

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESTUDIO DE MEZCLAS DE MORTERO DE CAL CON ADICIONES
DE MUCÍLAGO

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

THALÍA FERNANDA ESPÍN BARRAGÁN

thalia.espin@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA, MBA

german.luna@epn.edu.ec

DMQ, AGOSTO 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Thalía Fernanda Espín Barragán declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

THALÍA FERNANDA ESPÍN BARRAGÁN

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Thalía Fernanda Espín Barragán, bajo mi supervisión.

ING. GERMÁN VINCIO LUNA HERMOSA, MBA

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

THALÍA FERNANDA ESPÍN BARRAGÁN

ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA, MBA

DEDICATORIA

Amados padres, Germán Espín y Galuth Barragán,

Hoy es un día de emociones encontradas, un momento lleno de gratitud y felicidad, pues gracias a su esfuerzo y apoyo incondicional, esta larga travesía está por culminar. Es con profunda emoción que dedico esta graduación a ustedes, mis amados padres, quienes han sido el pilar fundamental en este camino de aprendizaje y crecimiento.

Su dedicación y sacrificio a lo largo de todos estos años han sido la base sólida sobre la cual he construido mi educación y aspiraciones. Desde el inicio, me brindaron las herramientas para enfrentar los desafíos y nunca dejaron de animarme a alcanzar mis metas. Cada logro que hoy celebro es también un reflejo de su amor y compromiso como padres.

Querido hermano, Elvis Espín.

En este momento especial de mi vida, quiero dedicarte unas palabras llenas de cariño y gratitud. Hoy culmina un largo y emocionante camino, un viaje lleno de aprendizaje y crecimiento personal y a través de estas líneas, quiero expresar mi profundo agradecimiento y dedicarte este trabajo de integración curricular, el cual es un paso trascendental hacia mi graduación como ingeniera civil.

Con cariño y gratitud,

Thalía Fernanda Espín Barragán

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la fortaleza, sabiduría y perseverancia a lo largo de la carrera. Su guía divina ha sido fundamental para completar esta etapa de mi vida.

A mis amados padres, Germán Espín y Galuth Barragán, quienes han sido mi mayor apoyo y fuente de inspiración. Gracias por su amor incondicional, sus sacrificios y su constante aliento. Su confianza en mí y su apoyo inquebrantable han sido pilares fundamentales en mi camino hacia la culminación de esta etapa.

A mi hermano, Elvis Espín, quien siempre ha estado a mi lado, brindándome su apoyo incondicional y alentándome en cada paso de este largo camino. Gracias por ser mi motivación constante.

A mi tía Livia Barragán, por su apoyo constante y sus palabras de aliento a lo largo de esta carrera. Gracias por llenarme de motivación.

A mi tío Javier Ocampo, por todo el apoyo incondicional que me ha brindado.

Un agradecimiento muy especial al Ingeniero Germán Luna, por ser el mejor director. Su dedicación, experiencia y guía ha sido fundamental para alcanzar el objetivo propuesto. Gracias por su orientación académica a lo largo de esta carrera. Su paciencia, compromiso y valiosos consejos han sido invaluable para mí, agradezco su apoyo constante, su confianza en mis capacidades y la disposición que siempre tuvo para compartir sus conocimientos.

A la ingeniera Mercedes Villacis, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su orientación experta y generosidad con su tiempo. Su apoyo ha sido esencial en mi desarrollo académico.

A mis amigos, quienes han estado a mi lado durante este viaje académico. Gracias por su amistad sincera, su apoyo constante y su ánimo positivo.

Y, en general deseo expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental para alcanzar este objetivo.

Thalia Fernanda Espín Barragán

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1	Objetivo general	2
1.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	Alcance.....	3
2	Marco teórico.....	4
2.1	Patrimonio Cultural	4
2.2	Patrimonio Cultural del Ecuador	4
2.3	INPC.....	5
2.4	Preservación de las estructuras patrimoniales.....	6
2.5	La carta de Venecia.....	6
2.6	Proceso de preservación y restauración de elementos patrimoniales	7
2.7	Cementantes	8
2.8	Cal	8
2.9	Ciclos de la cal	8
2.10	Morteros de cal	9
2.10.1	Aditivos.....	9
2.10.2	Mucílago.....	9
2.10.3	Mucílago de Nopal.....	10
2.10.4	Integración de mucílago de nopal en componentes de construcción.	10
2.10.5	Morteros de cal con adiciones de mucílago de nopal.....	10
3	METODOLOGÍA.....	11
3.1	Descripción de materiales.....	11
3.1.1	Piedra caliza.....	11
3.1.2	Arena de Ottawa.....	12
3.1.3	Arena de la mina de Pifo	13
3.1.4	Nopal.....	15
3.2	Preparación de insumos	16
3.2.1	Apagado de la cal.....	16
3.2.2	Extracción del mucílago de nopal	19
3.3	Elaboración de especímenes de morteros.....	22
3.3.1	Morteros patrón	22
3.3.2	Morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal.....	23
3.3.3	Dosificación normativa.....	24
3.3.4	Contenido de humedad	25
3.3.5	Dosificación real	26

3.3.6	Preparación de la mezcla	27
3.3.7	Ensayo de flujo	31
3.3.8	Cálculo del flujo	34
3.4	Fabricación de cubos.....	34
3.4.1	Ensayo de densidad en seco.....	38
3.4.2	Ensayo de compresión simple	39
3.4.3	Durabilidad (afectaciones del intemperismo)	40
3.4.4	Medida de fisuramiento	41
3.4.5	Interrupción de la hidratación.....	41
3.4.6	Difracción de rayos x	47
4	RESULTADOS	49
4.1	Resultados de los morteros patrón	49
4.1.1	Ensayo de Flujo.....	49
4.1.2	Densidad de los especímenes de mortero en estado seco.....	49
4.1.3	Resistencia a la compresión simple.....	50
4.1.4	Difracción de rayos x (XDR)	51
4.2	Resultados de los morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal 53	
4.2.1	Ensayo de Flujo.....	53
4.2.2	Densidad de los especímenes de mortero en estado seco.....	54
4.2.3	Resistencia a la compresión simple.....	55
4.2.4	Durabilidad (afectaciones del intemperismo)	57
4.2.5	Medida de fisuramiento	58
4.2.6	difracción de rayos x (XDR).....	59
4.3	Resultados comparativos de difracción de rayos x (XDR).....	61
4.3.1	Morteros patrón con arena de Ottawa y morteros con adiciones de mucílago de nopal del 5%, 10% y 20%.....	61
4.3.2	Morteros patrón con arena de la mina de Pifo y morteros con adiciones de mucílago de nopal del 5%, 10% y 20%.....	64
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1	Conclusiones	66
5.2	Recomendaciones.....	68
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
7	ANEXOS.....	72
	ANEXO I.....	72
7.1	DATOS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE	72
	ANEXO II.....	72

7.2 DETERMINACIÓN DEL FLUJO.....	72
ANEXO III.....	74
7.3 CÁLCULO DE DENSIDAD EN SECO.....	74
ANEXO IV.....	77
7.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE 77	
ANEXO V.....	79
7.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RAYOS X.....	79
ANEXO VI.....	87
7.1 RESULTADOS ENTREGADOS POR PARTE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEMSUR).....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclos de cal.....	8
Figura 2. Muestras de piedra Caliza.....	11
Figura 3. Arena de sílice de Ottawa.....	12
Figura 4. Curva granulométrica de la arena de la mina de Pifo.....	14
Figura 5. Resultados del ensayo de contenido orgánico.....	15
Figura 6. Hojas de nopal.....	16
Figura 7. Muestras de piedra Caliza.....	17
Figura 8. Proceso de hidratación de la piedra caliza.....	18
Figura 9. Toma de la temperatura de la fase de apagado de la cal.....	18
Figura 10. Almacenamiento de la cal apagada.....	19
Figura 11. Limpieza de las hojas de nopal.....	20
Figura 12. Fraccionamiento de las hojas de nopal.....	20
Figura 13. Toma del peso de la muestra de nopal.....	21
Figura 14. Muestra de mezcla de agua con nopal.....	21
Figura 15. Extracción de la sustancia de mucílago de nopal.....	22
Figura 16. Mucílago de nopal.....	22
Figura 17. Mezcladora eléctrica planetaria.....	28
Figura 18. Ajustes del soporte permitido.....	28
Figura 19. Paleta.....	29
Figura 20. Recipientes de mezclado.....	29
Figura 21. Mesa de flujo.....	31
Figura 22. Dimensiones de la mesa de flujo.....	32
Figura 23. Toma de medidas del diámetro de la muestra del mortero.....	33
Figura 24. Molde de tres compartimentos para especímenes cúbicos de 50 mm de arista.....	35
Figura 25. Secuencia de compactación durante la formación de las muestras de prueba.....	35
Figura 26. Moldeado de especímenes de morteros.....	36
Figura 27. Morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5% de nopal con el cementante.....	37
Figura 28. Morteros de cal apagada con sustitución parcial del 10% de nopal con el cementante.....	37
Figura 29. Morteros de cal apagada con sustitución parcial del 20% de nopal con el cementante.....	38
Figura 30. Máquina de compresión CONTROLS UTM 200 kN.....	40
Figura 31. Medidor de fisuras.....	41
Figura 32. Interrupción de la hidratación de muestras de morteros de cal en refrigeración a 18 °C.....	42
Figura 33. Alcohol isopropílico.....	43
Figura 34. Éter etílico.....	43
Figura 35. Bomba de vacío.....	44
Figura 36. Embudo Büchner.....	44
Figura 37. Muestras trituradas de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal.....	45
Figura 38. Hidratación de la muestra con alcohol isopropílico.....	45
Figura 39. Desecador con muestras de morteros de cal.....	46

Figura 40. Equipo de Difracción de Rayos X.....	48
Figura 41. Muestra del espécimen para el ensayo de Rayos X.....	48
Figura 42. Resultados de difracción de rayos X del mortero patrón elaborado con la arena de sílice de Ottawa (C: calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).	51
Figura 43. Resultados de difracción de rayos X del mortero patrón elaborado con la arena de la mina de Pifo (C: calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).	52
Figura 44. Curva de resistencia a Compresión Simple.....	56
Figura 45. Resultados comparativos de la resistencia a la compresión simple.....	57
Figura 46. Morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 90 días de curado , expuestos al intemperismo (Día 1).....	57
Figura 47. morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 90 días de curado, expuestos al intemperismo (Día 60).....	58
Figura 48. Mortero de cal apagada con adición del 5% de mucílago de nopal en sustitución con el cementante a 90 días de curado (medida de fisuramiento).....	58
Figura 49. Mortero de cal apagada con adición del 10% de mucílago de nopal en sustitución con el cementante a 90 días de curado (medida de fisuramiento).....	59
Figura 50. Mortero de cal apagada con adición del 10% de mucílago de nopal en sustitución con el cementante a 90 días de curado (medida de fisuramiento).....	59
Figura 51. Difracción de Rayos X (RDX) de los morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 90 días de curado (C: Calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).	60
Figura 52. Difracción de Rayos X (RDX) de los especímenes de mortero patrón elaborado con arena de Sílice de Ottawa y morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal a 90 días de curado (C: Calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).	62
Figura 53. Resumen de resultados del ensayo de rayos X de los especímenes de mortero patrón elaborado con arena de Sílice de Ottawa y morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal, en reemplazo del cementante a 90 días de curado.....	63
Figura 54. Difracción de Rayos X (RDX) de los especímenes de mortero patrón elaborado con arena de la mina de Pifo y morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal a 90 días de curado (C: Calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).	64
Figura 55. Resumen de resultados del ensayo de rayos X de los especímenes de mortero patrón elaborado con arena de la mina de Pifo y morteros de morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal, en reemplazo del cementante a 90 días de curado.	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría de la arena de sílice de Ottawa.	12
Tabla 2. Granulometría de la arena de la mina de Pifo.	13
Tabla 3. Densidad aparente de agregados (Arena de la mina de Pifo).	14
Tabla 4. Gravedad específica y absorción de agregados (Arena de la mina de Pifo).	15
Tabla 5. Número de morteros patrón.	23
Tabla 6. Número de morteros de cal apagada elaborados con sustitución parcial de mucílago de nopal, para pruebas de ensayos de compresión.	23
Tabla 7. Número de morteros de cal apagada elaborados con sustitución parcial de mucílago de nopal, para ensayos de durabilidad (afectaciones al intemperismo).	24
Tabla 8. Cantidades de materiales para la fabricación de 6 y 9 especímenes de ensayo.	24
Tabla 9. Contenido de Humedad de las muestras de cal apagada para la elaboración de morteros patrón.	25
Tabla 10. Contenido de Humedad de las muestras de cal apagada para la creación de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal en reemplazo del cementante.	26
Tabla 11. Dosificación real para la fabricación de especímenes de morteros patrón.	27
Tabla 12. Dosificación real para la fabricación de especímenes de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal.	27
Tabla 13. Información de las muestras deshidratadas.	47
Tabla 14. Resultados de la fluidez de los morteros patrón.	49
Tabla 15. Resultados del cálculo de densidad de los morteros patrón.	50
Tabla 16. Resultados obtenidos de las pruebas de compresión simple de los morteros patrón.	51
Tabla 17. Resumen de resultados del ensayo de Rayos X de los morteros patrón fabricados con arena de sílice de Ottawa.	52
Tabla 18. Resumen de resultados del ensayo de Rayos X de los morteros patrón fabricados con arena de la mina de Pifo.	53
Tabla 19. Resultados del ensayo de flujo de los especímenes de morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal.	54
Tabla 20. Resultados del cálculo de densidad de los morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 28, 56 y 90 días de curado.	55
Tabla 21. Hallazgos de la prueba de resistencia a la compresión en las muestras morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 28, 56 y 90 días de curado.	55
Tabla 22. Resumen de resultados del ensayo de Rayos X de los morteros de cal apagada con adiciones del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal en sustitución con el cementante a 90 días de curado.	60
Tabla 23. Comparación de porcentajes de los compuestos presentes en los morteros con sustitución parcial del 5% 10% y 20% de mucílago de nopal con respecto al mortero patrón de Sílice de Ottawa.	63
Tabla 24. Comparación de porcentajes de los compuestos presentes en los morteros con sustitución parcial del 5% 10% y 20% de mucílago de nopal con respecto al mortero patrón con arena de la mina de Pifo.	65

RESUMEN

El enfoque principal de esta investigación de titulación se dirigió hacia la fabricación de especímenes de morteros de cal apagada, en los cuales se incorporó mucílago de nopal en diferentes porcentajes de sustitución del cementante (5%, 10% y 20%) y tiempos de curado (28, 56 y 90 días). Además, con el propósito de establecer una comparación, se fabricaron especímenes patrón utilizando arena de sílice de Ottawa y otros con arena de la mina de Pifo.

Estos especímenes fueron sometidos a una serie de ensayos exhaustivos, entre ellos; compresión simple, durabilidad frente a factores ambientales, difracción de rayos X (XRD) y caracterización mineralógica y química. Además, se llevó a cabo el ensayo de flujo en estado fresco, se calculó la densidad de los morteros en estado seco y se realizaron medidas de fisuramiento tras su exposición al intemperismo. Todos estos procesos se realizaron siguiendo las directrices establecidas por el INEN y ASTM para garantizar la fiabilidad y precisión de los resultados.

Los hallazgos de este trabajo proporcionan una valiosa información sobre las características y comportamiento de los morteros de cal apagada que han sido enriquecidos con mucílago de nopal en comparación con los especímenes patrón con diferentes tipos de arena. Dando como resultados relevantes que la resistencia a compresión simple de los morteros elaborados con mucílago de nopal es superior a los resultados arrojados por los morteros patrón elaborados con arena normalizada de Ottawa a 90 días de curado. Además, se logró determinar que la medida de fisuramiento en los morteros decrece proporcionalmente al incremento en el porcentaje de mucílago de nopal.

PALABRAS CLAVE: Mucílago, Nopal, Mortero de cal.

ABSTRACT

The focus of this titration research was directed towards the fabrication of slaked lime mortar specimens, in which nopal mucilage was incorporated in different percentages of substitution of the cementitious agent (5%, 10% and 20%) and curing times (28, 56 and 90 days). In addition, to establish a comparison, standard specimens were manufactured using silica sand from Ottawa and others with sand from the Pifo mine.

These specimens were subjected to a series of exhaustive tests, including simple compression, durability against environmental factors, X-ray diffraction (XRD) and mineralogical and chemical characterization. In addition, fresh flow testing was carried out, dry mortar density was calculated, and cracking measurements were performed after exposure to weathering. All these processes were carried out following the guidelines established by INEN and ASTM to ensure the reliability and accuracy of the results.

The findings of this work provide valuable information on the characteristics and behavior of slaked lime mortars that have been enriched with nopal mucilage in comparison with standard specimens with different types of sand. Relevant results show that the simple compressive strength of the mortars elaborated with nopal mucilage is superior to the results of the standard mortars elaborated with Ottawa standardized sand at 90 days of curing. In addition, it was determined that the cracking measure in the mortars decreases proportionally to the increase in the percentage of nopal mucilage.

KEYWORDS: Mucilage, Nopal, Lime mortar.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El presente proyecto se centra en la fabricación y análisis de morteros de cal apagada con adiciones de mucílago, a diferentes porcentajes de sustitución del cementante y diferentes edades de curado; mortero que podría ser empleado para la restauración y preservación de elementos patrimoniales, los cuales serán fabricados mediante adiciones en diferentes porcentajes de mucílago en sustitución de cal apagada.

El mucílago es una sustancia de elevado peso molecular que se sintetiza en ciertas células vegetales (Medina-Torres et al., 2000). Se encuentra de forma natural en diversas especies de plantas, como el malvavisco (*Althaea officinalis*), las semillas de lino (*Linum usitatissimum*), el Nopal (*Opuntia* spp.), y la zaragatona (*Plantago ovata*), entre otras. Además, ciertas semillas, como las del café y el cacao, también contienen mucílago, el cual puede ser fácilmente extraído durante el procesamiento de estos productos. (Portillo, 2019)

Con el propósito de llevar a cabo este proyecto se utilizará el mucílago extraído del cactus de la especie *Opuntia*, comúnmente conocida como nopal, este material orgánico se encuentra en el interior de las hojas de cactus y se caracteriza por su capacidad para retener agua y nutrientes, lo que le confiere propiedades hidratantes y nutritivas, además, presenta propiedades emulsificantes y estabilizantes, lo que lo hace útil en la industria alimentaria y cosmética. En el estudio "Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics", Ventolá et al. (2011) los autores evalúan la influencia de los aditivos orgánicos para mejorar las propiedades de los morteros de cal, donde se incluye al mucílago de nopal como uno de los elementos de objeto de investigación, tras varios ensayos concluyeron que la acción del nopal mejoró significativamente la carbonatación de los morteros.

Para la obtención del mucílago de nopal de forma artesanal es necesario limpiar cuidadosamente las hojas de Nopal, extraer la pulpa y realizar pequeños trozos en forma de un cuadrado de aproximadamente 1 cm por lado, añadir agua en proporción de 1:2, es decir que por cada kg de muestra de nopal se añade 2 kg de agua; esta mezcla debe reposar por 48 horas y luego de cumplir con el tiempo de reposo la muestra debe ser tamizada; por otra parte, para la obtención de la cal apagada de forma artesanal es necesario hidratar la piedra caliza con una porción de agua de 2 veces el peso de la cal, con un tiempo de apagado de 90 días.

Siguiendo las directrices establecidas por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488:2009 que hace referencia al análisis de la capacidad de soportar fuerzas de

compresión en morteros contenidos en cubos con lados de 50 mm. Se realizará la fabricación de morteros de cal apagada con la sustitución del cementante por mucílago de Nopal a diferentes porcentajes, que corresponden al 5%, 10% y 20%, además se fabricará morteros patrón de cal con arena de Ottawa y morteros patrón de cal con arena de la mina de Pifo; se evaluará su condición en estado fresco y las características físico-mecánicas en base a ensayos como: flujo, densidad, resistencia a la compresión, durabilidad (afectaciones del intemperismo), medida de fisuramiento, difracción de rayos X (XRD) y caracterización mineralógica y química; todo esto con el propósito de establecer la dosificación óptima en cada caso, estos ensayos serán evaluados a diferentes edades que corresponden a 28, 56 y 90 días de curado.

1.1 Objetivo general

Elaborar mezclas de morteros utilizando cal apagada y sustituyendo el agente cementante con mucílago de nopal, en distintos porcentajes y tiempos de curado, que satisfagan los requisitos de resistencia y propiedades físico-mecánicas necesarias para la preservación y restauración de elementos patrimoniales en Ecuador.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar el proceso de hidratación de la piedra caliza para la obtención de cal apagada asegurando un periodo de apagado de 90 días.
- Extraer de manera artesanal el mucílago presente en las hojas de nopal. Esto implica la selección de las hojas adecuadas, su limpieza, la extracción del mucílago mediante procesos artesanales y su posterior filtración y purificación.
- Fabricar especímenes en forma de cubos de mortero de cal apagada, incorporando mucílago de nopal en reemplazo parcial del cementante, con porcentajes de sustitución del 5%, 10% y 20%.
- Analizar la condición en estado fresco y las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes mediante ensayos de flujo, resistencia a la compresión simple, durabilidad (afectaciones del intemperismo), observación del fisuramiento, difracción de rayos X (XRD) y caracterización mineralógica y química; a 28, 56 y 90 días de curado, siguiendo las normativas nacionales e internacionales establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM).

- Determinar la dosificación más adecuada de morteros de cal apagada con sustitución parcial del agente cementante por mucílago de nopal, para la restauración y preservación de elementos patrimoniales.
- Fabricar dos tipos de morteros patrón: uno elaborado con cal apagada y arena de Ottawa, y otro elaborado con cal apagada y arena de la mina de Pifo; analizar sus propiedades físico-mecánica con el propósito de comparar los resultados con los morteros que contienen adiciones de mucílago de Nopal junto con la cal apagada.
- Realizar una comparación entre las granulometrías de la arena normalizada y la arena de la mina de Pifo.

1.3 Alcance

El presente proyecto está direccionado a la dosificación de morteros de cal apagada, donde se reemplaza parcialmente el cementante con mucílago de nopal en distintos porcentajes, específicamente el 5%, 10% y 20%, mediante el uso de las normas INEN y ASTM se evaluará las propiedades físico-mecánicas considerando ensayos como: flujo, densidad, resistencia a la compresión, durabilidad (afectaciones del intemperismo), medida de fisuramiento, difracción de rayos X (XRD) y caracterización mineralógica y química; a diferentes edades que corresponden a: 28, 56 y 90 días de curado. Además, se fabricará morteros patrón elaborados con cal apagada y arena de Ottawa y morteros patrón elaborados con cal apagada y arena de la mina de Pifo y se llevarán a cabo ensayos de: flujo, resistencia a la compresión simple, densidad, difracción de rayos x (XRD) y caracterización mineralógica y química, esto con el fin de comparar los resultados y establecer una dosificación óptima en cada caso.

