

**Análisis y desarrollo del diseño de mezcla de mortero incorporando bagazo de caña y
mucílago de nopal para construcciones sustentable y resistente**

Angie Melissa Villamizar Martinez

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniería Civil

Director

Isis Karina Torres Ayala

Magister en Ingeniería Civil enfocado en Diseño Estructural

Universidad Santo Tomas, Bucaramanga

División de Ingeniería y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Civil

2025

Dedicatoria

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, fuente inagotable de fortaleza, sabiduría y amor, quien guio cada paso de este camino con su luz divina y abrió las puertas necesarias para que este sueño se hiciera realidad. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional han sido fundamentales a lo largo de este arduo camino. A mis padres, Alcira y Jairo, por su sabiduría, sacrificios y por brindarme la confianza y fortaleza necesarias para alcanzar este logro; a mi hermano Steven, por su apoyo constante y su ejemplo de perseverancia. A mi abuelo Segundo, cuya presencia y enseñanzas siempre me inspiro a luchar por mis sueños, y quien desde el cielo celebra conmigo este triunfo que tanto anhelaba ver, llevando siempre en mi corazón su amor y sus enseñanzas. Agradezco profundamente a todos los que formaron parte de este proceso: profesores, compañeros, amigos y familiares, cuyas palabras, gestos y consejos fueron fundamentales en este recorrido. Este logro no solo es una meta personal alcanzada, sino también un reflejo del amor, el apoyo y la unión de todos quienes caminaron a mi lado.

Agradecimiento

Agradezco profundamente a mis profesores y asesores, específicamente a mi directora de grado Isis Torres, quien gracias a su excelente experiencia y conocimiento me enseñó y me motivó día a día para lograr este triunfo, a mis Asesores de grado, uno de ellos, el profesor William Caballero que fue alguien muy importante en este arduo camino, ya que gracias a él logré ver el valor de cada detalle mínimo en este proyecto y lo valioso e importante que es el tiempo y la constancia; así mismo, un profundo agradecimiento a mi laboratorista Sergio por su paciencia, apoyo, dedicación, y por haber compartido conmigo sus vastos conocimientos. Gracias a todos pues han sido pilares para mi formación como ingeniera civil. Este trabajo refleja no solo mi esfuerzo, sino también el apoyo incondicional de todos ustedes, que con su cariño y confianza me han impulsado a superar cada desafío. Este logro es el resultado de un camino recorrido juntos, y mi agradecimiento es eterno.

Contenido

Introducción	12
1. Análisis y desarrollo del diseño de mezcla de mortero incorporando bagazo de caña y mucílago de nopal para construcciones sustentable y resistente	14
1.1 Planteamiento del problema	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Justificación.....	16
2. Estado del Arte	17
2.1 Marco teórico	17
2.2 Marco conceptual	24
2.3 Marco legal.....	28
2.4 Marco de antecedentes	32
3. Metodología.....	34
3.1.1 Fase de búsqueda de información	35
3.1.2. Fase experimental.....	36
3.1.3 Diseño de la mezcla.....	37
3.1.4 Ensayos de laboratorio	38
3.1.5 Fase de interpretación de resultados.....	39
3.1.6 Fase del informe	44
4. Elaboración de mezclas de mortero y fusión de molde (cubos)	42

4.1. Procedimiento de la elaboración de la mezcla de mortero (mortero convencional – mortero + bagazo de caña – mortero + mucilago de nopal - mortero + bagazo de caña+ mucilago de nopal).....	42
6. Ensayo a compresión de cubos.....	50
7. Análisis de resultados	52
7.1 Análisis de costos de Cubos en mortero convencional y mortero con adición de bagazo de caña y mucilago de nopal.	61
8. Conclusiones.....	63
9. Recomendaciones	64
Referencias.....	66

