20, 21, 22.



*Fig. 19. Cenizas para criba. (Elaboración propia)*



Fig. 20. Concentrado de cenizas de criba. (Elaboración propia)



Fig. 21. Cribado de cenizas para preparación de mezclado. (Elaboración propia)



Fig. 22. Cribado de cenizas y retiro de grumos y sólidos. (Elaboración propia)

Una vez concluido el cribado quedan cenizas maleables que deben pulverizarse para su implementación en las mezclas, estas cenizas se trabajan con el mortero para poder tener un elemento más fino de adición esto, se observa en la Fig. 23.



Fig. 23. Preparación de cenizas en mortero para pulverizar y mezclar. (Elaboración propia)

#### 4.5 Extracción de mucilago de nopal

Después de contar con la totalidad de las cenizas necesarias, se busca el siguiente insumo, el mucilago de nopal, también tuvo un proceso de extracción muy básico, se utilizó el procedimiento de ahogado en agua como se hace en el manual del INAH para restauraciones al igual que procedimientos de extracción de materias ecológicas.

Para nuestro caso de estudio se escogió el nopal coloquialmente conocido como Cardón, de nombre científico ***Opuntia streptacantha***, esto debido al tamaño de las pencas y al rendimiento visualmente obtenido al compararlo con el nopal de tuna ***Opuntia ficus-indica*** (Tuna Naranja), esta especie en el lugar (Ojuelos de Jalisco, Jal) de desarrollo del proyecto ha sido fácil de obtener puesto que existen huertas que forman bosques de este tipo de nopal, siendo un nopal que se desarrolla en climas templados y secos del centro del país. Este tipo de

nopal es una especie de índole arbustiva que puede llegar a alcanzar de 2.5 a 3.5 metros de altura (Fig. 24), lo favorable de este nopal, como se ha indicado es el tamaño de la penca que oscila de 25 a 40 cm de longitud y espesores de 1-2 cm, lo que favorece a la producción de mucílago.



Fig. 24. Arbustos de **Opuntia streptacantha**.

Al obtener las pencas, se pelaron completamente (fig. 25 y 26) retirando la cáscara y cortando en secciones para dejar reposar en agua durante 24 a 48 horas para que el nopal suelte todo el jugo (fig. 27).



Fig. 25. Pencas de nopal previas al pelado. (Elaboración propia)



Fig. 26. Pesado de nopal, previo al reposo. (Elaboración propia)



Fig. 27. Nopal en reposo en agua, para extracción de mucilago. (Elaboración propia)

Concluido el tiempo de reposo, machacar los trozos apoyándose con un aplanador de acero (Fig. 28), para extraer el jugo que les queda; se cuela la mezcla para eliminar los residuos y obtener una concentración de agua con mucílago de nopal como se observa en la Fig. 29.



Fig. 28. Extracción de mucílago, retiro de penca. (Elaboración propia)



Fig. 29. Ecurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)

Posterior al retirado de la cáscara se deja reposar en agua (Fig. 30) a una relación de peso: volumen de 3.2 kg de pencas de nopal sin cascara, peladas y cortadas con 6 lt de agua, al estar reposando durante 48 horas, se volvió a pesar el agua, considerando su peso específico se determinó el volumen y masa resultante de los 3 recipientes observados, dentro de los cuales se obtiene un promedio del rendimiento puesto que es mismo volumen y misma masa de pencas colocadas, esto para definir una solución que puede agregarse a las mezclas y así cumplir con la dosificación adecuada.



Fig. 30. Solución de Agua-mucilago para mezcla. Ecurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)

#### 4.6 ELABORACION DE MEZCLAS

Al tener planteado la intensidad de muestreo, así como la cantidad de probetas se realizan las mezclas correspondientes a las técnicas de impermeabilización a utilizar, estableciendo la dosificación de cada una de ellas para aplicar a las probetas constituidas, las mezclas se observarán de la siguiente manera:

Se cuenta con la dosificación establecida por el manual del INAH (Diaz E., Fuentes L., s/f) en el cual como referencia se partió de la mezcla determinada para esta investigación como Mezcla 01, Mezcla base cal-mucílago de nopal, la cual se describe en la Tabla 4; al tener las consideraciones de mezcla base, es suficiente considerar la sustitución en masa de la cal por la masa de cenizas en cada uno de los porcentajes determinados en el trabajo experimental.

Tabla 4. Dosificación de mezcla base utilizada por INAH de cal y mucílago de nopal.

Mezcla 01 Base		
Cal-Mucílago de Nopal		
Unidad	Material	Proporción
gr	Cal Viva	200
gr	Mucílago de Nopal	60
gr	Agua	700
gr	Jabón de barra	40
	Total	1000

La preparación de la mezcla base se realizó con los elementos debidamente pesados (Fig. 31 y 32), todas las mezclas generadas se dividieron y etiquetaron para su aplicación en los tabiques y así esperar a su secado para iniciar con las observaciones, se utilizaron recipientes básicos caseros como se observan en las Figuras 33 y 34 ya que se tuvo un montaje provisional de laboratorio para así realizar los experimentos requeridos.



*Fig. 31. Jabón de barra a derretir para la utilización en mezcla. Escurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)*



*Fig. 32. Jabón de barra derretido para combinación en mezclas. Escurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)*



*Fig. 33. Mezclado de componentes de mezcla base. Ecurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)*



*Fig. 34. Dosificación de Mezcla Base disuelta para aplicación a probetas (Mezcla 01) Ecurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)*

Las dosificaciones de las mezclas son similares, únicamente cambia la concentración de cenizas en cada mezcla, sustituyendo el porcentaje establecido de adición en gramos por los mismos gramos en la cal, siendo el resultado para trabajar: Mezcla 02 definida en la Tabla 5, Mezcla 03 conforme a la Tabla 6 y Mezcla 04 de acuerdo con la Tabla 7, obteniendo así las dosificaciones para las cenizas de huizache.

Las cenizas al estar libres de humedad para poder mezclarse se pulverizaron completamente en el mortero para así propiciar una mayor fluidez y mezclado, además de eliminación de grumos de ceniza aun presentes después del cribado.



Fig. 35. Conservación de cenizas libres de humedad para mezclado. Esgurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)

Tabla 5. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de origen vegetal con % 5.

<b>Mezcla 02</b>		
<b>Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de huizache</b>		
<b>Unidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proporción</b>
gr	Cal Viva	190
gr	Mucílago de Nopal	60
gr	Agua	700
gr	Jabón de barra	40
gr	Cenizas de origen vegetal	10
		1000

Tabla 6. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de origen vegetal con 10%

<b>Mezcla 03</b>		
<b>Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de huizache</b>		
<b>Unidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proporción</b>
gr	Cal Viva	180
gr	Mucílago de Nopal	60
gr	Agua	700
gr	Jabón de barra	40
gr	Cenizas de origen vegetal	20
Total		1000

Tabla 7. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de origen vegetal con 30%

<b>Mezcla 04</b>		
<b>Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de huizache</b>		
<b>Unidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proporción</b>
gr	Cal Viva	140
gr	Mucílago de Nopal	60
gr	Agua	700
gr	Jabón de barra	40
gr	Cenizas de origen vegetal	60
Total		1000

Respecto a la observación con cenizas de cimbra en desuso la Tabla 8 muestra la dosificación para la Mezcla 05, Tabla 9 identifica a la dosificación de la Mezcla 06 y la Mezcla 07 queda definida conforme a la Tabla 10, por lo que las mezclas para análisis se fundamentan y caracterizan para su aplicación.

Tabla 8. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de cimbra con 5% en masa

<b>Mezcla 05</b>		
<b>Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de Cimbra</b>		
<b>Unidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proporción</b>
gr	Cal Viva	190
gr	Mucílago de Nopal	60
gr	Agua	700
gr	Jabón de barra	40
gr	Cenizas de Cimbra	10
Total		1000

Tabla 9. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de cimbra con 10% en masa.

<b>Mezcla 06</b>		
<b>Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de Cimbra</b>		
<b>Unidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proporción</b>
gr	Cal Viva	180
gr	Mucílago de Nopal	60
gr	Agua	700
gr	Jabón de barra	40
gr	Cenizas de Cimbra	20
Total		1000

Tabla 10. Mezcla de cal y mucílago de nopal con sustitución de cal por cenizas de cimbra con 30% en masa.

Mezcla 07		
Cal-Mucílago de Nopal-Cenizas de Cimbra		
Unidad	Material	Proporción
gr	Cal Viva	140
gr	Mucílago de Nopal	60
gr	Agua	700
gr	Jabón de barra	40
gr	Cenizas de origen vegetal	60
Total		1000

En la Fig. 36 podemos observar las condiciones de las cenizas que se adicionan al recipiente para proceder a su mezclado.



Fig. 36. Adición de cenizas a mezclas. Esgurrimento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)

Las figuras 37-42 muestran la forma en que se fueron adicionando cada uno de los elementos para generar las mezclas especificadas para la aplicación.



Fig. 37. Mezcla con 10% de ceniza. Esgurrimento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 38. Mezcla con 30% de ceniza en sustitución de la cal. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 39. Mezclado de materiales para impermeabilizante. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 40. Resultado de mezcla con 5% de ceniza. Escurrecimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 41. Resultado de mezcla con 10% de ceniza. Escurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 42. Resultado de mezcla con 30% de ceniza. Escurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)

En la Fig. 43 se observa la caracterización de cada mezcla para aplicar a cada probeta, considerando que en cada recipiente hubo variación tanto en coloración como dosificación, esto resultado por la cantidad de ceniza adicionada en cada una de las mezclas.



Fig. 43. Mezclas de impermeabilizante con distinta dosificación para aplicación. Escurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)

#### 4.7 Elaboración de las probetas y aplicación de mezclas

En esta etapa de la campaña experimental después de obtener la dosificación de cada una de las mezclas se procedió a la elaboración de la mezcla para aplicarse las probetas, las superficies sobre las que habrán de ensayarse conforme a las Tablas 10,11,12,13,14,15 y 16, en las cuales se muestra el material a utilizar, así como cada una de las características a evaluar para análisis en esta campaña experimental. Las características definidas de evaluación son la absorción, permeabilidad, transpiración y adherencia, para cada una de ella en tiempos determinados se hace un análisis individual que permite valorar el comportamiento progresivo en las probetas, así mismo se fija y se determina la evaluación de probetas en estado natural, sin aplicación alguna de recubrimiento para tener un punto de referencia y comparativo ante la reacción y características del material sin haber estado sujeto a ningún proceso previo de impermeabilización y determinar una comparativa tanto de eficiencia como viabilidad de utilización del impermeabilizante natural.

Tabla 11. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 01.

Ensayes para realizar Con Mezcla 01, Mezcla Base						
Probeta	Tiempo de Análisis	Absorción	Permeabilidad	Transpiración	Adherencia	Numero de Probetas
Sin impermeabilizar		1	1	1	1	4
	1	1	1	1	1	4
	8	1	1	1	1	4
Tabique rojo recocado	15	1	1	1	1	4
	30	1	1	1	1	4
<b>Total</b>						<b>20</b>

Tabla 12. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 02.

Ensayes para realizar Con Mezcla 02 Ceniza de cimbra 5%							Numero de Probetas
Probeta	Tiempo de Análisis	Absorción	Permeabilidad	Transpiración	Adherencia		
Tabique rojo recocado	1	1	1	1	1	4	
	8	1	1	1	1	4	
	15	1	1	1	1	4	
	30	1	1	1	1	4	
<b>Total</b>						<b>16</b>	

Tabla 13. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 03.

Ensayes para realizar Con Mezcla 03 Ceniza de cimbra 10%							Numero de Probetas
Probeta	Tiempo de Análisis	Absorción	Permeabilidad	Transpiración	Adherencia		
Tabique rojo recocado	1	1	1	1	1	4	
	8	1	1	1	1	4	
	15	1	1	1	1	4	
	30	1	1	1	1	4	
<b>Total</b>						<b>16</b>	

Tabla 14. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 04.

Ensayes para realizar Con Mezcla 04 Ceniza de cimbra 30%							Numero de Probetas
Probeta	Tiempo de Análisis	Absorción	Permeabilidad	Transpiración	Adherencia		
Tabique rojo recocado	1	1	1	1	1	4	
	8	1	1	1	1	4	
	15	1	1	1	1	4	
	30	1	1	1	1	4	
<b>Total</b>						<b>16</b>	

Tabla 15. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 05.

Ensayes para realizar Con Mezcla 05 Ceniza de huizache 5%							Numero de Probetas
Probeta	Tiempo de Análisis	Absorción	Permeabilidad	Transpiración	Adherencia		
	1	1	1	1	1	1	4
	8	1	1	1	1	1	4
Tabique rojo	15	1	1	1	1	1	4
recocido	30	1	1	1	1	1	4
<b>Total</b>							<b>16</b>

Tabla 16. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 06.

Ensayes para realizar Con Mezcla 06 Ceniza de huizache 10%							Numero de Probetas
Probeta	Tiempo de Análisis	Absorción	Permeabilidad	Transpiración	Adherencia		
	1	1	1	1	1	1	4
	8	1	1	1	1	1	4
Tabique rojo	15	1	1	1	1	1	4
recocido	30	1	1	1	1	1	4
<b>Total</b>							<b>16</b>

Tabla 17. Ensayes de probetas, cantidad, Tiempo para el análisis de prueba y tipo de propiedad que se analiza para Mezcla 07.

Ensayes para realizar Con Mezcla 07 Ceniza de huizache 30%							Numero de Probetas
Probeta	Tiempo de Análisis	Absorción	Permeabilidad	Transpiración	Adherencia		
	1	1	1	1	1	1	4
	8	1	1	1	1	1	4
Tabique rojo	15	1	1	1	1	1	4
recocido	30	1	1	1	1	1	4
<b>Total</b>							<b>16</b>

Las mezclas obtenidas se aplican a las superficies a 2 manos, sabiendo que la primera mano se aplica con rodillo para garantizar una perfecta aplicación, recubriendo con mayor eficiencia las superficies por la forma y maleabilidad del rodillo, la segunda mano se aplica con brocha (Fig. 44), la cual es aplicada después de 20 minutos de reposo para que haya un proceso primario de secado

y así garantizar la adherencia de la segunda capa de impermeabilizante en las probetas.



Fig. 44. Herramienta utilizada para la aplicación de mezclas impermeabilizantes en probetas. Ecurrimiento de agua y mucilago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 45. Identificación de probetas para aplicación de mezclas y posterior realización de pruebas específicas. Ecurrimiento de agua y mucilago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 46. Probetas con primer mano aplicada de impermeabilizante. Ecurrimiento de agua y mucilago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 47. Probetas con segunda mano aplicada de impermeabilizante. Ecurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 48. Aplicación con rodillo de primer mano. Ecurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)



Fig. 49. Brocha para aplicación de segunda mano de impermeabilizante.

Cabe mencionar que debe tenerse mucho cuidado en que por ser una superficie porosa puede presentar complejidad al aplicar el impermeabilizante quedando poros abiertos que no ayudarían a la realización de las pruebas y afectarían a la

evaluación de las pruebas realizadas, esta superficie puede observarse en las Fig. 50 y 51.



*Fig. 50. Aplicación de primer mano en la cual aparecen poros abiertos en la superficie. Esgurrimiento de agua y mucílago de nopal. (Elaboración propia)*



*Fig. 51. Muestra con porosidad excesiva la cual requirió hasta 4 manos para el sellado completo de la superficie. (Elaboración propia)*

La aplicación propuesta fue de 2 manos, pero hubo casos que por la porosidad excesiva de la superficie como se observa en la ilustración, se requirió hasta 5 manos del impermeabilizante para recubrirlo, por lo que la generación de nuevas superficies lisas y completamente selladas en el acabado sería lo más conveniente para la aplicación de este tipo de impermeabilizante.

#### **4.8 Análisis y observación de propiedades**

Para el análisis de probetas en cada característica propuesta se ha realizado de la manera que sigue:

### 4.8.1 Absorción

Antes de cualquier procedimiento, se determina y se definen las probetas con la clave definida de caracterización que permite el análisis y observación específica sin tener inconvenientes, al tener un orden y códigos definidos la organización de resultado se vuelve más eficiente tal como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Definición de probetas y caracterización con clave para cada una de ellas mediante código para la organización de resultados.

Caracterización de probetas para análisis de absorción		
No. De Ensaye	Clave de Probeta	Mezcla a utilizar
1	ABB01	Mezcla base
2	ABB08	Mezcla base
3	ABB15	Mezcla base
4	ABB30	Mezcla base
5	ABH0501	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
6	ABH0508	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
7	ABH0515	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
8	ABH0530	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
6	ABH0508	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
9	ABH1001	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
10	ABH1008	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
11	ABH1015	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
12	ABH1030	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
13	ABH3001	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
14	ABH3008	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
15	ABH3015	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
16	ABH3030	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
17	ABC0501	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
18	ABC0508	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
19	ABC0515	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
21	ABC1001	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
22	ABC1008	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
23	ABC1015	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
24	ABC1030	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
25	ABC3001	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
26	ABC3008	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
27	ABC3015	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
28	ABC3030	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso

Las probetas se han secado en horno, se toma el peso de la probeta completamente seca. Posterior al secado total de la muestra se ha recubierto la probeta con la mezcla de cada uno de los tipos que se define, tanto mezcla base como mezcla con cal sustituida y cenizas adicionadas en porcentaje. Se expone la superficie por 24 horas en agua en un recipiente para pesar valorar el contenido de humedad que habrá de adquirir en este intervalo de tiempo, al día siguiente se pesa de nueva cuenta la probeta expuesta a la saturación de agua para con ello conocer el peso inicial de la probeta y el peso final que permita ver un porcentaje de agua absorbido; este porcentaje de líquido dentro de la probeta indicara la eficiencia y capacidad de absorción de cada una de las mezclas lo cual determinar una viabilidad en cuanto a uso del porcentaje que permita asentar que porcentaje de ceniza es el más óptimo para una superficie al tener una exposición constante con el agua.



*Fig. 52. Preparación de la muestra para aplicación de mezcla, mediante limpieza de impurezas y material adicional a la probeta. (Elaboración propia)*

Una vez teniendo la muestra completamente limpia, se ingresa al horno con una temperatura constante de 65 °C y se deja durante 24 horas para obtener un tabique completamente libre de humedades y poder tener su peso seco (Fig. 53 y 54).



Fig. 53. Horno para secado de muestras. (Elaboración Propia)



Fig. 54. Tabiques dispuestos para sacado a 24 horas para tener peso completamente seco. (Elaboración propia)



Fig. 55. Pesado de probetas completamente secas. (Elaboración propia)



Fig. 56. Obtención de peso seco con impermeabilizante aplicado. (Elaboración propia)

### 4.8.3 Permeabilidad

Este valor se medirá simulando un procedimiento del tubo de Karsten (Hendrick, 2013. p1310-1317) utilizando un tubo de vidrio con graduación que permita observar el volumen de líquido que absorbe la probeta sin ninguna capa de sello y las probetas con la mezcla impregnada en rangos de tiempo de 0 a 45 minutos y analizar el comportamiento permeable estos rangos establecidos ya que son superficies bastante porosas y dependiendo de las capas de aplicación permite generar un panorama del funcionamiento permeable de cada una de las mezclas en las edades de 1, 8, 15 y 30 días.

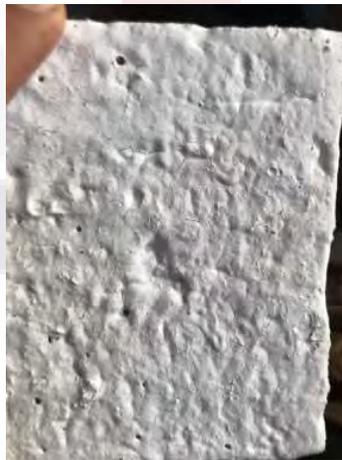
Tabla 19. Caracterización para cada probeta de análisis con tipo de mezcla en los días determinados de observación.

<b>Caracterización y descripción de clave de probetas a análisis de permeabilidad</b>		
<b>No. De Ensaye</b>	<b>Clave de Probeta</b>	<b>Mezcla a utilizar</b>
1	PB01	Mezcla base
2	PB08	Mezcla base
3	PB15	Mezcla base
4	PB30	Mezcla base
6	PH0508	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
7	PH0515	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
8	PH0530	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
9	PH1001	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
10	PH1008	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
11	PH1015	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
12	PH1030	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
13	PH3001	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
14	PH3008	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
15	PH3015	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
16	PH3030	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
17	PC0501	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
18	PC0508	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
19	PC0515	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
20	PC0530	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
21	PC1001	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
22	PC1008	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
23	PC1015	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
24	PC1030	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
25	PC3001	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
26	PC3008	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
27	PC3015	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
28	PC3030	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso

Las superficies de colocación de los tubos en cada superficie deben contar con el cuidado que la superficie uniforme o rugosa este completamente limpia, una vez concluido con la preparación de la probeta la observación en los periodos de análisis de 1, 8, 15 y 30 días se realizaron de la misma manera, revisando en cada uno de los casos la cantidad permeada en la superficie de 0 a 45 minutos como se muestra en la Fig. 57, 58 y 59.



*Fig. 57. Probetas con superficie preparada para la colocación de tubos de Karsten y observación de permeabilidad. (Elaboración propia)*



*Fig. 58. Verificación de superficies de aplicación. (Elaboración propia)*



Fig. 59. Probetas sujetas a procedimiento de permeabilidad. (Elaboración propia)

Para la colocación de los tubos de Karsten es determinante contar con un sello total en la circunferencia del tubo con la plastilina utilizada para el sello, así mismo cuidar la adherencia de esta con la superficie para evitar cualquier tipo de filtración ajena al procedimiento permeable tal como puede apreciarse en la Fig. 60 y 61. Una vez teniendo bien colocada y sellada se procede a llenar los tubos con una probeta o goteros que permitan alcanzar el nivel máximo de líquido en el tubo graduado, considerando que las graduaciones de los tubos utilizados van de los 4 a los 5 ml para su observación.



Fig. 60. Tubo de Karsten en probeta de análisis. (Elaboración propia)



Fig. 61. Observación de graduación y enrase de líquido en tubo de Karsten. (Elaboración propia)



Fig. 62. Accidentes y desprendimientos de capa en la colocación de tubo de Karsten. (Elaboración propia)

#### 4.8.4 Adherencia

Conforme a la norma Adhesión and Flexibility Test to meet the standards of ASTM designation: D 3359-97, se pasaran cortes sobre la superficie en el sentido horizontal de la probeta y después en los extremos y al centro de ellas de manera perpendicular con el Kit ASTM (Fig. 63), posterior a ello se retirará el material desprendido con un cepillo dejando una superficie limpia para la inspección, se habrá generado una superficie reticular que permita tener una comparativa de adherencia conforme a la Imagen 65 de la Norma ASTM utilizada.

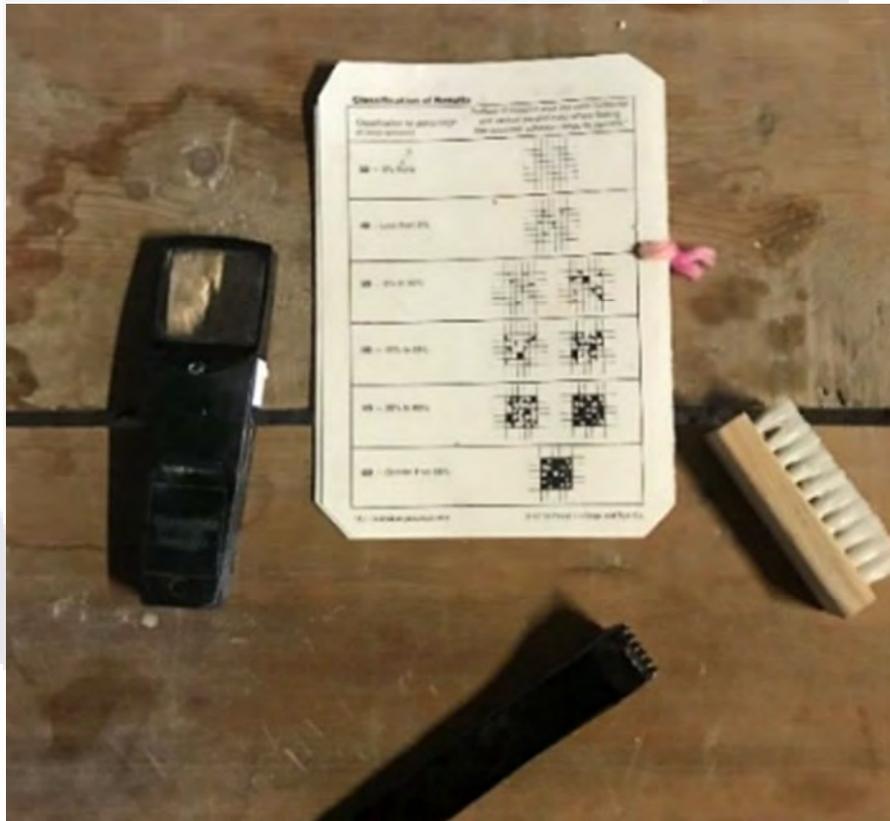


Fig. 63. Kit para prueba de adherencia ASTM. (Elaboración propia)

Tabla 20. Definición de clave para probetas de análisis de adherencia que permitan la organización y caracterización de resultados.

<b>Caracterización de probetas para análisis de adherencia</b>		
<b>No. De Ensaye</b>	<b>Clave de Probeta</b>	<b>Mezcla a utilizar</b>
1	ADB01	Mezcla base
2	ADB08	Mezcla base
3	ADB15	Mezcla base
4	ADB30	Mezcla base
5	ADH0501	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
6	ADH0508	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
7	ADH0515	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
8	ADH0530	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
9	ADH1001	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
10	ADH1008	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
11	ADH1015	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
12	ADH1030	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
13	ADH3001	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
14	ADH3008	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
15	ADH3015	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
16	ADH3030	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
17	ADC0501	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
18	ADC0508	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
19	ADC0515	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
21	ADC1001	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
22	ADC1008	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
23	ADC1015	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
24	ADC1030	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
25	ADC3001	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
26	ADC3008	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
27	ADC3015	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
28	ADC3030	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso



Fig. 64. Lupa para observación de desprendimientos. (Elaboración propia)



Fig. 65. Herramienta de corte para forjado de cruz y malla para análisis de desprendimiento sobre la norma ASTM. (Elaboración propia)



Fig. 66. Cepillo de limpieza para superficie. (Elaboración propia)

- A. Se selecciona un área libre de imperfecciones o imperfecciones superficiales menores (Fig. 67), así mismo asegurar que la superficie este limpia y seca. Las temperaturas extremas o la humedad relativa pueden afectar la adherencia de la cinta o el revestimiento.



Fig. 67. Probetas para revisión de adherencia. (Elaboración propia)

- B. Se realizan dos cortes en la película, cada uno de 40 mm de largo que se crucen cerca de su centro tal como se observa en la Fig. 68.



Fig. 68. Resultado de corte en superficie con alto índice de desprendimiento. (Elaboración propia)

- C. El ángulo de corte debe ser de entre 30 y 45°, al hacer las incisiones se debe utilizar regla y corte a través del recubrimiento hasta el sustrato con un movimiento constante.
- D. Se inspeccionan las incisiones (Fig. 69) en busca de reflejos de luz del sustrato metálico para revisar que se ha penetrado la película del revestimiento. Sino se alcanzó el sustrato se hace otro corte en cruz en diferente ubicación.



*Fig. 69. análisis con lupa del resultado de desprendimiento en superficie. (Elaboración propia)*

- E. Debe considerarse no profundizar el corte anterior ya que esto puede afectar la adherencia a lo largo de la incisión.
- F. Se retiran dos vueltas completas de cinta sensible a la presión del rollo y sin sacudirlas.
- G. Se coloca el centro de la cinta en la inspección de los cortes con la cinta que se coloca en la misma dirección como los ángulos más pequeños. Se

alisa la cinta en su lugar con el dedo en el área de la incisión y luego se frota firmemente esto para realizar un buen contacto.

- H. Dentro de 90 a 630 segundos de la aplicación se retira la cinta agarrando el extremo libre y tirando rápidamente para no hacer tirones.
- I. Se inspecciona el área en forma de X para eliminar el recubrimiento del sustrato o recubrimiento anterior.
- J. Se tiene la consideración de escalas de la prueba ASTM de acuerdo con la Fig. 70.
  - o 5A: sin pelar ni quitar.
  - o 4A: rastro de descamación o eliminación a lo largo de las incisiones o en su intersección.
  - o 3A: Eliminación irregular a lo largo de la incisión de hasta 1. mm.
  - o 2A: Eliminación irregular a lo largo de la mayoría de la incisión de hasta 3.2 mm.
  - o 1A: Eliminación de la mayor parte del área de la X debajo de la cinta.
  - o 0A: Eliminación más allá del área de la X.