El proyecto buscará obtener una comprensión más profunda de las propiedades de los morteros de cal apagada con reemplazo parcial del agente cementante por mucílago de nopal, con el fin de determinar el porcentaje óptimo de sustitución y las condiciones óptimas de curado para obtener la máxima resistencia. Los resultados obtenidos en este proyecto podrían tener aplicaciones prácticas en la construcción y restauración de edificios, así como también en la preservación del patrimonio histórico y cultural. El informe final del proyecto incluirá una descripción detallada del proceso experimental, la obtención de la adición vegetal, los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Patrimonio Cultural

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), organismo especializado del sistema de Naciones Unidas (ONU) habla del Patrimonio Cultural en la Declaración de México de 1982 establece que el Patrimonio Cultural de una nación abarca las expresiones artísticas y creativas de sus arquitectos, músicos, escritores y pensadores, así como las creaciones anónimas arraigadas en la esencia del pueblo. (*La Declaración Universal de la UNESCO sobre la Diversidad Cultural - UNESCO Biblioteca Digital, 2002*)

El patrimonio cultural engloba a diversos elementos culturales, abarcando lo material como lo inmaterial, que poseen un valor significativo para una sociedad, comunidad o nación. El patrimonio cultural abarca una amplia gama de bienes, como monumentos, estructuras históricas, lugares arqueológicos, obras de arte, objetos, tradiciones, festivales, danza y música, entre otros.

Cuando se habla de las raíces de un pueblo, se lo entiende como una experiencia colectiva que se ve marcada por las costumbres de cada sitio, donde visitantes externos de llegar al país reciben individualmente esa experiencia social, así como también se la experimenta cuando se visita otros lugares. Esa experiencia colectiva es formada a través de la tradición, trabajos científicos o profesionales y además la forma de ver el mundo de cada sociedad. (Ruiz Gil, 2005)

La importancia que tiene el patrimonio cultural radica en su capacidad para proporcionar identidad y cohesión a las comunidades, al tiempo que establece una conexión con el pasado y establece una base sólida para el futuro, además su relevancia como un recurso turístico es fundamental para el desarrollo económico y el bienestar social de un pueblo.

2.2 Patrimonio Cultural del Ecuador

Ecuador es un país rico en diversidad cultural y cuenta con un valioso patrimonio cultural que abarca desde sitios arqueológicos y monumentos históricos hasta tradiciones vivas y manifestaciones artísticas.

Uno de los tesoros arqueológicos más destacados del Ecuador es la ciudad de Cuenca, declarada Patrimonio de la humanidad por la UNESCO en 1999. Cuenca es conocida por su arquitectura colonial bien conservada, calles empedradas y hermosos edificios religiosos, como la Catedral de la Inmaculada Concepción y la iglesia de San Francisco.

Otro de los tesoros arqueológicos importantes para el país es Ingapirca, que es considerado el complejo inca más grande y mejor conservado de Ecuador. Este lugar sagrado cuenta con una estructura principal en forma de templo y ofrece una visión fascinante de la antigua cultura inca.

Por otro lado, la capital de los ecuatorianos, Quito en 1978, es reconocida como Patrimonio Cultural de la Humanidad por su centro histórico colonial. Este emblemático conjunto arquitectónico cuenta con iglesias coloniales, monasterios, plazas y calles empedradas que datan de los siglos XVI y XVII.(Q.B, 2020)

El gobierno ecuatoriano emitió un decreto supremo el 5 de junio de 1974, en el cual formalmente reconoció y aceptó la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, aprobada por la UNESCO el 21 de noviembre de 1972. Esta importante convención tiene como propósito permitir que la comunidad internacional se involucre activamente en la preservación de valiosos tesoros del patrimonio cultural, como obras de arte, monumentos, conjuntos y sitios urbanos, junto con el patrimonio natural que posee un valor excepcional a nivel mundial.

Ecuador también es conocido por las islas Galápagos, un archipiélago ubicado en el Pacífico que es famoso por su biodiversidad única y por ser el lugar donde Charles Darwin desarrolló su teoría de la evolución. Las islas Galápagos han sido declaradas patrimonio de la Humanidad por la UNESCO y son un destino turístico muy popular debido a sus especies endémicas, como las tortugas gigantes y los pinzones de Darwin.

Ecuador cuenta con un vasto patrimonio cultural y tiene mucho más por descubrir y explorar, ofreciendo una mezcla fascinante de historia, arte, tradiciones y naturaleza que enriquecen su identidad nacional, la cual debe ser admirada y preservada para conservar la historia de nuestra nación.

2.3 INPC

La entidad encargada de la gestión del patrimonio cultural del país es el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador (INPC), el cual fue establecido en 1978. Esta institución es responsable de la protección, conservación, investigación y difusión del patrimonio cultural del país, fue creado con el objetivo de salvaguardar y promover el legado cultural de Ecuador, tanto tangible como intangible.

El INPC es el responsable de implementar políticas, programas y acciones para la preservación puesta en valor de los bienes culturales de Ecuador. Esto incluye la identificación y declaración de sitios arqueológicos, monumentos históricos, zonas urbanas

y rurales de interés cultural, así como la protección y promoción de manifestaciones culturales tradicionales y contemporáneas.

Entre las funciones del INPC se encuentran la realización de investigaciones, el fomento de la participación ciudadana en la gestión del patrimonio, la capacitación de profesionales en áreas relacionadas con el patrimonio cultural, la elaboración de normativas y directrices para la conservación y desarrollo sostenible del patrimonio, y la promoción del turismo cultural como una forma de valorar y difundir el patrimonio cultural de Ecuador.

El INPC trabaja en estrecha colaboración con otras instituciones y organismos nacionales e internacionales para llevar a cabo sus objetivos y garantizar la preservación a largo plazo del patrimonio cultural ecuatoriano.

2.4 Preservación de las estructuras patrimoniales

La preservación y protección de las estructuras patrimoniales es fundamental para asegurar su permanencia a largo plazo. Esto implica llevar a cabo investigaciones, restauraciones y mantenimientos adecuados, así como promover su valoración y difusión a través de actividades educativas y culturales. La protección legal y la declaración de ciertas estructuras, como monumentos históricos del patrimonio cultural del Ecuador, son medidas que se toman para garantizar su salvaguardia y su disfrute por las generaciones presentes y futuras.

Con el objetivo de contribuir a la preservación de los valores ligados a la autenticidad de las estructuras históricas, las directrices propuestas por el Comité Científico Internacional de ICOMOS para el Análisis de La Restauración de Estructuras del Patrimonio Arquitectónico (*ISCARSAH*, 2005), basadas en los principios de la Carta de Venecia de 1964, presentan un conjunto de pautas que deben considerarse al llevar a cabo cualquier forma de intervención en edificaciones históricas, con el propósito de garantizar su preservación.

2.5 La carta de Venecia

La carta de Venecia, oficialmente conocida como la Carta Internacional sobre la Conservación y Restauración de Monumentos y Sitios, fue adoptada en 1964 durante el segundo Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos en Venecia.

La carta de Venecia establece principios y directrices para la conservación y restauración de monumentos y sitios históricos, los cuales se centran en la autenticidad, integridad y

respeto por la importancia histórica y cultural de los lugares y construcciones patrimoniales que han sido objeto de intervención.

Dentro de los principales puntos abordados en la carta de Venecia se contempla lo siguiente:

- Autenticidad, en este punto se enfatiza la importancia de preservar y mantener la autenticidad de los monumentos y sitios históricos, evitando la falsificación o la reconstrucción inapropiada de los elementos patrimoniales.
- Integridad, dentro de este ámbito se hace hincapié en la necesidad de mantener la integridad de los monumentos, evitando su fragmentación y deterioro en su composición estructural.
- Valor histórico y cultural, se destaca la importancia de comprender y respetar el valor histórico y cultural de los monumentos y sitios, considerando su contexto y su significado.
- Conservación y restauración, en este apartado se establece principios y normativas para la conservación y restauración adecuada de los monumentos y sitios históricos, promoviendo métodos y técnicas que sean respetuosos con la autenticidad y la integridad de los elementos patrimoniales.

2.6 Proceso de preservación y restauración de elementos patrimoniales

Los proyectos de intervención en elementos patrimoniales deben basarse en un proceso rigurosos de acción, que se encuentran principalmente enfocadas en la utilización de materiales convencionales que sean comparables y acordes con los componentes originales.

En proyectos de restauración, los morteros de cal siguen siendo ampliamente utilizados debido a su compatibilidad con materiales históricos. Antes de iniciar cualquier intervención que pueda afectar la integridad estructural de elementos históricos, es esencial realizar un estudio previo. Este estudio debe analizar los materiales históricos, evaluar su estado de deterioro y realizar pruebas de compatibilidad para asegurar que los nuevos morteros de cal sean adecuados. La selección adecuada de morteros y técnicas de aplicación también es crucial para una restauración exitosa.

2.7 Cementantes

Los cementantes son materiales ampliamente utilizados en la construcción, cuyo propósito principal es el de adherir o unir diferentes elementos tales como; ladrillos, bloques o piedras, con el fin de formar una estructura sólida. Las propiedades que caracterizan a estos materiales son adhesivas y se endurecen o fraguan al hacer contacto con el agua.

Dentro de los materiales cementantes más conocidos se tiene; al cemento Portland y la cal, esta última se utiliza en ciertas aplicaciones de la construcción. En la mampostería de piedra, la cal puede actuar como un cementante para unir las piedras entre sí. También se utiliza en la preparación de morteros y estucos, donde se mezcla con arena y agua para formar una pasta que se utiliza para unir ladrillos, bloques o revestimientos.

2.8 Cal

La cal es una sustancia alcalina de color blanco que se obtiene al calentar la piedra caliza. Cuando se calienta por debajo de la descomposición del óxido de calcio, se obtiene la cal viva (óxido de calcio). Si se le añade agua, se convierte en cal apagada (hidróxido de calcio). La cal ha sido utilizada como material de construcción, principalmente mezclada con arena para producir morteros. (Bello, 2019).

2.9 Ciclos de la cal

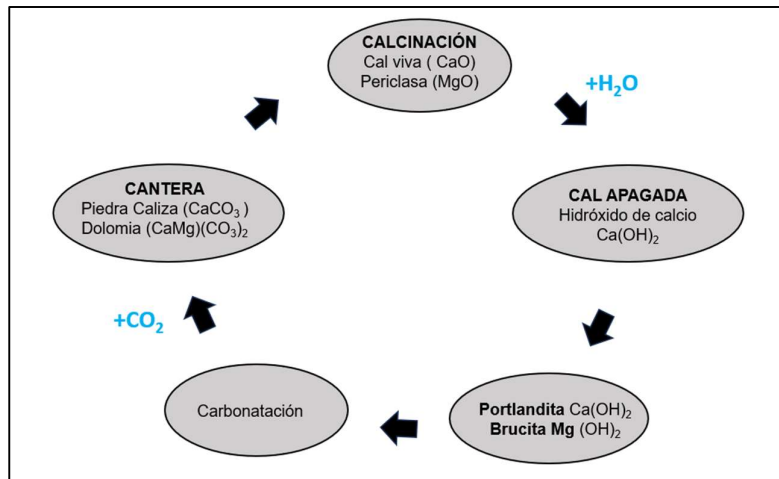


Figura 1. Ciclos de cal.

Fuente: (Cazalla Vázquez, 2002)

2.10 Morteros de cal

Los morteros de cal son mezclas tradicionales que se utilizan en la construcción y restauración de edificios. Estas mezclas son empleadas como materiales de unión entre ladrillos, piedras u otros elementos de construcción para formar estructuras sólidas y estables.

Los morteros de cal, compuestos cuidadosamente con cal de alta pureza y agregados adecuados para cada propósito específico, ofrecen una solución óptima para revestimientos en proyectos de construcción. Estos morteros son particularmente adecuados para realizar enfoscados, una técnica donde se aplican sobre superficies para protegerlas o embellecerlas. La versatilidad de los morteros de cal permite que estos enfoscados puedan mantenerse visibles en su color natural, exhibiendo la belleza y autenticidad de la cal, o bien, ser pigmentados con colores diversos durante el proceso de mezcla para adaptarse a preferencias estéticas particulares.

2.10.1 Aditivos

Los aditivos son sustancias que se añaden a la mezcla con los materiales cementantes, con el objetivo de modificar y mejorar las propiedades físico-mecánicas de los materiales de construcción. Estos aditivos son utilizados para controlar el tiempo de fraguado, mejorar la trabajabilidad, aumentar la resistencia, reducir la permeabilidad, entre otros.

Según la norma ASTM C125-13b define a los aditivos como sustancias diferentes al agua que se añaden al concreto o mortero justo antes o durante el proceso de mezclado.

2.10.2 Mucílago

El mucílago es una sustancia viscosa y gelatinosa presentes en ciertas plantas. Se trata de un líquido secretado o exudado en distintas partes de las plantas, como raíces, hojas, tallos o semillas. El mucílago esta principalmente compuesto por carbohidratos solubles en agua, como polisacáridos.

El mucílago es ampliamente utilizado en diferentes campos. En la industria alimentaria, son utilizados como espesantes, estabilizantes o emulsionante en productos procesados, salsas, helados y bebidas. En la industria medicinal, es aprovechado por sus propiedades medicinales para contrarrestar irritaciones de la piel, tratar trastornos digestivos, entre otros usos. El mucílago también es utilizado en la industria de la construcción como aditivos para la fabricación de morteros de cal.

El mucílago puede ser extraídas de varias especies de origen vegetal como: Mostaza, Cacao, Malva, Aloe vera, Malvavisco, Borraja, Arenaría, Membrillo, Líquenes, Semillas de lino (linaza), Semillas de chía, tamarindo, Pitahaya, Cactus, Sábila, Nopal, entre otros.(Dugarte et al., 2020)

2.10.3 Mucílago de Nopal

El nopal de origen *Opuntia ficus-indica*, es una planta con características arbustivas, ramificada, que pueden alcanzar los 4 m de altura, es nativa de regiones desérticas y se cultiva en varias partes del mundo. El mucílago es extraído de las hojas de la penca de nopal y debido a su disponibilidad y fácil purificación es objeto de interés en diversos sectores industriales. (Luna-Zapién et al., 2023)

2.10.4 Integración de mucílago de nopal en componentes de construcción.

Con la finalidad de contribuir en la sustentabilidad de la industria de la construcción, en cuanto a la búsqueda de materiales innovadores el investigador del IMT Andrés Antonio Torres Acosta y la ingeniera civil Alejandra Díaz Cruz buscan identificar las propiedades del nopal, tanto deshidratado como en forma de coloide (mucílago), para determinar cómo estos materiales de origen vegetal pueden contribuir a la mejora de las propiedades de los materiales de construcción.

Según los investigadores del IMT y la Universidad Marista de Querétaro, las adiciones de mucílago de nopal mejoraron la durabilidad del mortero al reducir el transporte de agua y aumentar su resistencia. Además, el uso de mucílago en el mortero disminuyó las grietas y la degradación del acero embebido en el material a lo largo del tiempo. (Torres & Diaz, 2017)

2.10.5 Morteros de cal con adiciones de mucílago de nopal

Según Torres-Acosta et al. (2007) en su investigación acerca “Mucílago de *Opuntia-Ficus-Indica* (Nopal) como inhibidor de la corrosión del acero en medios alcalinos”, al sustituir el 100% de agua en los morteros por mucílago de nopal obtuvieron resultados positivos, debido a que el coloide de mucílago de nopal incrementó la consistencia de la pasta, reduciendo la segregación de los componentes del concreto y aumentando su resistencia a la compresión.

En el estudio realizado por Castellanos, (2009), se investigó el efecto del mucílago de nopal en las propiedades físicas del mortero. Se controlaron las proporciones de carga,

cementante, mucílago de nopal y agua, y se evaluaron variables como consistencia, adhesividad, contracción del mortero, potencia de agitación y capacidad de carga. Los resultados demostraron que el mucílago de nopal mejoró todas estas propiedades físicas del mortero.

3 METODOLOGÍA

El presente proyecto emplea una investigación experimental, la cual se centra en el estudio del desempeño de morteros de cal apagada donde parte del agente cementante es reemplazado por mucílago de nopal, en distintos porcentajes que abarcan el 5%, 10% y 20% y a diferentes edades de curado (28, 56 y 90 días). Esta investigación se basa en ensayos de laboratorio que permitan determinar las propiedades físico-mecánicas de dichos especímenes de morteros y de esta manera compararlas con las propiedades presentes en los morteros patrón, los cuales serán elaborados con cal apagada y arena de Ottawa; y con cal apagada más arena de la mina de Pifo.

3.1 Descripción de materiales

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación experimental se utilizó los siguientes materiales:

3.1.1 Piedra caliza



Figura 2. Muestras de piedra Caliza.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

La piedra caliza es una roca sedimentaria compuesta principalmente de carbonato de calcio (CaCO_3).

La piedra caliza para usarse en la elaboración de morteros de ensayo fue proporcionada por el Instituto Nacional del Patrimonio Cultural (INPC).

3.1.2 Arena de Ottawa



Figura 3. Arena de sílice de Ottawa.

Fuente: Humboldt

La arena de Ottawa, también conocida como arena normalizada o arena de sílice de Ottawa, es un tipo de arena de alta pureza y es utilizada en diversos campos especialmente en laboratorios de investigación dada su regularidad, homogeneidad y certificación.

La arena normalizada fue adquirida a U.S. Sílica Company y será utilizada para la elaboración de los morteros patrón.

En la Tabla 1, se presenta la granulometría de la arena de sílice de Ottawa.

Tabla 1. Granulometría de la arena de sílice de Ottawa.

Tamiz		% Retenido		% Pasa
No.	Abertura (mm)	Individual	Acumulado	Acumulado
16	1,18	0	0	100
20	0,85	1	1	99
30	0,6	97	98	2
Bandeja		2	100	0

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.1.3 Arena de la mina de Pifo

Se empleará la arena proveniente de la mina Pifo, adquirida de Holcim Rocafuerte, para la creación de muestras de morteros estándar y morteros enriquecidos con mucílago de nopal en diversos niveles de reemplazo con el cementante.

A continuación, se presentan las características correspondientes a la granulometría, la densidad aparente, contenido orgánico, gravedad específica y absorción de agregados cuyos ensayos fueron realizados en el laboratorio de suelos LEMSUR de la Escuela Politécnica Nacional.

Granulometría:

El análisis granulométrico para el presente estudio se realizó de acuerdo con las directrices establecidas en la norma ASTM C136M, en el laboratorio de suelos LEMSUR de la Escuela Politécnica Nacional, cuyos resultados son detallados a continuación:

Tabla 2. Granulometría de la arena de la mina de Pifo.

Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8"	9,5	0	0	0	100
No.4	4,75	6,3	1,3	1,3	98,7
No.8	2,36	100,4	20,1	21,4	78,6
No.16	1,18	132,8	26,6	48	52
No.30	0,6	78,2	15,7	63,6	36,4
No.50	0,3	56,7	11,4	75	25
No.100	0,15	41	8,2	83,2	16,8
BANDEJA	-	83,9	16,8	100	0
TOTAL		499,3			

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

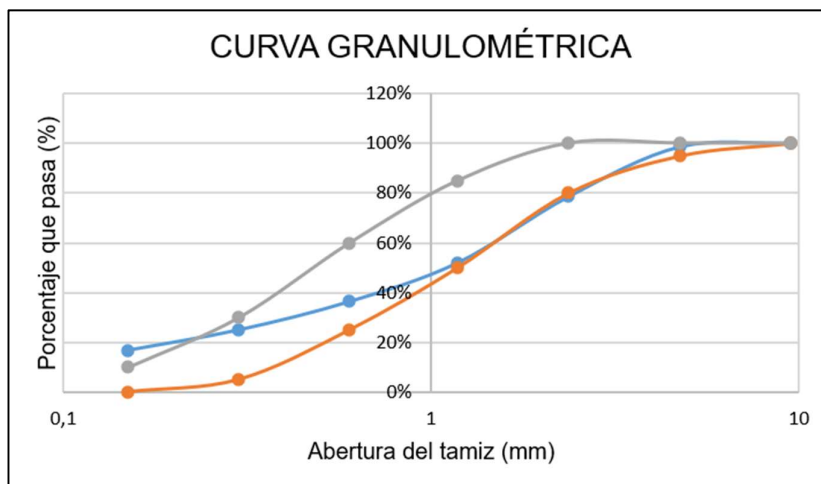


Figura 4. Curva granulométrica de la arena de la mina de Pifo.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Densidad aparente

La densidad aparente de los agregados de la mina de Pifo se realizó en base a la norma ASTM C29, en el laboratorio de suelos LEMSUR de la Escuela Politécnica Nacional, el propósito de esta prueba es calcular la masa de arena necesaria para llenar el espacio de este agregado en términos de volumen, los resultados son detallados a continuación:

Tabla 3. Densidad aparente de agregados (Arena de la mina de Pifo).

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Identificación	Descripción	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
		Densidad seca (kg/m³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m³)	Contenido de vacíos (%)
27-I-031	Arena	1545	35	1694	29

Fuente: (LEMSUR, 2023)

Gravedad específica y absorción de agregados

El presente ensayo es una metodología convencional empleada para caracterizar y evaluar las propiedades físicas de los materiales utilizados en la construcción, como arena y grava. Estos ensayos sirven para garantizar la calidad y el rendimiento del concreto y morteros producidos a partir de estos agregados.

Para la ejecución de este análisis se empleó la norma ASTM C127 y se lo realizó en el laboratorio de suelos LEMSUR de la Escuela Politécnica Nacional. El ensayo de gravedad

específica y absorción de agregados tiene objeto caracterizar y evaluar las propiedades físicas de la arena de la mina de Pifo, cuyos resultados se denotan en la Tabla 4.

Tabla 4. Gravedad específica y absorción de agregados (Arena de la mina de Pifo).

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS					
Identificación	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
27-I-031	Arena Pifo	2,36	2,46	2,59	3,35

Fuente: (LEMSUR, 2023)

Contenido orgánico

Para el análisis del contenido orgánico de la arena de la mina de Pifo, se utilizó la norma ASTM C40, este ensayo tiene como objetivo cuantificar la presencia de materia orgánica contenida en los materiales pétreos, dando como resultado un bajo contenido orgánico, este ensayo se realizó en el laboratorio de suelos LEMSUR de la Escuela Politécnica Nacional.



Figura 5. Resultados del ensayo de contenido orgánico.

Fuente: (LEMSUR, 2023)

3.1.4 Nopal

El nopal es la materia prima que será utilizada para la ejecución del proyecto de investigación experimental en la fabricación de morteros con adiciones de mucílago de nopal a diferentes porcentajes de sustitución, este elemento orgánico se lo obtuvo en zona de la Mitad del Mundo en la parroquia de San Antonio de Pichincha.



Figura 6. Hojas de nopal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.2 Preparación de insumos

3.2.1 Apagado de la cal

El procedimiento de apagado de la cal se llevará a cabo siguiendo las directrices establecidas en la norma NTE INEN 248:2010, CAL VIVA PARA PROPÓSITOS ESTRUCTURALES - REQUISITOS. Esta norma prescribe un método de apagado lento, que implica la adición de agua en cantidades adecuadas para lograr una completa humectación de la piedra caliza. A continuación, se permite que la mezcla repose hasta que la reacción inicial empiece. Luego, se añade agua de manera gradual y controlada, asegurándose de evitar un rápido enfriamiento de la masa debido al aporte de agua fría. Se enfatiza que no se debe agitar la mezcla hasta que el proceso de apagado esté prácticamente completo.

En caso de bajas temperaturas ambientales, se recomienda emplear agua caliente para facilitar el proceso. Si esto no es posible, se sugiere cubrir el recipiente de manera adecuada para conservar el calor durante el apagado. Este enfoque permite mantener las condiciones óptimas para el proceso de apagado incluso en condiciones climáticas frías.

Materiales:

- Cal viva (óxido de calcio CaO): Es la forma más común de cal utilizada para la producción de cal apagada. Se obtiene a partir de la calcinación de la piedra caliza a altas temperaturas.

- Agua: El agua se utiliza para hidratar la cal viva y producir la reacción química que convierte la cal viva en cal apagada. Es importante utilizar suficiente agua para asegurar que toda la cal se humedezca adecuadamente.
- Instrumentos para mezclar: Se requiere algún tipo de herramienta para mezclar la cal viva y el agua (vara de madera).
- Equipos de protección personal.
- Termómetros de material bimetálico inoxidable.