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Características del agregado fino</i>	39
Tabla 2. <i>Resultados de ensayo de granulometría de los agregados finos.</i>	39
Tabla 3. <i>Características del cemento portland tipo1</i>	40
Tabla 4. <i>Características del bagazo de caña</i>	41
Tabla 5. <i>Características del Mucilago de Noal</i>	42
Tabla 6. <i>Tipo de mortero NSR-10</i>	43
Tabla 7. <i>Dosificación para la mezcla de mortero</i>	44
Tabla 8. <i>Número de cubos en respecto al tiempo de curada</i>	44
Tabla 9. <i>Ensayos de laboratorio (cubos)</i>	45
Tabla 10. <i>Datos de los diámetros para la mezcla con mortero convencional</i>	57
Tabla 11. <i>Datos de los diámetros para la mezcla con mortero + bagazo de caña</i>	57
Tabla 12. <i>Datos de los diámetros para la mezcla con mortero + mucilago de nopal</i>	58
Tabla 13. <i>Datos de los diámetros para la mezcla con mortero + bagazo de caña + mucilago de nopal</i>	58
Tabla 14. <i>Datos de ensayos a compresión de las muestras (cubos) a 7 días</i>	59
Tabla 15. <i>Datos de resistencia y esfuerzo de las muestras (cubos) a 7 días.</i>	60
Tabla 16. <i>Datos de ensayo a compresión de cubos a los 14 días</i>	61
Tabla 17. <i>Datos de resistencia y esfuerzo de cubos a 14 días</i>	62
Tabla 18. <i>Datos de ensayo a compresión de cubos a los 28 días</i>	63
Tabla 19. <i>Datos de resistencia y esfuerzo de cubos a 28 días</i>	64
Tabla 20. <i>Presupuesto para la mezcla de Mortero convencional</i>	69
Tabla 21. <i>Presupuesto para la mezcla de Mortero con bagazo de caña</i>	69

Tabla 22. *Presupuesto para la mezcla de Mortero con Mucilago de Nopal.*70

Tabla 23. *Presupuesto para la mezcla Total.*.....70

Lista de figuras

Figura 1. <i>Agregado fino (Arena)</i>	45
Figura 2. <i>Bagazo de Caña</i>	47
Figura 3. <i>Mucilago de Nopal</i>	48
Figura 4. <i>Condiciones de humedad de los materiales</i>	51
Figura 5. <i>Preparación de la mezcla</i>	52
Figura 6. <i>Mortero convencional en ensayo de fluidez</i>	52
Figura 7. <i>Fundida de cubos</i>	53
Figura 8. <i>Cubos fundidos</i>	53
Figura 9. <i>Tiempo de curado cubos</i>	54
Figura 10. <i>Mezcla mortero + bagazo de caña</i>	54
Figura 11. <i>Mezcla mortero + Mucilago de Nopal</i>	55
Figura 12. <i>Mezcla material Solido</i>	56
Figura 13. <i>Mezcla material liquido</i>	56
Figura 14. <i>Mezcla de mortero con adición de bagazo de caña y mucilago de nopal</i>	56
Figura 15. <i>Mortero con agregados (bagazo de caña y mucilago de nopal) en ensayo de fluidez.</i>	57
Figura 16. <i>Fundida de cubos con la mezcla mortero + bagazo de caña – mortero + Mucilago de nopal- mortero + bagazo de caña + mucilago de nopal.</i>	58
Figura 17. <i>Tiempo de curado cubos con las diferentes mezclas</i>	58
Figura 18. <i>Ensayo a compresión en los cubos</i>	59
Figura 19. <i>Información comparativa entre los dos tipos de mezclas en los cubos</i>	59
Figura 20. <i>Comparación de esfuerzos de la mezcla convencional con las demás mezclas.</i>	69

Figura 21. <i>Comparación de resistencia de cubos a través de la mezcla convencional y las demas mezclas.</i>	70
Figura 22. <i>Tipos de fallas ensayo a compresión en cubos.</i>	75
Figura 23. <i>Comparación precios de los cuatro tipos de mezclas</i>	75

Resumen

Este proyecto de grado se enfoca en el estudio y desarrollo de un mortero sustentable que incorpora subproductos naturales como el bagazo de caña y el mucílago de nopal. El bagazo de caña, un residuo agroindustrial, se analiza como aditivo en la mezcla de mortero debido a sus propiedades de resistencia y aislamiento térmico. Paralelamente, el mucílago de nopal, conocido por su capacidad aglutinante y retención de agua, se incorpora como un aditivo natural que mejora las propiedades de trabajabilidad y durabilidad del mortero. El proceso de investigación incluye una serie de pruebas experimentales para determinar las proporciones óptimas de estos materiales en la mezcla de mortero. Se evalúan parámetros como la resistencia a la compresión, la absorción de agua y la adherencia, con el objetivo de desarrollar un material que no solo cumpla con los estándares estructurales, sino que también promueva la sostenibilidad en la construcción. Y Aunque los resultados obtenidos mostraron que la incorporación de bagazo de caña y mucílago de nopal no alcanzó las expectativas iniciales en cuanto a la mejora significativa de las propiedades mecánicas del mortero, el estudio ofrece valiosas lecciones para futuras investigaciones. Se observaron desafíos en la consistencia y homogeneidad de la mezcla, así como en la resistencia a la compresión. No obstante, estos materiales aún podrían tener potencial en aplicaciones específicas de construcción sostenible

Palabras claves: bagazo de caña, mucilago de nopal, resistencia mecánica, sostenibilidad, durabilidad