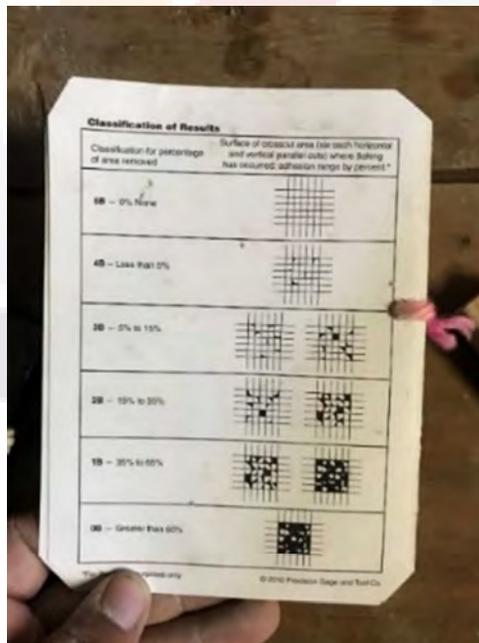


Fig. 70. Tabla de consideraciones para escala de porcentajes de desprendimientos según el resultado de corte; definición de tipo de área. (Elaboración propia)

- K. Se repite la prueba en 2 ocasiones para valorar consistencia y evaluación pertinente de la adherencia, limpiando y observando, de acuerdo con las Figuras 71 y 72.



*Fig. 71. Limpieza de la superficie cortada para observación de desprendimiento. (Elaboración propia)*



*Fig. 72. Resultado de corte en cruz, sobre superficie de análisis de adherencia. (Elaboración propia)*

#### 4.8.5 Transpiración

Este análisis no se realiza con una normativa específica ya que no se cuenta con alguna que permita valorar este comportamiento, sin embargo, se analizarán y compararán probetas de la siguiente manera:

Las probetas se caracterizan para realizar la observación a cada una de ellas tanto en edad como porcentaje de mezcla incluida como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Caracterización de probetas para análisis de transpiración con clave y composición de ceniza utilizada.

No. De Ensaye	Clave de Probeta	Mezcla a utilizar
1	TRB01	Mezcla base
2	TRB08	Mezcla base
3	TRB15	Mezcla base
4	TRB30	Mezcla base
5	TRH0501	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
6	TRH0508	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
7	TRH0515	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
8	TRH0530	Mezcla con 5% de Ceniza de Huizache
9	TRH1001	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
10	TRH1008	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
11	TRH1015	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
12	TRH1030	Mezcla con 10% de Ceniza de Huizache
13	TRH3001	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
14	TRH3008	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
15	TRH3015	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
16	TRH3030	Mezcla con 30% de Ceniza de Huizache
17	TRC0501	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
18	TRC0508	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
19	TRC0515	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
20	TRC0530	Mezcla con 5% de Ceniza de cimbra en desuso
21	TRC1001	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
22	TRC1008	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
23	TRC1015	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
24	TRC1030	Mezcla con 10% de Ceniza de cimbra en desuso
25	ABC3001	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
26	ABC3008	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
27	ABC3015	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso
28	ABC3030	Mezcla con 30% de Ceniza de cimbra en desuso

La transpiración permitirá observar que tanta humedad es liberada en periodos de tiempo, por lo que se obtiene el peso de las probetas (Fig. 73 y 74) previo a la saturación, una vez saturado se aplica el impermeabilizante a las muestras que lo llevaran, dejando una muestra sin impermeabilizar para con ello observar también el comportamiento natural de la superficie de tabique.



Fig. 73. Probetas con manto aplicado para medir la transpiración. (Elaboración propia)

Se obtiene el peso de la muestra saturada para observar la liberación de humedad a 12, 24, 36 y 48 horas, para con ello obtener un parámetro de secado que permita considerar la eficiencia del manto impermeable.



Fig. 74. Probetas en reposo a 24 hora de proceso de transpiración. (Elaboración propia)

## CAPITULO 5. Resultados de la investigación

### 5.1 Caracterización de cenizas

La combustión natural de los materiales huizache, mezquite y nopal para obtención de cenizas alcanzó en general temperaturas de 350-450 ° C. El huizache destacó en el mayor tiempo para combustionarse, seguido por mezquite y luego nopal (Información proporcionada por la Dra. Lorena Vargas Rodríguez). Esto está relacionado con el contenido de “carbono fijo” y su valor se relaciona con el tiempo que tarda la oxidación completa del material (Torres *et al.* 2015). Las cenizas de mezquite, nopal y caña de azúcar no presentaron hidrofobicidad al agua. El agua al tocar las cenizas se infiltró libremente. En tanto las cenizas de huizache presentaron “hidrofobicidad”. Cada gota de agua adicionada a su superficie se sumó creando una mayor vesícula que puede correrse por toda la superficie antes de estallar (Información proporcionada por la Dra. Lorena Vargas Rodríguez como colaboración a este proyecto).

Tabla 22. Porcentaje atómico normalizado identificado pro EDS-MEB en cenizas. Contenido en porcentaje de cada elemento por especie vegetal. (Análisis compartido por Dra. Lorena Vargas 2019)

Composición de cenizas				
Elemento	Cenizas de huizache	Cenizas de Mezquite	Cenizas de Nopal	Cenizas de Caña de azúcar
%C	59.75	53.51	17.91	65.38
%O	29.14	19.5	53.25	28.04
%Ca	6.14	14.67	13.47	0
%K	2.54	5.97	8.86	1.15
%P	1.17	3.56	0.75	0
%Mg	0.61	2.37	3.05	0.2

De las cenizas, se asienta que la composición elemental química obtenida por el análisis con EDS reveló que todas las cenizas contienen C, O, Ca, K, P y Mg a excepción de las de caña de azúcar que no se detectó Ca y P. Otros elementos fueron cuantificados según la fuente; por ejemplo, Al, Cl, Si y S en nopal (que

resultó cualitativamente el más diverso), caña sumó a la lista previa solo al Si. Fe fue destacado exclusivamente para mezquite, Cl y Na también se identificaron en esta fuente de cenizas, pero en menor abundancia. No obstante, la semejanza de composición entre huizache y mezquite, las cenizas de mezquite no presentaron la propiedad de repelencia al agua. Por lo que se descarta que un elemento químico particular determine el fenómeno con el agua.

La micrografía para cenizas de huizache a diferencia de las otras cenizas (mezquite, nopal y caña), presentó “estructura más compleja, una red tridimensional de composición carbonatada”, de la que se sospecha corresponde a la lignina.

El Huizache y mezquite son maderas duras, que producen resinas (no así nopal y caña de azúcar); sin embargo, el caso de mezquite debe continuarse investigando con elementos leñosos provenientes de rama adulta. El estudio permitió determinar que estructuras residuales en forma de matriz y carácter orgánico “lignina” son las responsables de la propiedad hidrofóbica de las cenizas, único caso el huizache. Por lo que la lignina en perspectiva del presente estudio se piensa en la utilización de maderas en desuso tales como la cimbra, las cuales en la utilización se ven impregnadas de aceites y desmoldantes, lo que permite generar la suposición de que habría una integración de agentes grasos que permitan la semejanza a la composición de la lignina y así poder obtener cenizas con las características deseadas.

Al contar con las cenizas de ambas fuentes con la forma descrita pudimos realizar las mezclas y aplicarlas a las probetas obteniendo en cada una de ellas la caracterización y efecto registrados para el análisis, en las cuales se obtienen comportamientos distintos para cada prueba.

## 5.2 Resultados de rendimiento de cenizas

Según la tabla 23 y 24 es lógico observar que a mayor volumen de madera a combustionar de manera natural, también es mayor el tiempo que tarda en combustionar en las temperaturas indicadas, sin embargo es notorio una variación de hasta 1% entre la cimbra en desuso con el rendimiento de la madera de huizache, siendo mucho menor el rendimiento de la madera natural del huizache, permitiendo indicar que se rescata más ceniza volante del material de desperdicio de cimbra que de la madera vegetal natural. Así mismo es evidente la velocidad de combustión que se ve enormemente diferenciada respecto a la masa calcinada contra el tiempo de combustión el cual reduce prácticamente en un 50% la madera en desuso respecto a la madera de huizache.

Tabla 23. Resultado de rendimiento de combustión de madera de huizache.

Combustión	Tiempo de combustión (hr)	Temperatura (°C)	Rendimiento de Huizache combustionado.				Rendimiento
			Peso de madera (kg)	Peso del Recipiente (kg)	Peso de Ceniza Obtenida (kg) en recipiente	Ceniza neta (kg)	
1	12 h 25 min	450-550	56.457	0.62	2.304	1.684	2.983%
2	5 h 35 min	450-550	25.35	0.62	1.406	0.786	3.101%
3	4 h 18 min	450-550	18.87	0.62	1.219	0.599	3.174%
<b>Promedio</b>							<b>3.086%</b>

Tabla 24. Resultado de rendimiento de combustión de madera de cimbra en desuso.

Combustión	Tiempo de combustión (hr)	Temperatura (°C)	Rendimiento de Cimbra combustionada.				Rendimiento
			Peso de Cimbra (kg)	Peso del Recipiente (kg)	Peso de Ceniza Obtenida (kg) en recipiente	Ceniza neta (kg)	
1	4 h 15 min	450-550	39.317	6.38	7.785	1.405	3.574%
2	5 h 20 min	450-550	46.521	6.38	8.455	2.075	4.460%
3	2 h 55 min	450-550	28.456	6.38	7.546	1.166	4.098%
<b>Promedio</b>							<b>4.044%</b>

### 5.3 Obtención y rendimiento de mucílago de nopal

Tabla 25. Extracción de mucílago en 3 etapas para valorar rendimiento y adiconamiento a mezclas.

Primera extracción					
Peso agua (gr)	Peso extracción (gr)	Peso de Recipiente (gr)	Peso liquido extraído a 2 días de reposo (gr)	Total Agua (gr)	Total, Mucílago (gr)
2000	2994	196	2798		
2000	2576	196	2380	6000	628
2000	1646	196	1450		
6000	7216		6628	100%	6628
<b>Agua</b>					<b>90.525%</b>
<b>Mucilago</b>					<b>9.475%</b>
					<b>Solución de mucílago de nopal al 9.475%</b>
Segunda extracción					
Peso agua (gr)	Peso extracción (gr)	Peso de Recipiente (gr)	Peso liquido 92solución a 2 días de reposo	Total Agua	Total Mucílago
2000	2555	196	2359		
2000	3005	196	2809	6000	630
2000	1658	196	1462		
6000	7218		6630	100%	6630
<b>Agua</b>					<b>90.498%</b>
<b>Mucilago</b>					<b>9.502%</b>
					<b>92solución de mucílago de nopal al 9.50%</b>
Tercera extracción					
Peso agua (gr)	Peso extracción (gr)	Peso de Recipiente (gr)	Peso liquido extraído a 2 días de reposo	Total Agua	Total Mucílago
3000	3965	196	3769		
3000	3070	196	2874	6000	643
6000	7035		6643	100%	6643
<b>Agua</b>					<b>90.321%</b>
<b>Mucilago</b>					<b>9.679%</b>
					<b>Solución de mucílago de nopal al 9.68%</b>

Tabla 26. Definición de promedio de concentración de la solución agua-mucílago de nopal, con base en el promedio de rendimiento en extracciones.

Rendimiento de Mucílago de Nopal	
Primera Extracción	9.475%
Segunda Extracción	9.502%
Tercera Extracción	9.679%
	9.552%
Solución de mucílago de Nopal al 9.552% de concentración	

En la extracción de mucílago de nopal se observa en las tres extracciones realizadas que hay variación en la concentración de cada una de las pruebas, sin embargo con la misma masa de pencas de nopal y el mismo volumen de agua, se obtienen concentraciones muy parecidas, lo que permite ver un rendimiento y presencia de mucilago de nopal para así adicionar a las mezclas requeridas, considerando que por cada 100 ml de agua adicionados a una mezcla de esta concentración 9.55 gr serán de mucílago de nopal según la tabla 26, en la que indica la concentración promedio de solución de agua-mucílago de nopal.

### 5.4 Resultados de absorción

Tabla 27. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla base de mucílago de nopal.

Mezcla 01 Base de mucílago de nopal.						
Edad de Análisis	Clave de Probeta	Peso de la muestra seca sin impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra seca con impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra a 24h de saturación	% de Absorción	Volumen de Absorción
Sin recubrimiento		2122		2854.16	25.65%	732.16
	1 ABB01		2408	2868.65	16.06%	460.65
	8 ABB08		2213	2665.26	16.97%	452.26
	15 ABB15		2184	2661.94	17.95%	477.94
	30 ABB30		2151	2599.24	17.25%	448.24

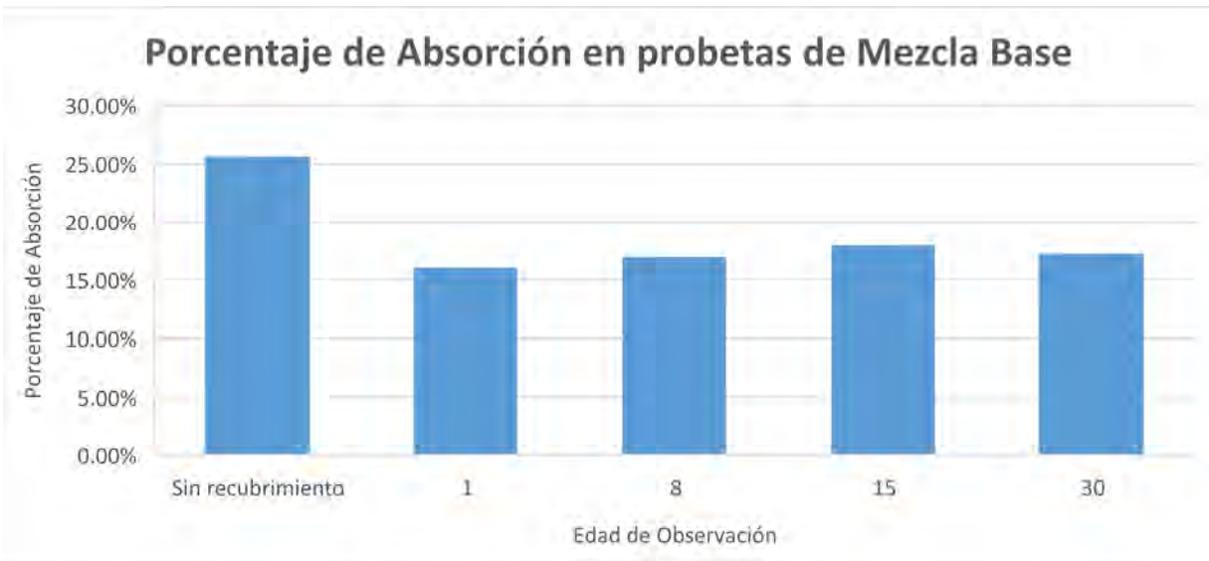


Gráfico 1. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas.

Según la tabla 27, se puede observar que la absorción de una probeta sin ningún tipo de recubrimiento en 24 horas absorbe un 25.65% respecto a la masa total de la probeta. Obteniendo así también la absorción en las edades de 1, 8, 15 y 30 días, con recubrimiento, todas las probetas reducen al menos en un promedio del 9% la absorción, sin embargo, es evidente que al paso del tiempo la absorción se vuelve mayor al menos en la mezcla base de tal técnica tradicional de impermeabilización.

Tabla 28. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 02 con adición de 5% de cenizas de huizache.

Mezcla 02: 5% de Ceniza de Huizache						
Edad de Análisis	Clave de Probeta	Peso de la muestra seca sin impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra seca con impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra a 24h de saturación	% de Absorción	Volumen de Absorción
Sin recubrimiento		2122		2854.16	25.65%	732.16
	1 ABH0501	1945.5	1972.81	2370.14	16.76%	397.33
	8 ABH0508	2084.6	2111	2525.46	16.41%	414.46
	15 ABH0515	2123.24	2138	2578.25	17.08%	440.25
	30 ABH0530	1944.6	1956.41	2382.86	17.90%	426.45

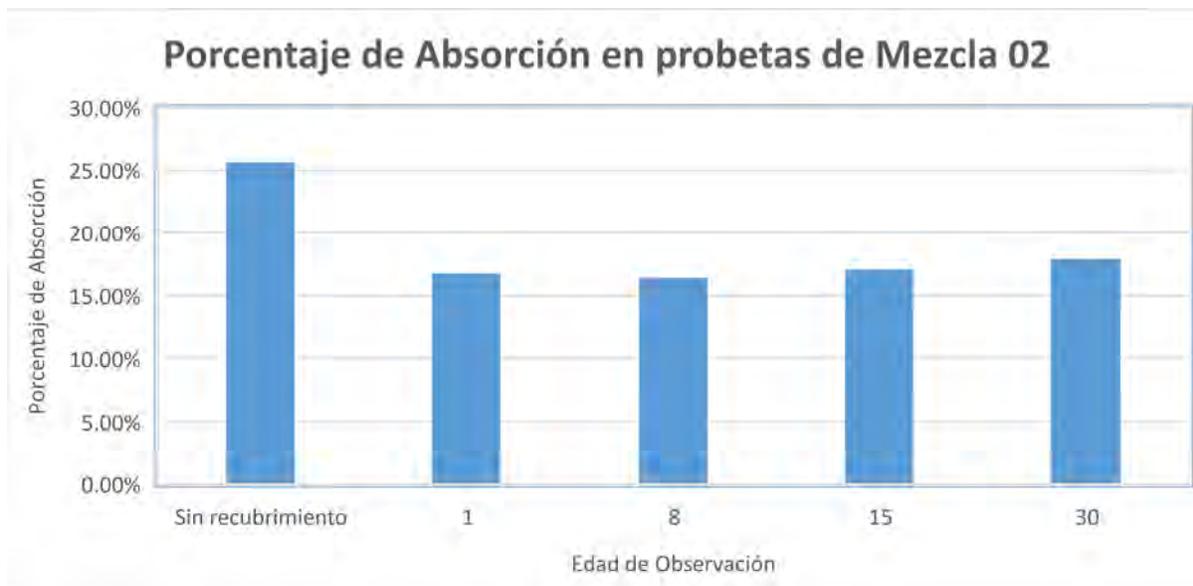


Gráfico 2. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 5% cenizas de huizache

Tabla 29. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 02 con adición de 10% de cenizas de huizache.

Mezcla 03: 10% de Ceniza de Huizache						
Edad de Análisis	Clave de Probeta	Peso de la muestra seca sin impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra seca con impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra a 24h de saturación	% de Absorción	Volumen de Absorción
Sin recubrimiento		2122		2854.16	25.65%	732.16
1	ABH1001	2171.4	2236	2510.24	10.92%	274.24
8	ABH1008	2119.42	2160	2435.28	11.30%	275.28
15	ABH1015	2101.9	2143	2436.14	12.03%	293.14
30	ABH1030	2115.1	2149.26	2477.72	13.26%	328.46



Gráfico 3. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 10% cenizas de huizache.

Tabla 30. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 02 con adición de 30% de cenizas de huizache.

Edad de Análisis	Clave de Probeta	Mezcla 04: 30% de Ceniza de Huizache			% de Absorción	Volumen de Absorción
		Peso de la muestra seca sin impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra seca con impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra a 24h de saturación		
Sin recubrimiento		2122		2854.16	25.65%	732.16
1	ABH3001	2078.94	2122.41	2481.22	14.46%	358.81
8	ABH3008	2286.59	2307	2719.68	15.17%	412.68
15	ABH3015	2192.94	2215	2621.06	15.49%	406.06
30	ABH3030	2198.72	2218.27	2613.73	15.13%	395.46

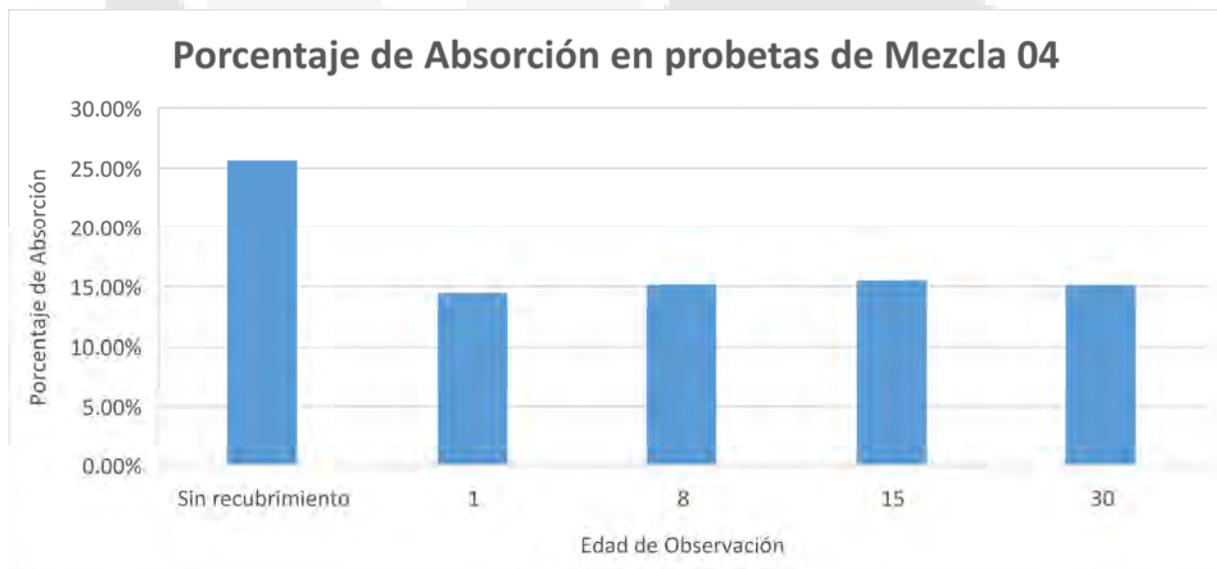


Gráfico 4. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 30% cenizas de huizache.

Obteniendo la absorción presentada por las probetas con 5%, 10% y 30% de cenizas de huizache, se observa que con un 5% de adición de cenizas el comportamiento del impermeabilizante es muy similar, sin embargo al observar el contenido de 10% y 30% en todas las edades de probeta, en los Gráficos 1-4 en los que se puede denotar que en ambos casos la absorción se redujo en varios puntos porcentuales, considerando que a mayor contenido de cenizas el impermeabilizante se vuelve menos absorbente, sin embargo entre las dos dosificaciones la concentración de 10% presenta resultados más óptimos por lo que es un punto intermedio que denota mayor eficiencia en el resultado.

Tabla 31. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 5 con adición de 5% de cenizas de cimbra en desuso

Edad de Análisis	Clave de Probeta	Mezcla 05: 5% de ceniza de cimbra en desuso			% de Absorción	Volumen de Absorción
		Peso de la muestra seca sin impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra seca con impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra a 24h de saturación		
Sin recubrimiento		2122		2854.16	25.65%	732.16
1	ABC0501	2085.29	2115.46	2498.54	15.33%	383.08
8	ABC0508	2201.91	2219	2617.89	15.24%	398.89
15	ABC0515	2123.68	2135.41	2513.58	15.05%	378.17
30	ABC0530	2283.63	2304.26	2714.39	15.11%	410.13

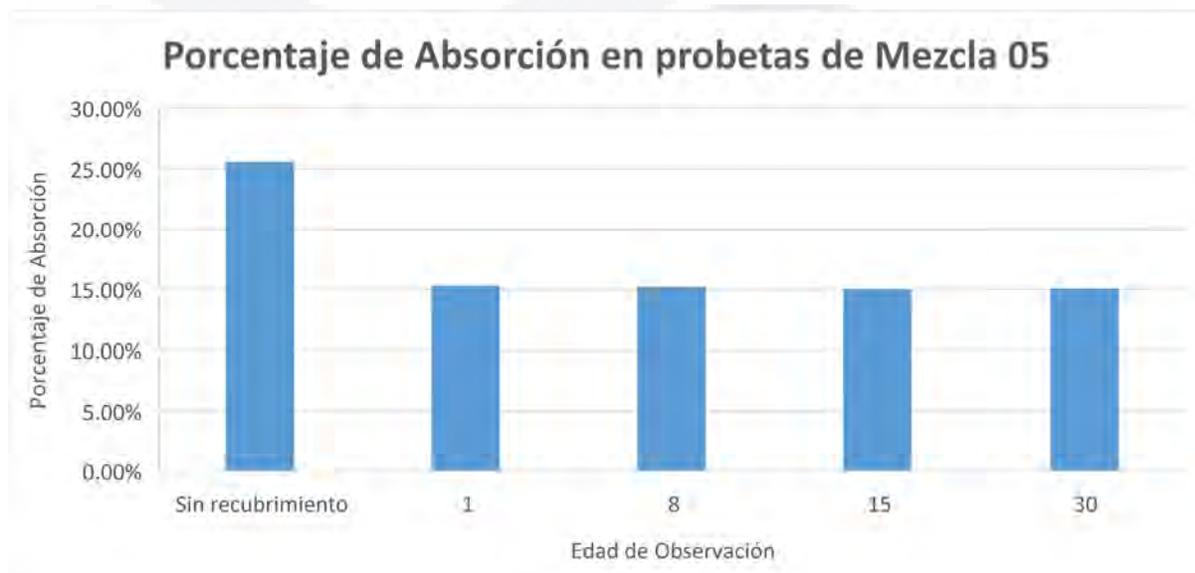


Gráfico 5. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 5% cenizas de madera de cimbra en desuso.

Tabla 32. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 5 con adición de 10% de cenizas de cimbra en desuso

Edad de Análisis	Clave de Probeta	Mezcla 06: 10% de ceniza de cimbra en desuso			% de Absorción	Volumen de Absorción
		Peso de la muestra seca sin impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra seca con impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra a 24h de saturación		
Sin recubrimiento		2122		2854.16	25.65%	732.16
1	ABC1001	2226.32	2248.59	2453.12	8.34%	204.53
8	ABC1008	2196.15	2226	2484.11	10.39%	258.11
15	ABC1015	2073.47	2096.55	2348.62	10.73%	252.07
30	ABC1030	2183.22	2198.74	2466.37	10.85%	267.63



Gráfico 6. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 10% cenizas de madera de cimbra en desuso.

Tabla 33. Resultados de volumen y porcentaje de absorción de probetas, de mezcla 5 con adición de 30% de cenizas de cimbra en desuso

Edad de Análisis	Clave de Probeta	Mezcla 07: 30% de ceniza de cimbra en desuso			% de Absorción	Volumen de Absorción
		Peso de la muestra seca sin impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra seca con impermeabilizante (gr)	Peso de la muestra a 24h de saturación		
Sin recubrimiento		2122		2854.16	25.65%	732.16
1	ABC3001	2185.85	2206.32	2496.36	11.62%	290.04
8	ABC3008	2271.56	2774.65	3124.56	11.20%	349.91
15	ABC3015	2225.38	2247.21	2565.76	12.42%	318.55
30	ABC3030	2198.45	2215.84	2579.37	14.09%	363.53

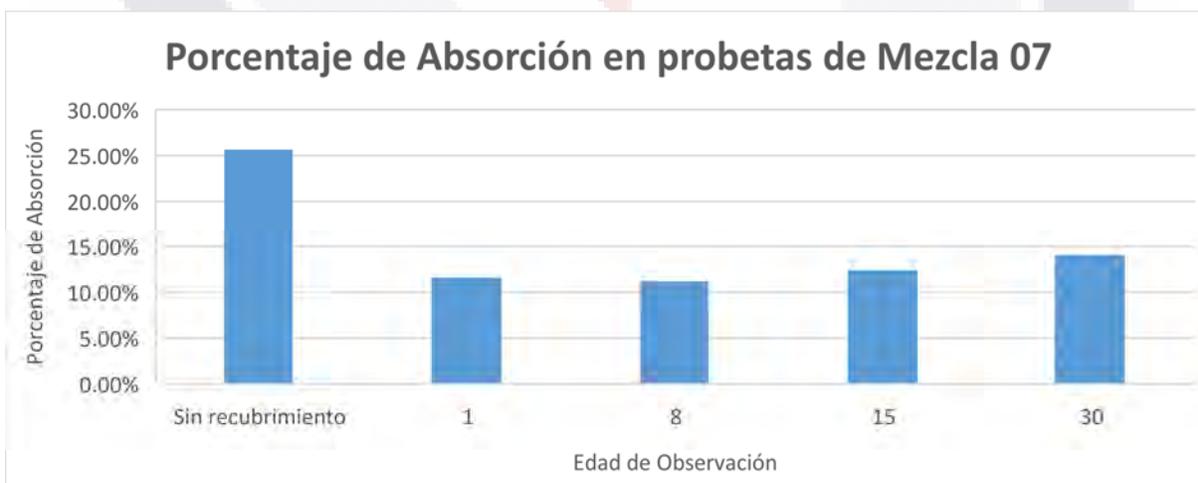


Gráfico 7. Porcentaje de volumen de agua absorbida por probetas con 30% cenizas de madera de cimbra en desuso.