Procedimiento:

- Para dar comienzo al procedimiento de apagado de la cal, Es necesario realizar la medición del peso de la piedra caliza y colocarla en un recipiente adecuado.



Figura 7. Muestras de piedra Caliza

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Es importante utilizar un recipiente lo suficientemente grande para permitir la mezcla de la cal viva con agua sin que se desborde.

- Una vez que se ha colocado la piedra caliza en el recipiente, se agrega agua gradualmente mientras se mezcla con una herramienta adecuada, como, por ejemplo, utilizando una vara de madera para facilitar la mezcla.



Figura 8. Proceso de hidratación de la piedra caliza

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Se debe tomar en cuenta que el volumen de agua sea suficiente para cubrir completamente la cal viva. Se recomienda una proporción de 2 partes de agua por cada parte de cal viva para lograr una hidratación adecuada.

- Se toma la medida de temperatura que alcanzó la fase del apagado de la cal viva.



Figura 9. Toma de la temperatura de la fase de apagado de la cal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

En este estudio la temperatura máxima que alcanzo el proceso de apagado fue de 110 °C.

- Después de completar el proceso de apagado de la cal, se debe sellar herméticamente el recipiente que la contiene. Luego, se deja en reposo durante el

período deseado, en este caso en particular el tiempo de reposo fue de 90 días. Durante este tiempo, la cal apagada experimentará un proceso de maduración y estabilización.



Figura 10. Almacenamiento de la cal apagada.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.2.2 Extracción del mucílago de nopal

Materiales:

- Hojas de nopal: Se necesitan las hojas frescas de la planta de nopal.
- Herramienta que facilite el porcionamiento de las hojas de nopal (cuchillo afilado tijeras).
- Tamiz: Para separar el mucílago de las fibras y restos de la planta.
- Recipientes: para la extracción del mucílago y para el almacenamiento final.
- Agua: Para diluir el mucílago y facilitar su extracción.

Procedimiento:

1. Limpiar las hojas de nopal.



Figura 11. Limpieza de las hojas de nopal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

2. Una vez que las hojas de nopal estén completamente libres de espinas, se procede a pelar el nopal y a cortar en pequeños cubos de 1cm por lado, esto con el fin de que se facilite la extracción.



Figura 12. Fraccionamiento de las hojas de nopal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3. Pesar los cubos de nopal y colocarlos en un recipiente.



Figura 13. Toma del peso de la muestra de nopal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4. Agregar agua en el recipiente que contiene el nopal, la proporción será de 1:2 lo que indica que por cada kg de muestra de nopal se añade 2 kg de agua.



Figura 14. Muestra de mezcla de agua con nopal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

5. Una vez añadida el agua necesaria en el recipiente se debe sellar y se deja reposar la muestra durante 48 horas.
6. Finalmente, cuando se hayan cumplido las 48 horas de reposo de la muestra, se tamiza la mezcla y se extrae el mucilago de nopal.



Figura 15. Extracción de la sustancia de mucílago de nopal

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Se recomienda que una vez obtenido el mucílago de nopal, éste sea almacenado en un recipiente hermético y preservado en refrigeración.



Figura 16. Mucílago de nopal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.3 Elaboración de especímenes de morteros

3.3.1 Morteros patrón

Se fabricaron doce (12) especímenes cúbicos patrón, dos (2) con arena de sílice de Ottawa y dos (2) con arena de la mina de Pifo, para 28, 56 y 90 días de curado respectivamente,

los cuales servirán como referencia para contrastar las propiedades físico-mecánicas presentes en los morteros con adiciones de mucílago de nopal.

A continuación, se detalla el número de morteros patrón que serán elaborados para ser ensayados a compresión simple a edades de 28, 56 y 90 días de curado:

Tabla 5. Número de morteros patrón.

Morteros patrón	28 días	56 días	90 días	Número de especímenes
Arena de Ottawa	2	2	2	6
Arena de Pífo	2	2	2	6
Total				12

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.3.2 Morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal

Se elaboraron 24 especímenes cúbicos de morteros de cal apagada sustituyendo parte del agente cementante por mucílago de nopal en diferentes porcentajes, para ser ensayados a compresión simple a 28, 56 y 90 días, los cuales son detallados en la siguiente Tabla:

Tabla 6. Número de morteros de cal apagada elaborados con sustitución parcial de mucílago de nopal, para pruebas de ensayos de compresión.

Porcentajes de sustitución Mucílago de Nopal (%)	Ensayo a compresión simple			Número de especímenes
	28 días	56 días	90 días	
5%	3	3	3	9
10%	3	3	3	9
20%	2	2	2	6
Total				24

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

A continuación, se describe los especímenes que serán utilizados para el ensayo de durabilidad (afectaciones al intemperismo).

Tabla 7. Número de morteros de cal apagada elaborados con sustitución parcial de mucílago de nopal, para ensayos de durabilidad (afectaciones al intemperismo).

Porcentajes de sustitución Mucílago de Nopal (%)	Ensayo de durabilidad (afectaciones al intemperismo)			Número de especímenes
	28 días	56 días	90 días	
5%	-	-	1	1
10%	-	-	1	1
20%	-	-	1	1
Total				3

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.3.3 Dosificación normativa

Para la dosificación de los especímenes se debe utilizar la normativa NTE INEN 488:2009, segunda revisión, que trata acerca de la evaluación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de lado utilizando cemento hidráulico.

Las cantidades de materiales que deben ser utilizados para la elaboración de 6 y 9 especímenes de morteros son detallados a continuación:

Tabla 8. Cantidades de materiales para la fabricación de 6 y 9 especímenes de ensayo.

MATERIAL	NÚMERO DE ESPECÍMENES	
	6	9
Cemento, g	500	740
Arena, g	1375	2035
Agua, cm		
- Portland (a/c=0,485)	242	359
- Portland con incorporador de aire (a/c=0,460)	230	340
- Otros (para un flujo de 110±5)	---	---

Fuente: NTE INEN 488:2009.

Como parte del proceso de investigación en el presente proyecto se realizó el apagado de la cal y como resultado de este procedimiento el material cementante se encuentra sobresaturado, por esta razón, es necesario realizar una corrección por humedad, esto con el fin de establecer la dosificación necesaria para la elaboración de los especímenes de ensayos y garantizar la precisión de los resultados.

3.3.4 Contenido de humedad

Para la determinación del contenido de humedad de la cal apagada se empleó la siguiente fórmula:

$$\%W = \frac{W1 - W2}{W2 - W3} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde,

%W: Porcentaje del contenido de humedad de la muestra.

W1: Peso de la cápsula más cal húmeda.

W2: Peso de la cápsula más cal seca.

W3: Peso de la cápsula. (Lorenzini, 2007)

El proceso de secado fue a temperatura de 40 °C durante 24 horas.

- El contenido de humedad de la cal apagada para la preparación de especímenes de morteros patrón se determinó en base a lo expuesto en la Tabla 9, dando como resultado 67,91% de contenido de humedad.

Tabla 9. Contenido de Humedad de las muestras de cal apagada para la elaboración de morteros patrón.

Número de Capsula	Wcápsula + cal húmeda (W1)	Cápsula (W3)	Wcápsula + cal Seca (W2)	%W
Tasa	112,16	71,24	95,61	67,91

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Para el presente caso se aproximará a 68% el valor del contenido de humedad para encontrar la dosificación de los materiales que serán utilizados para la elaboración de los especímenes de morteros patrón.

- Para la determinación del contenido de humedad de la cal apagada para la creación de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal se tomaron los datos por duplicado como se detalla a continuación:

Tabla 10. Contenido de Humedad de las muestras de cal apagada para la creación de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal en reemplazo del cementante.

Número de Capsula	Wcápsula + cal húmeda (W1)	Cápsula (W3)	Wcápsula + cal Seca (W2)	%W
S-070	80,122	10,359	57,101	49,25
R20	95,366	9,154	68,454	45,38
PROMEDIO				47,32

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

El porcentaje del contenido de humedad con el que se va a trabajar en la fabricación de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal corresponde al promedio, con un valor de 47%.

Este contenido de humedad es necesario para determinar la nueva dosificación de los materiales que serán utilizados para la elaboración de los especímenes de morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal.

3.3.5 Dosificación real

La determinación de la dosificación real para la elaboración de especímenes de morteros patrón y especímenes de morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal se empleó 68% y 47% de contenido de humedad respectivamente y se utilizó la siguiente formula:

$$W_{cal\ húmeda} = \left(1 + \% \frac{W}{100}\right) W_{cal\ seca} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde,

W cal húmeda: Peso en gramos de la muestra de cal húmeda.

%W: Porcentaje humedad.

W seca: Peso en gramos de la muestra de cal seca.

A continuación, se presenta la dosificación real correspondiente a los morteros patrón.

Tabla 11. Dosificación real para la fabricación de especímenes de morteros patrón.

Morteros Patrón	NÚMERO DE ESPECÍMENES		
	6 por cada agregado		
	Cal húmeda (g)	Arena (g)	Agua (g)
Con arena de Ottawa	840	1375	50
Con arena de la mina de Pifo	840	1375	100

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

En Tabla 12, se detalla la dosificación real para la fabricación de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal con el cementante.

Tabla 12. Dosificación real para la fabricación de especímenes de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal.

Porcentajes de sustitución Mucilago de Nopal (%)	NÚMERO DE ESPECÍMENES			
	9 por cada porcentaje de sustitución.			
	Cal húmeda (g)	Arena (g)	Agua (g)	Mucílago de Nopal (g)
5%	1047,4	2062,5	245	37,5
10%	992,25	2062,5	200	75
20%	882	2062,5	150	150

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.3.6 Preparación de la mezcla

El proceso para la elaboración de morteros se rige a la normativa vigente NTE INEN 155: 2009 (CEMENTO HIDRÁULICO. MEZCLADO MECÁNICO DE PASTAS Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA), que detalla:

Materiales:

- Cal apagada
- Arena de la mina de Pifo
- Arena normalizada
- Agua
- Mucílago de nopal

Equipos:

- Mezcladora eléctrica planetaria



Figura 17. Mezcladora eléctrica planetaria.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Una mezcladora eléctrica planetaria es un aparato mecánico que utiliza un sistema epicíclico impulsado por energía eléctrica para generar un movimiento tanto planetario como rotatorio en las paletas de mezclado. Es esencial que la mezcladora cuente con al menos dos velocidades ajustables mediante mecanismos definidos y que incorpore un tornillo de ajuste, tal como se muestra en la ilustración adjunta.

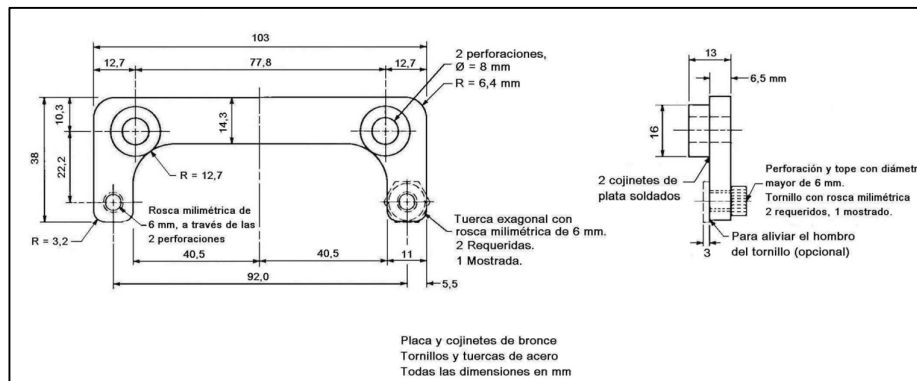


Figura 18. Ajustes del soporte permitido.

Fuente: NTE INEN 155: 2009.

- Paleta

La paleta de acero inoxidable debe ser de extracción sencilla y ajustarse al diseño esencial ilustrado en la figura que sigue:

- **Raspador**

El raspador es una lámina de caucho semirrígido que incluye un mango de 150 mm de longitud. La hoja debe tener una longitud de 75 mm, un ancho de 50 mm y contar con un borde delgado con un grosor cercano a 2 mm.

- **Equipos complementarios**

- Balanza

Procedimiento:

Para comenzar, Se posiciona la paleta y el contenedor seco en la mezcladora de manera apropiada para el proceso de mezclado. Luego, se procede a agregar el material cementante (cal apagada) que se desea amasar dentro del recipiente en el orden indicado siguiendo las siguientes instrucciones:

1. Introducir la cantidad de agua adecuada dentro del recipiente.
2. Agrega la cal al agua en el recipiente. Luego, encender la mezcladora y ajustar a la velocidad baja ($140 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$) y mezclar durante 30 segundos.
3. Se añade gradualmente la cantidad completa de arena al recipiente durante un lapso de 30 segundos, manteniendo la mezcladora en funcionamiento a baja velocidad.
4. Se detiene la mezcladora y ajusta la velocidad a media ($285 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$). Luego, vuelve a encender la mezcladora y continúa mezclando a esta nueva velocidad durante 30 segundos.
5. Se detiene el funcionamiento de la mezcladora y se permite que el mortero repose durante 90 segundos. En los primeros 15 segundos de este lapso, presiona ágilmente hacia abajo cualquier mortero que se haya adherido a las paredes del recipiente. Posteriormente, durante el resto de ese período, coloca la tapa sobre el recipiente.
6. Una vez transcurrido el intervalo de descanso y siguiendo con el proceso de mezclado, se enciende la mezcladora nuevamente y se ajusta a velocidad media. Continúa mezclando durante 60 segundos adicionales a esta velocidad.
7. En caso de que sea necesario realizar un intervalo de remezclado, se utiliza un raspador para desplazar de manera ágil todo el mortero que esté adherido a los costados del recipiente antes de proceder con el remezclado.

3.3.7 Ensayo de flujo

Para la determinación de la fluidez se hace uso de la normativa vigente NTE INEN 2 502: 2009 (CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL FLUJO EN MORTEROS), que detalla lo siguiente:

Materiales:

- Mezcla de morteros de cal apagada con adiciones de mucílago al 5%, 10% y 20%.
- Mezcla de morteros patrón elaborados con cal apaga y arena de sílice de Ottawa.
- Mezcla de morteros patrón elaborados con cal apaga y arena de la mina de Pifo.

Equipos:

- Mesa de flujo y molde de flujo con apisonador estándar. Con forme a las directrices establecidas por la norma NTE INEN 2 500: 2009.



Figura 21. Mesa de flujo.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

En la Figura 22, se presenta las dimensiones que debe cumplir la mesa de flujo:

1. Realizar una limpieza exhaustiva y asegurar el completo secado de la superficie de la mesa de flujo antes de continuar. Coloque la forma de flujo en el centro de la mesa. En el interior del encofrado, aplicar una capa de mortero de unos 25 mm de espesor y compactar 20 veces con un sellador. Asegurarse de aplicar suficiente presión para que se llene el molde. A continuación, rellenar el molde con mortero y compactarlo según las instrucciones de la primera capa.
2. Utilizar el borde de la espátula para cortar el mortero para conseguir una superficie plana que este nivelada con el borde del molde. Limpiar y secar la superficie de la mesa para eliminar residuos de agua.
3. Al transcurrir un minuto desde la finalización del proceso de llenado, levantar el molde. Luego, procede a descender la mesa en 25 ocasiones dentro de un intervalo de 15 segundos.
4. En caso de utilizar el calibrador mencionado en la norma NTE INEN 2500, es necesario llevar a cabo la evaluación del diámetro a lo largo de las cuatro líneas marcadas en la superficie de la mesa. Cada dimensión debe ser anotada en términos de las divisiones del calibrador, con una aproximación cercana a una décima parte de la subdivisión.
5. Si se opta por emplear un calibrador distinto, se requiere evaluar el tamaño del mortero a lo largo de las cuatro marcas presentes en la superficie de la mesa. Registra cada dimensión con una aproximación de un milímetro.



Figura 23. Toma de medidas del diámetro de la muestra del mortero.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.3.8 Cálculo del flujo

- La fluidez se establece al calcular el promedio del aumento en el diámetro de la base de la masa del mortero. Dicho incremento se representa como un porcentaje del diámetro original en la base.
- En el caso de emplear el calibrador indicado en la norma actual NTE INEN 2500, es necesario sumar las cuatro mediciones obtenidas y anotar el resultado total, dado que este valor representa el flujo en forma de porcentaje.
- En caso de utilizar otro calibrador, se calcula el flujo mediante la siguiente fórmula:

$$\%f = \frac{D_f - D_i}{D_i} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde,

Di: Medida del diámetro original en la base del molde.

Df: Promedio basado en al menos cuatro mediciones del diámetro final.

%f: Porcentaje del flujo (110 ± 5).

3.4 Fabricación de cubos

Para la elaboración de cubos el proceso se rige a la normativa vigente NTE INEN 488: 2009 (CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA), que detalla:

Equipo:

- **Moldes cúbicos para especímenes:**

Es necesario que las muestras cúbicas de 50 mm sean ajustadas con precisión, asegurándose de que no superen tres compartimentos cúbicos y que no se dividan en más de dos partes. Al ensamblar las partes de los moldes, es crucial que permanezcan firmemente unidas.

Además, los moldes deben ser elaborados con un material fuerte y resistente, como metal duro, para evitar cualquier daño ocasionado por el mortero de cemento.



Figura 24. Molde de tres compartimentos para especímenes cúbicos de 50 mm de arista.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

- Apisonador
- Espátula
- Enrasador

Procedimiento:

Es importante considerar que el proceso de moldeo debe comenzar dentro de los 2,5 minutos posteriores a la finalización de la mezcla del mortero. Además, es necesario recordar que los moldes para los especímenes cúbicos deben estar lubricados previamente con aceite mineral.

A continuación, se detallan los pasos que se deben seguir para este proceso.

- Depositar una capa con un espesor aproximado de 25 mm en tres compartimentos de los moldes cúbicos y con ayuda del apisonador compactar el mortero en cada capa como se muestra en la siguiente figura:

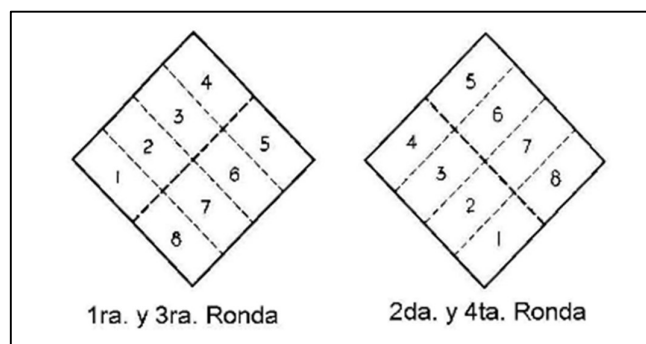


Figura 25. Secuencia de compactación durante la formación de las muestras de prueba.

Fuente: NTE INEN 155: 2009.

- Después de completar la compactación de la primera capa en todos los compartimentos cúbicos del molde, se procede a llenar completamente cada uno de ellos con la mezcla de mortero y repetir el proceso del apisonado.
- Enrasar el molde después de la compactación de las dos capas, utilizando la parte plana de la espátula. Se debe pasar la espátula una sola vez en dirección perpendicular a la longitud del molde para nivelarlo. Posteriormente, se repite el proceso en la dirección opuesta para obtener un enrasado uniforme.
- Una vez finalizado el proceso de enrasado, se recomienda cubrir los especímenes con una franela húmeda y permitir que fragüen durante un período de 7 días antes de proceder al desencofrado. Esta etapa es crucial para garantizar la adecuada consolidación del mortero. Una vez desencofrados, los morteros cúbicos deben dejarse a temperatura ambiente durante el tiempo de curado de 28, 56 y 90 días para su análisis posterior.



Figura 26. Moldeado de especímenes de morteros.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

A continuación, se presentan los especímenes de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de Nopal al 5%, 10% y 20% con el cementante.



Figura 27. Morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5% de nopal con el cementante.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)



Figura 28. Morteros de cal apagada con sustitución parcial del 10% de nopal con el cementante.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)



Figura 29. Morteros de cal apagada con sustitución parcial del 20% de nopal con el cementante.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.4.1 Ensayo de densidad en seco

Este ensayo tiene como objetivo analizar la relación entre la masa y el volumen de los especímenes de morteros patrón y los especímenes con reemplazo parcial de mucílago de nopal en proporciones del 5%, 10% y 20% del agente cementante. El proceso de ensayo se llevará a cabo una vez que los morteros estén completamente endurecidos.

Materiales:

- Especímenes cúbicos de morteros patrón elaborados con arena de Ottawa y con arena de la mina de Pifo.
- Especímenes cúbicos de morteros de cal apagada con reemplazo parcial de mucílago de nopal en proporciones del 5%, 10% y 20% del agente cementante, a 28, 56 y 90 días de curado.
- Calibrador pie de rey digital.
- Balanza

Procedimiento:

- Haciendo uso del calibrador pie de rey digital, encontrar las dimensiones (largo, ancho y alto) de cada uno de los especímenes.
- Determinar la masa de los especímenes con ayuda de la balanza.

- Determinar la densidad mediante la Ecuación 4.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

ρ : Densidad del material en (g/cm³).

m : Masa del material en (g).

V : Volumen del material (cm³).

3.4.2 Ensayo de compresión simple

La evaluación de la resistencia a compresión en morteros se lleva a cabo siguiendo las pautas establecidas por la norma (NTE INEN 488, 2009). Esta normativa proporciona las especificaciones necesarias para realizar el proceso, que incluyen lo siguiente:

Materiales:

- 24 morteros elaborados con cal apagada y adiciones de mucílago a diferentes porcentajes de sustitución (5%,10% y 20%), para edades de 28, 56 y 90 días de curado.
- 6 morteros patrón elaborados con cal apagada y arena de sílice de Ottawa para edades de 28, 56 y 90 días y 6 morteros patrón elaborados con cal apagada y arena de la mina de Pifo para edades de 28, 56 y 90 días.

Equipos:

- Máquina de compresión CONTROLS UTM 200 kN
- Calibrador digital
- Balanza

Procedimiento:

- Antes de iniciar con el ensayo de los especímenes es necesario registrar la información que se detalla en el Anexo 1.
- Una vez tomados los datos primarios, se debe colocar el espécimen que será ensayado en el centro de las placas de la máquina de compresión CONTROLS

UTM 200 kN, aplicar carga con una velocidad de 900 N/s, registrar el valor máximo de carga soportada en kN.



Figura 30. Máquina de compresión CONTROLS UTM 200 kN.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Cálculos:

Para el cálculo a la compresión simple se hace uso de la siguiente ecuación:

$$f_m = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde,

f_m : Resistencia a la compresión simple en MPa.

P: Carga total máxima de falla en N.

A: Área de la sección transversal del espécimen cubico, en mm².

3.4.3 Durabilidad (afectaciones del intemperismo)

Este ensayo tiene como objetivo evaluar la resistencia de 3 especímenes de morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal, que corresponden al 5%, 10% y 20% de sustitución con el cementante, a los 90 días de curado. Se someterán las muestras a condiciones de intemperie para simular cambios climáticos y ambientales. De esta manera, se busca identificar cualquier afectación o degradación que ocurra en las muestras a lo

largo del tiempo. El ensayo se realizará mediante registro fotográfico al inicio y a 60 días de su exposición al intemperismo, luego del curado.

3.4.4 Medida de fisuramiento

Este ensayo contempla la evaluación de fisuras presentes en morteros de cal apagada con reemplazo parcial de mucílago de nopal en proporciones del 5%, 10% y 20% después de 90 días de curado, habiendo sido expuestos a las condiciones ambientales y efectos del intemperismo por 60 días adicionales.