Abstract

This degree project focuses on the study and development of a sustainable mortar incorporating natural by-products such as cane bagasse and nopal mucilage. Cane bagasse, an agro-industrial waste, is analysed as an additive in the mortar mixture due to its resistance and thermal insulation properties. At the same time, nopal mucilage, known for its binding capacity and water retention, is incorporated as a natural additive that improves the properties of workability and durability of the mortar. The research process includes a series of experimental tests to determine the optimal proportions of these materials in the mortar mixture. Parameters such as compressive strength, water absorption and adhesion are evaluated with the aim of developing a material that not only meets structural standards but also promotes sustainability in construction. Although the results obtained showed that the incorporation of cane bagasse and nopal mucilage did not meet initial expectations as to significant improvement in mortar mechanical properties, the study offers valuable lessons for future research. Challenges were observed in the consistency and homogeneity of the mixture, as well as the resistance to compression. However, these materials could still have potential in specific sustainable construction applications

Keywords: cane bagasse, nopal mucilago, mechanical strength, sustainability, durability

Introducción

En un contexto global donde la sostenibilidad se ha convertido en un imperativo para la industria de la construcción, la búsqueda de materiales alternativos que reduzcan el impacto ambiental es esencial.

El bagazo de caña, un residuo abundante de la industria azucarera ofrece potenciales ventajas como aditivo en el mortero, principalmente por sus características de ligereza y capacidad de aislamiento térmico. Por otro lado, el mucílago de nopal, conocido por su viscosidad y capacidad de retención de agua, se ha considerado un aditivo que podría mejorar la trabajabilidad y la durabilidad de las mezclas de mortero.

La metodología de este proyecto combina investigación experimental y documental para estudiar morteros ecológicos. Se analizan materiales como mucílago de nopal y bagazo de caña en ocho fases. La Fase 1 se centra en recopilar información de fuentes académicas confiables, especialmente de México, donde estos materiales son comunes. En la Fase 2, se adquieren y se caracterizan los materiales básicos y alternativos, como arena, cemento, bagazo y mucílago, para determinar propiedades físicas claves. La Fase 3 formula diseños de mezcla con diferentes proporciones, evaluando su curado en 7, 14 y 28 días. La Fase 4 incluye ensayos de fluidez y resistencia a la compresión. En la Fase 5, se interpretan resultados para comparar el desempeño mecánico entre mezclas convencionales y ecológicas. Finalmente, la Fase 6 recopila hallazgos en un informe técnico.

En los ensayos de resistencia, el mortero convencional mostró mejores resultados frente a las mezclas con bagazo de caña y mucílago de nopal. Al día 7 alcanzó el 60% de su resistencia máxima (15 MPa), mientras que las otras mezclas presentaron resistencias similares al 20% con respecto al mortero convencional. Para el día 14, el convencional llegó al 90% (18,61 MPa), aunque las mezclas ecológicas aumentaron ligeramente un 30% su resistencia. Al día 28, el

mortero convencional continuó creciendo de forma constante hasta llegar a su 100%, mientras que las mezclas sostenibles mostraron aumentos limitados de 40%, con incrementos porcentuales bajos entre los días 14 y 28. En términos económicos, el mortero convencional tuvo un costo de \$9,000 COP por mezcla, siendo más económico que las mezclas con bagazo (\$11,000 COP), mucílago (\$13,500 COP) y ambas combinadas (\$15,500 COP).

En resumen, este proyecto no solo contribuye al cuerpo de conocimiento sobre el uso de materiales sostenibles en la construcción, sino que también destaca los desafíos que deben superarse para lograr un producto viable y eficaz en el contexto de la construcción sustentable.

1. Análisis y desarrollo del diseño de mezcla de mortero incorporando bagazo de caña y mucílago de nopal para construcciones sustentable y resistente

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta una creciente presión para adoptar prácticas más sostenibles debido a su considerable impacto ambiental. Según la Agencia Internacional de Energía, el sector de la construcción es responsable de aproximadamente el 39% de las emisiones globales de dióxido de carbono relacionadas con la energía (AIE, 2020) [1]. La necesidad de desarrollar materiales de construcción que no solo sean eficientes y duraderos, sino también respetuosos con el medio ambiente, se ha vuelto una prioridad mundial.

En este contexto, el uso de subproductos naturales y residuos industriales ha ganado atención como una estrategia viable para mitigar los efectos negativos de las actividades constructivas. El bagazo de caña, un residuo agroindustrial de la producción de azúcar, y el mucílago de nopal, una sustancia vegetal con propiedades aglutinantes, representan opciones prometedoras para la elaboración de morteros más ecológicos. Sin embargo, la integración de estos materiales en mezclas de mortero presenta desafíos significativos en términos de rendimiento mecánico y consistencia de la mezcla.