Al igual que las cenizas de huizache, las mezclas con adición de ceniza de madera en desuso presentan una disminución considerable en la absorción de probetas, el resultado se puede observar en los gráficos 5,6 y 7 en los que de manera similar pese a que todos tienen menor absorción que el impermeabilizante base la mezcla adicionada con 10% de ceniza proporciona un rendimiento más óptimo, además de ello, se considera que entre las cenizas de huizache y las cenizas de madera en desuso las cenizas de cimbra son un elemento con mejor resultado mostrados numéricamente en las tablas 31, 32 y 33.

### **5.5 Resultados transpiración**

En la prueba de transpiración realizada, en las tablas de la 34 a 40 se ve en todas las mezclas que en las edades de cada probeta, la transpiración es muy similar, existe un despunte en la muestra sin ningún tipo de recubrimiento en la que a 12 horas de su exposición a saturación libera la totalidad de la humedad retenida de forma natural, caso distinto a las probetas impermeabilizadas en la que todas liberan la totalidad de la humedad de 36 a 48 horas, los gráficos 8-14 permiten realizar una aseveración que indica que en todos los casos la humedad tiende a salir de las superficies o cuerpos, independientemente de la edad de la probeta todas permiten la salida del agua retenida, sin embargo existe un comportamiento que a mayor vida de la capa impermeable la transpiración tiende a ser más rápida ya sea por desgaste del manto en ruptura de la superficie o desprendimiento del mismo.

Tabla 34. Resultados de transpiración en muestras con mezcla base de mucílago de nopal.

**Mezcla 01 Base de mucílago de nopal.**

Edad de Análisis	% de humedad	Peso de la muestra a 12 hr (gr)	Peso de la muestra a 24 hr (gr)	Peso de la muestra a 36 hr (gr)	Peso de la muestra a 48 hr (gr)
Sin impermeabilizar	5.12%	1%	0%	0%	0%
1	5.51%	3.52%	2.04%	0.28%	0%
8	4.53%	2.81%	1.58%	0.32%	0%
15	4.50%	3.10%	2.16%	0.54%	0%
30	4.33%	2.86%	1.73%	0.39%	0%

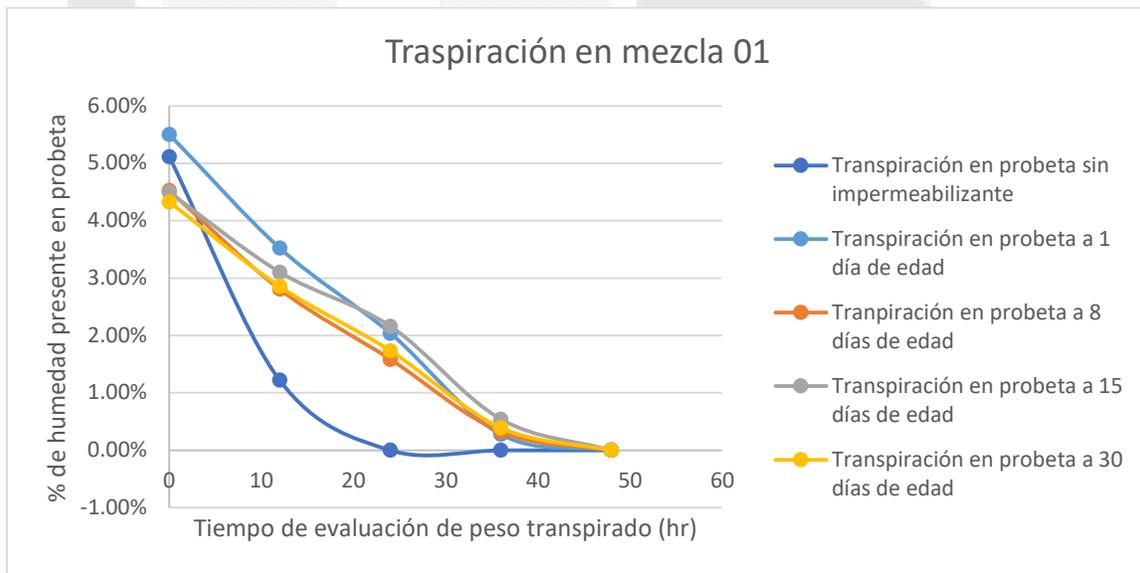


Gráfico 8. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla 01 de cada edad y en los periodos de tiempo observados.

Tabla 35. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 02.

**Mezcla 02: 5% de Ceniza de Huizache**

Edad de Análisis	% de humedad	Peso de la muestra a 12 hr (gr)	Peso de la muestra a 24 hr (gr)	Peso de la muestra a 36 hr (gr)	Peso de la muestra a 48 hr (gr)
Sin impermeabilizar	5.12%	1%	0%	0%	0%
1	3.06%	1.96%	1.13%	0.15%	0%
8	3.30%	2.05%	1.16%	0.00%	0%
15	4.53%	3.12%	2.17%	0.54%	0%
30	3.19%	2.11%	1.28%	0.29%	0%

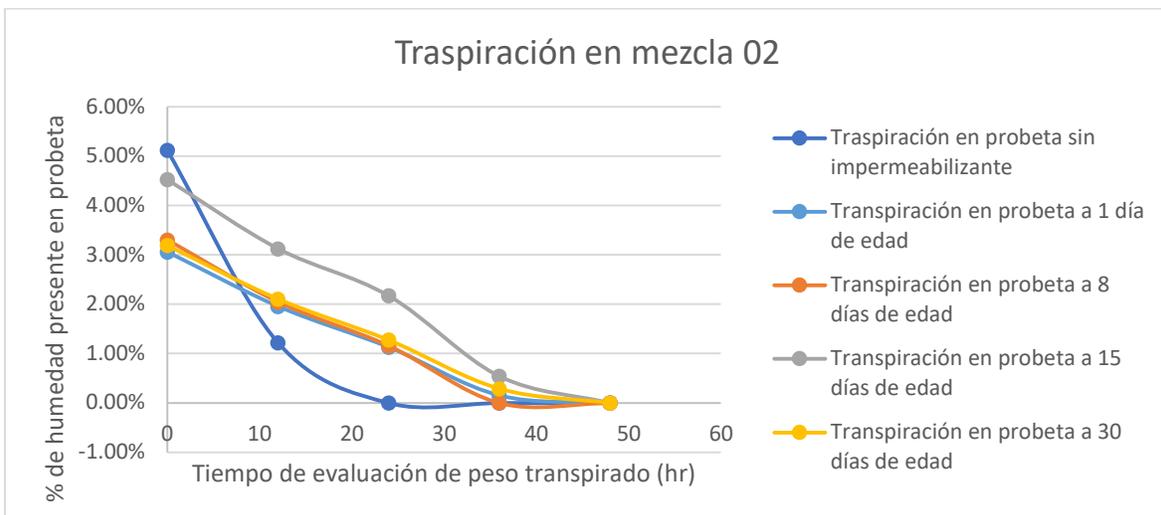


Gráfico 9. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 5% de ceniza de huizache de cada edad y en los periodos de tiempo observados.

Tabla 36. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 03.

**Mezcla 03: 10% de Ceniza de Huizache**

Edad de Análisis	% de humedad	Peso de la muestra a 12 hr (gr)	Peso de la muestra a 24 hr (gr)	Peso de la muestra a 36 hr (gr)	Peso de la muestra a 48 hr (gr)
Sin impermeabilizar	5.12%	1%	0%	0%	0%
1	4.30%	2.80%	1.59%	0.00%	0%
8	4.77%	3.34%	1.67%	0.33%	0%
15	4.82%	2.89%	2.31%	0.58%	0%
30	4.41%	2.91%	1.76%	0.40%	0%

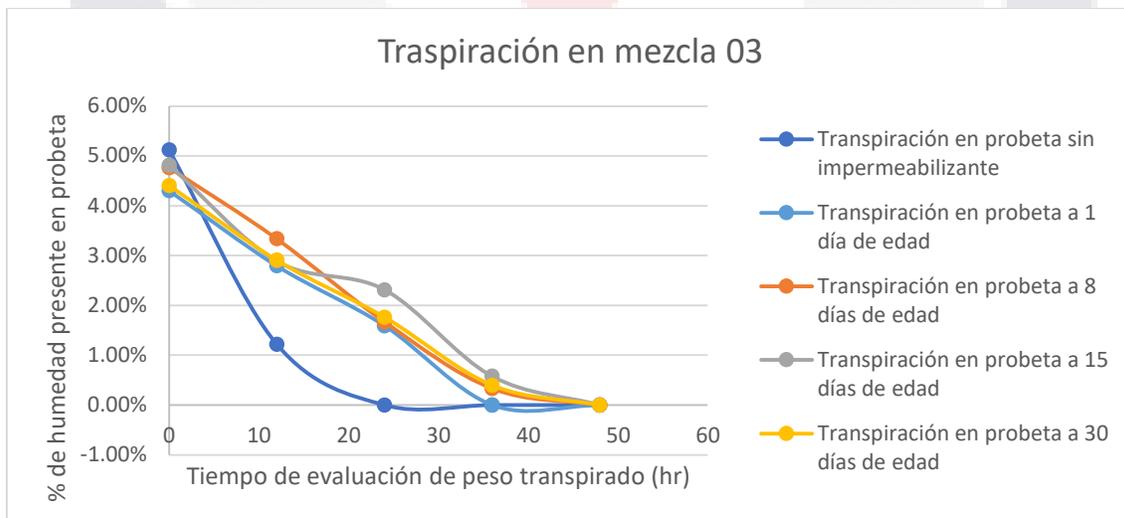


Gráfico 10. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 10% de ceniza de huizache de cada edad y en los periodos de tiempo observados.

Tabla 37. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 04.

**Mezcla 04: 30% de Ceniza de Huizache**

Edad de Análisis	% de humedad	Peso de la muestra a 12 hr (gr)	Peso de la muestra a 24 hr (gr)	Peso de la muestra a 36 hr (gr)	Peso de la muestra a 48 hr (gr)
Sin impermeabilizar	5.12%	1%	0%	0%	0%
1	3.28%	2.13%	1.21%	0.16%	0%
8	4.08%	2.86%	1.43%	0.29%	0%
15	7.67%	4.60%	3.68%	0.92%	0%
30	5.21%	3.44%	2.08%	0.47%	0%

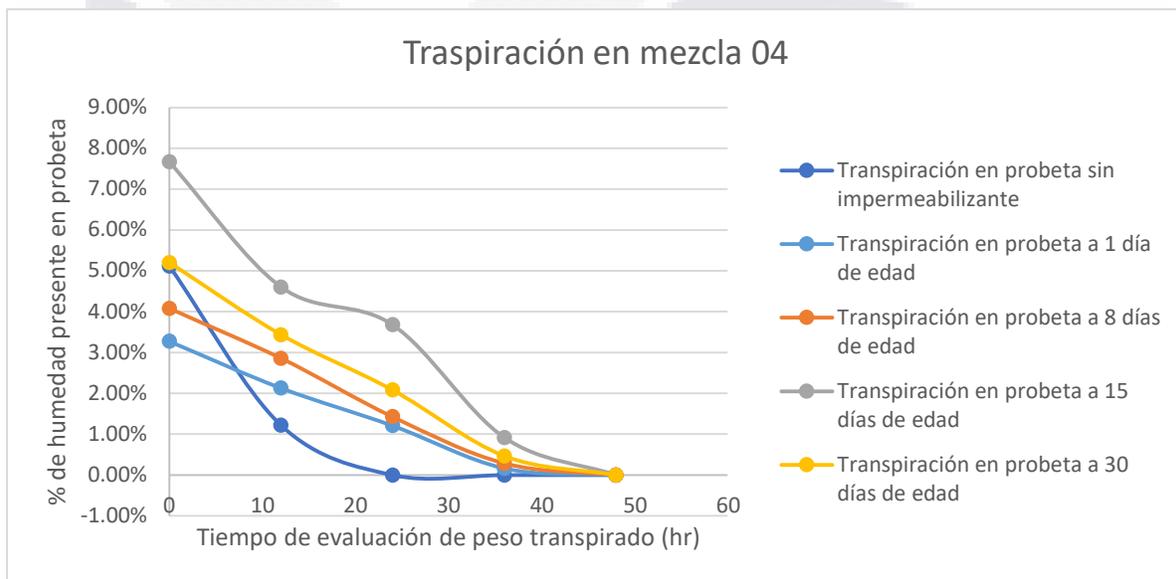


Gráfico 11. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 30% de ceniza de huizache de cada edad y en los periodos de tiempo observados.

Tabla 38. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 05.

**Mezcla 05: 5% de ceniza de cimbra en desuso**

Edad de Análisis	% de humedad	Peso de la muestra a 12 hr (gr)	Peso de la muestra a 24 hr (gr)	Peso de la muestra a 36 hr (gr)	Peso de la muestra a 48 hr (gr)
Sin impermeabilizar	5.12%	1%	0%	0%	0%
1	5.84%	3.80%	2.16%	0.29%	0%
8	4.96%	3.47%	1.74%	0.35%	0%
15	7.63%	4.58%	3.66%	0.92%	0%
30	4.20%	2.77%	1.68%	0.38%	0%

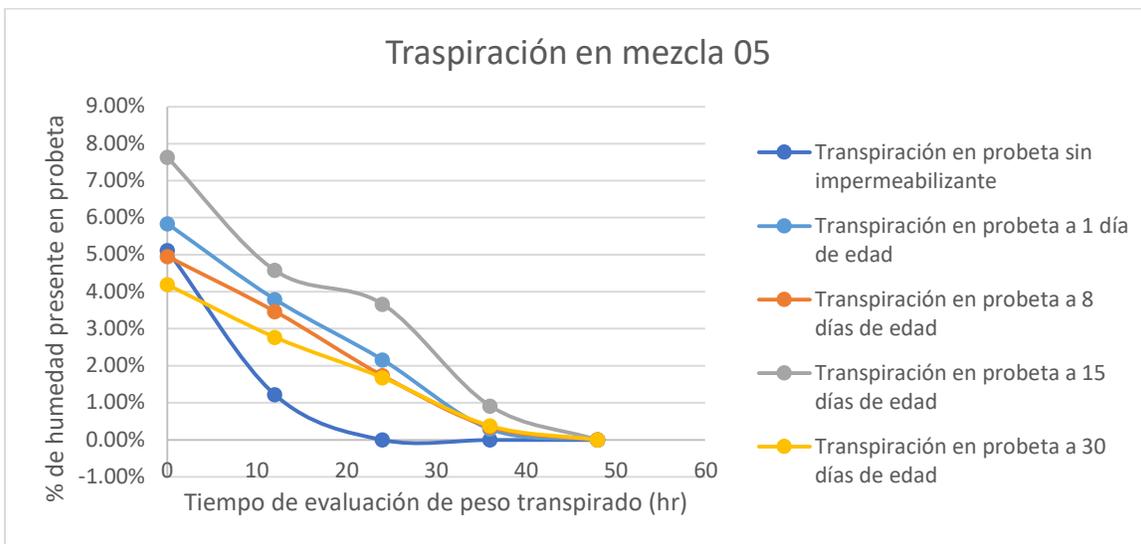


Gráfico 12. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso de cada edad y en los periodos de tiempo observados.

Tabla 39. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 06.

Mezcla 06: 10% de ceniza de cimbra en desuso					
Edad de Análisis	% de humedad	Peso de la muestra a 12 hr (gr)	Peso de la muestra a 24 hr (gr)	Peso de la muestra a 36 hr (gr)	Peso de la muestra a 48 hr (gr)
Sin impermeabilizar	5.12%	1%	0%	0%	0%
1	6.20%	4.03%	2.29%	0.31%	0%
8	3.60%	2.52%	1.26%	0.25%	0%
15	8.10%	4.86%	3.89%	0.97%	0%
30	4.40%	2.90%	1.76%	0.40%	0%

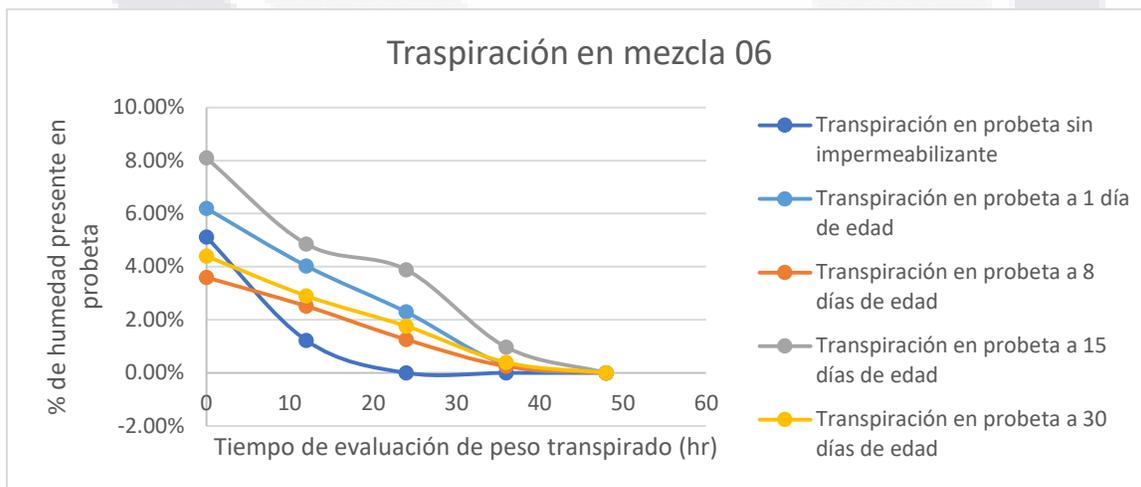


Gráfico 13. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso de cada edad y en los periodos de tiempo observados.

Tabla 40. Resultados de transpiración de probetas con mezcla 07.

**Mezcla 07: 30% de ceniza de cimbra en desuso**

Edad de Análisis	% de humedad	Peso de la muestra a 12 hr (gr)	Peso de la muestra a 24 hr (gr)	Peso de la muestra a 36 hr (gr)	Peso de la muestra a 48 hr (gr)
Sin impermeabilizar	5.12%	1%	0%	0%	0%
1	5.10%	3.31%	1.89%	0.25%	0%
8	3.90%	2.53%	1.36%	0.27%	0%
15	5.70%	3.70%	2.74%	0.68%	0%
30	4.60%	2.99%	1.84%	0.41%	0%

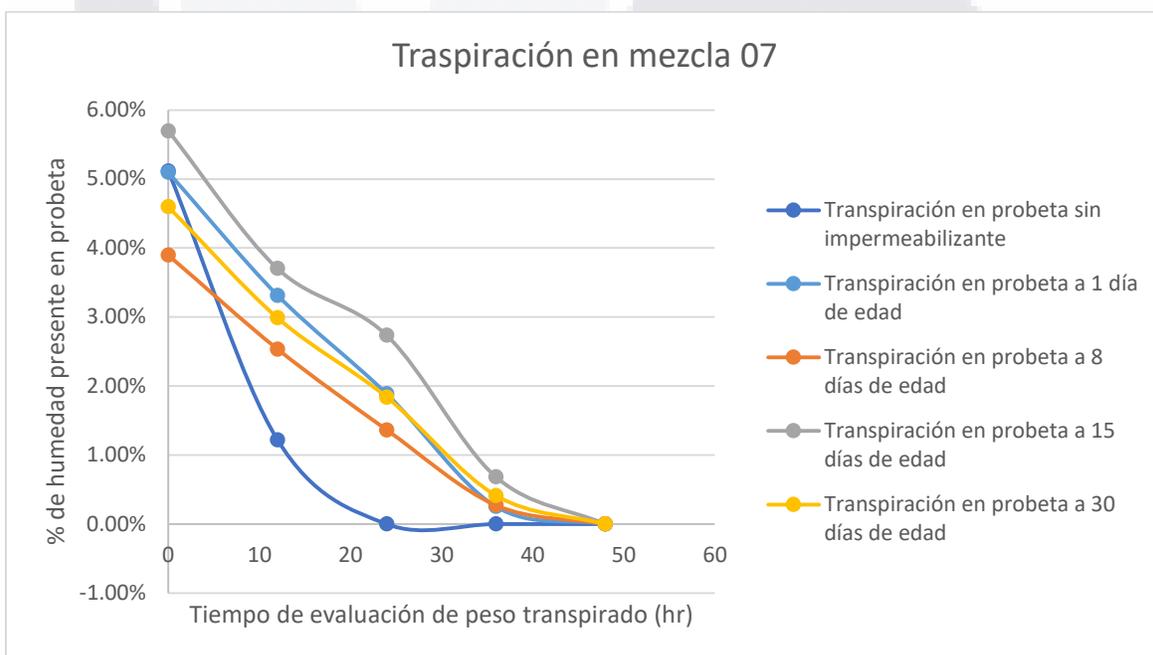


Gráfico 14. Comportamiento en la transpiración de probetas con mezcla adicionada con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso de cada edad y en los periodos de tiempo observados.

## 5.6 Resultados permeabilidad

Tabla 41. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla base de mucílago de nopal con 1 día de edad.

Mezcla 01 Base de mucílago de nopal.							
Edad de Análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
1 día	0	0	4.25	0	0	0.00%	
01/02/2021	1	60	4.2	0.05	0.05	1.18%	
	2	120	4.2	0	0.05	1.18%	
	3	180	4.2	0	0.05	1.18%	
	4	240	4.2	0	0.05	1.18%	
	5	300	4.15	0.05	0.1	2.35%	
	6	360	4.15	0	0.1	2.35%	
	7	420	4.15	0	0.1	2.35%	
	8	480	4.15	0	0.1	2.35%	
	9	540	4.15	0	0.1	2.35%	
	10	600	4.15	0	0.1	2.35%	
	11	660	4.1	0.05	0.15	3.53%	
	12	720	4.1	0	0.15	3.53%	
	13	780	4.1	0	0.15	3.53%	
	14	840	4.1	0	0.15	3.53%	
	15	900	4.1	0	0.15	3.53%	
	16	960	4.1	0	0.15	3.53%	
	17	1020	4.05	0.05	0.2	4.71%	
	18	1080	4.05	0	0.2	4.71%	
	19	1140	4.05	0	0.2	4.71%	
	20	1200	4.05	0	0.2	4.71%	
25	1500	4	0.05	0.25	5.88%		
30	1800	3.95	0.05	0.3	7.06%		
45	2700	3.8	0.15	0.45	10.59%		

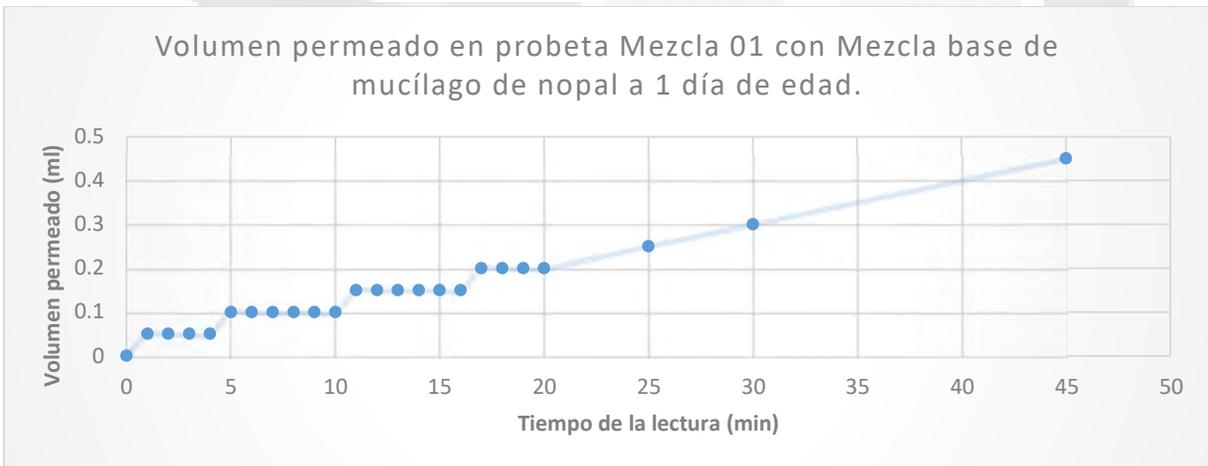


Gráfico 15. Volumen permeado en probeta de mezcla base de mucílago de nopal con un día de edad.

Tabla 42. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla base de mucílago de nopal con 8 días de edad.

Mezcla 01 Base de mucílago de nopal.						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
8 días	0	0	4.2	0	0	0.00%
08/02/2021	1	60	4.2	0	0	0.00%
	2	120	4.2	0	0	0.00%
	3	180	4.2	0	0	0.00%
	4	240	4.2	0	0	0.00%
	5	300	4.2	0	0	0.00%
	6	360	4.15	0.05	0.05	1.19%
	7	420	4.15	0	0.05	1.19%
	8	480	4.15	0	0.05	1.19%
	9	540	4.15	0	0.05	1.19%
	10	600	4.15	0	0.05	1.19%
	11	660	4.15	0	0.05	1.19%
	12	720	4.15	0	0.05	1.19%
	13	780	4.15	0	0.05	1.19%
	14	840	4.1	0.05	0.1	2.38%
	15	900	4.1	0	0.1	2.38%
	16	960	4.1	0	0.1	2.38%
	17	1020	4.1	0	0.1	2.38%
	18	1080	4.1	0	0.1	2.38%
	19	1140	4.1	0	0.1	2.38%
	20	1200	4.05	0.05	0.15	3.57%
25	1500	4	0.05	0.2	4.76%	
30	1800	3.95	0.05	0.25	5.95%	
45	2700	3.8	0.15	0.4	9.52%	

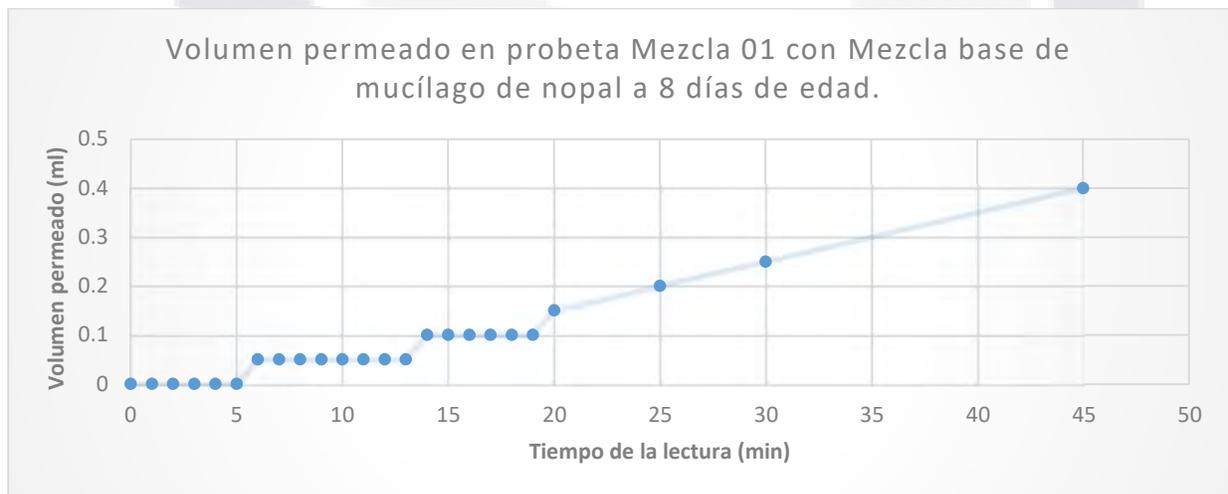


Gráfico 16. Volumen permeado en probeta de mezcla base de mucílago de nopal con 8 días de edad

Tabla 43. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla base de mucílago de nopal con 15 días de edad.