La identificación de fisuras en los especímenes de morteros se lleva a cabo utilizando un medidor de fisuras proporcionado por Sika, y se respalda con evidencia fotográfica después de 60 días de su exposición a condiciones ambientales.



Figura 31. Medidor de fisuras.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.4.5 Interrupción de la hidratación.

Después de completar las pruebas de compresión simple en las muestras de morteros patrón y los morteros elaborados con sustitución de mucílago de nopal a diferentes porcentajes y diferentes edades de curado, es indispensable conservar las muestras en fundas herméticas y luego colocarlas en refrigeración a 18 °C. . Esto se llevará a cabo con el propósito de conseguir la interrupción controlada del proceso de hidratación y curados de los morteros. La refrigeración desacelera las reacciones químicas y la actividad molecular que ocurre dentro de los materiales, deteniendo así el proceso de endurecimiento.



Figura 32. Interrupción de la hidratación de muestras de morteros de cal en refrigeración a 18 °C.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

El método de interrupción de la hidratación de los especímenes de morteros se realizará mediante los procesos detallados en RILEM TC-238 SCM recommendation on hydration stoppage by solvent exchange for the study of hydrate assemblages. (Snellings et al., 2018)

Este proceso está basado en una técnica específica llamada intercambio de solventes, en la cual se utiliza isopropanol como solvente para suspender el proceso de hidratación en los componentes del cementante. La finalidad principal de esta metodología es conservar de manera óptima los subproductos generados durante la hidratación en un punto preciso de tiempo o en un grado particular de avance en el proceso de reacción química.

El enfoque detrás de esta técnica radica en permitir un análisis exhaustivo y detallado de los productos resultantes de la hidratación. Para lograr esto, el método de intercambio de solventes se ha concebido con el propósito de facilitar la posterior evaluación de estos productos mediante la implementación de técnicas de análisis de difracción de rayos X.

Materiales:

- Muestras de morteros patrón de cal apagada elaborados con arena de sílice de Ottawa y con arena de la mina de Pifo.
- Muestra de morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal al 5%, 10% y 20% con el cementante, a diferentes edades de curado.
- Vasos de precipitación
- Alcohol isopropílico GR

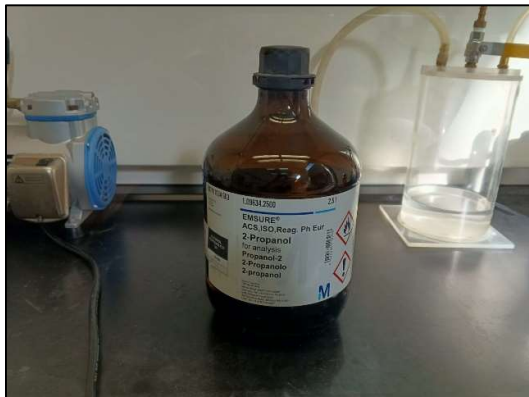


Figura 33. Alcohol isopropílico.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

- Éter etílico

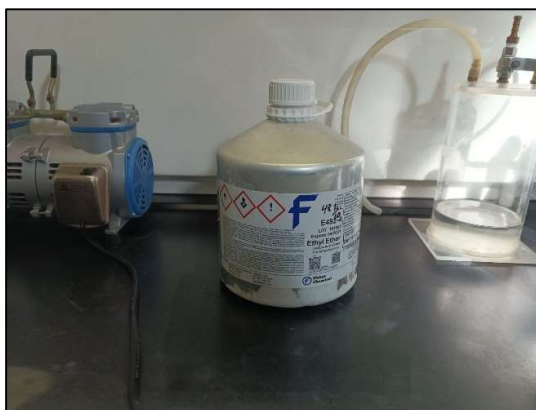


Figura 34. Éter etílico.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

- Frascos herméticos
- Papel filtro
- Paleta
- Mascarilla
- Guantes

Equipos:

- Mortero

- Tamiz #200
- Balanza
- Matraz
- Horno
- Bomba de vacío

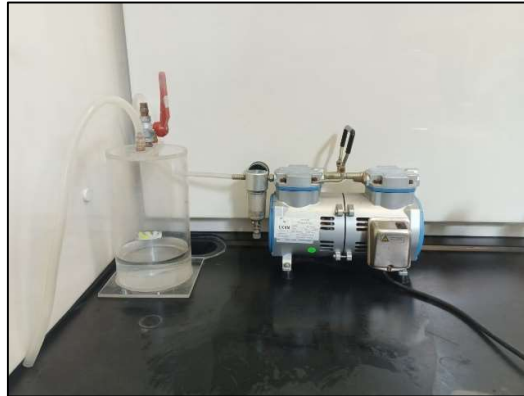


Figura 35. Bomba de vacío.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

- Probetas
- Embudo Büchner



Figura 36. Embudo Büchner.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Procedimiento:

- Obtención de las muestras de los especímenes de morteros. Se requiere que él espécimen sea triturado mediante el uso de un almirez para obtener una muestra que pase por el tamiz #200.



Figura 37. Muestras trituradas de morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

- La muestra necesaria es de 15 a 20 gramos para el proceso de deshidratación.
- Una vez obtenida la muestra, ésta es colocada en un vaso de precipitación y se dispone de 100 ml de alcohol isopropílico GR para hidratar la muestra, durante 15 minutos.

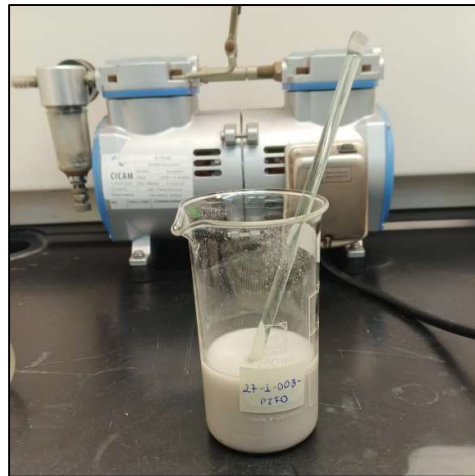


Figura 38. Hidratación de la muestra con alcohol isopropílico.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

- Instalar el Embudo Büchner sobre el matraz y con ayuda de una tubería flexible conectar a la bomba de vacío.

- Colocar el papel filtro dentro del Embudo Büchner y fijarlo mediante la ayuda del alcohol isopropílico.
- Después de transcurrido el tiempo, con ayuda de una paleta se esparce la mezcla dentro del recipiente de filtrado procurando que ésta sea vertida en el centro del papel filtro, posteriormente se procede a encender la bomba de filtrado.
- Una vez filtrada la mezcla, con 20 ml de alcohol isopropílico se realiza un lavado del recipiente, para proceder a filtrar el sobrante de la muestra, este proceso se repite con 20 ml de éter etílico.
- Después de completar el filtrado, con ayuda de una pinza se procede a retirar el papel filtro que contiene el material, se coloca en un envase y se introduce en el horno, manteniendo una temperatura de 40 grados Celsius durante un período de 15 minutos.
- Una vez trascurrido el tiempo de secado se quita la muestra del horno y se coloca en un desecador hasta que ésta se estabilice y pueda ser pesada y almacenada en un recipiente hermético, hasta que sea utilizada para el ensayo de difracción de rayos X.



Figura 39. Desecador con muestras de morteros de cal.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Las muestras preparadas con el proceso de deshidratación se encuentran especificadas en la siguiente Tabla:

Tabla 13. Información de las muestras deshidratadas.

Código	% Sustitución	Días de curado
27-I-003-PIFO	5	28
27-I-010-PIFO	10	
27-I-005-PIFO	20	
27-I-014-PIFO	5	56
27-I-008-PIFO	10	
27-I-017-PIFO	20	
27-I-020-PIFO	5	90
27-I-021-PIFO	10	
27-I-024-PIFO	20	

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

3.4.6 Difracción de rayos x

La difracción de rayos X es ampliamente utilizada en la ciencia de los materiales para determinar la estructura atómica y molecular de diferentes sustancias, para el presente estudio se realizará el ensayo de difracción de rayos x para encontrar la mineralógica de las muestras de morteros patrón con arena de sílice de Ottawa y con arena de la mina de Pifo y las muestras de morteros elaborados con cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal con el cementante a 90 días de curado para ambos casos.

Materiales:

- Muestra de mortero de cal apagada con de mucílago de nopal con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% por el cementante a 90 días de curado, obtenida del proceso de deshidratación.
- Portamuestras estándar circular de 25 mm de diámetro.
- Portaobjetos
- Cucharilla de metal

Equipos:

- Equipo de difracción de rayos x, Bruker D2 Phaser con detector LYNXEYE XE-T (1D- mode).



Figura 40. Equipo de Difracción de Rayos X

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Procedimiento:

- Con ayuda de la cucharilla de metal colocar la muestra deshidratada del espécimen en el portamuestras circular de 25 mm de diámetro hasta llenarlo completamente, realizar pequeños golpes con la parte plana de la cuchareta y enrasar la muestra de forma homogénea.
- Colocar el portaobjetos sobre la muestra haciendo presión con el dedo índice, luego retirar el portaobjetos y limpiar cuidadosamente los excesos que se encuentren sobre el portamuestras.

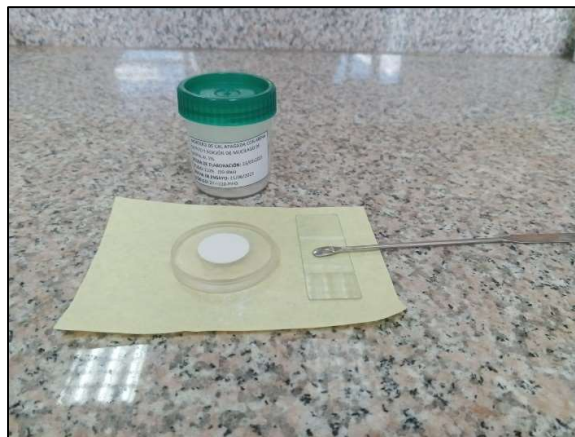


Figura 41. Muestra del espécimen para el ensayo de Rayos X.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

- Colocar la muestra en el equipo de Difracción de Rayos X con las siguientes características:
 - $2\theta = 10^\circ - 50^\circ$, incremento $0,02^\circ$.
 - Tiempo por paso: 0,25 s/paso.
 - Apertura del detector (PSD Opening): 5° .
 - La adquisición del difractograma se realiza sin girar la muestra.

4 RESULTADOS

En esta sección, se presentará y analizará detalladamente los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación de los morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal al 5%, 10% y 20% en sustitución con el cementante y los resultados obtenidos de los morteros patrón a 28, 56 y 90 días de curado para los dos casos.

4.1 Resultados de los morteros patrón

4.1.1 Ensayo de Flujo

Mediante el procedimiento antes expuesto se determinó el flujo de los morteros patrón como se indica en la Tabla 14, de los cuales se puede destacar que cumplen con lo establecido en la norma NTE INEN 488.

Tabla 14. Resultados de la fluidez de los morteros patrón.

Espécimen	Diámetro inicial D_i (mm)	Promedio del diámetro final D_f (mm)	Porcentaje del flujo %f (mm)
Mortero patrón de cal apagada con arena de Ottawa	100	210	110
Mortero patrón de cal apagada con arena de la cantera de Pifo	100	210	110

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.1.2 Densidad de los especímenes de mortero en estado seco.

En la siguiente Tabla se presentan los resultados de densidad en estado seco para cada muestra de mortero patrón.

Tabla 15. Resultados del cálculo de densidad de los morteros patrón.

Código	Descripción	Edad (días)	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)
030-I-H-01	Patrón Ottawa	28	194,73	120,65	1,61	1,62
030-I-H-02	Patrón Ottawa		194,11	119,18	1,63	
030-I-H-11	Patrón Ottawa	56	197,34	120,77	1,63	1,63
030-I-H-12	Patrón Ottawa		196,83	120,77	1,63	
030-I-H-21	Patrón Ottawa	90	197,70	120,99	1,63	1,63
030-I-H-22	Patrón Ottawa		197,70	121,12	1,63	
030-I-H-03	Patrón Pifo	28	188,94	115,95	1,63	1,64
030-I-H-04	Patrón Pifo		190,38	115,31	1,65	
030-I-H-13	Patrón Pifo	56	189,70	113,20	1,68	1,65
030-I-H-14	Patrón Pifo		207,07	127,16	1,63	
030-I-H-23	Patrón Pifo	90	210,82	126,64	1,66	1,67
030-I-H-24	Patrón Pifo		208,47	124,50	1,67	

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

- Se realizaron mediciones de masa y volumen en especímenes de morteros patrón con arena de sílice de Ottawa y morteros patrón con arena de la mina de Pifo a diferentes edades de curado (28, 56 y 90 días).
- La densidad promedio se calculó para cada grupo de especímenes del mismo patrón y edad, y se observó que; en los dos tipos de patrones, las densidades varían ligeramente para muestras diferentes en el mismo período de tiempo.

4.1.3 Resistencia a la compresión simple

Mediante el ensayo de resistencia a la compresión simple de los morteros patrón de cal apagada con arena de Ottawa y los morteros patrón de cal apagada con arena de la mina de Pifo, se presenta el resumen de resultados, donde se puede observar que los especímenes elaborados con arena de la mina Pifo poseen una resistencia superior en las pruebas de compresión simple conforme transcurre el tiempo de curado y en comparación con los especímenes elaborados con arena de sílice de Ottawa.

Tabla 16. Resultados obtenidos de las pruebas de compresión simple de los morteros patrón.

ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE					
Edad (días)	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Promedio	
				Carga (kN)	Resistencia (MPa)
28	Patrón Ottawa	1-feb-23	1-mar-23	1,17	0,45
	Patrón Pifo	2-feb-23	2-mar-23	1,21	0,50
56	Patrón Ottawa	1-feb-23	29-mar-23	1,43	0,55
	Patrón Pifo	2-feb-23	30-mar-23	1,58	0,65
90	Patrón Ottawa	1-feb-23	2-may-23	1,40	0,55
	Patrón Pifo	2-feb-23	3-may-23	2,07	0,80

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.1.4 Difracción de rayos x (XDR)

A continuación, se dan a conocer los resultados del ensayo de difracción rayos X del mortero patrón elaborado con arena de Sílice de Ottawa a 90 días de curado en unidades de CPS (cuentas por Segundo), esta unidad se utiliza para medir la intensidad de los rayos X dispersados por un cristal o una muestra cuando se les somete a un haz de rayos X.

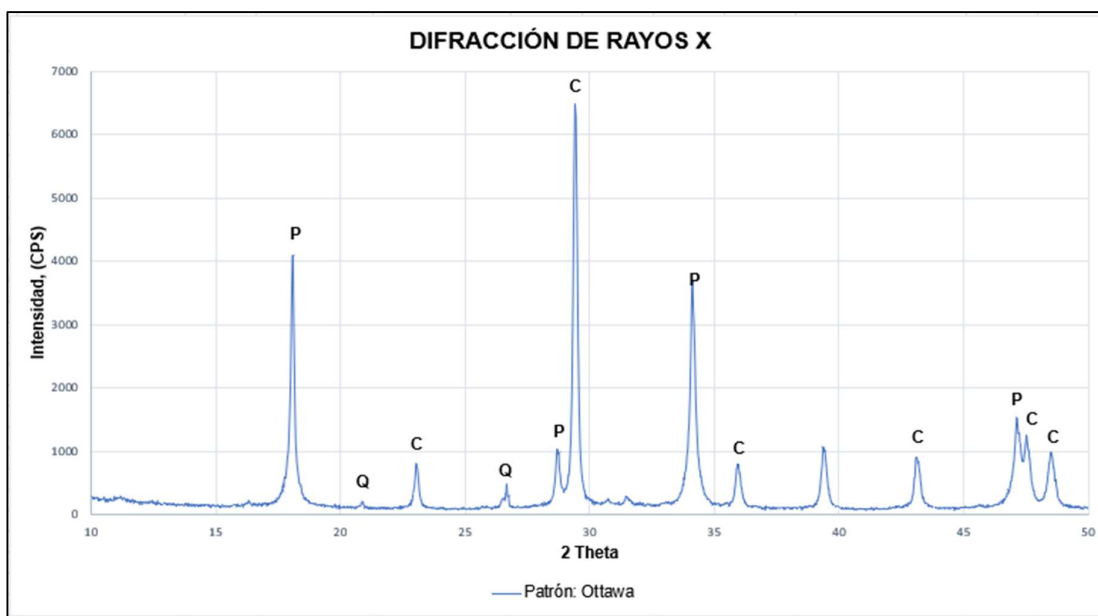


Figura 42. Resultados de difracción de rayos X del mortero patrón elaborado con la arena de sílice de Ottawa (C: calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

En la Figura 42, se puede apreciar que los compuestos predominantes son: Cuarzo [SiO₂], Portlandita [Ca(OH)₂] y Calcita [CaCO₃]. Es importante destacar que la Calcita [CaCO₃]

exhibe el pico más elevado, lo que indica su mayor presencia en los especímenes de estudio. Esta información es confirmada en la siguiente Tabla:

Tabla 17. Resumen de resultados del ensayo de Rayos X de los morteros patrón fabricados con arena de sílice de Ottawa.

Código	Compuestos químicos	Rangos de análisis	Patrón: Ottawa intensidad (CPS)
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	15-20	4092
C	Calcita: CaCO_3	20-30	6475
Q	Cuarzo: SiO_2	25-30	474
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	25-35	3680
C	Calcita: CaCO_3	35-50	1242
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	45-50	1523

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

La Figura 43 muestra los resultados de las pruebas de difracción de rayos X del mortero patrón elaborado con arena de la mina de Pifo a 90 días de curado, donde se puede observar que la intensidad de la Calcita es mayor con respecto al Cuarzo y a la Portlandita.

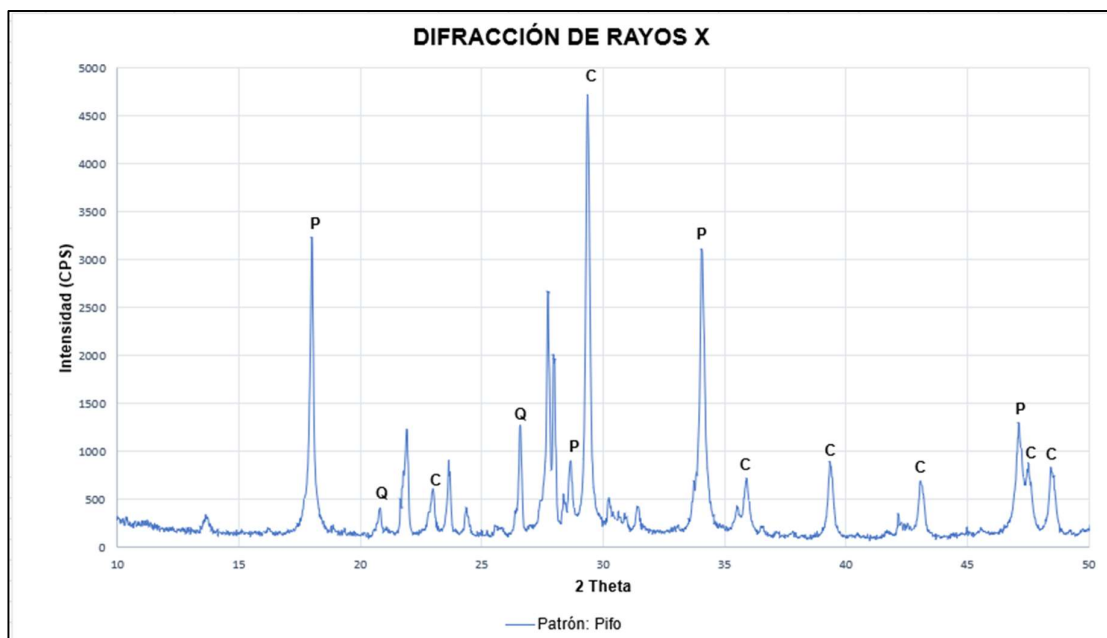


Figura 43. Resultados de difracción de rayos X del mortero patrón elaborado con la arena de la mina de Pifo (C: calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Los resultados presentados en la Tabla 18 indican los valores máximos de intensidad de los compuestos de Calcita, Cuarzo y Portlandita presentes en los morteros patrón

elaborados con arena de la mina de Pifo, obtenidos a través del análisis de difracción de rayos X. De acuerdo con esta Tabla, se destaca que la Calcita (CaCO_3) es el compuesto que presenta la mayor intensidad, alcanzando un valor de 4714 CPS. Esto indica que la Calcita es el componente dominante en los morteros patrón de la mina de Pifo, mostrando una alta concentración en las muestras analizadas.

Tabla 18. Resumen de resultados del ensayo de Rayos X de los morteros patrón fabricados con arena de la mina de Pifo.

Código	Compuestos químicos	Rangos de análisis	Patrón: Pifo intensidad (CPS)
P	Portlandita: Ca(OH)_2	15-20	3232
C	Calcita: CaCO_3	20-30	4714
Q	Cuarzo: SiO_2	20-30	1273
P	Portlandita: Ca(OH)_2	25-35	3108
C	Calcita: CaCO_3	35-50	892
P	Portlandita: Ca(OH)_2	45-50	1301

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.2 Resultados de los morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal

4.2.1 Ensayo de Flujo

Mediante el uso de la norma NTE INEN 488 que detalla el procedimiento para el ensayo de flujo, se determinó el flujo de los morteros de cal apagada con sustitución parcial del cementante con mucílago de nopal al 5%, 10% y 20% y a edades 28, 56 y 90 días de curado, dando a conocer que los resultados de este ensayo se encuentran dentro del rango que establece dicha normativa.

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de flujo.

Tabla 19. Resultados del ensayo de flujo de los especímenes de morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal.

Especimen	Cantidad	Diámetro inicial Di (mm)	Promedio del diámetro final Df (mm)	Porcentaje del flujo %f (mm)
Morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal al 5% de sustitución con el cementante.	9	100	208	108
Morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal al 10% de sustitución con el cementante.	9	100	207,75	107,75
Morteros de cal apagada con adiciones de mucílago de nopal al 20% de sustitución con el cementante.	9	100	210	110

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.2.2 Densidad de los especímenes de mortero en estado seco.

Se llevaron a cabo mediciones de densidad promedio en muestras secas de morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante. Estas mediciones se realizaron en intervalos de 28, 56 y 90 días de curado. Los resultados evidencian que la incorporación de mucílago de nopal tiene un impacto en las densidades de los morteros.

Conforme crece la concentración de mucílago (5%, 10% y 20%), se observa generalmente un aumento en la densidad de los morteros. Esto señala con claridad que el mucílago de nopal ejerce una influencia sobre las características físicas del mortero, contribuyendo a una mayor densidad. No obstante, en los casos de las muestras con adiciones del 10% y 20% a los 56 días de curado, no se evidencia un incremento en su densidad en comparación con la adición del 5%. Esta discrepancia puede atribuirse a diversos factores que potencialmente afectan la determinación de la densidad. Entre ellos, destaca el proceso de desencofrado de los morteros, el cual puede dar lugar al desprendimiento de fragmentos del espécimen y, por consiguiente, a una pérdida de masa.

Tabla 20. Resultados del cálculo de densidad de los morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 28, 56 y 90 días de curado.