Investigaciones previas han sugerido que el uso de materiales naturales como aditivos en morteros puede mejorar ciertas propiedades, como la trabajabilidad y la retención de agua (Ramírez, Mendoza, corral, 2019) [2]. No obstante, la efectividad de estos materiales depende en gran medida de factores como la proporción utilizada y la técnica de mezcla. En el caso del bagazo de caña y el mucílago de nopal, los estudios son limitados y sus resultados han sido variados. Por ejemplo, (Gutiérrez, Mendoza, Martínez (2019))[3] encontraron que la incorporación de bagazo

de caña en el mortero puede disminuir la densidad del material, pero también podría comprometer su resistencia a la compresión.

El presente estudio se propone abordar estos desafíos mediante el análisis y desarrollo de un mortero que incorpore bagazo de caña y mucílago de nopal. El objetivo es evaluar si estos materiales pueden ofrecer una solución viable para la creación de morteros sostenibles que cumplan con los requisitos estructurales básicos. A pesar de las limitaciones observadas en los resultados preliminares, es fundamental entender las causas subyacentes y explorar posibles mejoras en la formulación y proceso de fabricación para maximizar los beneficios potenciales de estos materiales.

En conclusión, este proyecto busca responder a la pregunta clave: ¿Es viable utilizar una mezcla de mucílago de nopal y bagazo de caña en el mortero como una alternativa sostenible para la construcción? Si bien los resultados iniciales han planteado dudas sobre la efectividad de esta mezcla, la investigación continua es crucial para encontrar soluciones que contribuyan a la construcción de un entorno más sostenible.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la factibilidad de la incorporación del Mucilago de Nopal (Aglutinante) y Bagazo de Caña reciclado en la producción de mortero, para aplicaciones constructivas, contribuyendo a la minimización de residuos y promoviendo una alternativa en el marco de la economía circular.

1.2.2 Objetivos específicos

- Tratar de diseñar una mezcla para mortero de 23Mpa incorporando el 3% de bagazo de caña y el 6% de mucilago de nopal, siguiendo los lineamientos estipulados por las normas NTC relativas a morteros para mampostería no estructural.
- Revisar la incidencia del bagazo de caña y el mucilago de nopal en la resistencia a compresión de un mortero.
- Comparar las propiedades físico-mecánicas de los morteros combinados con mucilago de nopal y bagazo de caña, para determinar su aplicabilidad en la construcción convencional.

1.3 Justificación

El uso de materiales sostenibles en la construcción ha cobrado gran relevancia debido a los desafíos ambientales actuales, como el cambio climático y la escasez de recursos naturales. El bagazo de caña y el mucílago de nopal son dos recursos abundantes en países como México y Colombia, que han demostrado ser eficaces como aditivos en la fabricación de morteros. Varios estudios sugieren que estos materiales no solo son renovables, sino que también contribuyen a reducir la huella de carbono de la industria de la construcción al reemplazar parcialmente los materiales tradicionales como el cemento, cuyas emisiones son considerablemente altas (Anaya, J.J., Anaya, C.A., & Anaya, M.A. (2020)) [4]. Además, el bagazo de caña, un subproducto de la industria azucarera, y el mucílago de nopal, un residuo agrícola, ofrecen propiedades que mejoran la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia de los morteros (Villalobos, Rodrigo. (2014)) [5]. El uso de estos materiales también promueve la economía circular y contribuye a la reducción de residuos agrícolas, lo que es clave para alcanzar un desarrollo más sostenible en la construcción (Aslam, M., Shafigh, P. y Jumaat, MZ (2016)) [6]. Por tanto, su inclusión en la fabricación de

morteros representa una alternativa ecológica y rentable que puede desempeñar un papel importante en la transición hacia una construcción más responsable y amigable con el medio ambiente.

2. Estado del Arte

2.1 Marco teórico

2.1.1 Factores ambientales afectados debido al proceso de fabricación del uso del concreto.

2.1.1.1 Cambio climático. La emisión de gases representa un desafío que compromete la calidad del aire y, en consecuencia, la salud de la población. En el contexto de la industria de la construcción, tanto en la producción de materiales como en la edificación de estructuras, se generan diversas emisiones gaseosas que contribuyen a la contaminación atmosférica. Según la investigación de Ballester, F. (2005)[7], estos contaminantes atmosféricos pueden originarse tanto en fuentes móviles, como el tráfico vehicular, como en fuentes fijas, que incluyen industrias, sistemas de calefacción residencial y procesos de eliminación de desechos. Esta clasificación distingue entre contaminantes primarios, que se emiten directamente desde la fuente, y contaminantes secundarios, que se forman como resultado de reacciones químicas en la atmósfera.