Mezcla 01 Base de mucílago de nopal.						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
15 días	0	0	4.1	0	0	0.00%
15/02/2021	1	60	4.05	0.05	0.05	1.22%
	2	120	4.05	0	0.05	1.22%
	3	180	4.05	0	0.05	1.22%
	4	240	4.05	0	0.05	1.22%
	5	300	4.05	0	0.05	1.22%
	6	360	4.05	0	0.05	1.22%
	7	420	4.05	0	0.05	1.22%
	8	480	4.05	0	0.05	1.22%
	9	540	4	0.05	0.1	2.44%
	10	600	4	0	0.1	2.44%
	11	660	4	0	0.1	2.44%
	12	720	4	0	0.1	2.44%
	13	780	4	0	0.1	2.44%
	14	840	4	0	0.1	2.44%
	15	900	4	0	0.1	2.44%
	16	960	4	0	0.1	2.44%
	17	1020	4	0	0.1	2.44%
	18	1080	3.95	0.05	0.15	3.66%
	19	1140	3.95	0	0.15	3.66%
	20	1200	3.95	0	0.15	3.66%
25	1500	3.95	0	0.15	3.66%	
30	1800	3.9	0.05	0.2	4.88%	
45	2700	3.75	0.15	0.35	8.54%	

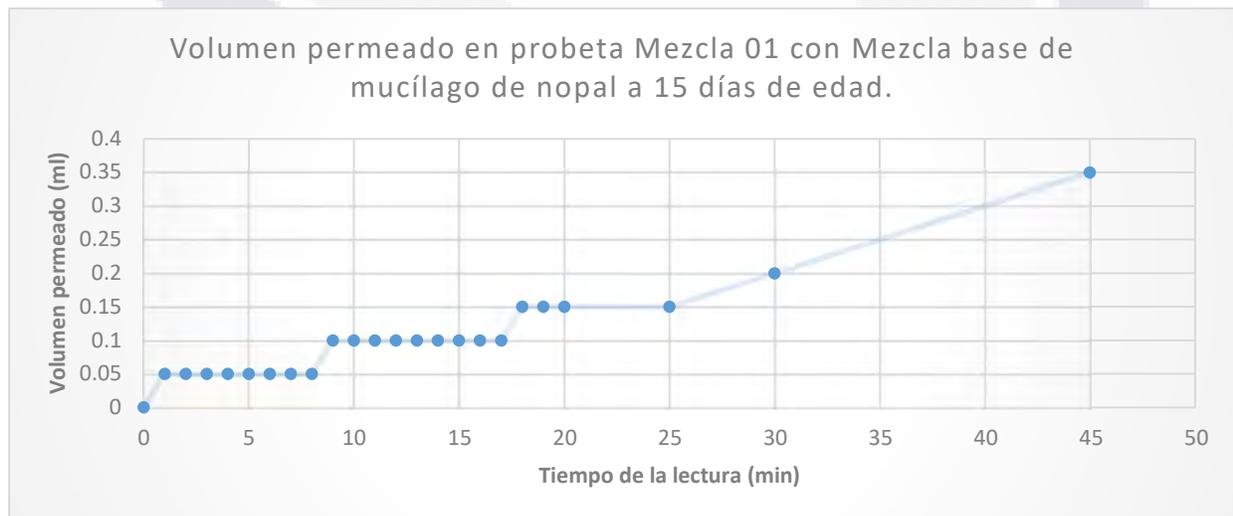


Gráfico 17. Volumen permeado en probeta de mezcla base de mucílago de nopal con 15 días de edad

Tabla 44. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla base de mucílago de nopal con 30 días de edad.

Mezcla 01 Base de mucílago de nopal.							NPRMD1
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	CLAVE DE PROBETA		Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
			Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)			
30 días	0	0	4.5	0	0	0.00%	
02/03/2021	1	60	4.45	0.05	0.05	1.11%	
	2	120	4.45	0	0.05	1.11%	
	3	180	4.45	0	0.05	1.11%	
	4	240	4.45	0	0.05	1.11%	
	5	300	4.45	0	0.05	1.11%	
	6	360	4.45	0	0.05	1.11%	
	7	420	4.4	0.05	0.1	2.22%	
	8	480	4.4	0	0.1	2.22%	
	9	540	4.4	0	0.1	2.22%	
	10	600	4.4	0	0.1	2.22%	
	11	660	4.4	0	0.1	2.22%	
	12	720	4.35	0.05	0.15	3.33%	
	13	780	4.35	0	0.15	3.33%	
	14	840	4.35	0	0.15	3.33%	
	15	900	4.35	0	0.15	3.33%	
	16	960	4.35	0	0.15	3.33%	
	17	1020	4.3	0.05	0.2	4.44%	
	18	1080	4.3	0	0.2	4.44%	
	19	1140	4.3	0	0.2	4.44%	
	20	1200	4.3	0	0.2	4.44%	
25	1500	4.25	0.05	0.25	5.56%		
30	1800	4.2	0.05	0.3	6.67%		
45	2700	4.15	0.05	0.35	7.78%		

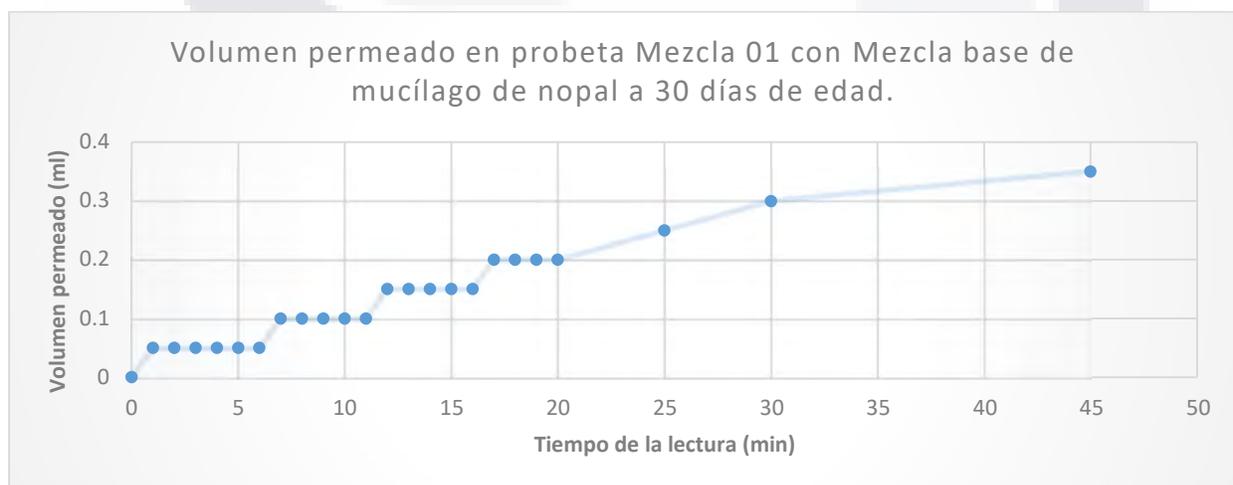


Gráfico 18. Volumen permeado en probeta de mezcla base de mucílago de nopal con 30 días de edad

Como dato preliminar observado se tiene que en la superficie regular de una probeta de tabique sin recubrimiento tarda 26 segundos en permear 5 ml de agua en el tubo de Karsten, para las muestras con la mezcla base de mucílago de nopal la permeabilidad de cada una de ellas reduce en gran medida, se observa que en ninguno de los casos se vacía completamente ni 2 mililitros en 45 minutos, cabe mencionar que existieron pruebas fallidas que debieron repetirse en las que se vaciaba de 2 a 4 minutos el tubo de Karsten, esto por aparición de poros en la superficie. Sin embargo, resulta eficiente la mezcla tradicional al impedir un perneo acelerado sobre el manto.

Tabla 45. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache con 1 día de edad.

Mezcla 02: 5% de Ceniza de Huizache						
Edad de Análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
1 día 01/02/2021	0	0	4.1	0	0	0.00%
	1	60	4.05	0.05	0.05	1.22%
	2	120	4.05	0	0.05	1.22%
	3	180	4.05	0	0.05	1.22%
	4	240	4.05	0	0.05	1.22%
	5	300	4.05	0	0.05	1.22%
	6	360	4.05	0	0.05	1.22%
	7	420	4.05	0	0.05	1.22%
	8	480	4.05	0	0.05	1.22%
	9	540	4.05	0	0.05	1.22%
	10	600	4	0.05	0.1	2.44%
	11	660	4	0	0.1	2.44%
	12	720	4	0	0.1	2.44%
	13	780	4	0	0.1	2.44%
	14	840	4	0	0.1	2.44%
	15	900	4	0	0.1	2.44%
	15	900	4	0	0.1	2.44%
	16	960	4	0	0.1	2.44%
	17	1020	4	0	0.1	2.44%
	18	1080	4	0	0.1	2.44%
19	1140	3.95	0.05	0.15	3.66%	
20	1200	3.95	0	0.15	3.66%	
25	1500	3.95	0	0.15	3.66%	
30	1800	3.9	0.05	0.2	4.88%	

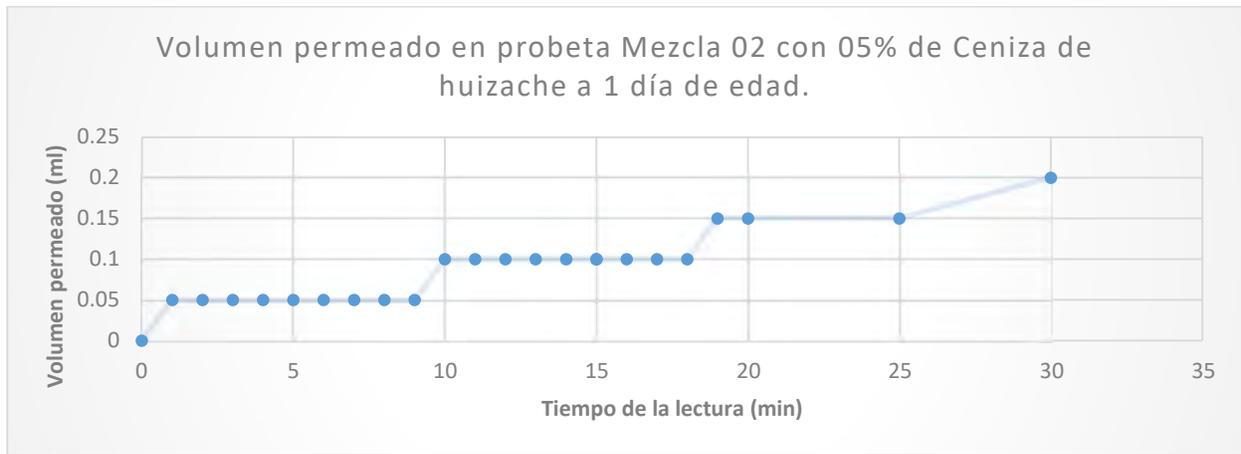


Gráfico 19. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de huizache con 1 día de edad.

Tabla 46. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache con 8 días de edad

Mezcla 02: 5% de Ceniza de Huizache						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
8 días 08/02/2021	0	0	4.1	0	0	0.00%
	1	60	4.05	0.05	0.05	1.18%
	2	120	4.05	0	0.05	1.18%
	3	180	4.05	0	0.05	1.18%
	4	240	4.05	0	0.05	1.18%
	5	300	4.05	0	0.05	1.18%
	6	360	4.05	0	0.05	1.18%
	7	420	4.05	0	0.05	1.18%
	8	480	4	0.05	0.1	2.35%
	9	540	4	0	0.1	2.35%
	10	600	4	0	0.1	2.35%
	11	660	4	0	0.1	2.35%
	12	720	4	0	0.1	2.35%
	13	780	4	0	0.1	2.35%
	14	840	4	0	0.1	2.35%
	15	900	4	0	0.1	2.35%
	15	900	4	0	0.1	2.35%
	16	960	3.95	0.05	0.15	3.53%
	17	1020	3.95	0	0.15	3.53%
	18	1080	3.95	0	0.15	3.53%
19	1140	3.95	0	0.15	3.53%	
20	1200	3.95	0	0.15	3.53%	
25	1500	3.95	0	0.15	3.53%	
30	1800	3.9	0.05	0.2	4.71%	

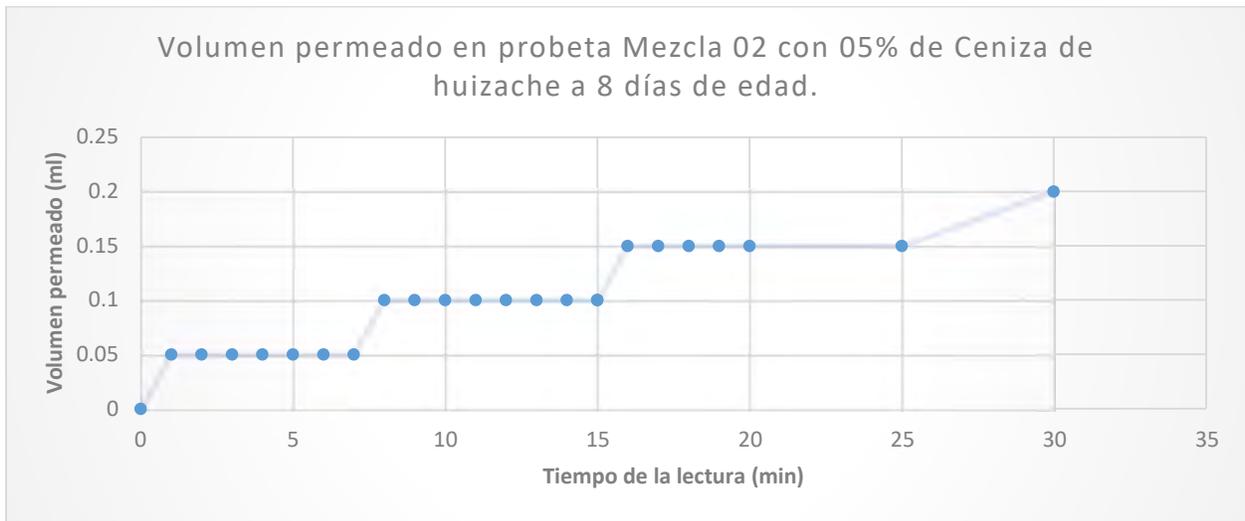


Gráfico 20. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de huizache con 8 días de edad.

Tabla 47. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache con 15 días de edad

Edad de análisis	Mezcla 02: 5% de Ceniza de Huizache					
	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
15 días	0	0	4.5	0	0	0.00%
15/02/2021	1	60	4.45	0.05	0.05	1.18%
	2	120	4.45	0	0.05	1.18%
	3	180	4.45	0	0.05	1.18%
	4	240	4.45	0	0.05	1.18%
	5	300	4.45	0	0.05	1.18%
	6	360	4.45	0	0.05	1.18%
	7	420	4.45	0	0.05	1.18%
	8	480	4.45	0	0.05	1.18%
	9	540	4.4	0.05	0.1	2.35%
	10	600	4.4	0	0.1	2.35%
	11	660	4.4	0	0.1	2.35%
	12	720	4.4	0	0.1	2.35%
	13	780	4.4	0	0.1	2.35%
	14	840	4.4	0	0.1	2.35%
	15	900	4.4	0	0.1	2.35%
	15	900	4.4	0	0.1	2.35%
	16	960	4.4	0	0.1	2.35%
	17	1020	4.35	0.05	0.15	3.53%
	18	1080	4.35	0	0.15	3.53%
	19	1140	4.35	0	0.15	3.53%
20	1200	4.35	0	0.15	3.53%	
25	1500	4.35	0	0.15	3.53%	
	30	1800	4.3	0.05	0.2	4.71%

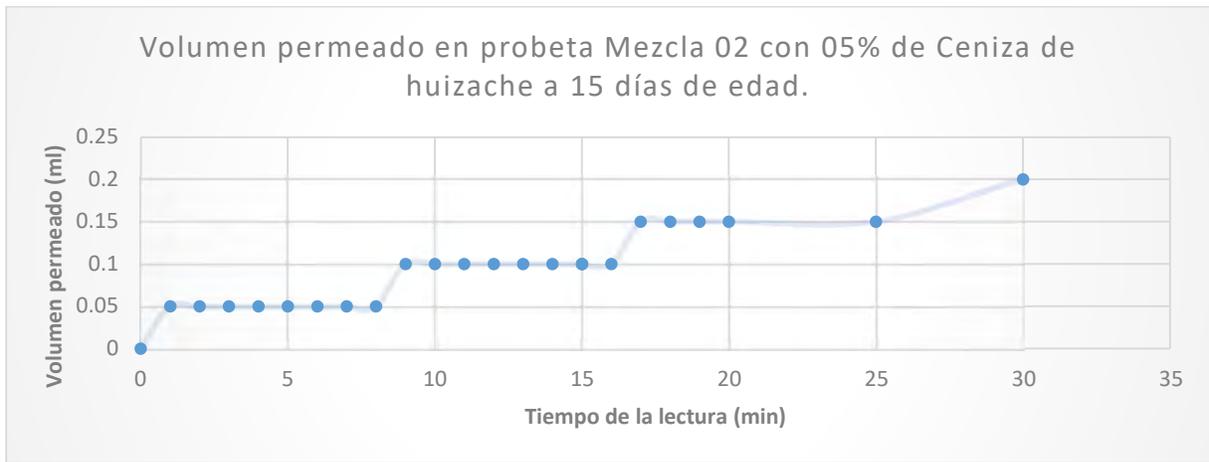


Gráfico 21. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de huizache con 15 días de edad.

Tabla 48. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache con 30 días de edad

Mezcla 02: 5% de Ceniza de Huizache							
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
30 días	0	0	4.2	0	0	0.00%	
02/03/2021	1	60	4.15	0.05	0.05	1.18%	
	2	120	4.15	0	0.05	1.18%	
	3	180	4.15	0	0.05	1.18%	
	4	240	4.15	0	0.05	1.18%	
	5	300	4.15	0	0.05	1.18%	
	6	360	4.15	0	0.05	1.18%	
	7	420	4.15	0	0.05	1.18%	
	8	480	4.15	0	0.05	1.18%	
	9	540	4.15	0	0.05	1.18%	
	10	600	4.1	0.05	0.1	2.35%	
	11	660	4.1	0	0.1	2.35%	
	12	720	4.1	0	0.1	2.35%	
	13	780	4.1	0	0.1	2.35%	
	14	840	4.1	0	0.1	2.35%	
	15	900	4.1	0	0.1	2.35%	
	15	900	4.1	0	0.1	2.35%	
	16	960	4.05	0.05	0.15	3.53%	
	17	1020	4.05	0	0.15	3.53%	
	18	1080	4.05	0	0.15	3.53%	
	19	1140	4.05	0	0.15	3.53%	
20	1200	4.05	0	0.15	3.53%		
25	1500	4.05	0	0.15	3.53%		
30	1800	4	0.05	0.2	4.71%		

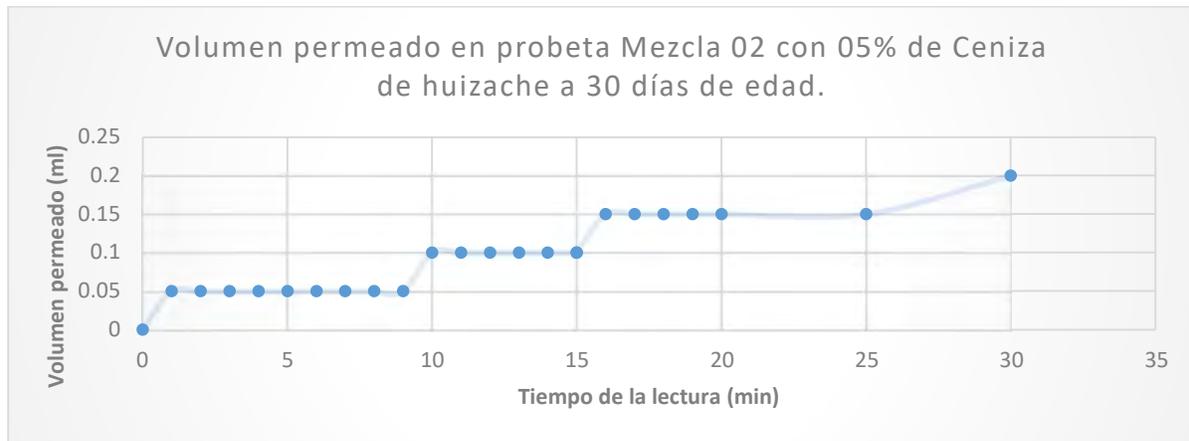


Gráfico 22. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de huizache con 30 días de edad.

Tabla 49. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache con 1 día de edad

Mezcla 03: 10% de Ceniza de Huizache						
Edad de Análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
1 día 01/02/2021	0	0	4.2	0	0	0.00%
	1	60	4.15	0.05	0.05	1.19%
	2	120	4.1	0.05	0.1	2.38%
	3	180	4.1	0	0.1	2.38%
	4	240	4.1	0	0.1	2.38%
	5	300	4.1	0	0.1	2.38%
	6	360	4.1	0	0.1	2.38%
	7	420	4.1	0	0.1	2.38%
	8	480	4.1	0	0.1	2.38%
	9	540	4.05	0.05	0.15	3.57%
	10	600	4.05	0	0.15	3.57%
	11	660	4.05	0	0.15	3.57%
	12	720	4.05	0	0.15	3.57%
	13	780	4.05	0	0.15	3.57%
	14	840	4.05	0	0.15	3.57%
	15	900	4	0.05	0.2	4.76%
	16	960	4	0	0.2	4.76%
	17	1020	4	0	0.2	4.76%
	18	1080	4	0	0.2	4.76%
	19	1140	4	0	0.2	4.76%
	20	1200	4	0	0.2	4.76%
	25	1500	3.95	0.05	0.25	5.95%
	30	1800	3.9	0.05	0.3	7.14%
	45	2700	3.75	0.15	0.45	10.71%

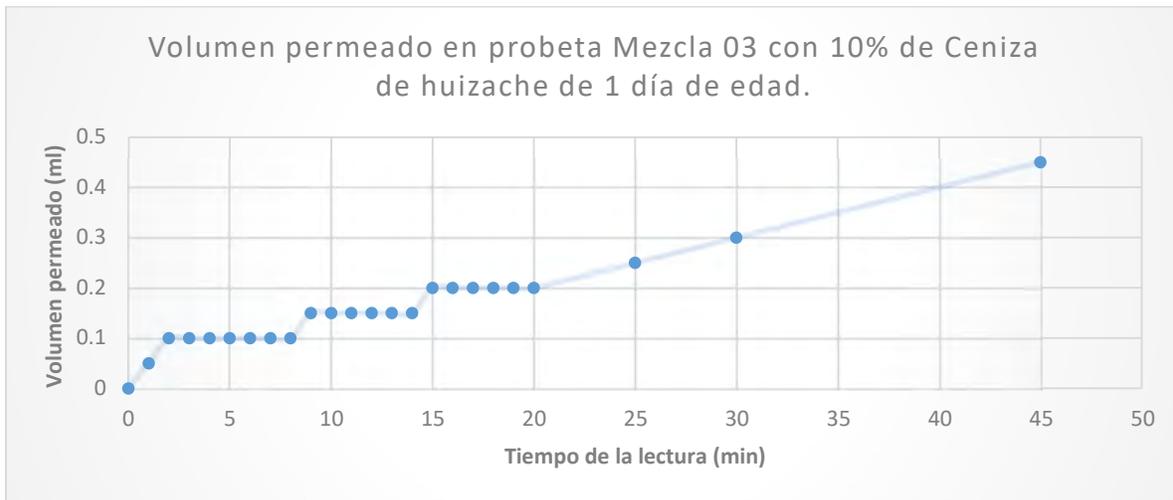


Gráfico 23. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de huizache con 1 día de edad.

Tabla 50. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache con 8 días de edad

Mezcla 03: 10% de Ceniza de Huizache							
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
8 días	0	0	4.1	0	0	0.00%	
08/02/2021	1	60	4.05	0.05	0.05	1.18%	
	2	120	4.05	0	0.05	1.18%	
	3	180	4.05	0	0.05	1.18%	
	4	240	4.05	0	0.05	1.18%	
	5	300	4.05	0	0.05	1.18%	
	6	360	4.05	0	0.05	1.18%	
	7	420	4	0.05	0.1	2.35%	
	8	480	4	0	0.1	2.35%	
	9	540	4	0	0.1	2.35%	
	10	600	4	0	0.1	2.35%	
	11	660	4	0	0.1	2.35%	
	12	720	4	0	0.1	2.35%	
	13	780	4	0	0.1	2.35%	
	14	840	4	0	0.1	2.35%	
	15	900	3.95	0.05	0.15	3.53%	
	16	960	3.95	0	0.15	3.53%	
	17	1020	3.95	0	0.15	3.53%	
	18	1080	3.95	0	0.15	3.53%	
	19	1140	3.95	0	0.15	3.53%	
	20	1200	3.95	0	0.15	3.53%	
25	1500	3.9	0.05	0.2	4.71%		
30	1800	3.85	0.05	0.25	5.88%		
45	2700	3.75	0.1	0.35	8.24%		

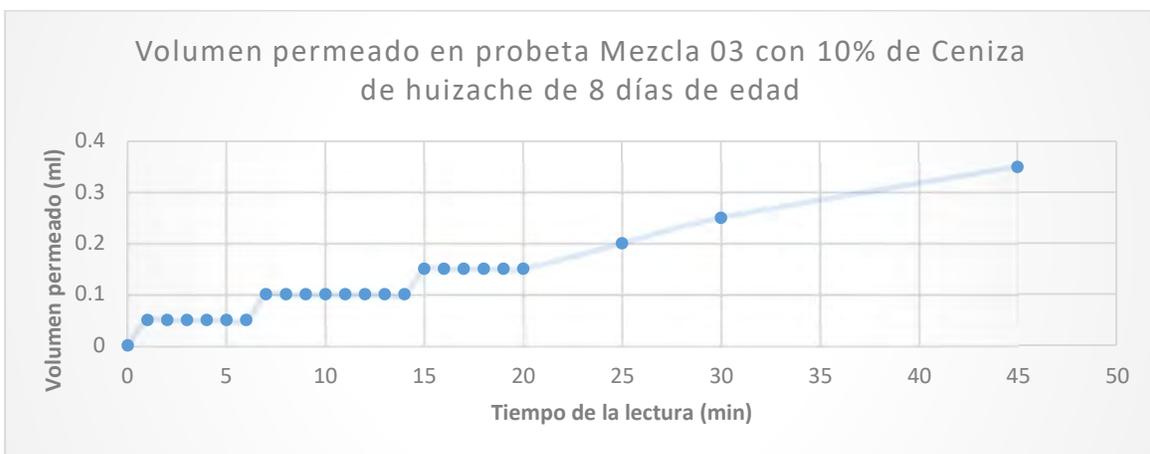


Gráfico 24. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de huizache con 8 días de edad.

Tabla 51. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache con 15 días de edad

Mezcla 03: 10% de Ceniza de Huizache						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
15 días	0	0	4.25	0	0	0.00%
15/02/2021	1	60	4.2	0.05	0.05	1.18%
	2	120	4.2	0	0.05	1.18%
	3	180	4.2	0	0.05	1.18%
	4	240	4.2	0	0.05	1.18%
	5	300	4.2	0	0.05	1.18%
	6	360	4.15	0.05	0.1	2.35%
	7	420	4.15	0	0.1	2.35%
	8	480	4.15	0	0.1	2.35%
	9	540	4.15	0	0.1	2.35%
	10	600	4.15	0	0.1	2.35%
	11	660	4.1	0.05	0.15	3.53%
	12	720	4.1	0	0.15	3.53%
	13	780	4.1	0	0.15	3.53%
	14	840	4.1	0	0.15	3.53%
	15	900	4.1	0	0.15	3.53%
	16	960	4.05	0.05	0.2	4.71%
	17	1020	4.05	0	0.2	4.71%
	18	1080	4.05	0	0.2	4.71%
	19	1140	4.05	0	0.2	4.71%
	20	1200	4.05	0	0.2	4.71%
25	1500	4	0.05	0.25	5.88%	
30	1800	3.95	0.05	0.3	7.06%	
45	2700	3.8	0.15	0.45	10.59%	

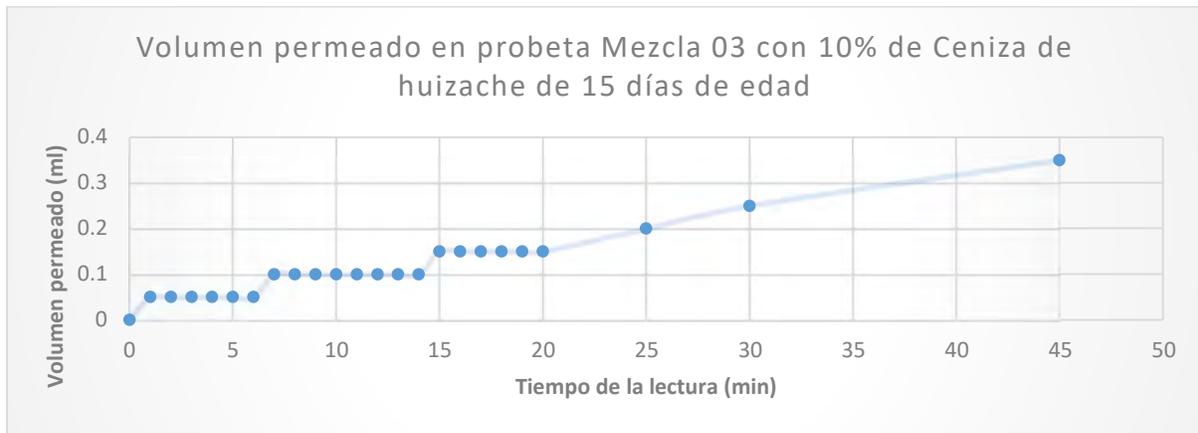


Gráfico 25. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de huizache con 15 días de edad.