Descripción	Edad (días)	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
Mucílago al 5%	28	199,52	125,21	1,59
Mucílago al 10%		199,49	123,31	1,62
Mucílago al 20%		202,19	124,39	1,63
Mucílago al 5%	56	204,77	125,12	1,64
Mucílago al 10%		201,97	126,60	1,59
Mucílago al 20%		204,67	127,11	1,61
Mucílago al 5%	90	205,48	125,28	1,64
Mucílago al 10%		206,00	124,44	1,66
Mucílago al 20%		206,31	125,11	1,65

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.2.3 Resistencia a la compresión simple

Mediante la norma ASTM C109/C109M se realizó el ensayo a compresión simple para los morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante. para 28, 56 y 90 días de curado, cuyo resumen de resultados se presenta a continuación:

Tabla 21. Hallazgos de la prueba de resistencia a la compresión en las muestras morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 28,56 y 90 días de curado.

ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE					
Edad (días)	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Promedio	
				Carga (kN)	Resistencia (MPa)
28	Mucílago al 5%	23-mar-23	20-abr-23	1,1	0,43
	Mucílago al 10%	23-mar-23	20-abr-23	1,07	0,40
	Mucílago al 20%	23-mar-23	20-abr-23	1,04	0,40
56	Mucílago al 5%	23-mar-23	18-may-23	1,44	0,60
	Mucílago al 10%	23-mar-23	18-may-23	1,49	0,53
	Mucílago al 20%	23-mar-23	18-may-23	1,41	0,57
90	Mucílago al 5%	23-mar-23	21-jun-23	2,04	0,80
	Mucílago al 10%	23-mar-23	21-jun-23	2,52	1,05
	Mucílago al 20%	23-mar-23	21-jun-23	1,94	0,80

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Seguidamente, se expone la curva de resistencia a compresión simple.

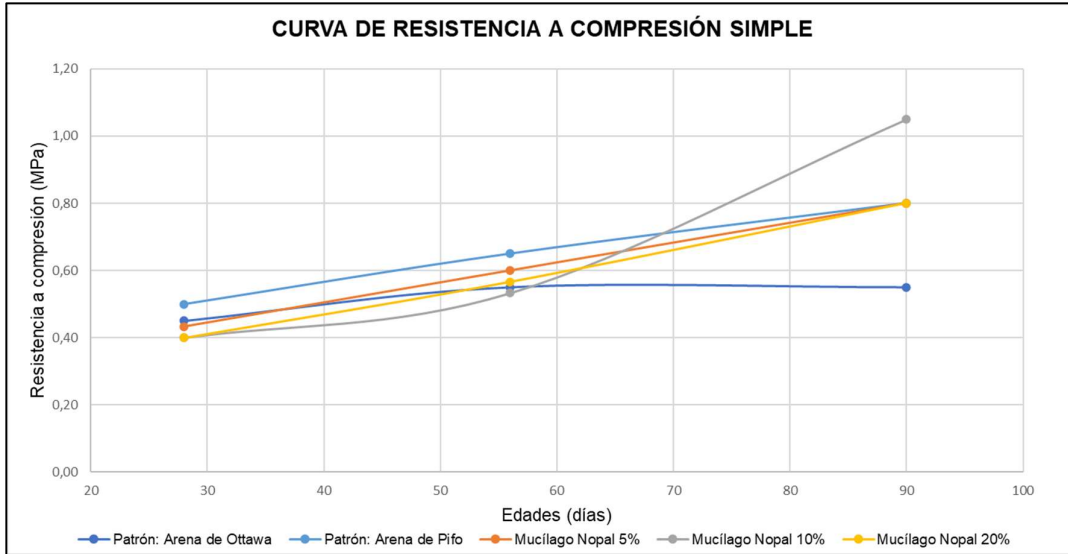


Figura 44. Curva de resistencia a Compresión Simple.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Como se puede observar en la en la Figura 44 los morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a la edad de 90 días de curado, presentan mayor resistencia que el mortero patrón elaborado con arena de Sílice de Ottawa, mientras que en relación con el mortero estándar elaborado con arena de la mina de Pifo, los especímenes con sustitución parcial de mucílago de nopal al 5% y al 20 %, presentan una resistencia inferior, además se puede apreciar que los morteros con el 10% de adición de mucílago de nopal a 90 días de curado tiene mayor resistencia.

En la Figura 45, se establecen los valores relativos a la resistencia de los morteros patrón y los morteros elaborados con adiciones de mucílago de nopal, donde se evidencia que la resistencia aumenta conforme transcurre el tiempo de curado.

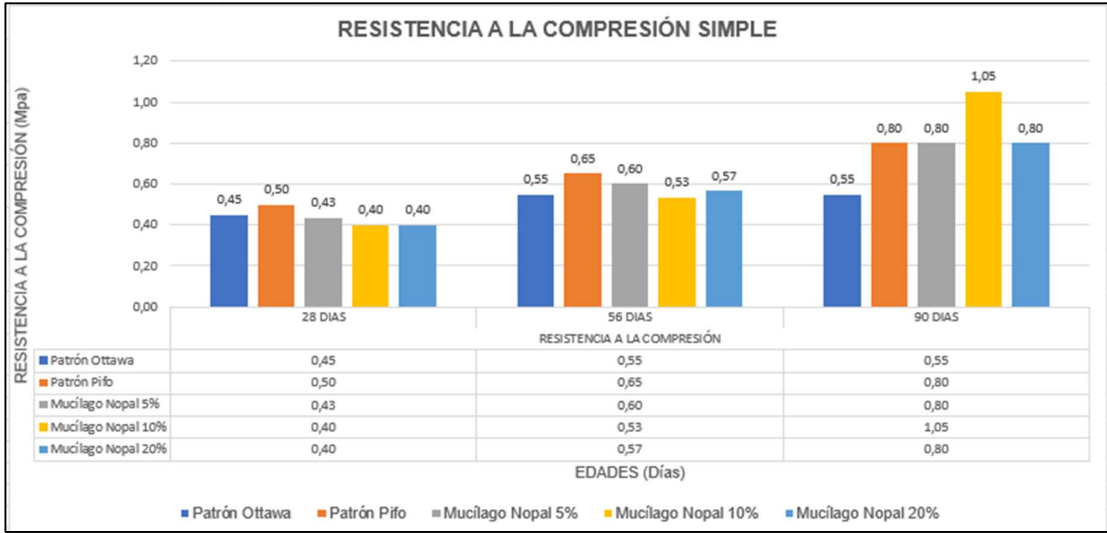


Figura 45. Resultados comparativos de la resistencia a la compresión simple.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.2.4 Durabilidad (afectaciones del intemperismo)

El día 31 de mayo de 2023 a las 13h00 pm, se expuso 3 especímenes de morteros de cal morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante, a una edad de 90 días de curado, al intemperismo, tal como se muestra a continuación:



Figura 46. Morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 90 días de curado, expuestos al intemperismo (Día 1).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Se tomó registro fotográfico después de 60 días de exposición al intemperismo, donde se pudo observar la existencia de desmoronamiento de la capa superficial de los especímenes

de morteros, siendo el mortero fabricado con el 20% de mucílago de nopal, el que presento mayor desprendimiento superficial.



Figura 47. morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 90 días de curado, expuestos al intemperismo (Día 60).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.2.5 Medida de fisuramiento

Tras exponer los morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 90 días de curado, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de las fisuras mediante la cual se pudo observar que después de 60 días de exposición a condiciones de intemperie, no se encontró presencia significativa de fisuración en su estructura física.

Para el caso del mortero de cal apagada con el 5% de mucílago de nopal se encontró pequeñas fisuras, cuyo ancho tienen un valor de 0,0508 milímetros.

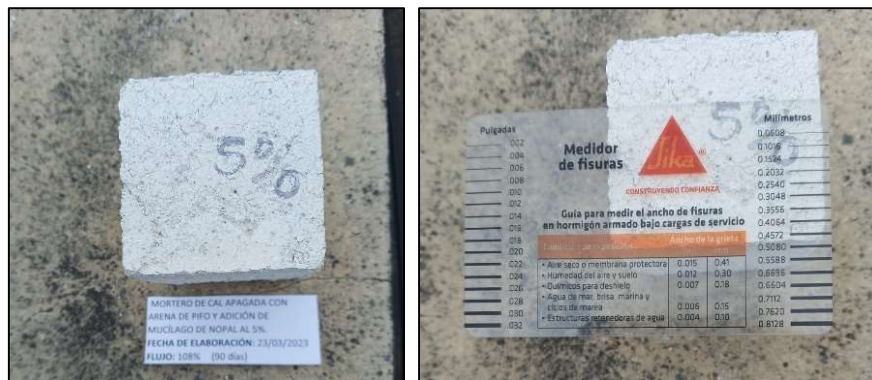


Figura 48. Mortero de cal apagada con adición del 5% de mucílago de nopal en sustitución con el cementante a 90 días de curado (medida de fisuramiento).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

El espécimen de mortero de cal apagada con el 10% de mucílago de nopal, no presenta fisuras.



Figura 49. Mortero de cal apagada con adición del 10% de mucílago de nopal en sustitución con el cementante a 90 días de curado (medida de fisuramiento).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Finalmente, el mortero de cal apagada con el 20% de mucílago de nopal no presenta fisuras.



Figura 50. Mortero de cal apagada con adición del 10% de mucílago de nopal en sustitución con el cementante a 90 días de curado (medida de fisuramiento).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.2.6 difracción de rayos x (XDR)

En base a la información proporcionada por Ventolá et al. (2011), en su estudio “Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics” y Ramachandran et al. (2002) en su estudio “HANDBOOK OF

THERMAL ANALYSIS OF CONSTRUCTION MATERIALS” se presenta el análisis de resultados del ensayo de difracción de rayos x para morteros con adiciones de mucílago de nopal al 5%, 10% y 20% de sustitución con el cementante a 90 días de curado.

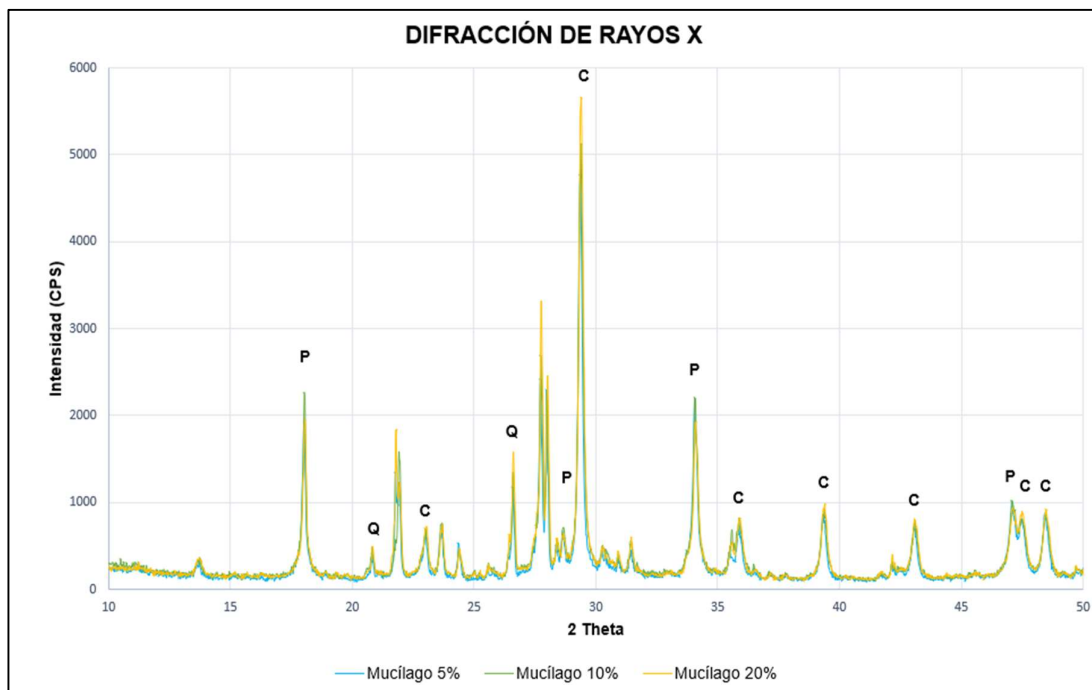


Figura 51. Difracción de Rayos X (RDX) de los morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante a 90 días de curado (C: Calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

En la Tabla 22 se manifiestan los resultados de intensidad para cada compuesto presente en los morteros de cal con sustitución parcial de mucílago de nopal:

Tabla 22. Resumen de resultados del ensayo de Rayos X de los morteros de cal apagada con adiciones del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal en sustitución con el cementante a 90 días de curado.

Código	Compuestos químicos	Rangos de análisis	Mucílago 5% (CPS)	Mucílago 10% (CPS)	Mucílago 20% (CPS)
P	Portlandita: Ca(OH) ₂	15-20	1930	2256	1943
C	Calcita: CaCO ₃	20-30	4766	5117	5648
Q	Cuarzo: SiO ₂	25-30	1170	1340	1574
P	Portlandita: Ca(OH) ₂	25-35	2196	2202	1920
C	Calcita: CaCO ₃	35-50	862	912	975
P	Portlandita: Ca(OH) ₂	45-50	1009	1010	939

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Los valores de intensidad para la Portlandita varían en función del rango de análisis y el porcentaje de mucílago de nopal. En general, se evidencia que la intensidad de la Portlandita tiende a disminuir ligeramente a medida que aumenta el porcentaje de mucílago de nopal en la mezcla. Sin embargo, esta disminución no es uniforme en todos los rangos de análisis.

La intensidad de la Calcita también muestra una tendencia similar a la Portlandita, disminuyendo en algunos rangos de análisis a medida que crece el porcentaje de mucílago de nopal. Esta reducción es más notable en el rango de 35-50.

En el caso del cuarzo, se observa que la intensidad aumenta en general a medida que aumenta el porcentaje de mucílago de nopal en la mezcla. Esta tendencia es evidente en todos los rangos de análisis.

4.3 Resultados comparativos de difracción de rayos x (XDR)

4.3.1 Morteros patrón con arena de Ottawa y morteros con adiciones de mucílago de nopal del 5%, 10% y 20%.

En esta sección se da a conocer los resultados comparativos del ensayo de rayos X entre los morteros elaborados con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante, con los morteros patrón elaborados con arena de Sílice de Ottawa. Donde se puede apreciar que el mucílago con el 20% de sustitución presenta una intensidad mayor en cuanto a la calcita con respecto a los otros especímenes, constituidos por un 5% y 10% de mucílago de nopal. Sin embargo, la intensidad de la calcita existente en la muestra del 20% es menor que la que presenta el mortero patrón elaborado con arena normalizada de Ottawa.

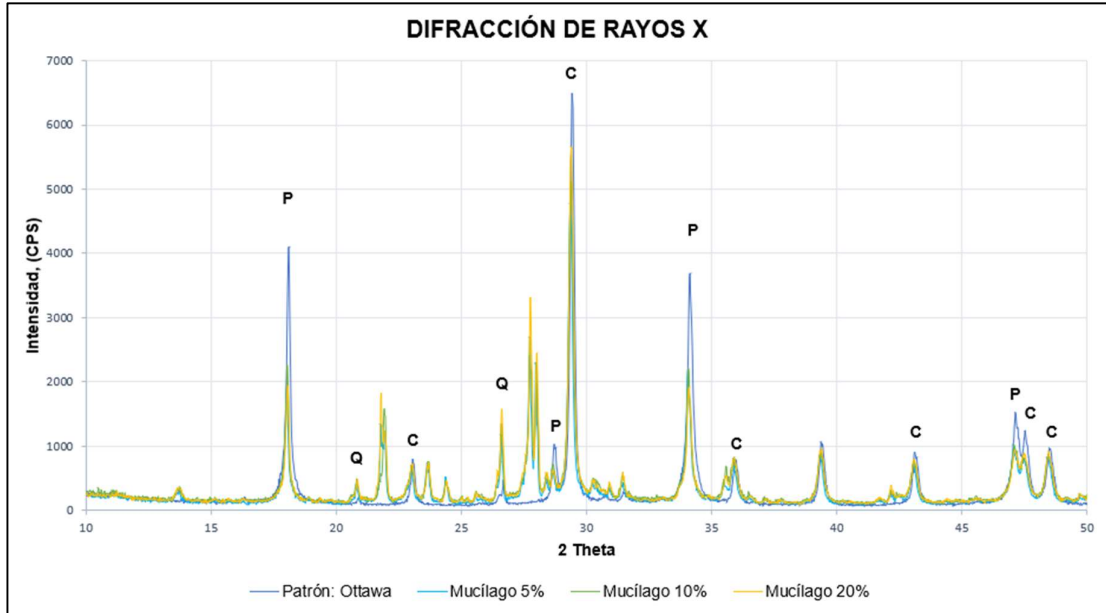


Figura 52. Difracción de Rayos X (RDX) de los especímenes de mortero patrón elaborado con arena de Sílice de Ottawa y morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal a 90 días de curado (C: Calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

En la Figura siguiente, se exhiben los valores máximos de intensidad para cada muestra de estudio. Se destaca que el máximo valor de intensidad de la Calcita es de 6475 CPS, mientras que para la Portlandita se registra un valor máximo de 4092 CPS en el mortero patrón elaborado con arena de Ottawa. Por otro lado, el Cuarzo presenta un valor máximo de intensidad de 1574 CPS, correspondiente al mortero de cal apagada con sustitución parcial del 20% de mucílago de nopal.

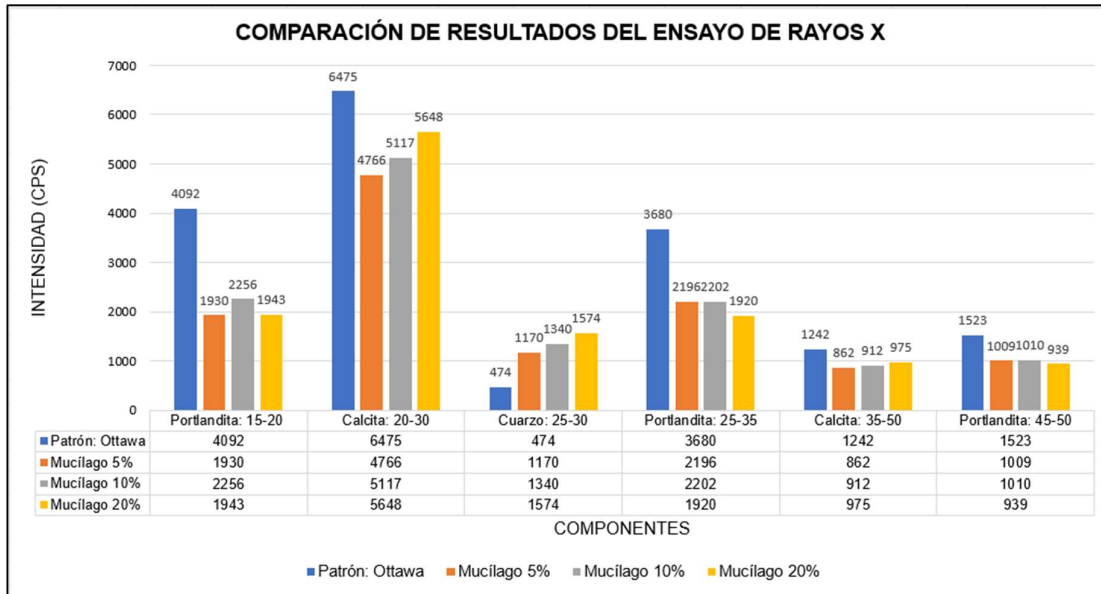


Figura 53. Resumen de resultados del ensayo de rayos X de los especímenes de mortero patrón elaborado con arena de Sílice de Ottawa y morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal, en reemplazo del cementante a 90 días de curado.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Asumiendo que el mortero patrón tiene todos los compuestos (Calcita, Cuarzo y Portlandita) al 100%, se determinó los porcentajes relativos de cada espécimen de mortero con adición de mucílago de nopal, como se evidencia en la Tabla 23. Los resultados mayores a 100% indican un aumento en el contenido del compuesto en la mezcla con mucílago de nopal en relación con el mortero patrón, mientras que los valores menores a 100% indican una reducción en el contenido de Calcita, Cuarzo y Portlandita. Los valores cercanos al 100% exponen que el contenido del compuesto se mantiene similar entre la mezcla con mucílago y el mortero patrón.

Tabla 23. Comparación de porcentajes de los compuestos presentes en los morteros con sustitución parcial del 5% 10% y 20% de mucílago de nopal con respecto al mortero patrón de Sílice de Ottawa.

Código	Compuestos químicos	Rangos de análisis	Patrón: Ottawa	Mucilago 5% (CPS)	Mucilago 10% (CPS)	Mucilago 20% (CPS)
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	15-20	100%	47,17%	55,13%	47,48%
C	Calcita: CaCO_3	20-30	100%	73,61%	79,03%	87,23%
Q	Cuarzo: SiO_2	25-30	100%	246,84%	282,70%	332,07%
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	25-35	100%	59,67%	59,84%	52,17%
C	Calcita: CaCO_3	35-50	100%	69,40%	73,43%	78,50%
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	45-50	100%	66,25%	66,32%	61,65%

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

4.3.2 Morteros patrón con arena de la mina de Pifo y morteros con adiciones de mucílago de nopal del 5%, 10% y 20%.

En la Figura 54 se pueden observar los resultados de rayos X que compara los morteros fabricados con incorporación de mucílago de nopal al 5%, 10% y 20% como reemplazo del cementante, con el mortero patrón, el cual fue preparado utilizando arena de la mina de Pifo. De estos resultados se destaca la presencia de calcita CaCO_3 en el mortero de cal apagada con el 20% de mucílago de nopal, siendo evidente que el valor de calcita presente en dicho espécimen supera al valor presente en el mortero patrón.

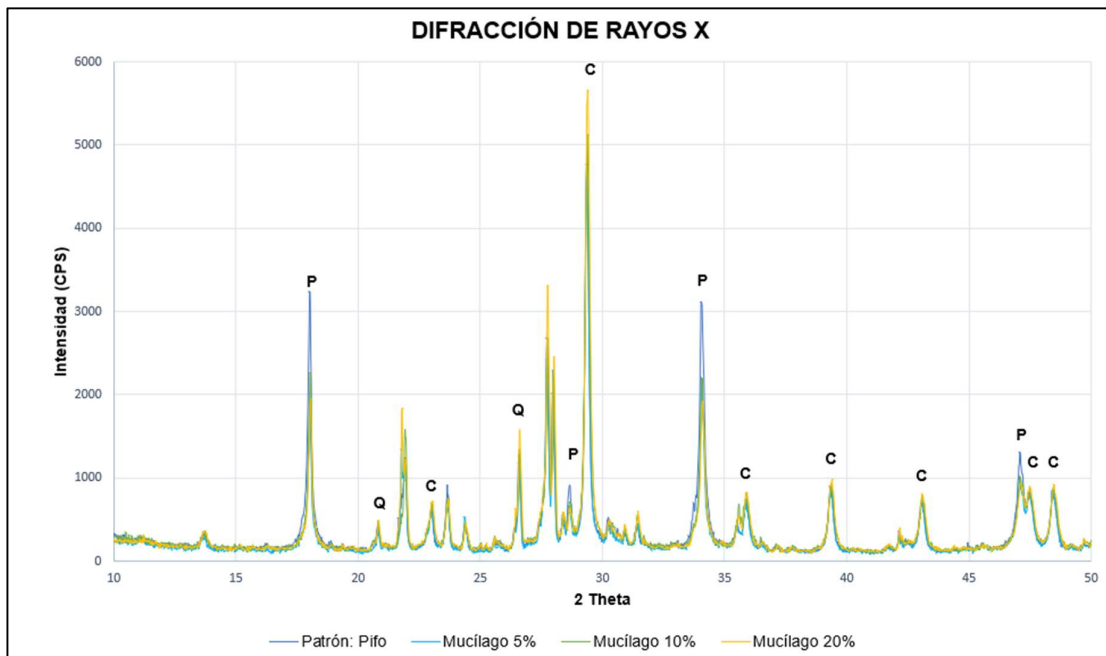


Figura 54. Difracción de Rayos X (RDx) de los especímenes de mortero patrón elaborado con arena de la mina de Pifo y morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucílago de nopal a 90 días de curado (C: Calcita, P: Portlandita, Q: Cuarzo).