Es esencial subrayar que estas emisiones no solo ejercen un impacto sobre la calidad del aire, sino que también pueden conllevar consecuencias graves para la salud, especialmente en grupos vulnerables como niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias. Por lo tanto,

es imperativo que la industria de la construcción implemente medidas para reducir su influencia negativa en el medio ambiente y en la salud de la población.

2.1.1.2 Pérdida de recursos naturales. La actividad de construcción se destaca como una de las principales responsables de la generación de desechos peligrosos, un problema que puede tener repercusiones negativas en los ecosistemas y los recursos naturales. Estos residuos se descartan negligentemente, lo que puede causar la contaminación de cuerpos de agua y del suelo, dañando a las especies marinas y terrestres. Además, la acumulación de estos desechos puede fomentar la fragmentación y la desestabilización de los ecosistemas, lo que a su vez podría tener consecuencias graves para la biodiversidad y la sostenibilidad del planeta. Es muy importante la implementación de medidas para reducir la generación de estos residuos y garantizar su manejo de forma responsable y adecuada.

2.1.1.3 Uso de bagazo de caña y Mucilago de Nopal en el mortero. El uso del bagazo de caña y mucilago de nopal en la construcción del mortero es una alternativa innovadora y respetuosa con el medio ambiente, gracias a sus características de bajo costo y alta resistencia. Esta opción puede contribuir a disminuir el impacto negativo de la producción de desechos y contaminantes en los procesos constructivos de una edificación, y a su vez mejorar el ciclo de vida de esta. Es importante señalar que, a pesar de la amplia utilización de la mampostería en bloques de ladrillo en el ámbito constructivo, se han realizado esfuerzos para explorar nuevas alternativas, como el uso del bagazo de caña y mucilago de nopal, con el objetivo de mejorar las reacciones del mortero y encontrar soluciones más sostenibles en la construcción de edificaciones.

2.1.2 Ensayo de resistencia del mortero

2.1.2.1 Ensayo a compresión. El ensayo a compresión del concreto es un método comúnmente utilizado para evaluar la resistencia y la calidad del concreto. En este ensayo, se somete una muestra de concreto cilíndrica a una carga axial gradualmente creciente en una máquina de ensayo, hasta que se produce la falla por aplastamiento. El resultado de este ensayo es la resistencia a la compresión del concreto, que se expresa en unidades de fuerza por unidad de área.

La resistencia a la compresión es un factor importante en el diseño de estructuras de concreto y en la evaluación de la integridad de las estructuras existentes. Además, este ensayo se utiliza para verificar la calidad del concreto en la producción, ya que permite detectar posibles defectos en la mezcla o en el curado del concreto.

El ensayo a compresión del concreto es un procedimiento estandarizado y regido por normas internacionales, lo que permite una comparación precisa de los resultados entre diferentes laboratorios y en distintas condiciones.

2.1.2.1 Ensayo a flexión. El ensayo de flexión del concreto es un procedimiento común utilizado para evaluar la resistencia y la capacidad de deformación del concreto ante cargas de flexión. En este ensayo, una viga de concreto se coloca en una máquina de ensayo con dos puntos de apoyo, y una carga se aplica en el centro de la viga. A medida que se aplica la carga, la viga se dobla y se deforma, y se registran la carga y la deformación. La curva resultante de carga-deformación se utiliza para calcular varias propiedades, incluyendo la resistencia a la flexión, la resistencia a la tracción, la rigidez y la capacidad de deformación.

El ensayo de flexión se utiliza comúnmente para evaluar la calidad del concreto utilizado en estructuras de concreto armado, como puentes y edificios. Es especialmente útil para determinar la resistencia a la flexión del concreto, que es importante para la seguridad estructural y la capacidad de carga. También se puede utilizar para evaluar la calidad del proceso de curado del concreto, la calidad de la mezcla y la efectividad de los aditivos.

La prueba de flexión del concreto sigue un procedimiento estandarizado, como se describe en la norma NSR-10. Es importante seguir rigurosamente este procedimiento para asegurar que los resultados sean precisos y comparables. Además, hay que considerar que los resultados del ensayo pueden afectar a factores como la forma de la viga, la tasa de carga y las condiciones ambientales, por lo que es importante tomar medidas para minimizar estos efectos y obtener resultados confiables.