Tabla 52. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache con 30 días de edad

Mezcla 03: 10% de Ceniza de Huizache							
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
30 días	0	0	4.1	0	0	0.00%	
02/03/2021	1	60	4.1	0	0	0.00%	
	2	120	4.1	0	0	0.00%	
	3	180	4.1	0	0	0.00%	
	4	240	4.1	0	0	0.00%	
	5	300	4.05	0.05	0.05	1.18%	
	6	360	4.05	0	0.05	1.18%	
	7	420	4.05	0	0.05	1.18%	
	8	480	4.05	0	0.05	1.18%	
	9	540	4.05	0	0.05	1.18%	
	10	600	4.05	0	0.05	1.18%	
	11	660	4	0.05	0.1	2.35%	
	12	720	4	0	0.1	2.35%	
	13	780	4	0	0.1	2.35%	
	14	840	4	0	0.1	2.35%	
	15	900	4	0	0.1	2.35%	
	16	960	3.95	0.05	0.15	3.53%	
	17	1020	3.95	0	0.15	3.53%	
	18	1080	3.95	0	0.15	3.53%	
	19	1140	3.95	0	0.15	3.53%	
	20	1200	3.95	0	0.15	3.53%	
25	1500	3.9	0.05	0.2	4.71%		
30	1800	3.85	0.05	0.25	5.88%		
45	2700	3.6	0.25	0.5	11.76%		

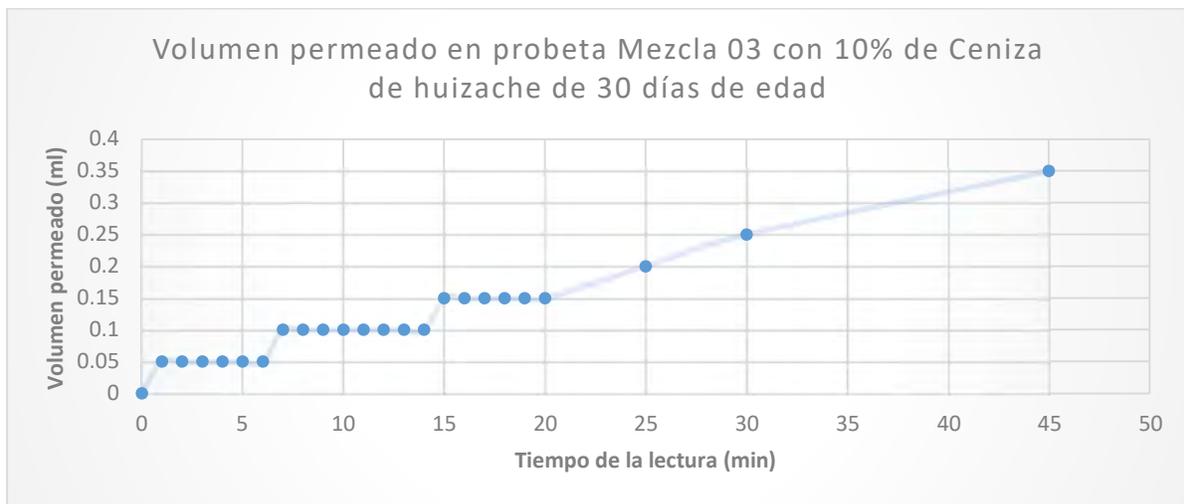


Gráfico 26. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de huizache con 30 días de edad.

Tabla 53. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache con 1 día de edad

Mezcla 04: 30% de Ceniza de Huizache						
Edad de Análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
1 día 01/02/2021	0	0	4	0	0	0.00%
	1	60	3.95	0.05	0.05	1.25%
	2	120	3.95	0	0.05	1.25%
	3	180	3.95	0	0.05	1.25%
	4	240	3.95	0	0.05	1.25%
	5	300	3.95	0	0.05	1.25%
	6	360	3.9	0.05	0.1	2.50%
	7	420	3.9	0	0.1	2.50%
	8	480	3.9	0	0.1	2.50%
	9	540	3.9	0	0.1	2.50%
	10	600	3.85	0.05	0.15	3.75%
	11	660	3.85	0	0.15	3.75%
	12	720	3.85	0	0.15	3.75%
	13	780	3.85	0	0.15	3.75%
	14	840	3.85	0	0.15	3.75%
	15	900	3.8	0.05	0.2	5.00%
	16	960	3.8	0	0.2	5.00%
	17	1020	3.8	0	0.2	5.00%
	18	1080	3.8	0	0.2	5.00%
	19	1140	3.8	0	0.2	5.00%
20	1200	3.75	0.05	0.25	6.25%	
25	1500	3.7	0.05	0.3	7.50%	
30	1800	3.65	0.05	0.35	8.75%	
45	2700	3.5	0.15	0.5	12.50%	

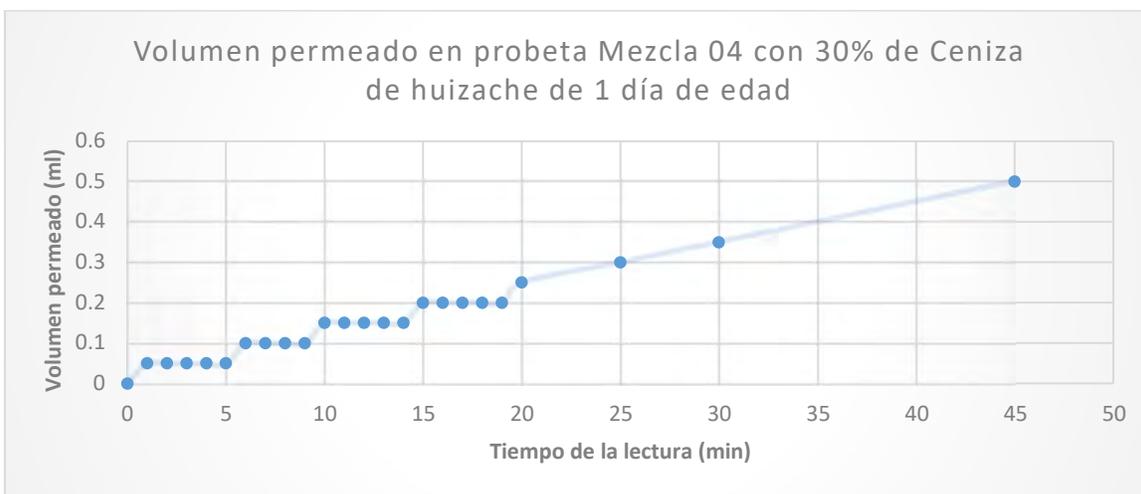


Gráfico 27. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de huizache con 1 día de edad.

Tabla 54. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache con 8 días de edad

Mezcla 04: 30% de Ceniza de Huizache							
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
8 días	0	0	4	0	0	0.00%	
08/02/2021	1	60	3.95	0.05	0.05	1.25%	
	2	120	3.95	0	0.05	1.25%	
	3	180	3.95	0	0.05	1.25%	
	4	240	3.95	0	0.05	1.25%	
	5	300	3.95	0	0.05	1.25%	
	6	360	3.95	0	0.05	1.25%	
	7	420	3.9	0.05	0.1	2.50%	
	8	480	3.9	0	0.1	2.50%	
	9	540	3.9	0	0.1	2.50%	
	10	600	3.9	0	0.1	2.50%	
	11	660	3.9	0	0.1	2.50%	
	12	720	3.85	0.05	0.15	3.75%	
	13	780	3.85	0	0.15	3.75%	
	14	840	3.85	0	0.15	3.75%	
	15	900	3.85	0	0.15	3.75%	
	16	960	3.85	0	0.15	3.75%	
	17	1020	3.8	0.05	0.2	5.00%	
	18	1080	3.8	0	0.2	5.00%	
	19	1140	3.8	0	0.2	5.00%	
	20	1200	3.8	0	0.2	5.00%	
25	1500	3.75	0.05	0.25	6.25%		
30	1800	3.7	0.05	0.3	7.50%		
45	2700	3.55	0.15	0.45	11.25%		

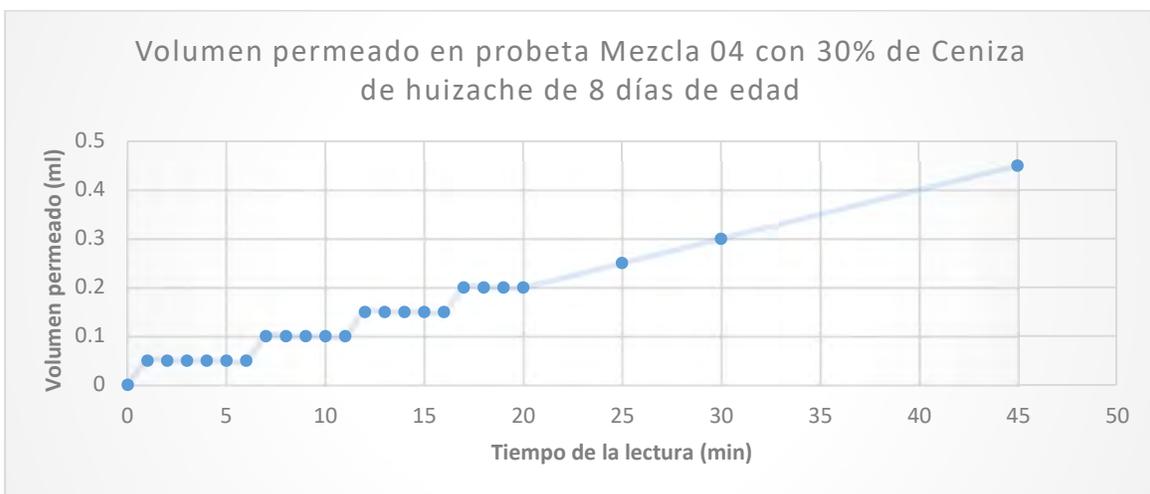


Gráfico 28. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de huizache con 8 días de edad.

Tabla 55. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache con 15 días de edad

Mezcla 04: 30% de Ceniza de Huizache						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
15 días	0	0	3.5	0	0	0.00%
15/02/2021	1	60	3.5	0	0	0.00%
	2	120	3.5	0	0	0.00%
	3	180	3.5	0	0	0.00%
	4	240	3.5	0	0	0.00%
	5	300	3.45	0.05	0.05	1.25%
	6	360	3.45	0	0.05	1.25%
	7	420	3.45	0	0.05	1.25%
	8	480	3.45	0	0.05	1.25%
	9	540	3.45	0	0.05	1.25%
	10	600	3.4	0.05	0.1	2.50%
	11	660	3.4	0	0.1	2.50%
	12	720	3.4	0	0.1	2.50%
	13	780	3.4	0	0.1	2.50%
	14	840	3.4	0	0.1	2.50%
	15	900	3.4	0	0.1	2.50%
	16	960	3.35	0.05	0.15	3.75%
	17	1020	3.35	0	0.15	3.75%
	18	1080	3.35	0	0.15	3.75%
	19	1140	3.35	0	0.15	3.75%
	20	1200	3.35	0	0.15	3.75%
	25	1500	3.3	0.05	0.2	5.00%
	30	1800	3.25	0.05	0.25	6.25%
	45	2700	3.1	0.15	0.4	10.00%

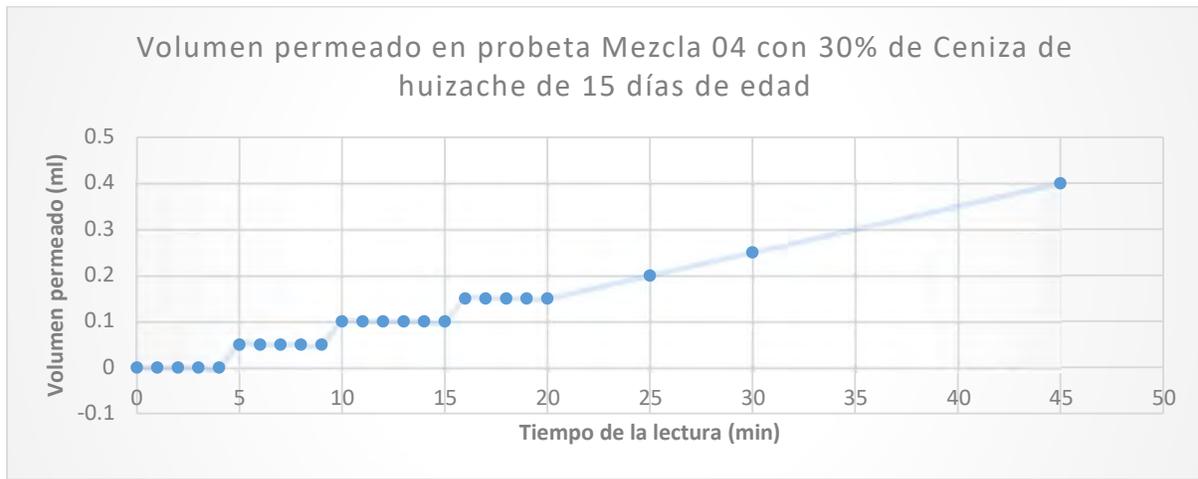


Gráfico 29. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de huizache con 15 días de edad.

Tabla 56. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache con 30 días de edad

Mezcla 04: 30% de Ceniza de Huizache							
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
30 días 02/03/2021	0	0	4.2	0	0	0.00%	
	1	60	4.2	0	0	0.00%	
	2	120	4.2	0	0	0.00%	
	3	180	4.2	0	0	0.00%	
	4	240	4.2	0	0	0.00%	
	5	300	4.15	0.05	0.05	1.25%	
	6	360	4.15	0	0.05	1.25%	
	7	420	4.15	0	0.05	1.25%	
	8	480	4.15	0	0.05	1.25%	
	9	540	4.1	0.05	0.1	2.50%	
	10	600	4.1	0	0.1	2.50%	
	11	660	4.1	0	0.1	2.50%	
	12	720	4.1	0	0.1	2.50%	
	13	780	4.05	0.05	0.15	3.75%	
	14	840	4.05	0	0.15	3.75%	
	15	900	4.05	0	0.15	3.75%	
	16	960	4.05	0	0.15	3.75%	
	17	1020	4	0.05	0.2	5.00%	
	18	1080	4	0	0.2	5.00%	
	19	1140	4	0	0.2	5.00%	
20	1200	4	0	0.2	5.00%		
25	1500	3.95	0.05	0.25	6.25%		
30	1800	3.9	0.05	0.3	7.50%		
45	2700	3.75	0.15	0.45	11.25%		

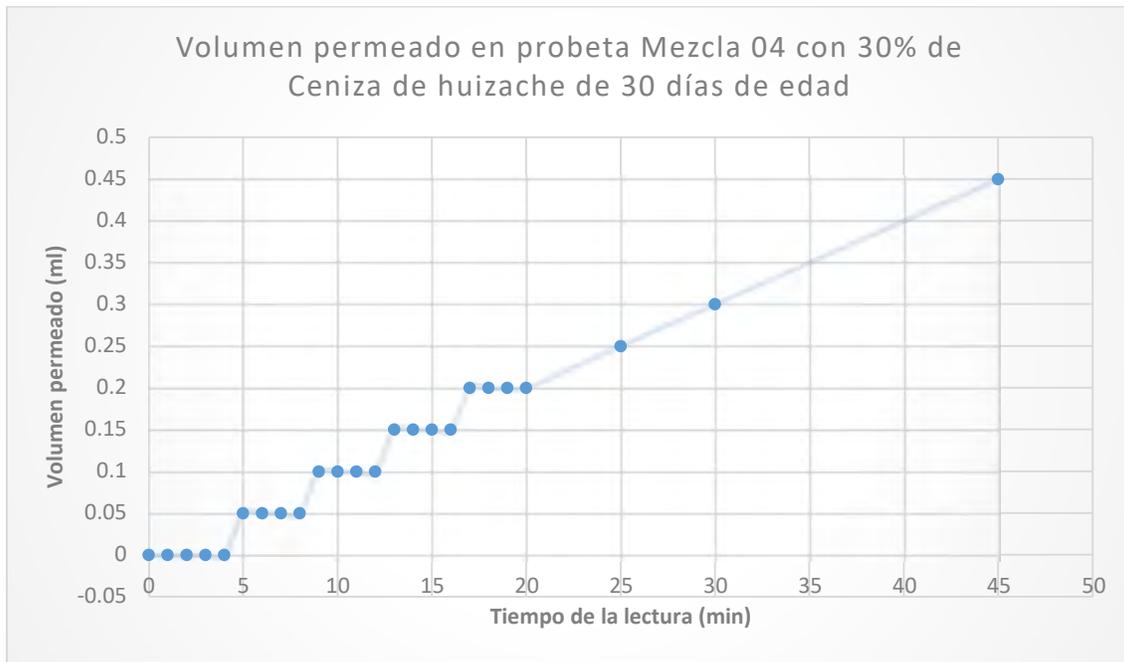


Gráfico 30. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de huizache con 30 días de edad.

En el caso de la adición de cenizas de madera de huizache, se obtienen valores de permeo mayores que en la mezcla regular de mucilago de nopal, esto en adición de 10% y 30%, sin embargo en la adición de menor volumen de cenizas al 5% es evidente que el porcentaje de permeo reduce significativamente, a esto le atribuimos una mejor incorporación y eficiencia en el porcentaje seleccionado, de esta forma evaluamos que a menor cantidad de ceniza de huizache la permeabilidad será menor, siendo un manto más eficiente.

Tabla 57. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad

Mezcla 05: 5% de ceniza de cimbra en desuso						
Edad de Análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
1 día	0	0	4.15	0	0	0.00%
09/02/2021	1	60	4.1	0.05	0.05	1.20%
	2	120	4.1	0	0.05	1.20%
	3	180	4.1	0	0.05	1.20%
	4	240	4.1	0	0.05	1.20%
	5	300	4.1	0	0.05	1.20%
	6	360	4.1	0	0.05	1.20%
	7	420	4.1	0	0.05	1.20%
	8	480	4.1	0	0.05	1.20%
	9	540	4.1	0	0.05	1.20%
	10	600	4.1	0	0.05	1.20%
	11	660	4.1	0	0.05	1.20%
	12	720	4.1	0	0.05	1.20%
	13	780	4.1	0	0.05	1.20%
	14	840	4.1	0	0.05	1.20%
	15	900	4	0.1	0.15	3.61%
	16	960	4	0	0.15	3.61%
	17	1020	4	0	0.15	3.61%
	18	1080	4	0	0.15	3.61%
	19	1140	4	0	0.15	3.61%
	20	1200	4	0	0.15	3.61%
25	1500	3.95	0.05	0.2	4.82%	
30	1800	3.9	0.05	0.25	6.02%	
45	2700	3.7	0.2	0.45	10.84%	

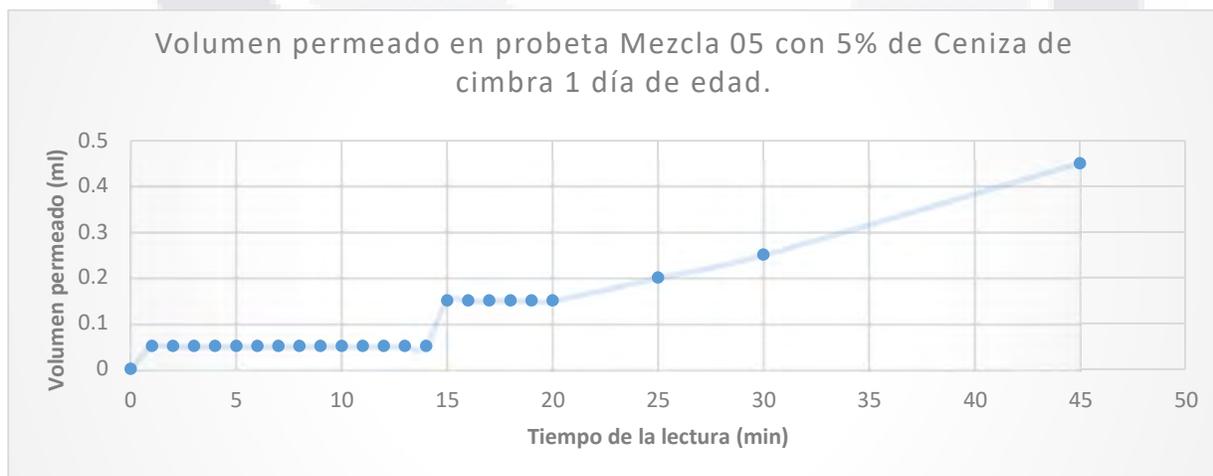


Gráfico 31. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad.

Tabla 58. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad.

Mezcla 05: 5% de ceniza de cimbra en desuso							
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
8 días	0	0	4.2	0	0	0.00%	
16/02/2021	1	60	4.2	0	0	0.00%	
	2	120	4.2	0	0	0.00%	
	3	180	4.2	0	0	0.00%	
	4	240	4.15	0.05	0.05	1.20%	
	5	300	4.15	0	0.05	1.20%	
	6	360	4.15	0	0.05	1.20%	
	7	420	4.15	0	0.05	1.20%	
	8	480	4.15	0	0.05	1.20%	
	9	540	4.15	0	0.05	1.20%	
	10	600	4.15	0	0.05	1.20%	
	11	660	4.1	0.05	0.1	2.41%	
	12	720	4.1	0	0.1	2.41%	
	13	780	4.1	0	0.1	2.41%	
	14	840	4.1	0	0.1	2.41%	
	15	900	4.1	0	0.1	2.41%	
	16	960	4.1	0	0.1	2.41%	
	17	1020	4.05	0.05	0.15	3.61%	
	18	1080	4.05	0	0.15	3.61%	
	19	1140	4.05	0	0.15	3.61%	
	20	1200	4.05	0	0.15	3.61%	
25	1500	4	0.05	0.2	4.82%		
30	1800	3.95	0.05	0.25	6.02%		
45	2700	.8	0.15	0.4	9.64%		

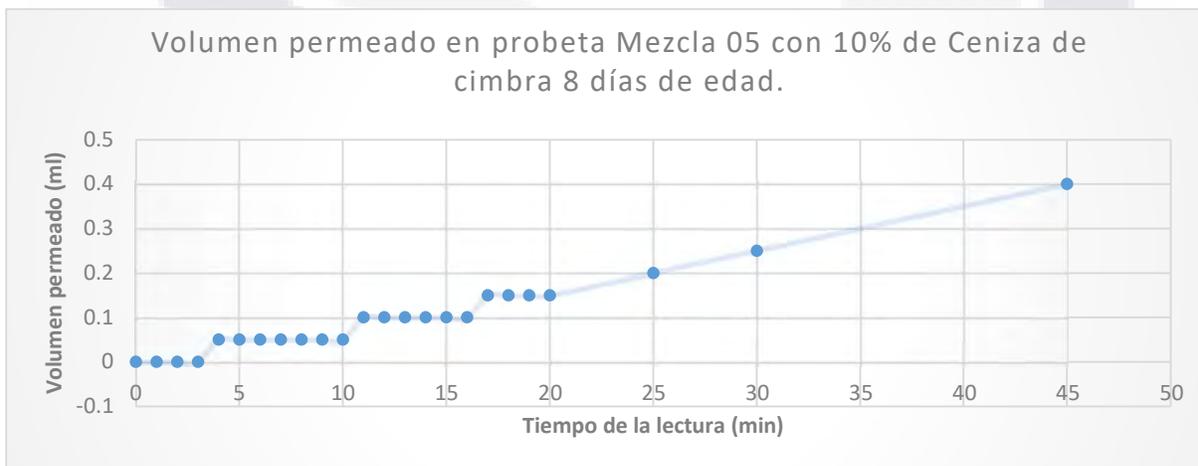


Gráfico 32. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad.

Tabla 59. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad.

Mezcla 05: 5% de ceniza de cimbra en desuso							
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
15 días	0	0	4.5	0	0	0.00%	
23/02/2021	1	60	4.5	0	0	0.00%	
	2	120	4.5	0	0	0.00%	
	3	180	4.5	0	0	0.00%	
	4	240	4.5	0	0	0.00%	
	5	300	4.4	0.1	0.1	2.41%	
	6	360	4.4	0	0.1	2.41%	
	7	420	4.4	0	0.1	2.41%	
	8	480	4.4	0	0.1	2.41%	
	9	540	4.4	0	0.1	2.41%	
	10	600	4.4	0	0.1	2.41%	
	11	660	4.3	0.1	0.2	4.82%	
	12	720	4.3	0	0.2	4.82%	
	13	780	4.3	0	0.2	4.82%	
	14	840	4.3	0	0.2	4.82%	
	15	900	4.3	0	0.2	4.82%	
	16	960	4.3	0	0.2	4.82%	
	17	1020	4.2	0.1	0.3	7.23%	
	18	1080	4.2	0	0.3	7.23%	
	19	1140	4.2	0	0.3	7.23%	
	20	1200	4.2	0	0.3	7.23%	
25	1500	4.1	0.1	0.4	9.64%		
30	1800	4	0.1	0.5	12.05%		
45	2700	3.7	0.3	0.8	19.28%		

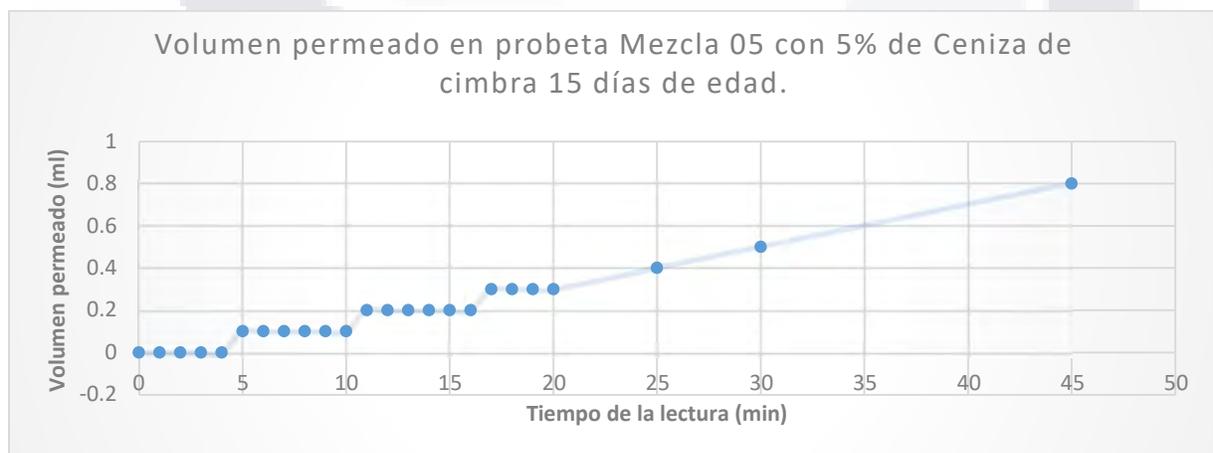


Gráfico 33. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad.

Tabla 60. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 5% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad.