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

A continuación, se muestra un gráfico que representa la intensidad de cada compuesto existentes en los morteros patrón elaborados con arena de la mina de Pifo y los morteros de cal con sustitución de mucílago. Se destaca claramente que el valor con la mayor intensidad corresponde al espécimen de mortero de cal apagada con un 20% de mucílago de nopal en relación con el cuarzo.

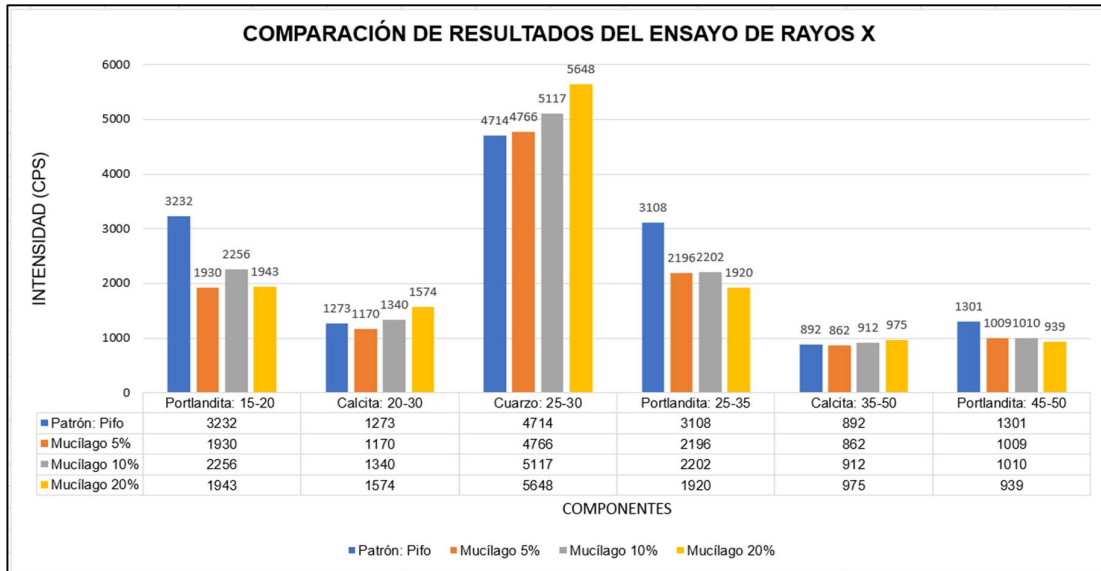


Figura 55. Resumen de resultados del ensayo de rayos X de los especímenes de mortero patrón elaborado con arena de la mina de Pifo y morteros de morteros de cal apagada con sustitución parcial del 5%, 10% y 20% de mucilago de nopal, en reemplazo del cementante a 90 días de curado.

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Considerando que el mortero patrón elaborado con arena de la mina de Pifo posee Calcita, Cuarzo y Portlandita en un 100%, con respecto a esto se calcularon los porcentajes relativos para cada adición de mucilago de nopal. Es evidente que la presencia de cuarzo y calcita en los morteros con adiciones de mucilago de nopal crece en comparación con el mortero patrón, mientras que la Portlandita disminuye.

Tabla 24. Comparación de porcentajes de los compuestos presentes en los morteros con sustitución parcial del 5% 10% y 20% de mucilago de nopal con respecto al mortero patrón con arena de la mina de Pifo.

Código	Compuestos químicos	Rangos de análisis	Patrón: Pifo (CPS)	Mucilago 5% (CPS)	Mucilago 10% (CPS)	Mucilago 20% (CPS)
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	15-20	100%	59,72%	69,80%	60,12%
C	Calcita: CaCO_3	20-30	100%	91,91%	105,26%	123,64%
Q	Cuarzo: SiO_2	25-30	100%	101,10%	108,55%	119,81%
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	25-35	100%	70,66%	70,85%	61,78%
C	Calcita: CaCO_3	35-50	100%	96,64%	102,24%	109,30%
P	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	45-50	100%	77,56%	77,63%	72,18%

Fuente: (Thalía Espín, 2023)

Según el estudio "Determinación de la composición de morteros endurecidos de cal, híbridos y de cemento Portland" realizado por Cascante et al. (2020), se ha observado que la presencia de portlandita en los morteros de cal puede tener un impacto positivo en su

resistencia y endurecimiento. Su formación puede contribuir al desarrollo de estructuras cristalinas en el mortero, lo que a su vez puede aumentar la resistencia mecánica y la durabilidad del material.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se cumplió de forma satisfactoria con el proceso de hidratación de la piedra caliza para obtener cal apagada con un periodo de apagado de 90 días. Durante este tiempo, el óxido de calcio (CaO) presente en la piedra caliza reaccionó con el agua (H₂O) para formar hidróxido de calcio (Ca(OH)₂).
- La extracción artesanal del mucílago presente en las hojas de nopal se llevó a cabo con éxito, seleccionando hojas adecuadas, limpiándolas y extrayendo el mucílago mediante procesos manuales, con lo cual se obtuvo el suficiente material orgánico para la elaboración de especímenes de morteros.
- Se fabricaron 27 morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante. y se fabricaron 12 morteros Patrón, 6 elaborados con cal apagada y con arena de Sílice de Ottawa y 6 elaborados con cal apagada y arena de la mina de Pífo.
- En el ensayo de durabilidad y exposición al intemperismo, se concluye que existe una relación entre el porcentaje de mucílago de nopal en los especímenes y el descascarillado superficial en su estructura física. A medida aumenta el porcentaje de mucílago de nopal, los morteros con esta adición orgánica muestran un aumento en el desprendimiento superficial. Específicamente, se observó que el espécimen elaborado con cal apagada y un 20% de mucílago de nopal presenta una mayor afectación de descascarillado en comparación con las mezclas con porcentajes inferiores de mucílago. Estos resultados sugieren que la presencia de mucílago de nopal puede influir negativamente en la resistencia del mortero a las condiciones climáticas y al envejecimiento causado por la exposición al intemperismo. El desprendimiento superficial puede debilitar la estructura del mortero y comprometer su durabilidad a lo largo del tiempo.
- El análisis de fisuramiento de las muestras de morteros de cal apagada con sustitución parcial de mucílago de nopal en porcentajes del 5%, 10% y 20% en reemplazo del cementante, tras ser expuestas al intemperismo durante 60 días,

arrojó resultados alentadores donde, se observó una clara relación entre el porcentaje de mucílago de nopal agregado a los morteros y la incidencia de agrietamiento, los especímenes elaborados con 10% y 20% de mucílago de nopal no presentaron fisuras en su estructura después del periodo de exposición. Estos resultados son significativos en el contexto de la restauración y preservación de elementos patrimoniales ya que indican que la incorporación de mucílago de nopal en estas proporciones puede mejorar significativamente la capacidad del mortero para resistir fisuras inducidas por el intemperismo. Por otro lado, el espécimen elaborado con cal apagada y un 5% de mucílago de nopal mostró fisuras pequeñas de 0,0508 mm y aunque estas fisuras son mínimas, sugiere que una proporción más baja de mucílago de nopal puede tener un impacto menor en la prevención del fisuramiento en comparación con los porcentajes más altos.

- Con respecto a los resultados de compresión de los morteros patrón y morteros con adiciones de mucílago de nopal en sustitución con el cementante expuestos en la Tabla 16 y en la Tabla 21 respectivamente, se concluye que; Los morteros con adiciones de mucílago de nopal al 10% han demostrado tener un desempeño destacable en términos de resistencia a la compresión con un valor de 1,05 MPa, a los 90 días de curado, estos resultados superan significativamente la resistencia de los morteros patrón elaborados con ambas arenas lo que podría indicar que la dosificación óptima de mucílago de nopal para mejorar la resistencia a la compresión se encuentra alrededor del 10%, en general, los morteros con sustitución parcial de mucílago de nopal muestran un buen comportamiento en resistencia a la compresión, siendo su desempeño comparable o ligeramente inferior al de los morteros patrón.
- Según los resultados de difracción de rayos X presentados en la Tabla 23, en cuanto a la mineralogía, se observa un aumento significativo en el contenido de cuarzo (SiO_2) cuando se agregan diferentes porciones de mucílago de nopal a los morteros de cal apagada. Específicamente, los morteros con un 20% de mucílago de nopal muestran el mayor incremento en el contenido de cuarzo, alcanzando un porcentaje relativo de 332.07% en comparación con el mortero estándar elaborado con arena de sílice de Ottawa, Por otro lado, se evidencia un decremento en la intensidad de la Portlandita en relación al crecimiento porcentual de sustitución parcial de mucílago de nopal, con respecto al comportamiento del mortero patrón compuesto por arena de sílice de Ottawa, esto implica que los especímenes con mayores porcentajes de mucílago de nopal podrían tener una menor resistencia

mecánica, menor adherencia y durabilidad y con respecto a la calcita, se muestra que el mortero patrón predomina en los valores de intensidad de este compuesto, lo que sugiere que la presencia de mucílago de nopal no tiene un impacto significativo en la intensidad de la calcita en los morteros.

- En cuanto a los resultados expuestos en la Tabla 24, se concluye que; en el caso del compuesto Portlandita, los porcentajes de intensidad en las muestras con mucílago de nopal son inferiores en comparación con el patrón elaborado con arena de la mina de Pifo, indicando una reducción en la intensidad de este compuesto con la adición de mucílago, lo que sugiere que el mortero patrón elaborado con arena de la mina de Pifo posee mayor resistencia mecánica, mejor adherencia y durabilidad. En el caso de la Calcita y el Cuarzo, algunos porcentajes de intensidad en las muestras con mucílago de nopal son superiores al patrón elaborado con arena de la mina de Pifo.
- Realizando una comparación entre la arena de Sílice de Ottawa y la arena de la mina de Pifo se llegó a la conclusión, que la arena de Ottawa tiene una distribución más uniforme y contiene una mayor proporción de partículas más finas, mientras que la arena de la mina de Pifo tiene una distribución más amplia y contiene una mayor proporción de partículas más gruesas. Estas diferencias en la granulometría pueden tener implicaciones en el comportamiento y rendimiento de las mezclas de morteros y concretos que se elaboren con cada tipo de arena, por lo que es importante considerar estas características al seleccionar el material adecuado para proyectos de construcción, además, los resultados de densidad y resistencia revelaron de manera concluyente que la arena proveniente de la mina de Pifo supera significativamente a la arena de sílice de Ottawa.
- Inicialmente, se propuso llevar a cabo un análisis mediante termogravimetría, sin embargo, la realización de este ensayo estuvo condicionada por la disponibilidad del equipo adecuado por parte del INPC (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador). Lamentablemente, dicha disponibilidad no se materializó, lo que condujo a la eventual cancelación de la ejecución de esta prueba.

5.2 Recomendaciones

- En la elaboración de los especímenes de mortero, es de vital importancia otorgar una atención especial al encofrado y seguir un proceso adecuado previo a esta fase. Se recomienda aplicar aceite en los moldes de manera adecuada para facilitar

el desmoldeo y evitar posibles adherencias. Asimismo, se aconseja optar por moldes de acero en lugar de madera con el fin de prevenir la eventualidad de que las esquinas de los morteros se fracturen durante el proceso de desencofrado. Estas medidas preventivas contribuirán a la obtención de especímenes de mortero con una conformación óptima y sin daños, lo que garantizará resultados más precisos en los análisis y ensayos posteriores.

- En base a las conclusiones de la medida de fisuramiento de los especímenes de morteros se recomienda seguir profundizando en el tema para comprender mejor los mecanismos detrás de estos resultados y explorar su aplicabilidad en diferentes condiciones y aplicaciones específicas en la construcción en condiciones severas.
- Según el resultado del ensayo a compresión simple donde se establece que el 10% de mucílago de Nopal es la dosificación óptima para mejorar las propiedades resistentes de estos morteros se recomienda seguir investigando y optimizando la dosificación y preparación de los morteros con mucílago de nopal para comprender plenamente su comportamiento y su aplicabilidad en la preservación y restauración de elementos patrimoniales.
- Para asegurar un proceso de deshidratación eficiente y evitar la escasez de muestra para el ensayo de rayos X, se sugiere triturar una cantidad adecuada de muestra al inicio del procedimiento. Al hacerlo, se garantizará tener una reserva suficiente de muestra disponible para llevar a cabo el ensayo sin contratiempos. Esta medida permitirá optimizar el proceso de deshidratación y asegurar la realización exitosa del análisis mediante rayos X, al disponer muestras uniformes y homogéneas.
- Es fundamental asegurar una calibración adecuada del equipo de difracción de rayos X para los ensayos. Al garantizar que el equipo esté debidamente calibrado, se asegura la precisión y confiabilidad de los resultados adquiridos. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo una verificación periódica de la calibración del equipo y, en caso de ser necesario, realizar ajustes y correcciones para mantenerlo en óptimas condiciones de funcionamiento.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]

Bello, J. T. S. (2019). *DOSIFICACIÓN DE UN MORTERO CON CAL VIVA Y CAL APAGADA*.

Cascante, A. V. S., Mora, C. A. V., & Cevallos, G. D. R. U. (2020). Determinación del uso del mucilago de nopal en la construcción de la época colonial (caso Convento de San Diego). *Project Design and Management*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.35992/pdm.v2i1.433>

Castellanos, N. A. P. (2009). Formulación de un mortero de inyección con mucilago de nopal para restauración de pintura mural. *Foro Académico*, 2, Article 2. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/foro/article/view/4611>

Cazalla Vázquez, O. (2002). *Morteros de cal: Aplicación en el patrimonio histórico*. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/28626>

Dugarte, N. Y., Molina, F. A., García, M. A., & a. (2020). APLICACIONES DE LOS MUCILAGOS EN EL SECTOR AGRO-ALIMENTARIO/Application of mucilages in the agro-food sector. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 30(1), 70-77.

ISCARSAH. (2005). ISCARSAH. <https://iscarsah.org/>

La Declaración Universal de la UNESCO sobre la Diversidad Cultural—UNESCO Biblioteca Digital. (2002). https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000128347_spa

Lorenzini, M. S. G. (2007). *Microwaves Horno y en Microondas*. 1.

Luna-Zapién, E. A., Zegbe, J. A., Meza-Velázquez, J. A., & Minjares-Fuentes, R. (2023). MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia* spp.) Y SU APLICACIÓN COMO ADITIVO ALIMENTARIO: UNA VISIÓN GENERAL. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(1), 51. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.51>

Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417-424. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00015-1)

Portillo, G. (2019, junio 25). Características y propiedades medicinales del mucílago. *Jardineria On*. <https://www.jardineriaon.com/mucilago.html>

Q.B, A. (2020, enero 29). Quito: Maravilla colonial y Patrimonio de la Humanidad en Ecuador. *Viajes y Fotografía*. <https://www.viajesyfotografia.com/blog/quito-maravilla-colonial-patrimonio-humanidad/>

Ramachandran, V. S., Paroli, R. M., & Delgado, A. H. (2002). *Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials | ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/book/9780815514879/handbook-of-thermal-analysis-of-construction-materials>

Ruiz Gil, J. A. (2005). *Creer y crear. El patrimonio cultural en la encrucijada de la globalización*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. <https://rodin.uca.es/handle/10498/26992>

Snellings, R., Chwast, J., Cizer, Ö., De Belie, N., Dhandapani, Y., Durdzinski, P., Elsen, J., Haufe, J., Hooton, D., Patapy, C., Santhanam, M., Scrivener, K., Snoeck, D., Steger, L., Tongbo, S., Vollpracht, A., Winnefeld, F., & Lothenbach, B. (2018). RILEM TC-238 SCM recommendation on hydration stoppage by solvent exchange for the study of hydrate assemblages. *Materials and Structures*, 51(6), 172. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1298-5>

Torres, A., & Díaz, A. (2017, enero 18). *La adición de nopal a los materiales de construcción aumenta su durabilidad* [Text]. iResiduo; Conacyt. <https://iresiduo.com/noticias/mexico/conacyt/17/01/18/adicion-nopal-materiales-construccion-aumenta-durabilidad>

Ventolá, L., Vendrell, M., Giraldez, P., & Merino, L. (2011). *Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics*. ELSEVIER. <https://www.elsevier.com/search-results?query=Traditional%20organic%20additives%20improve%20lime%20mortars%3A%20New%20old%20materials%20for%20restoration%20and%20building%20natural%20stone%20fabrics>

NORMAS

ASTM C29 Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate¹

ASTM C40 Organic Impurities in Fine For Concrete

ASTM C125-13b Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.

ASTM C127 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

ASTM C136M. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

ASTM C618. (2019). standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. <https://doi.org/10.1520/C0618-19>

ASTM C778. (2021) Standard Specification for Standard Sand. <https://doi.org/10.1520/C0618-21>

NTE INEN 155. (2009). Cemento Hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica.

NTE INEN 248. (2010). Cal viva para propósitos estructurales. Requisitos.

NTE INEN 488. (2009). Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros de 50 mm de arista.

NTE INEN 872 (2011). Áridos para hormigón. Requisitos.

NTE INEN 2502. (2009). Cemento Hidráulico. Determinación del flujo en morteros.

7 ANEXOS

ANEXO I

7.1 DATOS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

TABLA DE DATOS INICIALES

N.	Código	Fecha de fabricación	Fecha de rotura	Flujo (%)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Masa (g)	Carga (KN)

ANEXO II

7.2 DETERMINACIÓN DEL FLUJO

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA.

DETERMINACIÓN DEL FLUJO MORTERO PATRÓN ARENA DE SÍLICE DE OTTAWA					
Di (mm)	100				
Df1 (mm)	Df2 (mm)	Df3 (mm)	Df4 (mm)	Df promedio (mm)	Flujo %
210	210	210	210	210	110

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE LA MINA DE PIFO.

DETERMINACIÓN DEL FLUJO MORTERO PATRÓN CON ARENA DE PIFO					
Di (mm)	100				
Df1 (mm)	Df2 (mm)	Df3 (mm)	Df4 (mm)	Df promedio (mm)	Flujo %
210	210	210	210	210	110

MORTERO DE CAL APAGADA CON EL 5% DE SUSTITUCIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL CON EL CEMENTANTE.

DETERMINACIÓN DEL FLUJO MORTEROS CON ADICIONES DEL 5% DE MUCÍLAGO DE NOPAL					
Di (mm)	100				
Df1 (mm)	Df2 (mm)	Df3 (mm)	Df4 (mm)	Df promedio (mm)	Flujo %
207	210	205	210	208	108

MORTERO DE CAL APAGADA CON EL 10% DE SUSTITUCIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL CON EL CEMENTANTE.

DETERMINACIÓN DEL FLUJO MORTEROS CON ADICIONES DEL 10% DE MUCÍLAGO DE NOPAL					
Di (mm)	100				
Df1 (mm)	Df2 (mm)	Df3 (mm)	Df4 (mm)	Df promedio (mm)	Flujo %
205	208	210	208	207,75	107,75

MORTERO DE CAL APAGADA CON EL 20% DE SUSTITUCIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL CON EL CEMENTANTE.

DETERMINACIÓN DEL FLUJO MORTEROS CON ADICIONES DEL 10% DE MUCÍLAGO DE NOPAL					
Di (mm)	100				
Df1 (mm)	Df2 (mm)	Df3 (mm)	Df4 (mm)	Df promedio (mm)	Flujo %
205	208	210	208	207,75	107,75

ANEXO III

7.3 CÁLCULO DE DENSIDAD EN SECO

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA A 28 DÍAS.

Código	Descripción	Edad (días)	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
			a (mm)	b (mm)	c (mm)			
030-IH-01	Patrón Ottawa	28	50,22	48,95	49,08	194,73	120,652	1,61
030-IH-02	Patrón Ottawa	28	47,91	49,81	49,94	194,11	119,177	1,63

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA A 56 DÍAS.

Código	Descripción	Edad (días)	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
			a (mm)	b (mm)	c (mm)			
030-IH-11	Patrón Ottawa	56	50,25	48,64	49,41	197,34	120,77	1,63
030-IH-12	Patrón Ottawa	56	50,25	48,64	49,41	196,83	120,77	1,63

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA A 90 DÍAS.

Código	Descripción	Edad (días)	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
			a (mm)	b (mm)	c (mm)			
030-IH-21	Patrón Ottawa	90	49,79	49,33	49,26	197,7	120,99	1,63
030-IH-22	Patrón Ottawa	90	49,27	48,95	50,22	197,7	121,12	1,63

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE LA MINA DE PIFO A 28 DÍAS.

Código	Descripción	Edad (días)	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
			a (mm)	b (mm)	c (mm)			
030-IH-03	Patrón Pifo	28	48,39	48,96	48,94	188,94	115,95	1,63
030-IH-04	Patrón Pifo	28	48,47	48,47	49,08	190,38	115,31	1,65

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE LA MINA DE PIFO A 56 DÍAS.

Código	Descripción	Edad (días)	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
			a (mm)	b (mm)	c (mm)			
030-IH-13	Patrón Pifo	56	48,87	47,39	48,88	189,7	113,2	1,68
030-IH-14	Patrón Pifo	56	50,39	50,11	50,36	207,07	127,16	1,63

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE LA MINA DE PIFO A 90 DÍAS.

Código	Descripción	Edad (días)	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
			a (mm)	b (mm)	c (mm)			
030-I-H-23	Patrón Pifo	90	49,98	49,5	51,19	210,82	126,64	1,66
030-I-H-24	Patrón Pifo	90	49,5	49,56	50,75	208,47	124,5	1,67

MORTEROS DE CAL APAGADA CON ADICIONES DE MUCÍLAGO DE NOPAL A 28 DÍAS.

DENSIDAD							
Edad:	28 días						
Código	Descripción	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
		a (mm)	b (mm)	c (mm)			
027-I-H-01	Mucilago al 5%	50,32	50,40	49,74	200,36	126,15	1,59
027-I-H-02	Mucilago al 5%	50,01	49,75	50,52	201,40	125,69	1,60
027-I-H-03	Mucilago al 5%	50,67	49,66	49,20	196,79	123,80	1,59
027-I-H-04	Mucilago al 10%	50,42	49,37	49,09	197,27	122,20	1,61
027-I-H-05	Mucilago al 10%	50,00	49,44	49,53	198,36	122,44	1,62
027-I-H-06	Mucilago al 10%	49,80	49,52	50,81	202,84	125,30	1,62
027-I-H-07	Mucilago al 20%	50,48	50,41	50,67	207,10	128,94	1,61
027-I-H-08	Mucilago al 20%	50,67	50,22	47,18	195,88	120,06	1,63
027-I-H-09	Mucilago al 20%	50,51	49,41	49,75	203,58	124,16	1,64

MORTEROS DE CAL APAGADA CON ADICIONES DE MUCÍLAGO DE NOPAL A 56 DÍAS.