2.1.3 Análisis del comportamiento de un mortero con adición de bagazo de caña

El bagazo de caña es un subproducto de la industria azucarera, que se obtiene después de extraer el jugo de la caña de azúcar. Este material, que generalmente se desecha o se utiliza en la producción de energía, tiene potenciales aplicaciones en la construcción debido a su ligereza y capacidad de aislamiento térmico. La incorporación del bagazo de caña en la mezcla de mortero busca aprovechar estas propiedades, con el objetivo de reducir el peso de las estructuras y mejorar su eficiencia energética. Sin embargo, durante la investigación se encontró que el bagazo también puede influir negativamente en la consistencia y resistencia del mortero, lo que plantea la necesidad de ajustes en las proporciones utilizadas.

2.1.4 *Análisis del comportamiento de un mortero con adición de mucilago de nopal*

El mucílago de nopal es una sustancia viscosa extraída del cactus nopal, conocida por su capacidad de retención de agua y propiedades aglutinantes. En la mezcla de mortero, se esperaba que el mucílago de nopal mejorara la trabajabilidad y la durabilidad del material, además de reducir la necesidad de agua en la mezcla, lo que podría ser especialmente beneficioso en regiones con escasez de agua. No obstante, los ensayos experimentales revelaron que, aunque el mucílago mejora la retención de agua, también puede afectar negativamente la resistencia a la compresión y la homogeneidad de la mezcla.

2.1.5 *Ensayos para el diseño de mezcla*

2.1.5.1 Ensayo de granulometría del agregado. Se lleva a cabo este análisis con el fin de establecer cómo se distribuyen las partículas del agregado fino cuando atraviesa tamices. Esta distribución de tamaños se emplea para verificar si los gránulos de agregado cumplen con requisitos particulares y para proporcionar la información esencial en la supervisión de la producción de la mezcla. Los equipos más importantes que se utilizan son los tamices según estándares de la norma ASTM E11, la balanza para controlar los pesos y un horno. Para realizar el ensayo se deberá preparar las muestras secándolas en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C; Luego se registran los pesos iniciales de las muestras, y se pasa a los tamices y se agitan manualmente por 1 minuto, luego de esto se separará la muestra que quedo en cada tamiz y se registra su peso, para posteriormente realizar los cálculos de porcentajes de masa y curva granulométrica.

2.1.5.2 Gravedad específica de agregado fino y porcentaje de absorción. Este procedimiento implica la determinación de la gravedad específica y la absorción de los agregados finos, que se pueden expresar como gravedad específica bruta y gravedad específica aparente. La gravedad específica es la relación entre la masa del agregado y la masa de un volumen de agua que ocupa el mismo espacio que el agregado. Para llevar a cabo esta prueba, se requieren herramientas esenciales, como un picnómetro con capacidad adecuada para la muestra, un molde en forma de cono y un pisón para evaluar la humedad superficial, una balanza, un horno y un termómetro. El procedimiento comienza con la preparación del agua a una temperatura de 23 ± 2 °C. Luego, se seca la muestra en el horno a 110 ± 5 °C, seguido de la saturación de esta con agua hasta alcanzar al menos un 6% de humedad. Posteriormente, se permite que repose durante 24 ± 4 horas en un recipiente hermético para evitar la pérdida de humedad. La muestra se extiende y se mezcla hasta que se acerque a la condición de saturación superficialmente seca. Luego, se llena el molde con la muestra de agregado fino, utilizando los dedos para nivelar la parte superior del molde y asegurar que esté completamente lleno. El siguiente paso implica compactar la muestra en el molde utilizando un pisón con 25 golpes distribuidos de manera uniforme en toda la superficie. Luego, se retira el molde verticalmente, y si la humedad superficial aún está presente, el agregado fino mantendrá la forma del molde. Cuando se produce una ligera caída del agregado fino, se alcanza la condición de saturación superficialmente seca (SSS). Continuando, la muestra se coloca en el picnómetro y se llena con agua hasta el 90% de su capacidad, se tapa y se somete a agitación en un vibrador mecánico para eliminar el aire sin causar daño a las partículas. Posteriormente, se retira del vibrador y se vacía la muestra, realizando un enjuague con agua destilada para asegurar que todas las partículas salgan del picnómetro. Luego, se toman medidas

de peso y la muestra se seca en un horno a 110 ± 5 °C. Finalmente, se pesa la muestra seca y se realizan los cálculos necesarios para determinar la gravedad específica y la absorción.