Mezcla 05: 5% de ceniza de cimbra en desuso						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
30 días	0	0	4	0	0	0.00%
10/03/2021	1	60	4	0	0	0.00%
	2	120	4	0	0	0.00%
	3	180	4	0	0	0.00%
	4	240	4	0	0	0.00%
	5	300	4	0	0	0.00%
	6	360	4	0	0	0.00%
	7	420	4	0	0	0.00%
	8	480	3.95	0.05	0.05	1.20%
	9	540	3.95	0	0.05	1.20%
	10	600	3.95	0	0.05	1.20%
	11	660	3.95	0	0.05	1.20%
	12	720	3.95	0	0.05	1.20%
	13	780	3.95	0	0.05	1.20%
	14	840	3.95	0	0.05	1.20%
	15	900	3.95	0	0.05	1.20%
	16	960	3.9	0.05	0.1	2.41%
	17	1020	3.9	0	0.1	2.41%
	18	1080	3.9	0	0.1	2.41%
	19	1140	3.9	0	0.1	2.41%
	20	1200	3.9	0	0.1	2.41%
25	1500	3.8	0.1	0.2	4.82%	
30	1800	3.75	0.05	0.25	6.02%	
45	2700	3.65	0.1	0.35	8.43%	

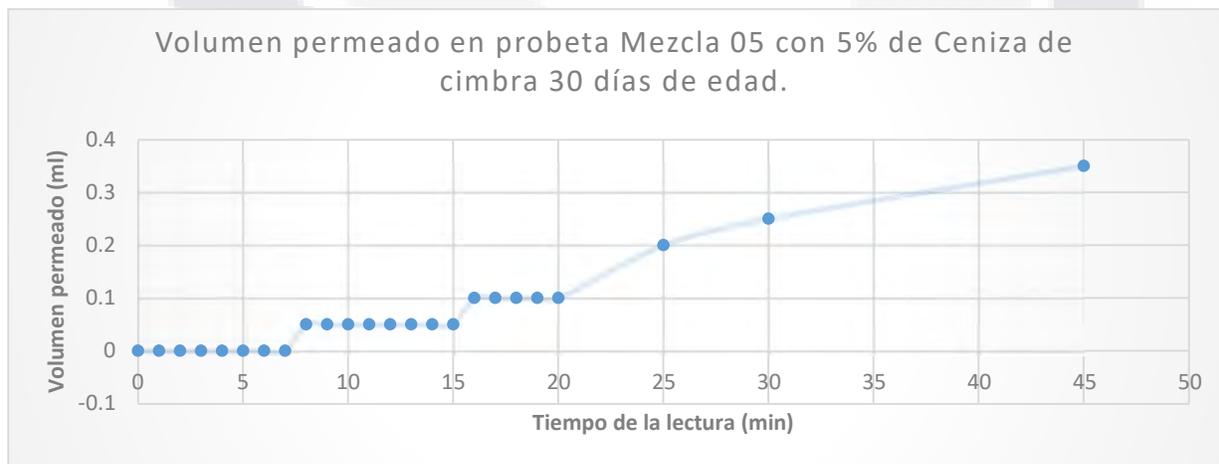


Gráfico 34. Volumen permeado en probeta de mezcla con 5% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad.

Tabla 61. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad.

Mezcla 06: 10% de ceniza de cimbra en desuso						
Edad de Análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
1 día	0	0	4.15	0	0	0.00%
09/02/2021	1	60	4.1	0.05	0.05	1.20%
	2	120	4.1	0	0.05	1.20%
	3	180	4.1	0	0.05	1.20%
	4	240	4.1	0	0.05	1.20%
	5	300	4.1	0	0.05	1.20%
	6	360	4.1	0	0.05	1.20%
	7	420	4.1	0	0.05	1.20%
	8	480	4.1	0	0.05	1.20%
	9	540	4.1	0	0.05	1.20%
	10	600	4.1	0	0.05	1.20%
	11	660	4.1	0	0.05	1.20%
	12	720	4.1	0	0.05	1.20%
	13	780	4.1	0	0.05	1.20%
	14	840	4.1	0	0.05	1.20%
	15	900	4.1	0	0.05	1.20%
	16	960	4.1	0	0.05	1.20%
	17	1020	4.1	0	0.05	1.20%
	18	1080	4.1	0	0.05	1.20%
	19	1140	4.1	0	0.05	1.20%
	20	1200	4.1	0	0.05	1.20%
25	1500	4.05	0.05	0.1	2.41%	
30	1800	4.05	0	0.1	2.41%	
45	2700	4.05	0	0.1	2.41%	

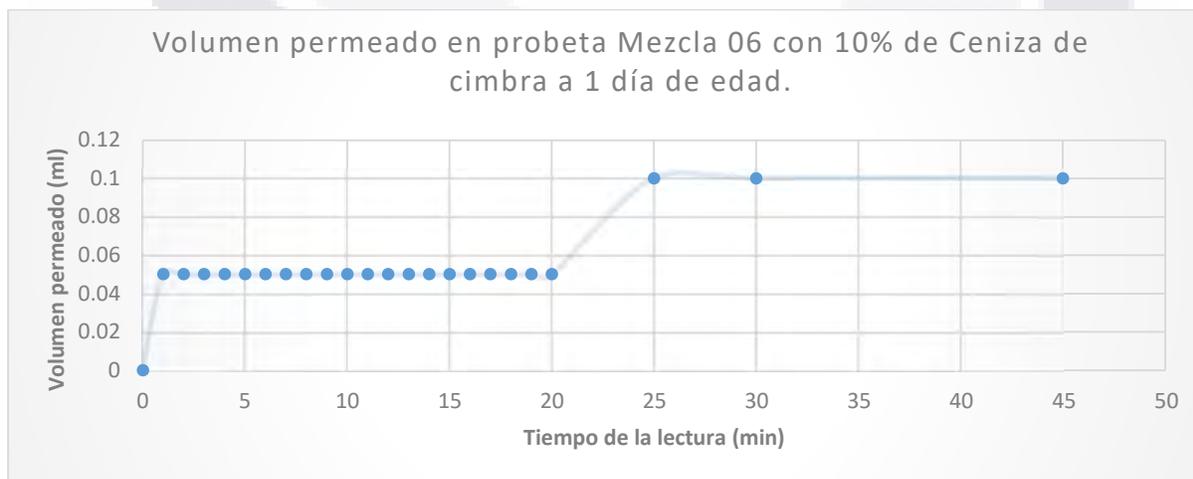


Gráfico 35. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad.

Tabla 62. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad.

Mezcla 06: 10% de ceniza de cimbra en desuso						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
8 días	0	0	4.25	0	0	0.00%
16/02/2021	1	60	4.2	0.05	0.05	1.20%
	2	120	4.2	0	0.05	1.20%
	3	180	4.2	0	0.05	1.20%
	4	240	4.2	0	0.05	1.20%
	5	300	4.2	0	0.05	1.20%
	6	360	4.2	0	0.05	1.20%
	7	420	4.2	0	0.05	1.20%
	8	480	4.2	0	0.05	1.20%
	9	540	4.2	0	0.05	1.20%
	10	600	4.2	0	0.05	1.20%
	11	660	4.2	0	0.05	1.20%
	12	720	4.2	0	0.05	1.20%
	13	780	4.2	0	0.05	1.20%
	14	840	4.2	0	0.05	1.20%
	15	900	4.2	0	0.05	1.20%
	16	960	4.2	0	0.05	1.20%
	17	1020	4.2	0	0.05	1.20%
	18	1080	4.2	0	0.05	1.20%
	19	1140	4.2	0	0.05	1.20%
	20	1200	4.2	0	0.05	1.20%
25	1500	4.15	0.05	0.1	2.41%	
30	1800	4.15	0	0.1	2.41%	
45	2700	4.15	0	0.1	2.41%	

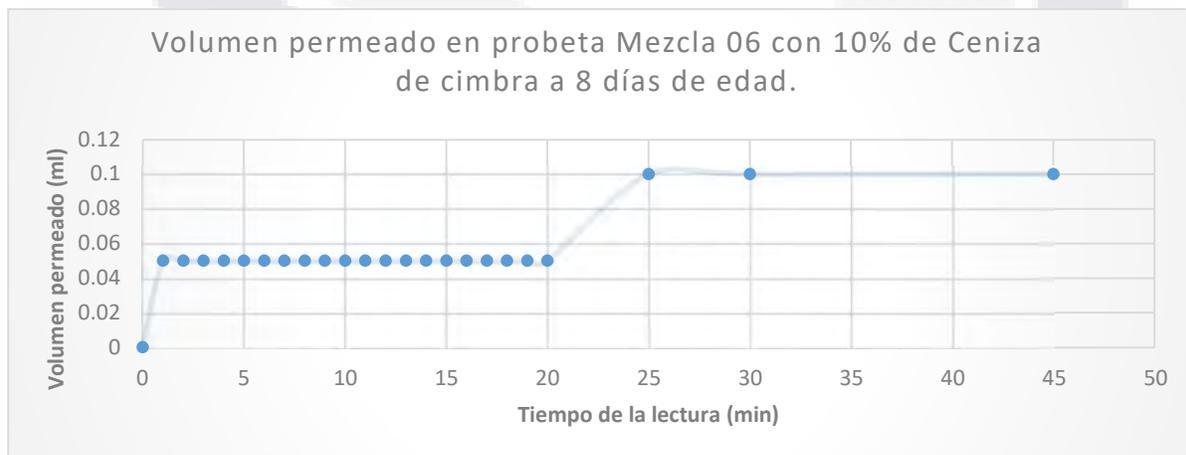


Gráfico 36. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad.

Tabla 63. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad.

**Mezcla 06: 10% de ceniza de cimbra en desuso**

Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
15 días	0	0	4.3	0	0	0.00%
23/02/2021	1	60	4.25	0.05	0.05	1.20%
	2	120	4.25	0	0.05	1.20%
	3	180	4.25	0	0.05	1.20%
	4	240	4.25	0	0.05	1.20%
	5	300	4.25	0	0.05	1.20%
	6	360	4.25	0	0.05	1.20%
	7	420	4.25	0	0.05	1.20%
	8	480	4.25	0	0.05	1.20%
	9	540	4.25	0	0.05	1.20%
	10	600	4.25	0	0.05	1.20%
	11	660	4.25	0	0.05	1.20%
	12	720	4.25	0	0.05	1.20%
	13	780	4.25	0	0.05	1.20%
	14	840	4.25	0	0.05	1.20%
	15	900	4.25	0	0.05	1.20%
	16	960	4.25	0	0.05	1.20%
	17	1020	4.25	0	0.05	1.20%
	18	1080	4.25	0	0.05	1.20%
	19	1140	4.25	0	0.05	1.20%
	20	1200	4.25	0	0.05	1.20%
25	1500	4.25	0	0.05	1.20%	
30	1800	4.2	0.05	0.1	2.41%	
45	2700	4.2	0	0.1	2.41%	

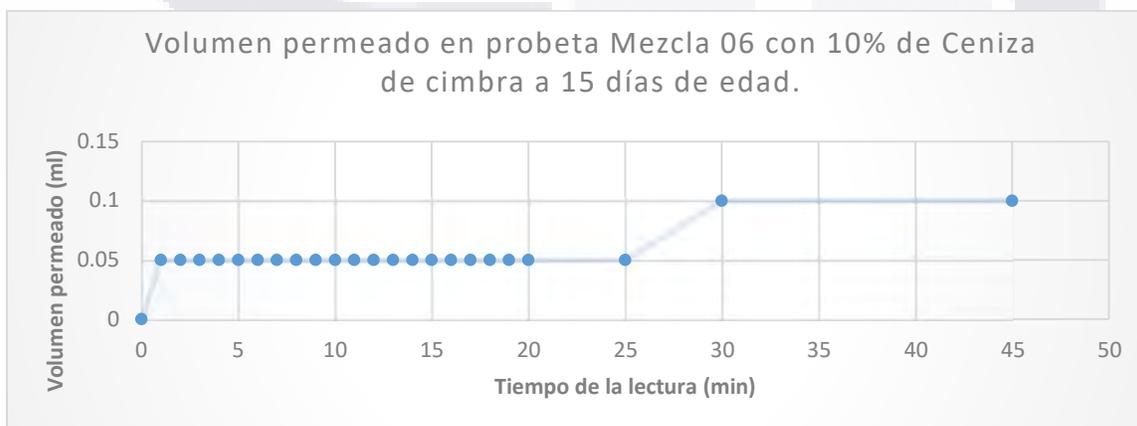


Gráfico 37. Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad.

Tabla 64. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 10% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad.

Mezcla 06: 10% de ceniza de cimbra en desuso						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
30 días	0	0	4.3	0	0	0.00%
10/03/2021	1	60	4.25	0.05	0.05	1.20%
	2	120	4.25	0	0.05	1.20%
	3	180	4.25	0	0.05	1.20%
	4	240	4.25	0	0.05	1.20%
	5	300	4.25	0	0.05	1.20%
	6	360	4.25	0	0.05	1.20%
	7	420	4.25	0	0.05	1.20%
	8	480	4.25	0	0.05	1.20%
	9	540	4.25	0	0.05	1.20%
	10	600	4.25	0	0.05	1.20%
	11	660	4.25	0	0.05	1.20%
	12	720	4.25	0	0.05	1.20%
	13	780	4.25	0	0.05	1.20%
	14	840	4.25	0	0.05	1.20%
	15	900	4.25	0	0.05	1.20%
	16	960	4.25	0	0.05	1.20%
	17	1020	4.25	0	0.05	1.20%
	18	1080	4.25	0	0.05	1.20%
	19	1140	4.25	0	0.05	1.20%
	20	1200	4.25	0	0.05	1.20%
25	1500	4.2	0.05	0.1	2.41%	
30	1800	4.2	0	0.1	2.41%	
45	2700	4.2	0	0.1	2.41%	

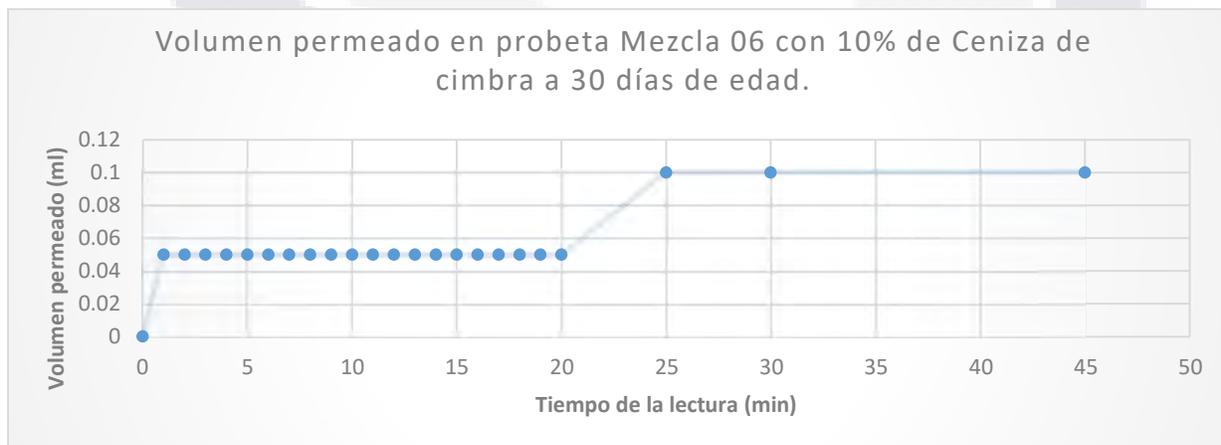


Gráfico 38. . Volumen permeado en probeta de mezcla con 10% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad.

Tabla 65. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad.

Mezcla 07: 30% de ceniza de cimbra en desuso							
Edad de Análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
1 día	0	0	4.2	0	0	0.00%	
09/02/2021	1	60	4.2	0	0	0.00%	
	2	120	4.2	0	0	0.00%	
	3	180	4.2	0	0	0.00%	
	4	240	4.2	0	0	0.00%	
	5	300	4.2	0	0	0.00%	
	6	360	4.15	0.05	0.05	1.19%	
	7	420	4.15	0	0.05	1.19%	
	8	480	4.15	0	0.05	1.19%	
	9	540	4.15	0	0.05	1.19%	
	10	600	4.15	0	0.05	1.19%	
	11	660	4.15	0	0.05	1.19%	
	12	720	4.15	0	0.05	1.19%	
	13	780	4.15	0	0.05	1.19%	
	14	840	4.15	0	0.05	1.19%	
	15	900	4.15	0	0.05	1.19%	
	16	960	4.15	0	0.05	1.19%	
	17	1020	4.1	0.05	0.1	2.38%	
	18	1080	4.1	0	0.1	2.38%	
	19	1140	4.1	0	0.1	2.38%	
	20	1200	4.1	0	0.1	2.38%	
25	1500	4.1	0	0.1	2.38%		
30	1800	4.05	0.05	0.15	3.57%		
45	2700	3.95	0.1	0.25	5.95%		

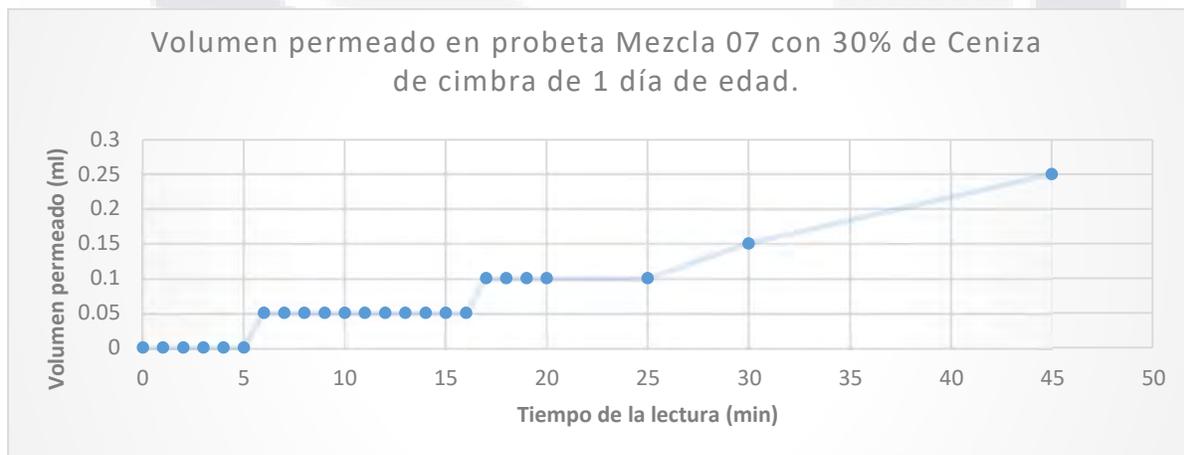


Gráfico 39. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 1 día de edad.

Tabla 66. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad.

Mezcla 07: 30% de ceniza de cimbra en desuso						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
8 días	0	0	4.2	0	0	0.00%
16/02/2021	1	60	4.2	0	0	0.00%
	2	120	4.2	0	0	0.00%
	3	180	4.2	0	0	0.00%
	4	240	4.2	0	0	0.00%
	5	300	4.2	0	0	0.00%
	6	360	4.2	0	0	0.00%
	7	420	4.15	0.05	0.05	1.19%
	8	480	4.15	0	0.05	1.19%
	9	540	4.15	0	0.05	1.19%
	10	600	4.15	0	0.05	1.19%
	11	660	4.15	0	0.05	1.19%
	12	720	4.15	0	0.05	1.19%
	13	780	4.15	0	0.05	1.19%
	14	840	4.15	0	0.05	1.19%
	15	900	4.15	0	0.05	1.19%
	16	960	4.15	0	0.05	1.19%
	17	1020	4.15	0	0.05	1.19%
	18	1080	4.15	0	0.05	1.19%
	19	1140	4.15	0	0.05	1.19%
	20	1200	4.1	0.05	0.1	2.38%
25	1500	4.1	0	0.1	2.38%	
30	1800	4.05	0.05	0.15	3.57%	
45	2700	4	0.05	0.2	4.76%	

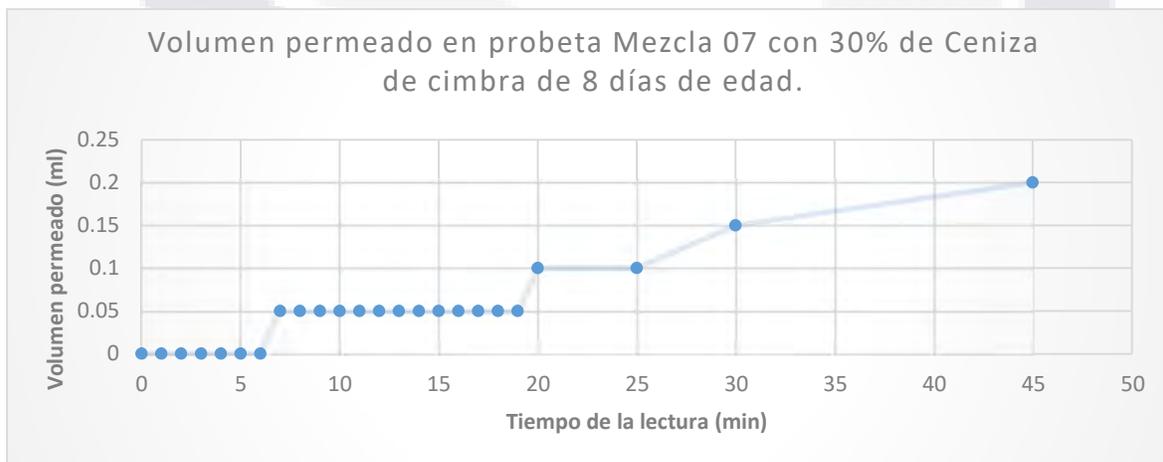


Gráfico 40. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 8 días de edad.

Tabla 67. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad.

Mezcla 07: 30% de ceniza de cimbra en desuso						
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado
15 días	0	0	4	0	0	0.00%
23/02/2021	1	60	4	0	0	0.00%
	2	120	4	0	0	0.00%
	3	180	4	0	0	0.00%
	4	240	4	0	0	0.00%
	5	300	4	0	0	0.00%
	6	360	4	0	0	0.00%
	7	420	3.95	0.05	0.05	1.19%
	8	480	3.95	0	0.05	1.19%
	9	540	3.95	0	0.05	1.19%
	10	600	3.95	0	0.05	1.19%
	11	660	3.95	0	0.05	1.19%
	12	720	3.95	0	0.05	1.19%
	13	780	3.95	0	0.05	1.19%
	14	840	3.95	0	0.05	1.19%
	15	900	3.95	0	0.05	1.19%
	16	960	3.95	0	0.05	1.19%
	17	1020	3.95	0	0.05	1.19%
	18	1080	3.95	0	0.05	1.19%
	19	1140	3.95	0	0.05	1.19%
	20	1200	3.95	0	0.05	1.19%
25	1500	3.95	0	0.05	1.19%	
30	1800	3.9	0.05	0.1	2.38%	
45	2700	3.85	0.05	0.15	3.57%	

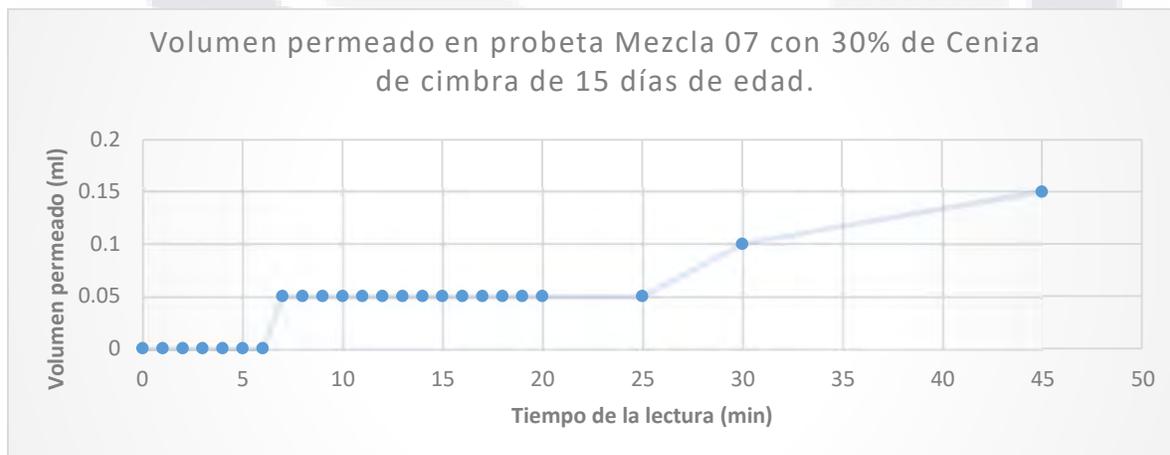


Gráfico 41. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 15 días de edad.

Tabla 68. Resultados de prueba de permeabilidad en Mezcla adicionada con 30% de cenizas de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad.

Mezcla 07: 30% de ceniza de cimbra en desuso							
Edad de análisis	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Lectura (ml)	Volumen permeado (ml)	Volumen Total Permeado (ml)	% de permeado	
30 días	0	0	3.5	0	0	0.00%	
10/03/2021	1	60	3.5	0	0	0.00%	
	2	120	3.5	0	0	0.00%	
	3	180	3.5	0	0	0.00%	
	4	240	3.5	0	0	0.00%	
	5	300	3.5	0	0	0.00%	
	6	360	3.5	0	0	0.00%	
	7	420	3.5	0	0	0.00%	
	8	480	3.5	0	0	0.00%	
	9	540	3.45	0.05	0.05	1.19%	
	10	600	3.45	0	0.05	1.19%	
	11	660	3.45	0	0.05	1.19%	
	12	720	3.45	0	0.05	1.19%	
	13	780	3.45	0	0.05	1.19%	
	14	840	3.45	0	0.05	1.19%	
	15	900	3.45	0	0.05	1.19%	
	16	960	3.45	0	0.05	1.19%	
	17	1020	3.45	0	0.05	1.19%	
	18	1080	3.45	0	0.05	1.19%	
	19	1140	3.45	0	0.05	1.19%	
	20	1200	3.45	0	0.05	1.19%	
25	1500	3.45	0	0.05	1.19%		
30	1800	3.45	0	0.05	1.19%		
45	2700	3.4	0.05	0.1	2.38%		

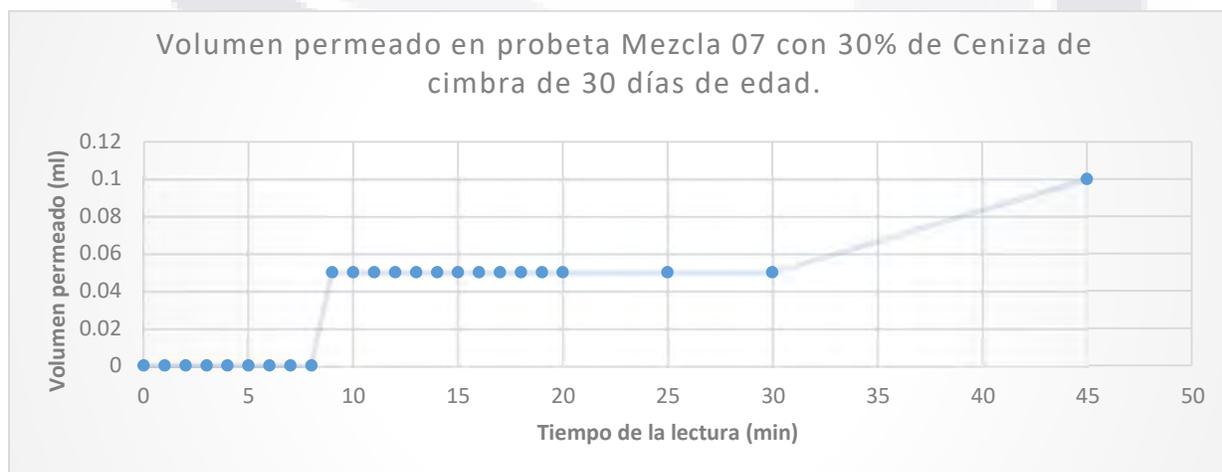


Gráfico 42. Volumen permeado en probeta de mezcla con 30% de ceniza de madera de cimbra en desuso con 30 días de edad.

Del mismo modo en que se observa el comportamiento de cenizas de huizache las cenizas de cimbra en desuso presentan distintos resultados, de forma contraria se denota que a mayor concentración de ceniza la eficiencia del manto impermeable es mayor, dado que en el tiempo de análisis de líquido absorbido por el cuerpo el porcentaje es mucho menor mostrando un resultado más optimo la dosificación con una adición de 10% de cenizas al igual que 30%, independientemente de la edad del recubrimiento, mientras no presente craquelación o porosidad la eficiencia será adecuada observado claramente los gráficos de 19-42 en los que en todos los casos la permeabilidad el efecto impermeable es evidente mostrando que se evita la infiltración de agua durante un tiempo determinado de forma considerable.

### 5.7 Resultados adherencia

Como se observa en la tabla 69 se clasifica cada probeta con un estándar definido en la norma ASTM la cual permite valorar porcentajes de desprendimiento en el cual observamos que la muestra con el paso de los días genera un deterioro en su capacidad aditiva, mostrando una tendencia de mayor desgaste entre los últimos 15 días de observación.

Tabla 69. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla base de mucílago de nopal.