DENSIDAD							
Edad:	56 días						
Código	Descripción	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)
		a (mm)	b (mm)	c (mm)			
027-I-H-10	Mucilago al 5%	50,57	49,13	50,06	203,41	124,37	1,64
027-I-H-11	Mucilago al 5%	50,84	49,72	49,53	204,33	125,20	1,63
027-I-H-12	Mucilago al 5%	49,76	50,05	50,51	206,57	125,79	1,64
027-I-H-13	Mucilago al 10%	50,25	49,22	50,81	197,56	125,67	1,57
027-I-H-14	Mucilago al 10%	50,16	50,48	50,74	205,85	128,48	1,60
027-I-H-15	Mucilago al 10%	49,53	50,01	50,73	202,5	125,66	1,61
027-I-H-16	Mucilago al 20%	50,23	50,15	50,5	205,14	127,21	1,61
027-I-H-17	Mucilago al 20%	50,85	50,86	50,92	210,15	131,69	1,60
027-I-H-18	Mucilago al 20%	49,45	50,25	49,27	198,72	122,43	1,62

MORTEROS DE CAL APAGADA CON ADICIONES DE MUCÍLAGO DE NOPAL A 90 DÍAS.

DENSIDAD							
Edad:	90 días						
Código	Descripción	Dimensiones			Masa (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)
		a (mm)	b (mm)	c (mm)			
027-I-H-19	Mucilago al 5%	49,42	49,42	50,7	203,25	123,83	1,64
027-I-H-20	Mucilago al 5%	50,07	50,38	50,24	207,71	126,73	1,64
027-I-H-21	Mucilago al 10%	49,47	49,87	50,04	206,26	123,45	1,67
027-I-H-22	Mucilago al 10%	50,17	49,85	50,15	205,74	125,42	1,64
027-I-H-23	Mucilago al 20%	49,21	50,53	50,7	209,73	126,07	1,66
027-I-H-24	Mucilago al 20%	48,78	49,93	50,97	202,88	124,14	1,63

ANEXO IV

7.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA A 28 DÍAS.

Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Mpa)
030-I-H-01	Patrón Ottawa	1-feb-23	1-mar-23	28	194,727	1,27	0,5	0,45
030-I-H-02	Patrón Ottawa	1-feb-23	1-mar-23	28	194,106	1,07	0,4	

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA A 56 DÍAS.

Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Mpa)
030-I-H-11	Patrón Ottawa	1-feb-23	29-mar-23	56	197,337	1,27	0,5	0,55
030-I-H-12	Patrón Ottawa	1-feb-23	29-mar-23	56	196,833	1,58	0,6	

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE OTTAWA A 90 DÍAS.

Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Mpa)
030-I-H-21	Patrón Ottawa	1-feb-23	2-may-23	90	197,703	1,32	0,5	0,55
030-I-H-22	Patrón Ottawa	1-feb-23	2-may-23	90	197,702	1,47	0,6	

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE LA MINA DE PIFO A 28 DÍAS.

Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Mpa)
030-I-H-03	Patrón Pifo	2-feb-23	2-mar-23	28	188,941	1,22	0,5	0,5
030-I-H-04	Patrón Pifo	2-feb-23	2-mar-23	28	190,38	1,2	0,5	

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE LA MINA DE PIFO A 56 DÍAS.

Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Mpa)
030-I-H-13	Patrón Pifo	2-feb-23	30-mar-23	56	189,699	1,72	0,7	0,65
030-I-H-14	Patrón Pifo	2-feb-23	30-mar-23	56	207,073	1,44	0,6	

MORTERO PATRÓN CON ARENA DE LA MINA DE PIFO A 90 DÍAS.

Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Mpa)
030-I-H-23	Patrón Pifo	2-feb-23	3-may-23	90	210,822	2,09	0,8	0,8
030-I-H-24	Patrón Pifo	2-feb-23	3-may-23	90	208,467	2,05	0,8	

MORTEROS DE CAL APAGADA CON ADICIONES DE MUCÍLAGO DE NOPAL A 28 DÍAS.

ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE						
id:	28 días					
Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
027-I-H-01	Mucílago al 5%	23-mar-23	20-abr-23	200,36	1,15	0,5
027-I-H-02	Mucílago al 5%	23-mar-23	20-abr-23	201,4	1,1	0,4
027-I-H-03	Mucílago al 5%	23-mar-23	20-abr-23	196,79	1,05	0,4
027-I-H-04	Mucílago al 10%	23-mar-23	20-abr-23	197,27	1,11	0,4
027-I-H-05	Mucílago al 10%	23-mar-23	20-abr-23	198,36	1,06	0,4
027-I-H-06	Mucílago al 10%	23-mar-23	20-abr-23	202,84	1,03	0,4
027-I-H-07	Mucílago al 20%	23-mar-23	20-abr-23	207,1	0,98	0,4
027-I-H-08	Mucílago al 20%	23-mar-23	20-abr-23	195,88	1,09	0,4
027-I-H-09	Mucílago al 20%	23-mar-23	20-abr-23	203,58	1,04	0,4

MORTEROS DE CAL APAGADA CON ADICIONES DE MUCÍLAGO DE NOPAL A 56 DÍAS.

ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE						
	56 días					
Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
027-I-H-10	Mucílago al 5%	23-mar-23	18-may-23	203,41	1,38	0,6
027-I-H-11	Mucílago al 5%	23-mar-23	18-may-23	204,33	1,53	0,6
027-I-H-12	Mucílago al 5%	23-mar-23	18-may-23	206,57	1,41	0,6
027-I-H-13	Mucílago al 10%	23-mar-23	18-may-23	197,56	1,26	0,5
027-I-H-14	Mucílago al 10%	23-mar-23	18-may-23	205,85	1,72	0,4
027-I-H-15	Mucílago al 10%	23-mar-23	18-may-23	202,5	1,48	0,7
027-I-H-16	Mucílago al 20%	23-mar-23	18-may-23	205,14	1,51	0,6
027-I-H-17	Mucílago al 20%	23-mar-23	18-may-23	210,15	1,46	0,6
027-I-H-18	Mucílago al 20%	23-mar-23	18-may-23	198,72	1,27	0,5

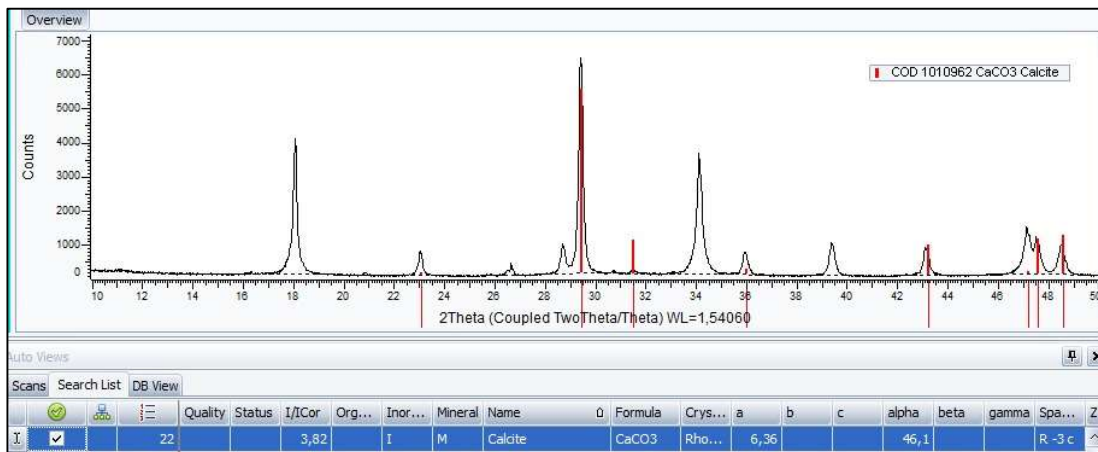
MORTEROS DE CAL APAGADA CON ADICIONES DE MUCÍLAGO DE NOPAL A 90 DÍAS.

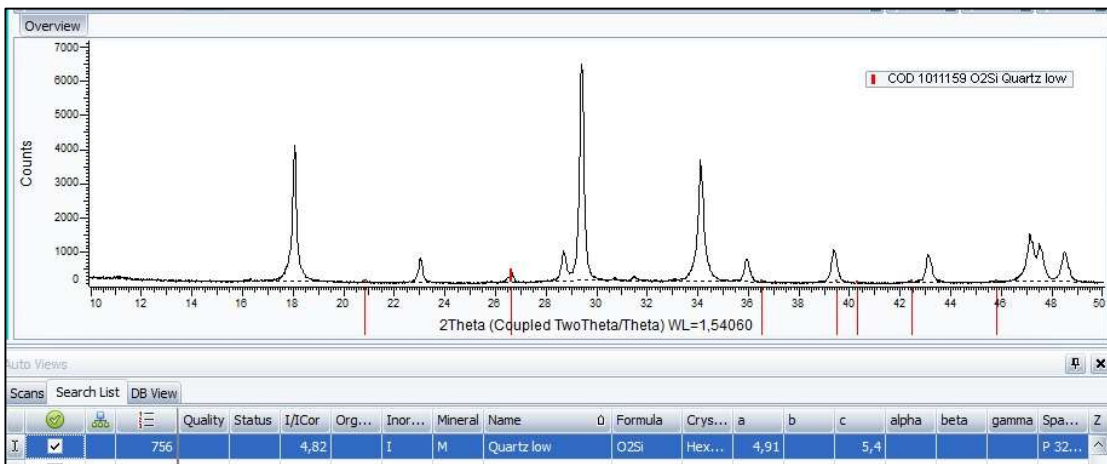
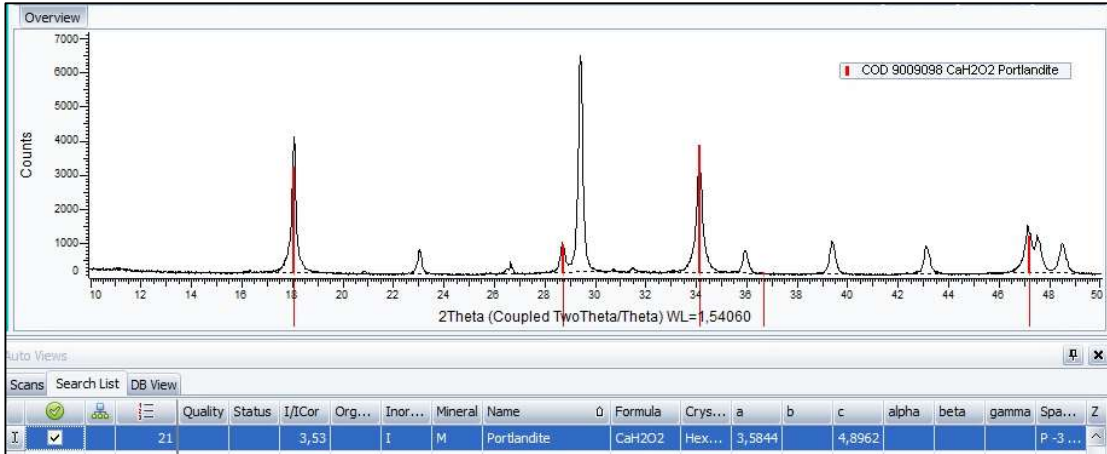
ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE						
Edad:	90 días					
Código	Descripción	Fecha de Fabricación	Fecha de Rotura	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
027-I-H-19	Mucílago al 5%	23-mar-23	21-jun-23	203,25	1,95	0,8
027-I-H-20	Mucílago al 5%	23-mar-23	21-jun-23	207,71	2,13	0,8
027-I-H-21	Mucílago al 10%	23-mar-23	21-jun-23	206,26	2,64	1,1
027-I-H-22	Mucílago al 10%	23-mar-23	21-jun-23	205,74	2,4	1
027-I-H-23	Mucílago al 20%	23-mar-23	21-jun-23	209,73	1,99	0,8
027-I-H-24	Mucílago al 20%	23-mar-23	21-jun-23	202,88	1,89	0,8

ANEXO V

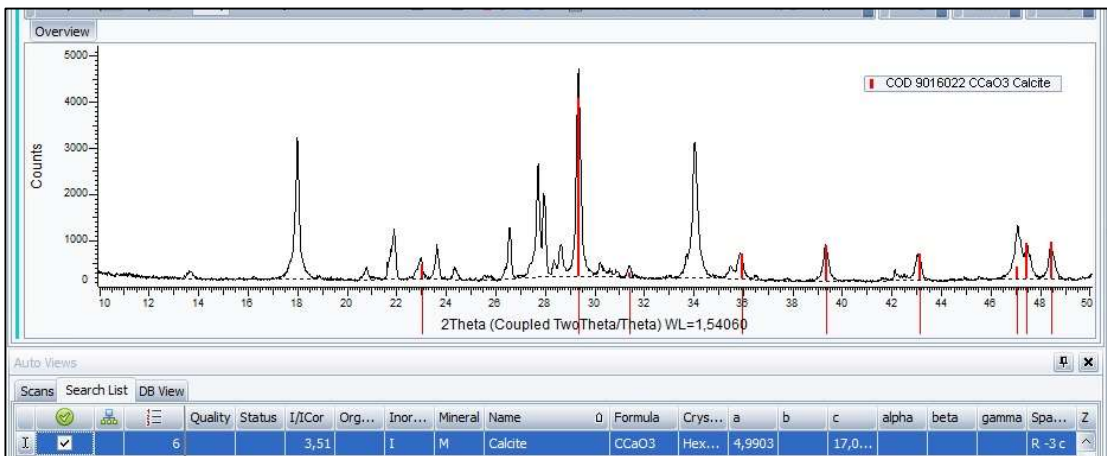
7.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RAYOS X

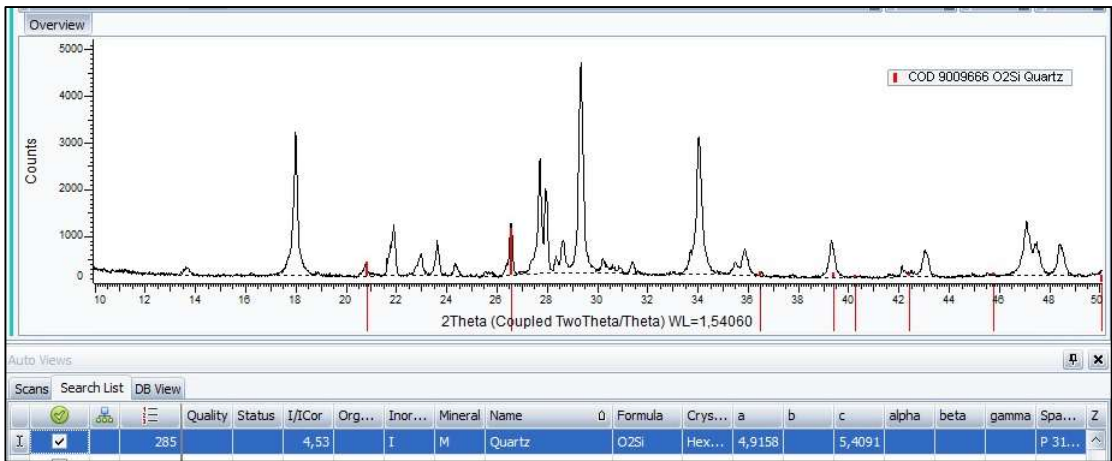
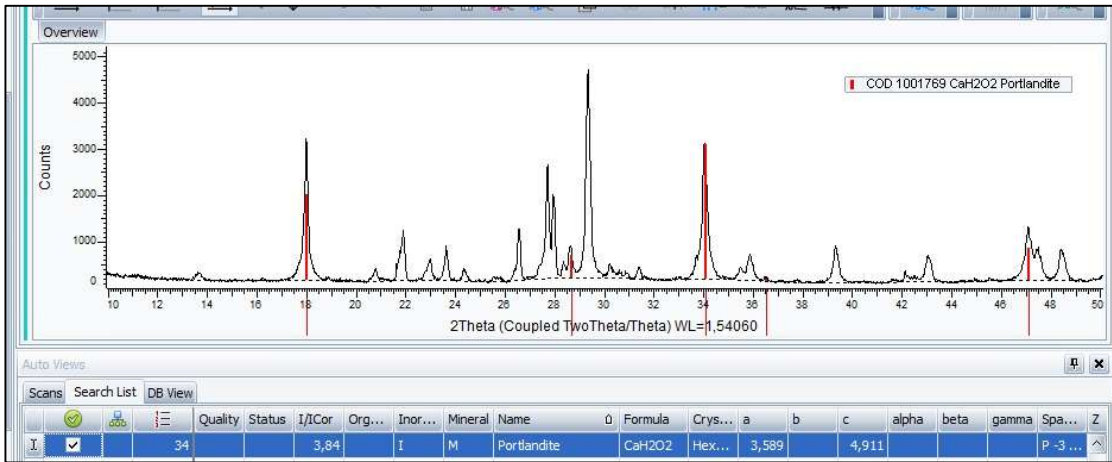
CALCITA, PORTLANDITA Y CUARZO PRESENTES EN EL MORTERO PATRÓN ELABORADO CON ARENA DE SÍLICE DE OTTAWA A 90 DÍAS DE CURADO.



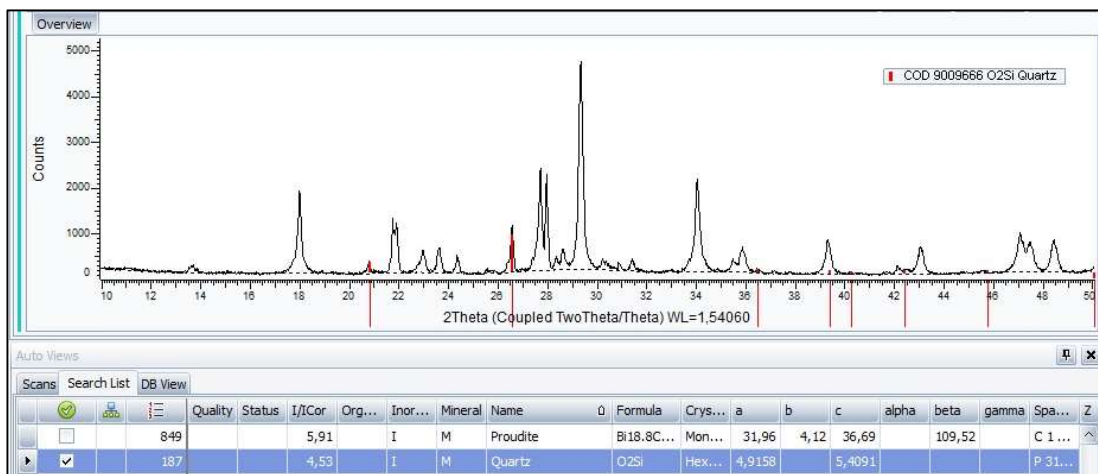
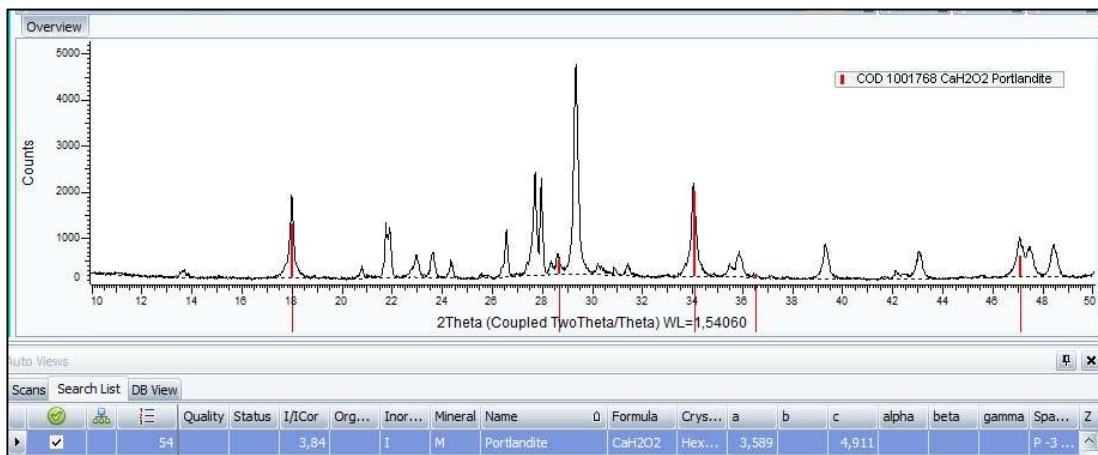
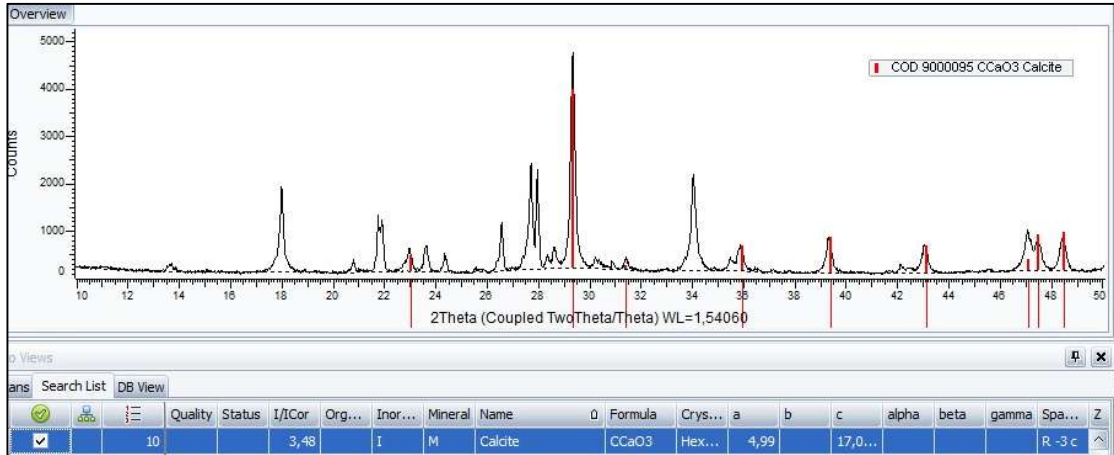


CALCITA, PORTLANDITA Y CUARZO PRESENTES EN EL MORTERO PATRÓN ELABORADO CON ARENA DE LA MINA DE PIFO.