2.1.5.3 Peso unitario de agregados finos. Este procedimiento tiene como objetivo determinar la masa por unidad de volumen de un material en dos estados: compacto y suelto, expresado en kilogramos por metro cúbico (kg/m³). El peso unitario en estado suelto se obtiene al llenar suavemente el recipiente con el material seco hasta que comienza a derramarse, luego se nivela. Este valor se emplea de manera constante para convertir entre peso y volumen. El peso unitario en estado compacto se logra cuando la muestra ha experimentado un proceso de compactación en el recipiente, lo que resulta en una mayor acomodación de las partículas y, por ende, un valor más alto de masa por unidad de volumen. Los equipos necesarios para el ensayo son un molde para contener la muestra, una varilla de acero de punta hemisférica, una balanza digital y un horno.

- **Peso unitario suelo:** En un primer paso, se procede a anotar tanto el peso como el volumen del molde. Luego, se introduce el material en el molde, y una vez que está completamente lleno, se nivela la superficie utilizando una varilla. Posteriormente, se registra nuevamente el peso.
- **Peso unitario compacto:** En primer lugar, se toma nota del peso y el volumen del molde. Luego, el material se dispone en el molde en tres estratos, nivelándolo y compactándolo uniformemente con 25 golpes de la varilla después de cada capa. Una vez que el molde se encuentra lleno, se iguala la superficie y se vuelve a registrar el peso.

2.1.5.4 Diseño de mezcla por norma ACSTM C270. La elaboración de una mezcla de concreto requiere disponer de los resultados obtenidos en los análisis de granulometría, gravedad específica y peso unitario de los agregados. Siguiendo las pautas de esta normativa, se efectúa la elección de los componentes apropiados para la mezcla de concreto y se realiza el cálculo de las proporciones relativas para lograr una mezcla que exhiba las características adecuadas en términos de trabajabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad.

Primero se planea el tipo de mezcla que se va a realizar, considerando su resistencia máxima (F_c) y su edad de fraguado, junto con el cemento a utilizar, con los resultados de granulometría se considera el tamaño máximo de grava a utilizar, posteriormente se considera la relación agua/cemento necesario para producir la resistencia escogida en concreto sin aire incluido; en base a los pasos anteriores, se establece la cantidad de cemento requerida. Posteriormente, se calcula la cantidad de grava teniendo en cuenta el módulo de finura y el tamaño máximo de los fragmentos de grava, a continuación, se determina la cantidad de agregado fino que se deberá utilizar en la mezcla, para conseguir un concreto con esa resistencia en específico.

2.2 Marco conceptual

Contaminación: la contaminación ambiental es la presencia de sustancias o elementos dañinos para los seres humanos y los ecosistemas (seres vivos). Existen diferentes tipos de contaminación.

Impacto ambiental: abarca los distintos efectos que la actividad humana y el modelo de vida humano desatan sobre el medio ambiente natural. El impacto ambiental puede tener muchas formas y también efectos diferentes sobre el medio ambiente.

CO₂: el dióxido de carbono es un gas inodoro, incoloro, ligeramente ácido y no inflamable. Es soluble en agua cuando la presión se mantiene constante, y está formado por una molécula lineal de un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno, de la forma $O = C = O$.

Mortero: material de construcción formado principalmente por la mezcla de aglomerantes inorgánicos (yeso, cal, cemento, etc.) y agregado fino (arena), que se realiza por vía húmeda y endurece (fragua) a consecuencia de unos procesos químicos que en ella se producen. El mortero se adhiere a las superficies más o menos irregulares de los ladrillosos bloques y da al conjunto cierta compacidad y resistencia a la compresión. Los morteros se denominan según el conglomerante utilizado: mortero de cal, de cemento o yeso. Aquellos en los que intervienen dos conglomerantes reciben el nombre de “Morteros Bastardos”.

Aglomerantes: los aglomerantes son compuestos formados por una o varias sustancias, capaces de adherirse a otros materiales y unirlos fuertemente al endurecerse, permaneciendo relativamente constantes ante el poder destructivo de la intemperie. La naturaleza de estos aglomerantes es muy variada, pudiendo provenir de materia orgánica tal como resinas o polímeros, o materia inorgánica, siendo los más representativos los aglomerantes pertenecientes al grupo de los cálcicos, entre los cuales se hallan la cal, yeso y cemento. Poseen propiedades características, tales como su fabricación, su reacción con el agua, su tiempo de fraguado, etc.

Cemento: es un aglomerante artificial obtenido al reaccionar cal, sílice, alúmina y óxido de hierro principalmente, acompañado de algunas impurezas, a altas temperaturas. Puede desarrollar altas resistencias cuando fragua y endureció, por la cohesión de sus granos y su poder adherente.

Bagazo de Caña de Azúcar: el bagazo es el residuo lignocelulósico del proceso de fabricación del azúcar a partir de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), es decir, un subproducto agroindustrial.

Mucilago de Nopal: es un hidrocoloide natural soluble en agua y un compuesto prometedor como aditivo agroindustrial debido a que puede actuar como agente espesante, gelificante, estabilizante, antioxidante.