Mezcla 01 Base de mucílago de nopal.					
No.	Edad de la Probeta	Clave de Probeta	Clasificación	Resultado de Superficie	Porcentaje Asignado en observación
1	1	AB01	3B		7%
2	8	AB08	3B		5%
3	15	AB15	2B		20%
4	30	AB30	1B		40%

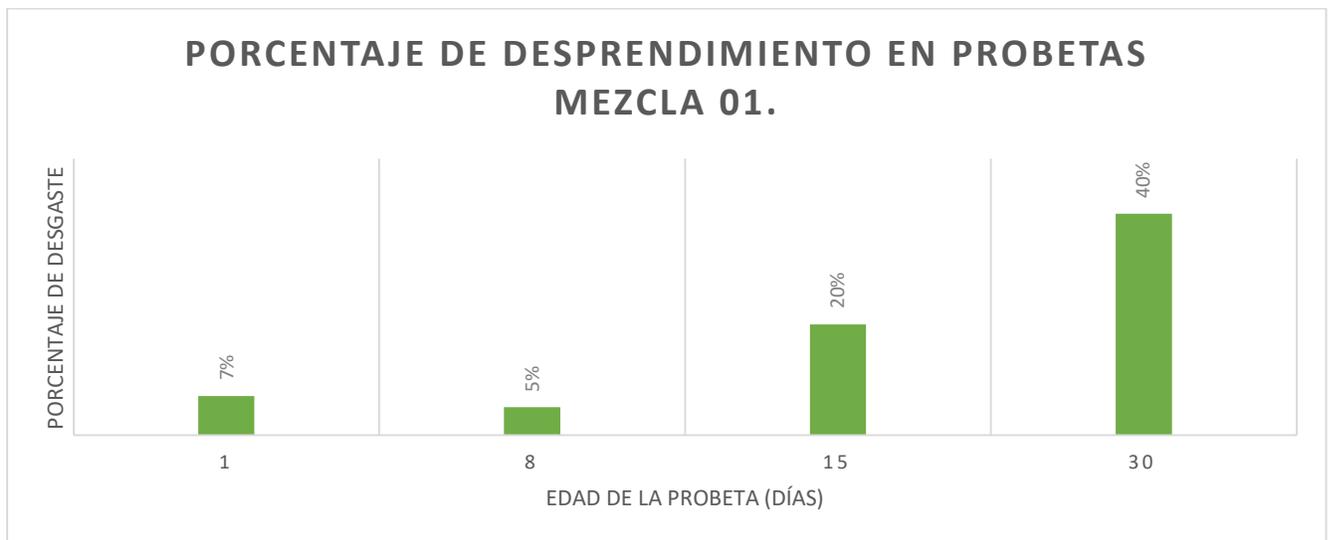


Gráfico 43. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla base. en las edades descritas.

Tabla 70. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 5% de cenizas de huizache.

Mezcla 02: 5% de Ceniza de Huizache				
			Resultado de Superficie	
No.	Edad de la Probeta	Clave de Probeta	Clasificación	Porcentaje Asignado
5	1	AH0105	4B	4%
6	8	AH0805	4B	4%
7	15	AH1505	3B	12%
8	30	AH3005	2B	15%

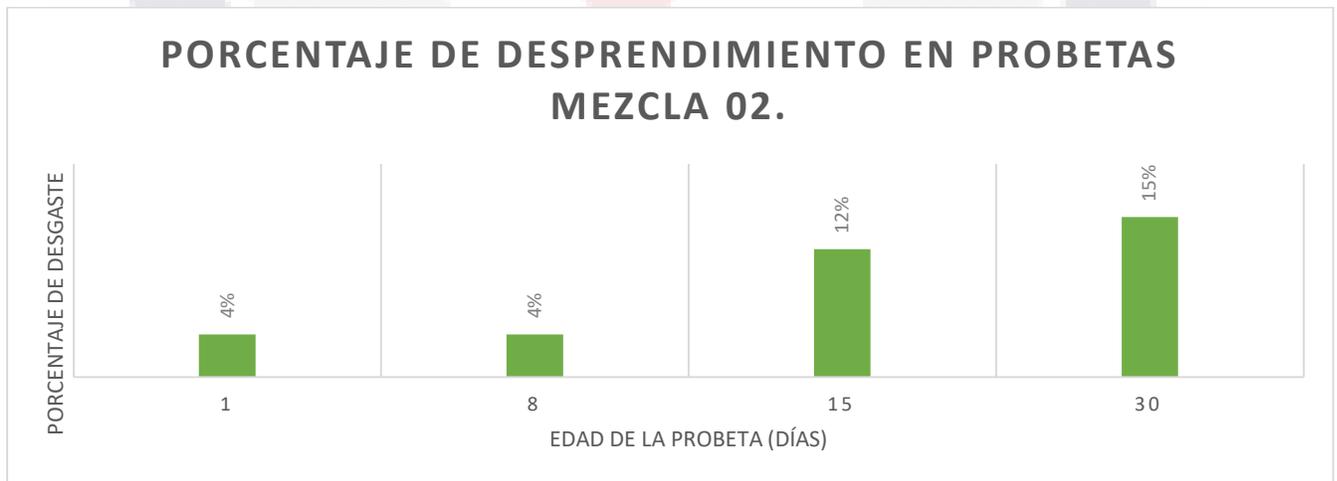


Gráfico 44. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 5% de cenizas en las edades descritas.

Tabla 71. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 10% de cenizas de huizache.

<b>Mezcla 03: 10% de Ceniza de Huizache</b>				
<b>Resultado de Superficie</b>				
<b>No.</b>	<b>Edad de la Probeta</b>	<b>Clave de Probeta</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Porcentaje Asignado</b>
9	1	AH0110	3B	10%
10	8	AH0810	3B	10%
11	15	AH1510	2B	15%
12	30	AH3010	0B	80%

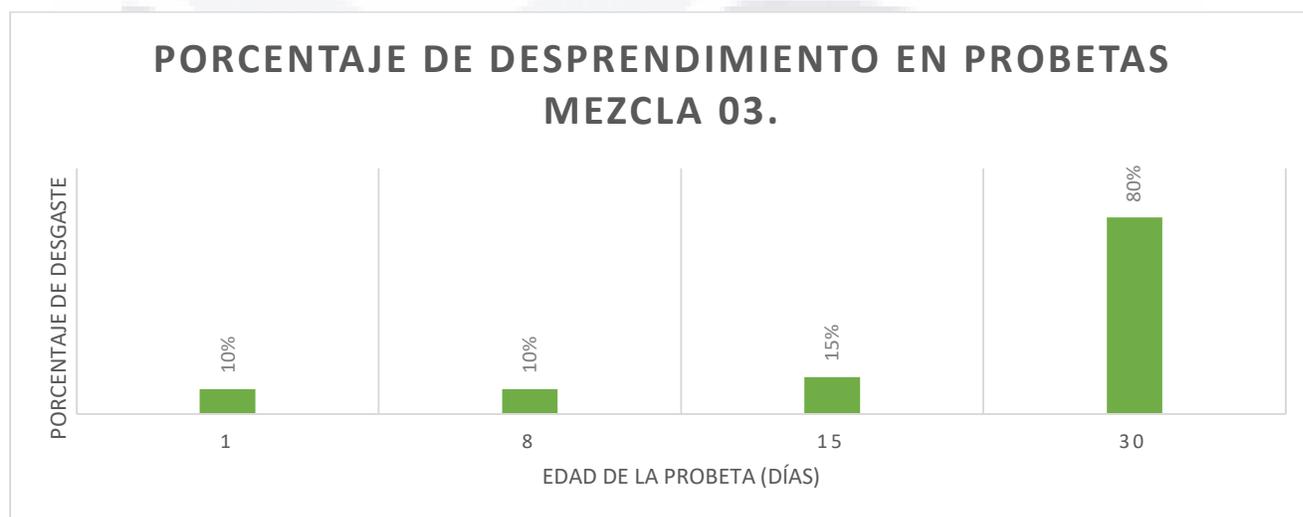


Gráfico 45. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 10% de cenizas en las edades descritas.

Tabla 72. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 30% de cenizas de huizache.

<b>Mezcla 04: 30% de Ceniza de Huizache</b>				
<b>Resultado de Superficie</b>				
<b>No.</b>	<b>Edad de la Probeta</b>	<b>Clave de Probeta</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Porcentaje Asignado</b>
13	1	AH0130	4B	4%
14	8	AH0830	3B	5%
15	15	AH1530	2B	15%
16	30	AH3030	0B	75%

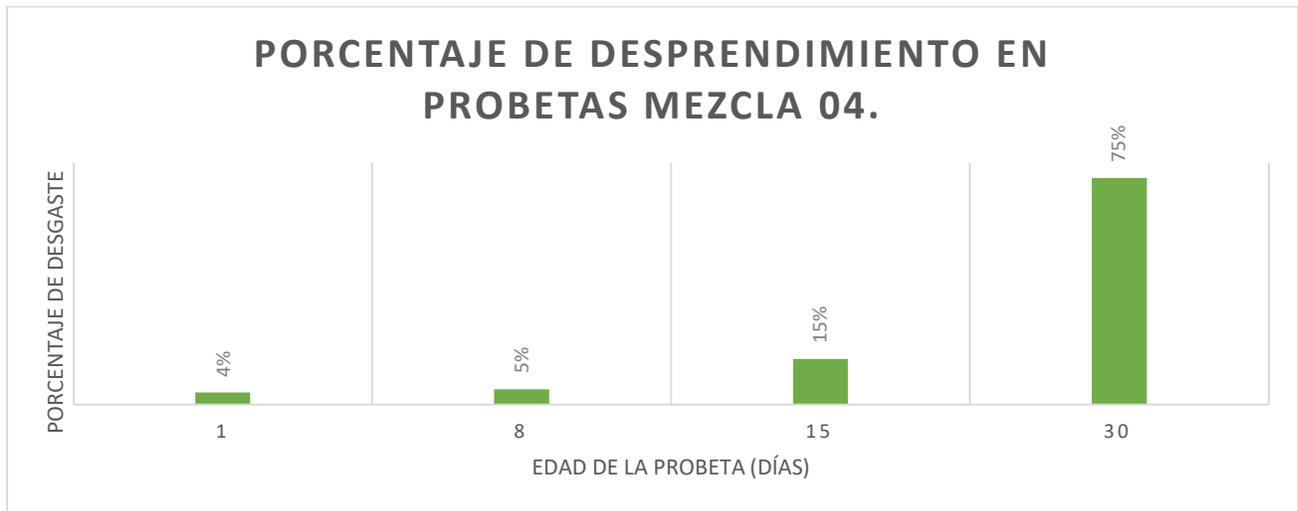


Gráfico 46. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 30% de cenizas en las edades descritas.

Tabla 73. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 5% de ceniza de cimbra en desuso.

Mezcla 05: 5% de ceniza de cimbra en desuso				
No.	Edad de la Probeta	Clave de Probeta	Resultado de Superficie	
			Clasificación	Porcentaje Asignado
17	1	AC0105	4B	3%
18	8	AC0805	4B	5%
19	15	AC1505	3B	10%
20	30	AC3005	2B	15%

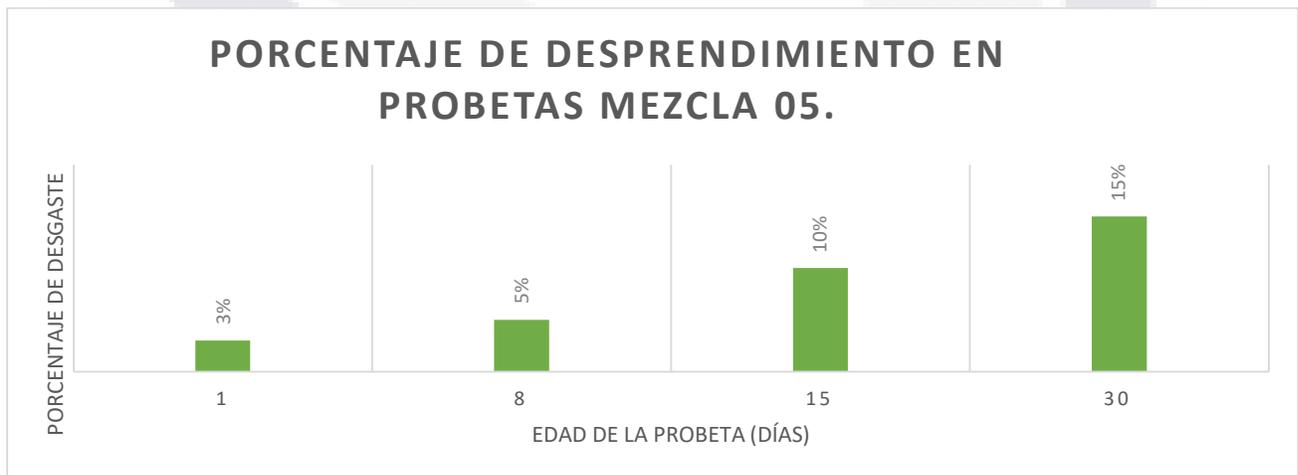


Gráfico 47. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 5% de cenizas de cimbra en desuso en las edades descritas.

Tabla 74. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 10% de ceniza de cimbra en desuso.

<b>Mezcla 06: 10% de ceniza de cimbra en desuso</b>				
<b>Resultado de Superficie</b>				
<b>No.</b>	<b>Edad de la Probeta</b>	<b>Clave de Probeta</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Porcentaje Asignado</b>
21	1	AC0110	4B	3%
22	8	AC0810	4B	5%
23	15	AC1510	3B	10%
24	30	AC3010	3B	10%

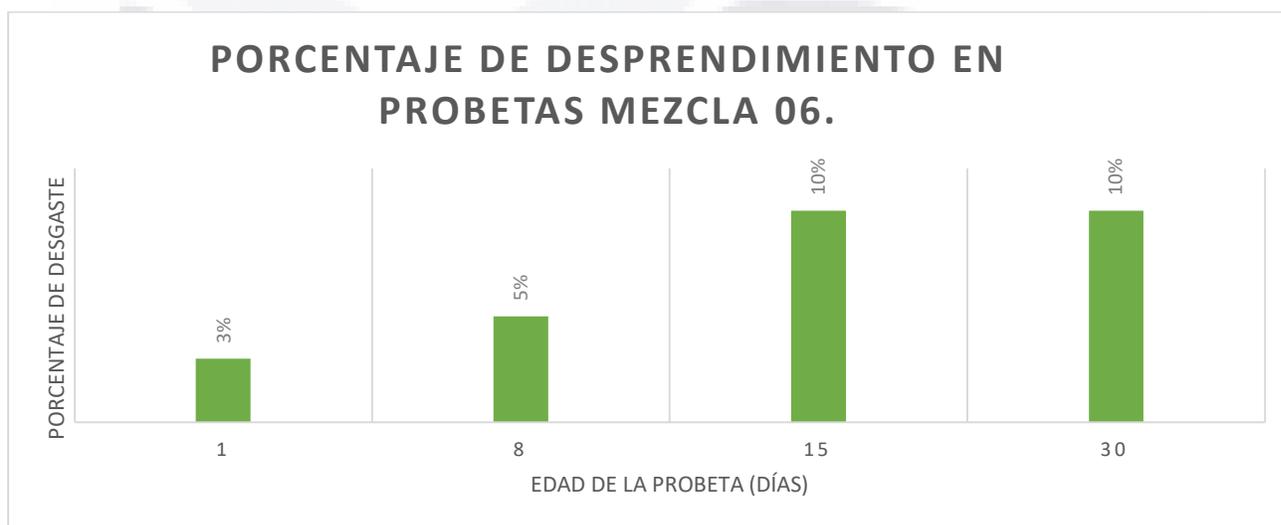


Gráfico 48. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 10% de cenizas de cimbra en desuso en las edades descritas.

Tabla 75. Clasificación y porcentaje de desgaste en la superficie de la mezcla adicionada con 30% de ceniza de cimbra en desuso.

<b>Mezcla 07: 30% de ceniza de cimbra en desuso</b>				
<b>Resultado de Superficie</b>				
<b>No.</b>	<b>Edad de la Probeta</b>	<b>Clave de Probeta</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Porcentaje Asignado</b>
25	1	AC0130	4B	3%
26	8	AC0830	3B	5%
27	15	AC1530	2B	15%
28	30	AC3030	1B	35%

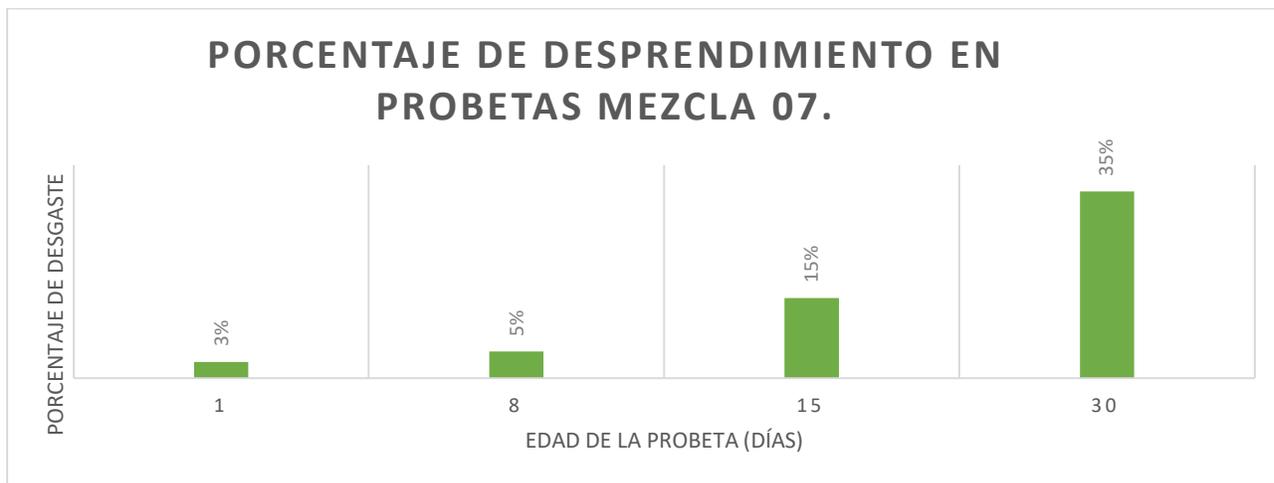
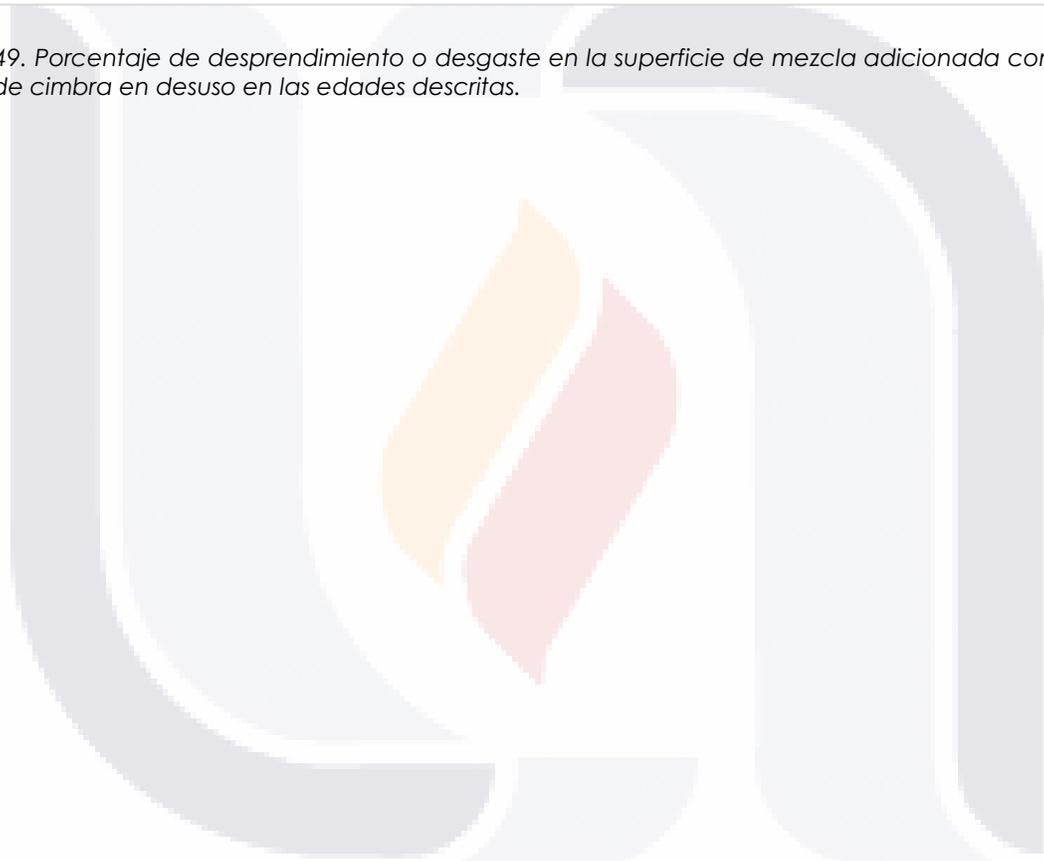


Gráfico 49. Porcentaje de desprendimiento o desgaste en la superficie de mezcla adicionada con 30% de cenizas de cimbra en desuso en las edades descritas.



## **CAPITULO 6. Conclusiones.**

### **6.1 Conclusión general**

En esta investigación se ha demostrado mediante los experimentos realizados que las cenizas de origen vegetal cuentan con propiedades impermeables que permiten ser consideradas como un elemento altamente útil en la utilización de diversos métodos constructivos, en este caso particular partiendo de su caracterización, se ha podido enunciar que la composición de diversas especies de origen vegetal es similar, y no existen variaciones determinantes en la composición atómica general de las cenizas, así mismo al realizar los análisis se determina que la propiedad hidrófoba con la que cuentan las cenizas es resultado del contenido de lignina, la cual es un polímero graso abundante en maderas duras o de edad avanzada, lo que nos permite asentar que la madera entre mayor sea el grosor y sea parte de las maderas duras presentarán alto contenido de lignina. Descubriendo que la lignina por su composición en malla es la causante de la propiedad impermeable en cenizas, propicio la inquietud de considerar si al combustión de maderas duras con agentes grasos como desmoldantes o aceites pudiera producir el mismo efecto, teniendo en cuenta esta consideración nos hizo voltear a ver las maderas de desperdicio que caen en desuso, la cimbra es la fuente principal en el área de la construcción de madera en desuso por lo que se contempló como fuente importante de materia prima al resultar adecuado el comportamiento de las cenizas resultantes de esta madera.

Con esta investigación, se ha podido observar el comportamiento en mezclas de las cenizas, al ser adicionadas a una mezcla ya probada y que de forma regular funciona en el ámbito constructivo, al observar propiedades de eficiencia para los impermeables se determinó que respecto a adicionar cenizas si existe variación en la eficiencia del manto impermeable de forma benéfica para las propiedades de adherencia, permeabilidad, absorción y transpiración. La hipótesis planteada de que la ceniza es un agente potencial para la

incorporación como aditivo en impermeabilizantes naturales, se cumple de forma adecuada partiendo de los resultados obtenidos, ya que al tener las consideraciones y cuidados específicos de mezclado, obtención de materia prima y aplicación, resulta una aportación importante el poder utilizar materiales en desuso para generar protección impermeable a edificios catalogados ya que no altera de forma química o industrial a los impermeabilizantes tradicionales.

Debido a las consideraciones y observaciones en la gama de mezclas y dosificaciones que se generaron en la campaña experimental puede concretarse que la viabilidad de utilización de cenizas de origen vegetal, principalmente provenientes de cimbra en desuso pueden contribuir de forma óptima en la generación de un impermeabilizante natural para la conservación de edificios patrimoniales, considerando que la adición en porcentaje de cenizas ofrece distintos resultados y rendimientos, por lo que establecer parámetros de adición de 10% a 30% de sustitución de cal en morteros impermeables ofrece un buen desempeño en la función de protección a infiltraciones y liberación de humedad en los inmuebles.

Por esta razón determinamos que la utilización de cenizas volantes, siempre y cuando sean provenientes de maderas duras o madera que tenga en gran cantidad el contenido de lignina, el cual de manera supuesta puede manipularse al contar con elementos expuestos a materiales grasos, es ampliamente recomendable como aditivo a mezclas de impermeabilización ya probadas, esta aseveración parte de la observación en cuanto a porcentaje, la eficiencia observada fue bastante similar sin embargo se pudo determinar que el concentrar entre el 10 y 20% de ceniza como aditivo puede dar resultados mejores a una mezcla normal, lo que propiciaría la utilización de materiales en desuso y optimizaría e incluso ayudaría al ahorro de otro tipo de materiales.

## 6.2 Conclusiones particulares

- A. Partiendo de la suposición del efecto impermeable en cenizas de origen vegetal la observación de composición atómica no es un factor determinante para la propiedad hidrófoba de las cenizas, sin embargo, en maderas de mayor edad o duras como se les conoce a ciertas especies, el contenido de polímeros grasos como la lignina es el responsable de la propiedad de repelencia a el agua, claro indicativo en el huizache.
- B. No todas las especies de origen vegetal presentan hidrofobicidad, tales como pencas de nopal, residuos de caña de azúcar o incluso mezquite, al ser maderas con características de estructura molecular según estudios de micrografía, no presentan contenidos de polímeros grasos, pese a que la composición atómica es similar a la de las maderas duras.
- C. El rendimiento de cenizas varía dependiendo de la especie y tipo de madera que se utiliza puesto que en esta investigación se observa que existen especies que pueden combustionar por más tiempo tales como el huizache ofreciendo un rendimiento en cenizas menor que otras, esto afirmado por la observación de que las cenizas de cimbra en desuso fueron más abundantes y con menor tiempo de combustión para su obtención.
- D. Los efectos de absorción del manto generado por cenizas de huizache son mejores que la mezcla tradicional empleada para impermeabilización, sin embargo, las cenizas de madera en desuso presentan mayor eficiencia en cualquiera de las edades de análisis de probetas.
- E. La transpiración en elementos constructivos como losas es de suma importancia ya que la acumulación de humedad provoca desgastes, desprendimientos de acabados e incluso perdidas estructurales, en este caso de estudio se pudo observar que las mezclas con cenizas adicionadas permiten la transpiración al no generar un recubrimiento que acumule por mucho tiempo la humedad de los cuerpos a los que se les aplico, por lo que el resultado fue aceptable al ver un efecto de liberación de humedad de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

forma adecuada, destacando que las cenizas de huizache permiten la transpiración de manera más lenta que las cenizas de cimbra en desuso.

F. La permeabilidad observada en cada una de las probetas lógicamente se reduce enormemente al comparar un cuerpo sin recubrimiento a una superficie con impermeabilizante, observando en esta campaña experimental, una mezcla tradicional con mucilago de nopal permea de forma aceptable, al adicionar cenizas de huizache la propiedad impermeable resulta más eficiente al tener las consideraciones de aplicación y mantenimiento adecuados, por otra parte la ceniza de madera en desuso ofrece un rendimiento óptimo y de mejor eficiencia al generar un efecto impermeable por mayor tiempo, evitando que el líquido se infiltrará a las probetas recubiertas, cabe mencionar que la eficiencia depende del contenido de cenizas adicionadas, en todos los casos es aceptable pero considerando rangos de adición de 10% a 30% el comportamiento es altamente aceptable.

G. La adherencia de los mantos impermeables se observó detalladamente, permitiendo definir un comportamiento adecuado de las mezclas generadas con cenizas adicionadas de madera de huizache y madera de cimbra en desuso, en ambos casos se observó un funcionamiento adecuado, así mismo se obtuvo un desgaste lógico por la vida del recubrimiento a mayor edad es mayor el desprendimiento y desgaste de la superficie por lo que ha de considerarse en la utilización de este tipo de impermeable un constante mantenimiento y refuerzo de las superficies.

### 6.3 Nichos de investigación

- A. Caracterización de maderas en desuso, procedencia y composición
- B. Utilización de cenizas en concretos para la evaluación de su resistencia estructural
- C. Desarrollo de método normativo para la evaluación de transpiración en cuerpos y superficies recubiertos.
- D. Manipulación y generación de cenizas con contenido artificial de lignina para el aumento en propiedades hidrófobas.



## Referencias

- Bodí B., Doerr M., (2012) Efectos de las cenizas y la repelencia al agua en la hidrología de suelos afectados por incendios forestales en ecosistemas mediterráneos. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia, España, 2012
- Bodí M. B., Mataix-Solera, J., Doerr S. H., Cerdà A. (2011). The wettability of ash from burned vegetation and its relationship to Mediterranean plant species type, burn severity and total organic carbon content. *Geoderma*, Vol. 160, Issues 3–4, 15, Pages 599-60
- Cárdenas A., Argüelles M. W. M., Goycoolea, F.M. 1998. On the posible rol of *Opuntia ficus-indica* mucilage in lime mortar performance in the protection of histotical buildings. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.* 3: 64-71.
- Cordero T., Rodríguez M. J., Bedia J., Rodríguez J. J. (2007). Preparation of carbon materials from lignin. *Óptica pura y aplicada*. Vol 40(2) 161-168
- Cruz A. J.J. (1999). Sistemas de Impermeabilización para Edificios. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 4(3).
- De Guzmán, D. A. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar Editores.
- Droguett, E. A. A., & Universidad de Chile. Escuela de Agronomía. (2002). Extracción de mucílago de nopal: evaluación de variables que afectan el rendimiento. Universidad de Chile.
- Espinoza C. A. (2016). Caracterización técnica económica para la implementación de impermeabilizantes naturales en viviendas de autoconstrucción, popular y de

interés social. Tesis de Maestría en Ing. Civil en el área de construcción. U. A. de Aguascalientes

Hernández M. H. (2013). Utilización de lignina de olote de maíz como componente en películas base almidón. Tesis de Maestría. Universidad Iberoamericana. Cd. De México, 2013.