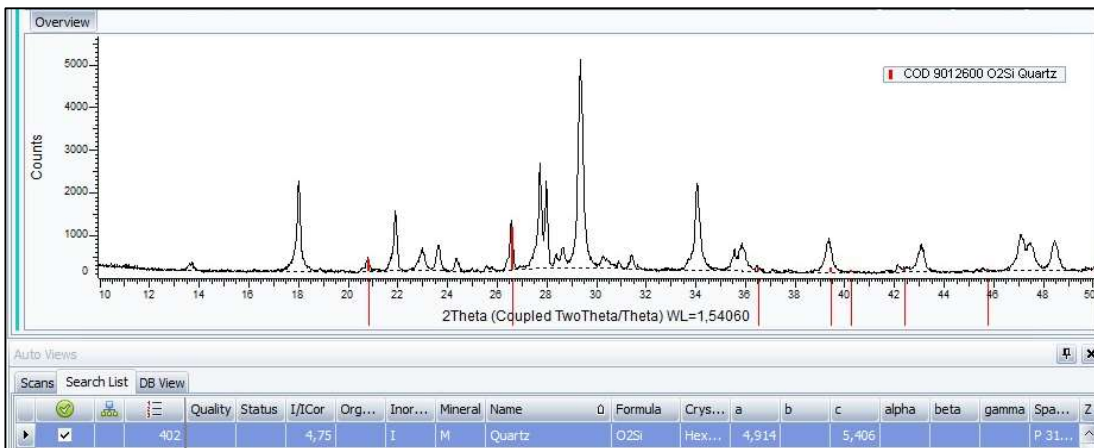
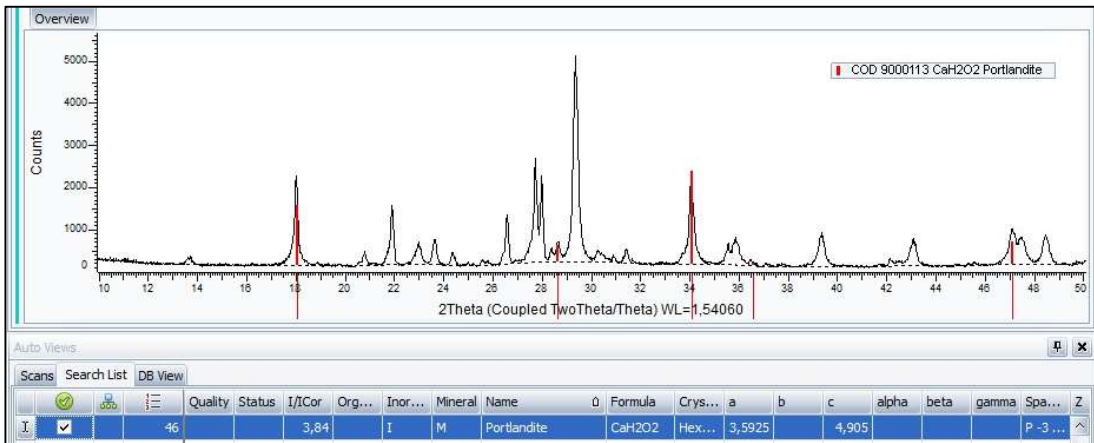
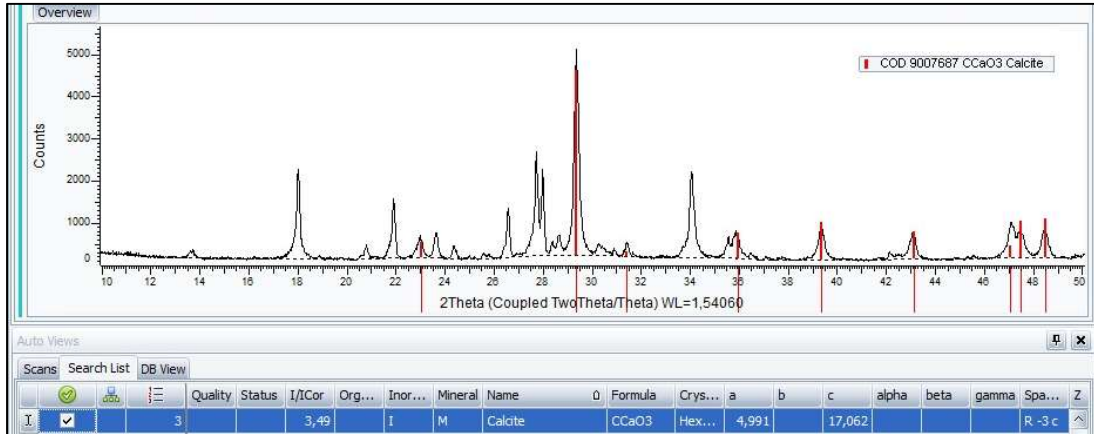




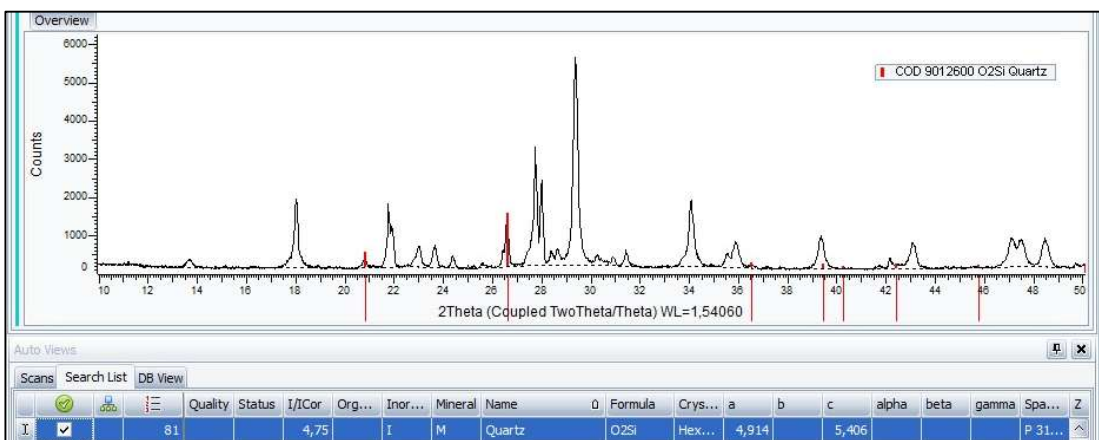
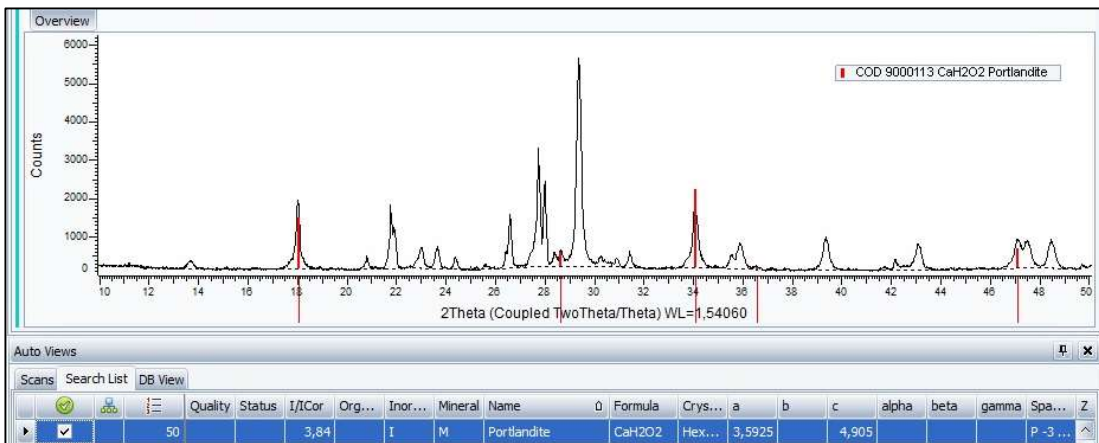
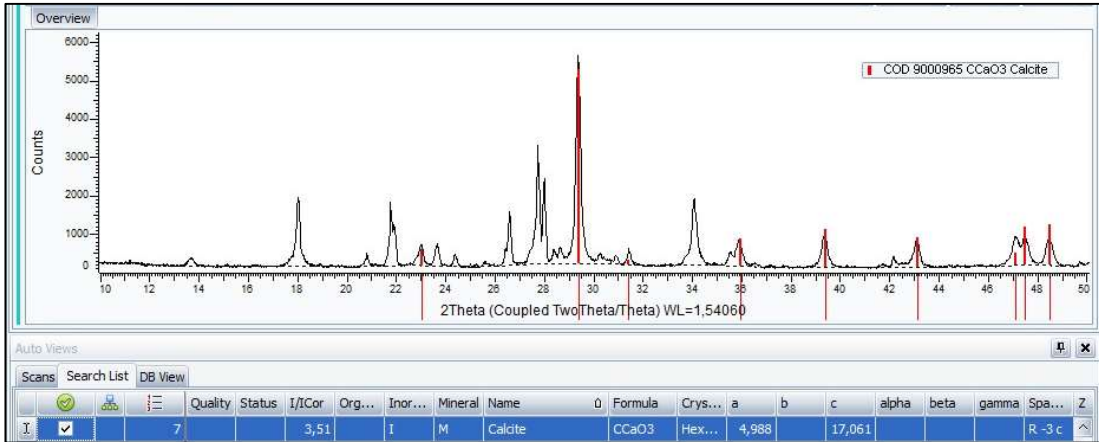
CALCITA, PORTLANDITA Y CUARZO PRESENTES EN EL MORTERO DE CAL APAGADA CON EL 5% DE ADICIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL EN SUSTITUCIÓN CON EL CEMENTANTE A 90 DÍAS DE CURADO.



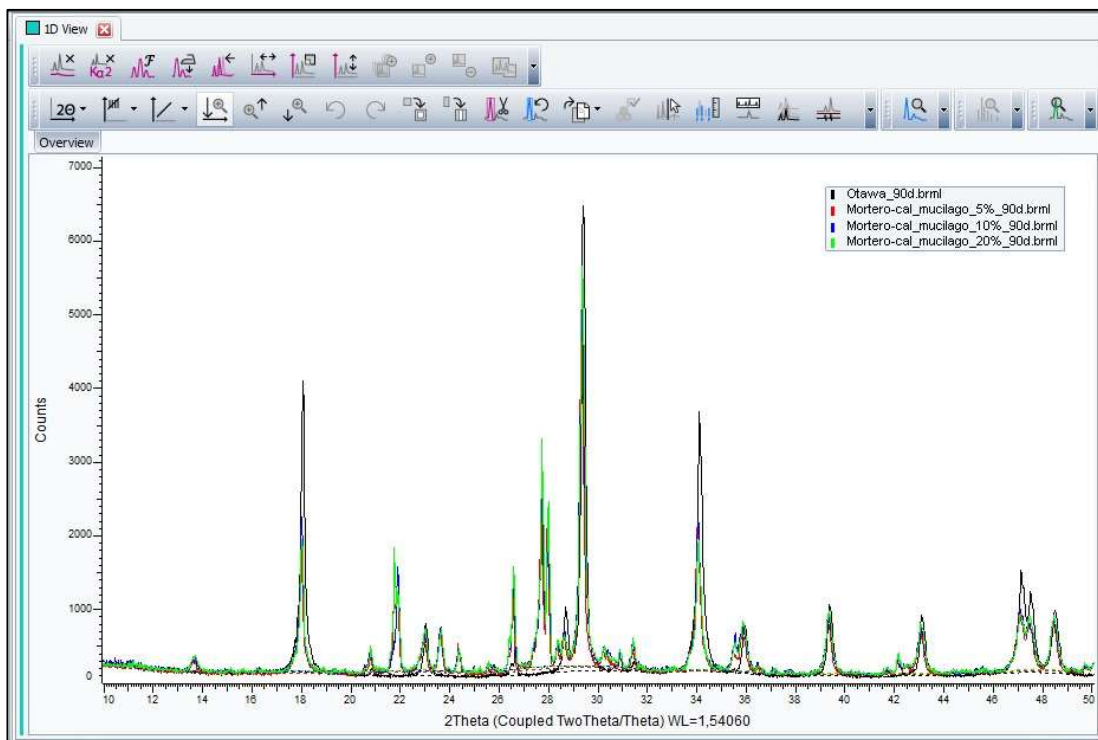
CALCITA, PORTLANDITA Y CUARZO PRESENTES EN EL MORTERO DE CAL APAGADA CON EL 10% DE ADICIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL EN SUSTITUCIÓN CON EL CEMENTANTE A 90 DÍAS DE CURADO.



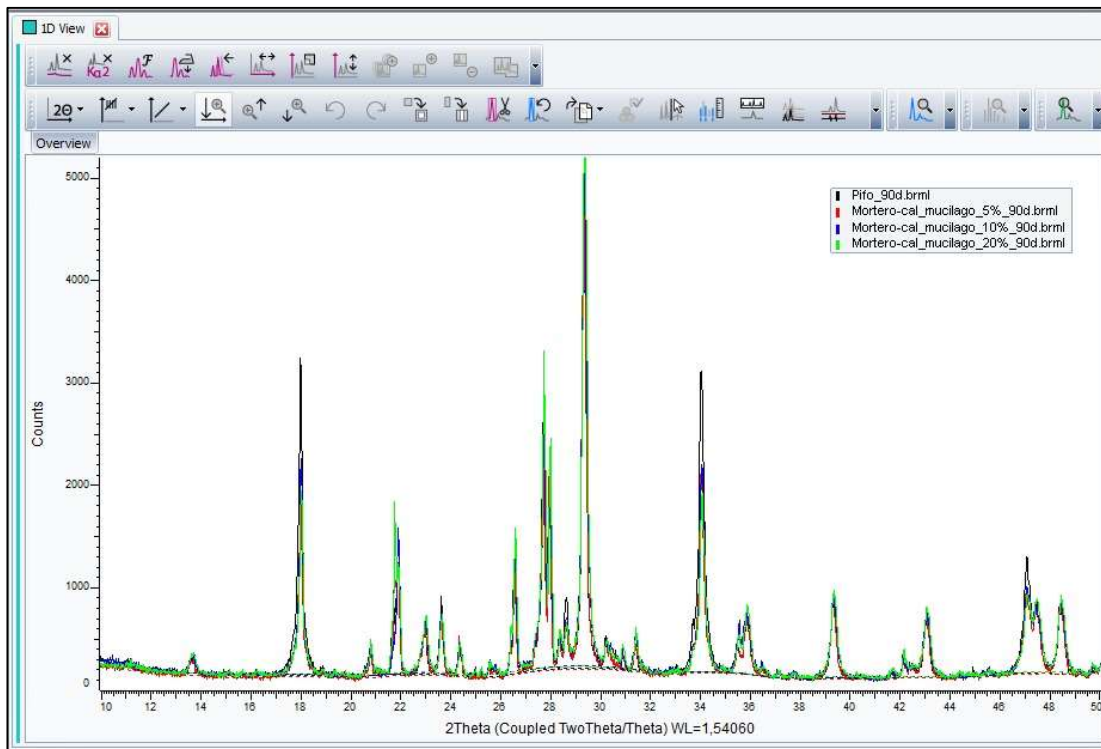
CALCITA, PORTLANDITA Y CUARZO PRESENTES EN EL MORTERO DE CAL APAGADA CON EL 20% DE ADICIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL EN SUSTITUCIÓN CON EL CEMENTANTE A 90 DÍAS DE CURADO.



MORTEROS DE CAL CON ADICIONES DE MUCÍLAGO DE NOPAL AL 5%, 10% Y 20% DE SUSTITUCIÓN CON EL CEMENTANTE Y MORTERO PATRÓN CON ARENA DE SÍLICE DE OTTAWA.



MORTEROS DE CAL CON ADICIONES DE MUCÍLAGO DE NOPAL AL 5%, 10% Y 20% DE SUSTITUCIÓN CON EL CEMENTANTE Y MORTERO PATRÓN CON ARENA DE LA MINA DE PIFO.



ANEXO VI

7.1 RESULTADOS ENTREGADOS POR PARTE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (LEMSUR).



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CONTENIDO ORGÁNICO

Código de Informe: CO-23-001-1 Hoja 01 de 01
Fecha de Informe: 2023-05-23

DATOS DEL CLIENTE
Razón Social: Thalía Fernanda Espín Damagín
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 003758443

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Mucilago.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: Pilo
TIPO DE MUESTRA: Arena
FECHA DE ENSAYO: 2023-03-02
NORMA: ASTM C40

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO



1	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a las barras ensayadas bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



Ing. Mercedes Villares
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec



DENSIDAD APARENTE

Código de Informe: DA-23-001-I
Fecha de informe: 2023-05-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE


Razón Social: Thalia Fernanda Espín Barragán
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0963768448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Mucilago.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: Pito
TIPO DE MUESTRA: Arena
FECHA DE ENSAYO: 2023-03-02
NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Identificación	Descripción	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
		Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)
27-4-031	Arena	1545	35	1694	29

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


Ing. Mercedes Villalobos
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de informe: GRF-23-001-I
Fecha de informe: 2023-06-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

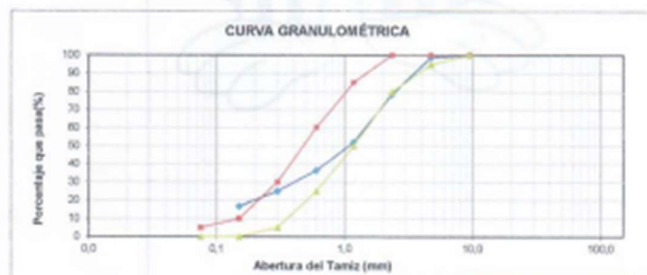
Razón social: Thalia Fernanda Espín Barragán
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0963768448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Mucilago.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: Pilo
TIPO DE MUESTRA: Arena
FECHA DE ENSAYO: 2023-03-02
NORMA: ASTM C136M

Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,750	6,3	1,3	1,3	98,7
No. 8	2,360	100,4	20,1	21,4	78,6
No. 16	1,180	132,8	26,6	48,0	52,0
No. 30	0,600	78,2	15,7	63,6	36,4
No. 50	0,300	58,7	11,4	75,0	25,0
No. 100	0,150	41,0	8,2	83,2	16,8
BANDEJA	-	83,9	16,8	100,0	0,0
Total		499,3			

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



Ing. Mercedes Villaca
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de Informe: GSA-23-0014
Fecha de Informe: 2023-05-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Thalia Fernanda Espín Barragán
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0963768448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Mucilago.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: Pífo
TIPO DE MUESTRA: Arena
NORMA: ASTM C127
FECHA DE ENSAYO: 2023-03-02

RESULTADOS DEL ENSAYO					
Identificación	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
27-I-031	Arena Pífo	2,36	2,46	2,59	3,35

Observaciones:

El término "Densidad relativa S.S.S" se refiere a la densidad de la muestra determinada bajo la condición saturada y superficialmente seca.
La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia y tipo de muestra, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villalón
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

Código de Informe: CCM-23-002-4-A
Fecha de Informe: 2023-07-28

Hoja 01 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Thalia Fernanda Espin Barragón
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0960786448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Mucilago.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C109/C109M

FECHA DE ENSAYO: Indicados

N°	Código	Descripción	Fecha Fábrica	Fecha Rotura	Flejo %	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
1	027-IH-01	Mucilago de Nopal al 5% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	108	28	260,364	1,10	0,5
2	027-IH-02	Mucilago de Nopal al 5% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	108	28	291,4	1,10	0,4
3	027-IH-03	Mucilago de Nopal al 5% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	108	28	196,79	1,06	0,4
4	027-IH-04	Mucilago de Nopal al 10% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	107,75	28	197,298	1,11	0,4
5	027-IH-05	Mucilago de Nopal al 10% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	107,75	28	166,362	1,08	0,4
6	027-IH-06	Mucilago de Nopal al 10% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	107,75	28	262,642	1,03	0,4
7	027-IH-07	Mucilago de Nopal al 20% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	110	28	237,1	0,98	0,4
8	027-IH-08	Mucilago de Nopal al 20% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	110	28	195,876	1,06	0,4
9	027-IH-09	Mucilago de Nopal al 20% 28 días	2023-03-23	2023-04-20	110	28	203,876	1,04	0,4

Observaciones:

El presente informe reemplaza al informe CCM-23-002-4.
Las modificaciones en la descripción de los tipos de ensayo se realizan por solicitud del cliente.
La información proporcionada por el cliente, tal como, descripción y fecha de fábrica, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los tipos de ensayos bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Viloria
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

Código de Informe: CCM-23-002-A
Fecha de Informe: 2023-07-26

Hoja 02 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Thalia Fernanda Espin Barragón
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0963706448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Mucllago.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C109/C109M

FECHA DE ENSAYO: Indicadas

Nº	Código	Descripción	Fecha Fábrica	Fecha Rotura	Flujo %	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
10	027-444-10	Mucllago de Nopal al 5% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	108	56	203,407	1,33	0,6
11	027-444-11	Mucllago de Nopal al 5% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	108	56	204,33	1,53	0,6
12	027-444-12	Mucllago de Nopal al 5% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	108	56	204,565	1,41	0,6
13	027-444-13	Mucllago de Nopal al 10% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	107,75	56	197,593	1,26	0,5
14	027-444-14	Mucllago de Nopal al 10% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	107,75	56	205,845	1,72	0,7
15	027-444-15	Mucllago de Nopal al 10% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	107,75	56	202,504	1,48	0,6
16	027-444-16	Mucllago de Nopal al 20% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	110	56	205,136	1,51	0,6
17	027-444-17	Mucllago de Nopal al 20% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	110	56	210,148	1,40	0,6
18	027-444-18	Mucllago de Nopal al 20% 56 días	2023-03-23	2023-05-18	110	56	198,715	1,27	0,5

Observaciones:

El presente informe respalda al informe CCM-23-002-A.
Las modificaciones en la descripción de los tipos de ensayo se realizan por solicitud del cliente.
La información proporcionada para el cliente, tal como, descripción y fecha de ensayo, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los tipos ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

Código de Informe: OCM-23-002-1-A
Fecha de Informe: 2023-07-28

Hoja 03 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Thalía Fernanda Espín Barragán
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0983768-448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Muclago.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C109/C109M

FECHA DE ENSAYO: Indicadas

N°	Código	Descripción	Fecha Fábrica	Fecha Rotura	Flejo %	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
19	027-44-19	Muclago de Nopel al 5% 90 días	2023-03-23	2023-06-21	110	90	203,249	1,55	0,8
20	027-44-20	Muclago de Nopel al 5% 90 días	2023-03-23	2023-06-21	110	90	207,711	2,13	0,8
21	027-44-21	Muclago de Nopel al 10% 90 días	2023-03-23	2023-06-21	110	90	206,208	2,64	1,1
22	027-44-22	Muclago de Nopel al 10% 90 días	2023-03-23	2023-06-21	110	90	206,736	2,40	1,0
23	027-44-23	Muclago de Nopel al 20% 90 días	2023-03-23	2023-06-21	110	90	208,728	1,90	0,8
24	027-44-24	Muclago de Nopel al 20% 90 días	2023-03-23	2023-06-21	110	90	202,878	1,80	0,8

Observaciones:

El presente informe reemplaza al informe OCM-23-002-1.
Las modificaciones en la descripción de las series de ensayo se realizan por solicitud del cliente.
La información proporcionada por el cliente, tal como: descripción y fecha de fábrica, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a las series ensayadas bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villegas
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

Código de Informe: CCM-23-002-1A
Fecha de Informe: 2023-07-28

Hoja 04 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Thalia Fernanda Espín Barragán
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: 0963766448

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Mucilago.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C109/C109M

FECHA DE ENSAYO: Indicados

Nº	Código	Descripción	Fecha Fábrica	Fecha Rotura	Flujo %	Edad (días)	Masa (g)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
25	030-14-01	Patrón: Cistava 28 días	2023-02-01	2023-03-01	110	28	194,727	1,27	0,5
26	030-14-02	Patrón: Cistava 28 días	2023-02-01	2023-03-01	110	28	194,106	1,07	0,4
27	030-14-11	Patrón: Cistava 56 días	2023-02-01	2023-03-29	110	56	197,267	1,27	0,5
28	030-14-12	Patrón: Cistava 56 días	2023-02-01	2023-03-29	110	56	196,633	1,58	0,6
29	030-14-21	Patrón: Cistava 90 días	2023-02-01	2023-05-02	110	90	197,703	1,32	0,5
30	030-14-22	Patrón: Cistava 90 días	2023-02-01	2023-05-02	110	90	197,702	1,47	0,6
31	030-14-03	Patrón: Pilo 28 días	2023-02-02	2023-03-02	110	28	188,941	1,22	0,5
32	030-14-04	Patrón: Pilo 28 días	2023-02-02	2023-03-02	110	28	190,38	1,20	0,5
33	030-14-13	Patrón: Pilo 56 días	2023-02-02	2023-03-30	110	56	188,699	1,72	0,7
34	030-14-14	Patrón: Pilo 56 días	2023-02-02	2023-03-30	110	56	207,073	1,44	0,6
35	030-14-23	Patrón: Pilo 90 días	2023-02-02	2023-05-03	110	90	219,822	2,09	0,8
36	030-14-24	Patrón: Pilo 90 días	2023-02-02	2023-05-03	110	90	208,467	2,05	0,8

Observaciones:

El presente informe reemplaza al informe CCM-23-002-1.
Las modificaciones en la descripción de los fierros y la fecha de rotura de ensayo se realizan por solicitud del cliente.
La información proporcionada por el cliente, tal como, descripción y fecha de fábrica, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los fierros ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacé
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609