López, L.J. (2005). Humedades en la construcción. CEAC. Recuperado a partir de Luis Lesur, L.L. (1998). Manual de Impermeabilización: Una guía paso a paso. Trillas.

Torres Acosta A. A., Martínez M. y Celis, C. 2004. Cementbased mortar improvement from nopal and *Aloe vera* additions. 4º Foro de Investigación UDEM: Universidad de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México.

Vassilev, Stanislav B., Andersen D., Lars Vassileva C. (2013). An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification.; 105:40-76.

Vázquez-Burgo P. et al. (2014). Estudio sobre la utilización de cenizas de biomasa para la fabricación de un nuevo material de construcción. Universidad de la Coruña, España. ISBN-13: 978-84-697-0799-9.

Villaseñor A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y Estudio de su aplicación como Recubrimiento comestible. Tesis Doctora. Universidad Politécnica de Valencia.

W.P. Campbell J., Pryce W. (2004). Ladrillo. Historia Universal. Art Blume, S. L.

# TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

## Anexos.

### Norma ASTM

#### **ASTM Designation: D 3359 – 97** **Standard Test Methods for** **Measuring Adhesion by Tape Test**

This standard is issued under the fixed designation D 3359; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (€) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### **1. Scope**

**1.1** These test methods cover procedures for assessing the adhesion of coating films to metallic substrates by applying and removing pressure-sensitive tape over cuts made in the film.

**1.2** Test Method A is primarily intended for use at job sites while Test Method B is more suitable for use in the laboratory. Also, Test Method B is not considered suitable for films thicker than 5 mils (125µm).

NOTE 1—Subject to agreement between the purchaser and the seller, Test Method B can be used for thicker films if wider spaced cuts are employed.

**1.3** These test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at a generally adequate level. They do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required.

NOTE 2—It should be recognized that differences in adherability of the coating surface can affect the results obtained with coatings having the same inherent adhesion.

**1.4** In multicoat systems adhesion failure may occur between coats so that the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

**1.5** The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

**1.6** *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### **2. Referenced Documents**

##### **2.1 ASTM Standards:**

D 609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products<sup>2</sup>

D 823 Practice for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels<sup>2</sup>

D 1000 Test Methods For Pressure-Sensitive Adhesive-Coated Tapes Used for Electrical and Electronic Applications<sup>3</sup>

D 1730 Practices for Preparation of Aluminum and Aluminum-Alloy Surfaces for Painting<sup>4</sup>

- D 2092 Guide for Preparation of Zinc-Coated (Galvanized) Steel Surfaces for Painting<sup>5</sup>  
D 2197 Test Methods for Adhesion of Organic Coatings by Scrape Adhesion<sup>2</sup>  
D 2370 Test Method for Tensile Properties of Organic Coatings<sup>2</sup>  
D 3330 Test Method for Peel Adhesion of Pressure-Sensitive Tape of 180° Angle<sup>6</sup>  
D 3924 Specification for Standard Environment for Conditioning and Testing Paint, Varnish, Lacquers, and Related Materials<sup>2</sup>  
D 4060 Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser<sup>2</sup>

### 3. Summary of Test Methods

**3.1 Test Method A**—An X-cut is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the cut and then removed, and adhesion is assessed qualitatively on the 0 to 5 scale.

**3.2 Test Method B**—A lattice pattern with either six or eleven cuts in each direction is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the lattice and then removed, and adhesion is evaluated by comparison with descriptions and illustrations.

### 4. Significance and Use

**4.1** If a coating is to fulfill its function of protecting or decorating a substrate, it must adhere to it for the expected service life. Because the substrate and its surface preparation (or lack of it) has a drastic effect on the adhesion of coatings, a method of evaluation adhesion of a coating to different substrates or surface treatments, or of different coatings to the same substrate and treatment, is of considerable usefulness in the industry.

**4.2** The limitations of all adhesion methods and the specific limitation of this test method to lower levels of adhesion (see 1.3) should be recognized before using it. The intra- and inter-laboratory precision of this test method is similar to other widely-accepted tests for coated substrates (for example, Test Method D 2370 and Test Method D 4060), but this is partly the result of it being insensitive to all but large differences in adhesion. The limited scale of 0 to 5 was selected deliberately to avoid a false impression of being sensitive.

### TEST METHOD A—X-CUT TAPE TEST

#### 5. Apparatus and Materials

**5.1 Cutting Tool**—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting devices. It is of particular importance that the cutting edges be in good condition.

**5.2 Cutting Guide**—Steel or other hard metal straightedge to ensure straight cuts.

**5.3 Tape**—One-inch (25-mm) wide semitransparent pressure-sensitive tape with an adhesion strength agreed upon by the supplier and the user is needed<sup>7</sup>. Because of the variability in adhesion strength from batch-to-batch and with time, it is essential that tape from the same batch be used when tests are to be run in different laboratories. If this is not possible the test method should be used only for ranking a series of test coatings.

**5.4 Rubber Eraser**, on the end of a pencil.

**5.5 Illumination**—A light source is helpful in determining whether the cuts have been made through the film to the substrate.

## 6. Test Specimens

**6.1** When this test method is used in the field, the specimen is the coated structure or article on which the adhesion is to be evaluated.

**6.2** For laboratory use apply the materials to be tested to panels of the composition and surface conditions on which it is desired to determine the adhesion.

NOTE 3—Applicable test panel description and surface preparation methods are given in practice D 609 and Practices D 1730 and D 2092.

NOTE 4—Coatings should be applied in accordance with Practice D 823, or as agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 5—If desired or specified, the coated test panels may be subjected to a preliminary exposure such as water immersion, salt spray, or high humidity before conducting the tape test. The conditions and time of exposure will be governed by ultimate coating use or shall be agreed upon between the purchaser and seller.

## 7. Procedure

**7.1** Select an area free of blemishes and minor surface imperfections. For tests in the field, ensure that the surface is clean and dry. Extremes in temperature or relative humidity may affect the adhesion of the tape or the coating.

**7.2** Make two cuts in the film each about 1.5 in. (40 mm) long that intersect near their middle with a smaller angle of between 30 and 45°. When making the incisions, use the straightedge and cut through the coating to the substrate in one steady motion.

**7.3** Inspect the incisions for reflection of light from the metal substrate to establish that the coating film has been penetrated. If the substrate has not been reached make another X in a different location. Do not attempt to deepen a previous cut as this may affect adhesion along the incision.

**7.4** Remove two complete laps of the pressure-sensitive tape from the roll and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 3 in. (75 mm) long.

**7.5** Place the center of the tape at the intersection of the cuts with the tape running in the same direction as the smaller angles. Smooth the tape into place by finger in the area of the incisions and then rub firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the transparent tape is a useful indication of when good contact has been made.

**7.6** Within 90 to 30 s of application, remove the tape by seizing the free end and pulling it off rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

**7.7** Inspect the X-cut area for removal of coating from the substrate or previous coating and rate the adhesion in accordance with the following scale:

5A No peeling or removal,

4A Trace peeling or removal along incisions or at their intersection,

3A Jagged removal along incisions up to 1/16 in. (1.6 mm) on either side,

2A Jagged removal along most of incisions up to 1/8 in. (3.2 mm) on either side,

1A Removal from most of the area of the X under the tape, and

0A Removal beyond the area of the X.

- 7.8** Repeat the test in two other locations on each test panel. For large structures make sufficient tests to ensure that the adhesion evaluation is representative of the whole surface.
- 7.9** After making several cuts examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone before using again. Discard cutting tools that develop nicks or other defects that tear the film.

## **8. Report**

- 8.1** Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.
- 8.2** For field tests report the structure or article tested, the location and the environmental conditions at the time of testing.
- 8.3** For test panels report the substrate employed, the type of coating, the method of cure, and the environmental conditions at the time of testing.
- 8.4** If the adhesion strength of the tape has been determined in accordance with Test Methods D 1000 or D 3330, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer. 7 Permacel 99, manufactured by Permacel, New Brunswick, NJ 08903, and available from various Permacel tape distributors, is reported to be suitable for this purpose. The manufacturer of this tape and the manufacturer of the tape used in the interlaboratory study (see RR: D01-1008), have advised this subcommittee that the properties of these tapes were changed. Users of it should, therefore, check whether current material gives comparable results to previous supplied material.

## **9. Precision and Bias 8**

- 9.1** In an interlaboratory study of this test method in which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion, the within-laboratories standard deviation was found to be 0.33 and the between-laboratories 0.44. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:
- 9.1.1** *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than 1 rating unit for two measurements.
- 9.1.2** *Reproducibility*—Two results, each the mean of triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than 1.5 rating units.
- 9.2** Bias cannot be established for these test methods.

## **TEST METHOD B—CROSS-CUT TAPE TEST**

### **10. Apparatus and Materials**

- 10.1** *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting device having a cutting edge angle between 15 and 30° that will make either a single cut or several cuts at once<sup>9</sup>. It is of particular importance that the cutting edge or edges be in good condition.
- 10.2** *Cutting Guide*—If cuts are made manually (as opposed to a mechanical apparatus) a steel or other hard metal straightedge or template to ensure straight cuts.
- 10.3** *Rule*—Tempered steel rule graduated in 0.5 mm for measuring individual cuts.

10.4 *Tape*, as described in 5.3.

10.5 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

10.6 *Illumination*, as described in 5.5.

10.7 *Magnifying Glass*—An illuminated magnifier to be used while making individual cuts and examining the test area.

## 11. Test Specimens

11.1 Test specimens shall be as described in Section 6. It should be noted, however, that multitip cutters provide good results only on test areas sufficiently plane<sup>10</sup> that all cutting edges contact the substrate to the same degree. Check for flatness with a straight edge such as that of the tempered steel rule (10.3).

## 12. Procedure

12.1 Where required or when agreed upon, subject the specimens to a preliminary test before conducting the tape test (see Note 3). After drying or testing the coating, conduct the tape test at room temperature as defined in Specification D 3924, unless D 3924 standard temperature is required or agreed.

12.2 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections, place on a firm base, and under the illuminated magnifier, make parallel cuts as follows:

12.2.1 For coatings having a dry film thickness up to and including 2.0 mils (50  $\mu\text{m}$ ) space the cuts 1 mm apart and make eleven cuts unless otherwise agreed upon.

12.2.2 For coatings having a dry film thickness between 2.0 mils (50  $\mu\text{m}$ ) and 5 mils (125  $\mu\text{m}$ ), space the cuts 2 mm apart and make six cuts. For films thicker than 5 mils use Test Method A.11

12.2.3 Make all cuts about 3/4 in. (20 mm) long. Cut through the film to the substrate in one steady motion using just sufficient pressure on the cutting tool to have the cutting edge reach the substrate. When making successive single cuts with the aid of a guide, place the guide on the uncut area.

12.3 After making the require cuts brush the film lightly with a soft brush or tissue to remove any detached flakes or ribbons of coatings.

12.4 Examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone. Make the additional number of cuts at 90° to and centered on the original cuts.

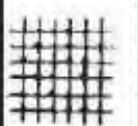
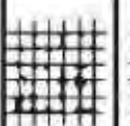
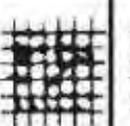
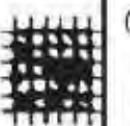
12.5 Brush the area as before and inspect the incisions for reflection of light from the substrate. If the metal has not been reached make another grid in a different location.

12.6 Remove two complete laps of tape and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 3 in. (75 mm) long.

12.7 Place the center of the tape over the grid and in the area of the grid smooth into place by a finger. To ensure good contact with the film rub the tape firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the tape is a useful indication of when good contact has been made.

12.8 Within 90  $\pm$  30 s of application, remove the tape by seizing the free end and rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

12.9 Inspect the grid area for removal of coating from the substrate or from a previous coating using the illuminated magnifier. Rate the adhesion in accordance with the following scale illustrated in Fig. 1:

Surface of cross-cut area from which flaking has occurred. (Example for 6 parallel cuts)	None						Greater than 65%
<b>Classification</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	

- 5:** The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.
- 4:** Small flakes of the coating are detached at intersections; less than 5 % of the area is affected.
- 3:** Small flakes of the coating are detached along edges and at intersections of cuts. The area affected is 5 to 15 % of the lattice.
- 2:** The coating has flaked along the edges and on parts of the squares. The area affected is 15 to 35 % of the lattice.
- 1:** The coating has flaked along the edges of cuts in large ribbons and whole squares have detached. The area affected is 35 to 65 % of the lattice.
- 0:** Flaking and detachment worse than Grade 1.

Note: Test Method B has been used successfully by some people on coatings greater than 5 mils (0.13 mm) by spacing the cuts 5 mm apart. However, the precision values given in 14.1 do not apply as they are based on coatings less than 5 mm (0.13 mm) in thickness.

**12.10** Repeat the test in two other locations on each test panel.

**13. Report**

- 13.1** Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred, that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.
- 13.2** Report the substrate employed, the type of coating and the method of cure.
- 13.3** If the adhesion strength has been determined in accordance with Test Methods D 1000 or D 3330, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

**14. Precision and Bias 8**

**14.1** On the basis of two interlaboratory tests of this test method in one of which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion and in the other operators in six laboratories made three measurements on two panels each of four different coatings applied over two other coatings, the pooled standard deviations for within- and between laboratories were found to be 0.37 and 0.7. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

- 14.1.1 Repeatability**—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than one rating unit for two measurements.

**14.1.2 Reproducibility**—Two results, each the mean of duplicates or triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than two rating units.

**14.2** Bias cannot be established for these test methods.

**15. Keywords**

**15.1** adhesion; tape; crosscut adhesion test method; tape adhesion test method; X-cut adhesion test method

**APPENDIX  
(Nonmandatory Information)**

**X1. COMMENTARY**

**X1.1 Introduction**

**X1.1.1** Given the complexities of the adhesion process, can adhesion be measured? As Mittal (1)12 has pointed out, the answer is both yes and no. It is reasonable to state that at the present time no test exists that can precisely assess the actual physical strength of an adhesive bond. But it can also be said that it is possible to obtain an indication of relative adhesion performance.

**X1.1.2** Practical adhesion test methods are generally of two types: “*implied*” and “*direct*”. “*Implied*” tests include indentation or scribe techniques, rub testing, and wear testing. Criticism of these tests arises when they are used to quantify the strength of adhesive bonding. But this, in fact, is not their purpose. An “*implied*” test should be used to assess coating performance under actual service conditions. “*Direct*” measurements, on the other hand, are intended expressly to measure adhesion. Meaningful tests of this type are highly sought after, primarily because the results are expressed by a single discrete quantity, the force required to rupture the coating/substrate bond under prescribed conditions. Direct tests include the Hesiometer and the Adherometer (2). Common methods which approach the direct tests are peel, lap/shear, and tensile tests.

**X1.2 Test Methods**

**X1.2.1** In practice, numerous types of tests have been used to attempt to evaluate adhesion by inducing bond rupture by different modes. Criteria deemed essential for a test to warrant large-scale acceptance are: use of a straightforward and unambiguous procedure; relevance to its intended application; repeatability and reproducibility; and quantifiability, including a meaningful rating scale for assessing performance.

**X1.2.2** Test methods used for coatings on metals are: peel adhesion or “tape testing”; Gardner impact flexibility testing; and adhesive joint testing including shear (lap joint) and direct tensile (butt joint) testing. These tests do not strictly meet all the criteria listed, but an appealing aspect of these tests is that in most cases the equipment/instrumentation is readily available or can be obtained at reasonable cost.

**X1.2.3** A wide diversity of tests methods have been developed over the years that measure aspects of adhesion (1-5). There generally is difficulty, however, in relating these tests to basic adhesion phenomena.

### **X1.3 The Tape Test**

**X1.3.1** By far the most prevalent test for evaluating coating "adhesion" is the tape-and-peel test, which has been used since the 1930's. In its simplest version a piece of adhesive tape is pressed against the paint film and the resistance to and degree of film removal observed when the tape is pulled off. Since an intact film with appreciable adhesion is frequently not removed at all, the severity of the test is usually enhanced by cutting into the film a figure X or a cross hatched pattern, before applying and removing the tape. Adhesion is then rated by comparing film removed against an established rating scale. If an intact film is peeled cleanly by the tape, or if it debonds just by cutting into it without applying tape, then the adhesion is rated simply as poor or very poor, a more precise evaluation of such films not being within the capability of this test.

**X1.3.2** The current widely-used version was first published in 1974; two test methods are covered in this standard. Both test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at an adequate level; however they do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required. Major limitations of the tape test are its low sensitivity, applicability only to coatings of relatively low bond strengths, and non-determination of adhesion to the substrate where failure occurs within a single coat, as when testing primers alone, or within or between coats in multicoat systems. For multicoat systems where adhesion failure may occur between or within coats, the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

**X1.3.3** Repeatability within one rating unit is generally observed for coatings on metals for both methods, with reproducibility of one to two units. The tape test enjoys widespread popularity and is viewed as "simple" as well as low in cost. Applied to metals, it is economical to perform, lends itself to job site application, and most importantly, after decades of use, people feel comfortable with it.

**X1.3.4** When a flexible adhesive tape is applied to a coated rigid substrate surface and then removed, the removal process has been described in terms of the "peel phenomenon," as illustrated in Fig. X1.1.

**X1.3.5** Peeling begins at the "toothed" leading edge (at the right) and proceeds along the coating adhesive/interface or the coating/substrate interface, depending on the relative bond strengths. It is assumed that coating removal occurs when the tensile force generated along the latter interface, which is a function of the rheological properties of the backing and adhesive layer materials, is greater than the bond strength at the coating-substrate interface (or cohesive strength of the coating). In actuality, however, this force is distributed over a discrete distance (O-A) in Fig. X1.1, which relates directly to the properties described, not concentrated at a point (O) in Fig. X1.1 as in the theoretical case—though the tensile force is greatest at the origin for both. A significant compressive force arises from the response of the tape backing material to being stretched. Thus both tensile and compressive forces are involved in adhesion tape testing.

**X1.3.6** Close scrutiny of the tape test with respect to the nature of the tape employed and certain aspects of the procedure itself reveal several factors, each or any combination of which can dramatically affect the results of the test as discussed (6).

## **X1.4 Peel Adhesion Testing on Plastic Substrates**

**X1.4.1** Tape tests have been criticized when used for substrates other than metal, such as plastics. The central issues are that the test on plastics lacks reproducibility and does not relate to the intended application. Both concerns are well founded: poor precision is a direct result of several factors intrinsic to the materials employed and the procedure itself. More importantly, in this instance the test is being applied beyond its intended scope. These test methods were designed for relatively ductile coatings applied to metal substrates, not for coatings (often brittle) applied to plastic parts (7). The unique functional requirements of coatings on plastic substrates cause the usual tape tests to be unsatisfactory for measuring adhesion performance in practice.

## **X1.5 The Tape Controversy**

**X1.5.1** With the withdrawal from commerce of the tape specified originally, 3M No. 710, current test methods no longer identify a specific tape. Differences in tapes used can lead to different results as small changes in backing stiffness and adhesive rheology cause large changes in the tension area. Some commercial tapes are manufactured to meet minimum standards. A given lot may surpass these standards and thus be suitable for general market distribution; however, such a lot may be a source of serious and unexpected error in assessing adhesion. One commercially available tape test kit had included a tape with adhesion strength variations of up to 50 % claimed by the manufacturer. Also, because tapes change on storage, bond strengths of the tape may change over time (7, 8).

**X1.5.2** While there are tapes available that appear to deliver consistent performance, a given tape does not adhere equally well to all coatings. For example, when the peel removal force of the tape (from the coating) used earlier by Task Group D01 73 10 to establish precision of the method, by 3M No. 710 was examined with seven different electromagnetic interference/radio frequency interference (EMI/RFI) coatings, it was found that, while peel was indeed consistent for a given coating, the value varied by 25 % between the highest and lowest ratings among coatings. Several factors that contribute to these differences include coating composition and topology: as a result, no single tape is likely to be suitable for testing all coatings. Further, the tape test does not give an absolute value for the force required for bond rupture, but serves only as an indicator that some minimum value for bond strength was met or exceeded (7, 8).

## **X1.6 Procedural Problems**

**X1.6.1** The tape test is operator intensive. By design it was made as simple as possible to perform, and requires a minimum of specialized equipment and materials that must meet certain specifications. The accuracy and precision depend largely upon the skill of the operator and the operator's ability to perform the test in a consistent manner. Key steps that directly reflect the importance of operator skill include the angle and rate of tape removal and the visual assessment of the tested sample. It is not unexpected that different operators might obtain different results (7, 8).

### **X1.6.2 Peel Angle and Rate:**

The standard requires that the free end of the tape be removed rapidly at as close to a 180° angle as possible. If the peel angle and rate vary, the force required to remove the tape can change dramatically. Nearly linear increases were observed in peel force approaching 100 % as peel angle was changed from 135 to 180, and similar large

differences can be expected in peel force as peel rate varies. These effects are related as they reflect certain rheological properties of the backing and adhesive that are molecular in origin. Variation in pull rate and peel angle can effect large differences in test values and must be minimized to assure reproducibility (9).

**X1.6.3 Visual Assessment:**

The final step in the test is visual assessment of the coating removed from the specimen, which is subjective in nature, so that the coatings can vary among individuals evaluating the same specimen (9).

**X1.6.3.1** Performance in the tape test is based on the amount of coating removed compared to a descriptive scale. The exposure of the substrate can be due to factors other than coating adhesion, including that arising from the requirement that the coating be cut (hence the synonym "cross-hatch adhesion test"). Justification for the cutting step is reasonable as cutting provides a free edge from which peeling can begin without having to overcome the cohesive strength of the coating layer.

**X1.6.3.2** Cutting might be suitable for coatings applied to metal substrates, but for coatings applied to plastics or wood, the process can lead to a misleading indication of poor adhesion due to the unique interfacial zone. For coatings on soft substrates, issues include how deep should this cut penetrate, and is it possible to cut only to the interface?

**X1.6.3.3** In general, if adhesion test panels are examined microscopically, it is often clearly evident that the coating removal results from substrate failure at or below the interface, and not from the adhesive failure between the coating and the substrate. Cohesive failure within the coating film is also frequently observed. However, with the tape test, failures within the substrate or coating layers are rare because the tape adhesive is not usually strong enough to exceed the cohesive strengths of normal substrates and organic coatings. Although some rather brittle coatings may exhibit cohesive failure, the tape test adhesion method does not make provision for giving failure locality (7, 8).

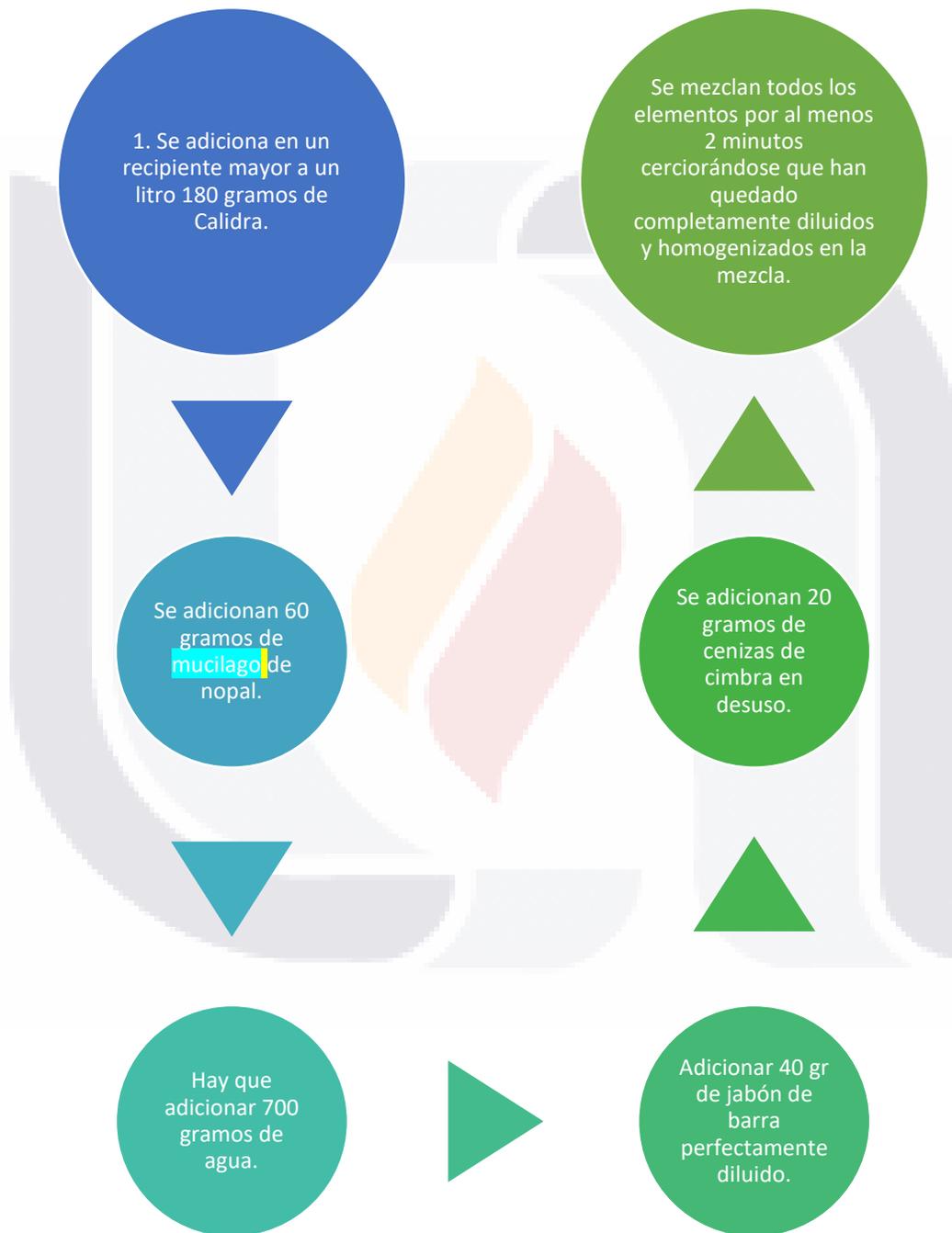
**X1.6.4** Use of the test method in the field can lead to variation in test results due to temperature and humidity changes and their effect upon tape, coating and substrate.

**X1.7 Conclusion**

**X1.7.1** All the issues aside, if these test methods are used within the Scope Section and are performed carefully, some insight into the approximate, relative level of adhesion can be gained.

**END**

Procedimiento para la preparación del impermeabilizante óptimo, conforme a los resultados de esta investigación, con mucílago de nopal y un 10% de cenizas de madera en desuso.



1. Para la aplicación en superficies:

- a. Limpiar completamente la superficie, asegurándose que está libre de residuos y polvos que puedan afectar la adherencia del producto.
- b. Recubrir con rodillo toda la superficie hasta que quede completamente sellado, considerando que la cantidad de impermeabilizante a utilizar dependerá de la rugosidad de la superficie.
- c. Esperar 25 minutos para el secado primario de la primera capa para adicionar la segunda capa, la segunda mano dependiendo del tamaño de superficie puede ser con rodillo o brocha, considerando que la aplicación con rodillo siempre será más eficiente y rápida, así como segura al brindar mejor sello en área de aplicación.

Preliminares

1. Para la obtención del mucílago de nopal, es necesario poner a reposar 310 gramos de pencas de nopal de cardón en 580 ml de agua durante 48 horas, esta proporción resultante del análisis de rendimiento de mucílago de nopal, con la finalidad de generar una solución al 9.55% de concentración de mucílago de nopal.
2. Considerando que ya habrá 580 gramos de agua en la solución de mucílago de nopal, solo se adiciona la diferencia con los 700 ml totales requeridos.

3. Para la ceniza requerida, con base al análisis de rendimiento de madera de cimbra es requerido combustionar 500 gramos de madera en desuso para obtener los 20 gr requeridos para esta mezcla.

Nota: los factores de rendimiento son obtenidos de las tablas de porcentajes de rendimiento obtenidas en esta investigación (Tabla 23 y Tabla 25)