Sostenibilidad: describe cómo los sistemas biológicos se mantienen productivos con el transcurso del tiempo. Se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación de estos.

Resistencia a la compresión: la resistencia es la capacidad que tienen los elementos estructurales de aguantar los esfuerzos a los que están sometidos sin romper. Depende de muchos factores entre los que destacan el material empleado, su geometría y el tipo de unión entre los elementos.

Versatilidad: se refiere a la capacidad de algo o alguien para adaptarse rápida y fácilmente a diferentes situaciones. También es una característica muy valorada. “El término versátil puede tener dos significados (uno positivo y uno negativo) según el contexto.

Durabilidad: la idea de durabilidad se refiere a la condición de duradero o durable: puede durar mucho tiempo. “La durabilidad, por lo tanto, está vinculada a la duración (la permanencia, la subsistencia).

Huella de carbono: es una medida de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera como resultado de una actividad humana, como la producción de bienes y servicios, el transporte, el consumo de energía, entre otros.

Desarrollo sostenible: es el proceso de satisfacer las necesidades actuales de la sociedad sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias, equilibrando los aspectos económicos, sociales y ambientales.

Ciclo de vida de los materiales: el ciclo de vida de los materiales se refiere al conjunto de etapas que atraviesa un material desde su extracción, producción, uso y disposición final. Este concepto es importante para evaluar el impacto ambiental de los materiales utilizados en la construcción y para identificar posibles oportunidades de mejora en términos de sostenibilidad.

Reciclaje: el reciclaje transforma materiales usados o desechos en nuevos productos para reducir el consumo de materias primas y generar residuos. En el caso de la investigación, el reciclaje de bagazo de caña y mucilago de nopal podría ser una alternativa sostenible para mejorar las propiedades del mortero.

Propiedades físico-mecánicas: las propiedades físico-mecánicas son las características de un material que afectan su comportamiento frente a diferentes fuerzas o condiciones. Estas propiedades pueden incluir la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión, la densidad, la absorción de agua, entre otras. El análisis de estas propiedades es fundamental para evaluar la calidad y la durabilidad del mortero.

Sostenibilidad en la construcción: la sostenibilidad en la construcción se refiere a la implementación de prácticas y estrategias que buscan reducir el impacto ambiental de la actividad constructora, mejorar la eficiencia energética de los edificios, fomentar la utilización de materiales renovables y promover la conservación de los recursos naturales. Este concepto es fundamental en la investigación, ya que el uso de materiales renovables alternativos podría ser una estrategia sostenible para mejorar las propiedades del mortero y reducir su impacto ambiental.

Impacto ambiental de la construcción: la actividad constructora puede tener un impacto significativo en el medio ambiente debido al consumo de recursos naturales, la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de residuos y otros factores. El análisis del impacto ambiental de la construcción es fundamental para identificar oportunidades de mejora y para evaluar la sostenibilidad de los proyectos de construcción.

2.3 Marco legal

Decreto 02 de 1982: este decreto fija las normas para el control de las emisiones al aire producidas por fuente fijas como hornos, calderas, molinos, así como los parámetros y normas de calidad del aire.

NSR10 (2010): el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) se encarga de regular las condiciones de las construcciones para que la respuesta estructural a un sismo sea favorable.

Ley 1819 (2016): esta ley establece un impuesto nacional al carbono con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia.

Ley 1333 (2009): esta ley establece las normas para la prevención y control de la contaminación ambiental, incluyendo medidas para la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos.

NTC 2240: agregados usados en morteros de mampostería (ASTM C 144): Esta norma establece los requisitos y las especificaciones técnicas para los agregados que se emplean en la preparación de morteros destinados a la construcción de mampostería. Define los criterios de calidad y las propiedades físicas y químicas que deben cumplir los agregados, como la granulometría, la limpieza, la resistencia y la composición, para garantizar la durabilidad y el desempeño adecuado de los morteros de mampostería en proyectos de construcción en Colombia.

Esta norma es importante para asegurar la calidad y la consistencia de los materiales utilizados en la construcción de muros de mampostería.

NTC 3329: especificaciones del mortero para unidades de mampostería. (ASTM C 270): Esta norma define los requisitos técnicos y las propiedades que debe cumplir el mortero utilizado para adherir y unir ladrillos, bloques u otras unidades de mampostería. Esto incluye aspectos como la composición del mortero, su resistencia a la compresión, consistencia, adhesión y otros factores críticos para asegurar la calidad y la durabilidad de las estructuras de mampostería. La norma NTC 3329 es importante para garantizar que los morteros utilizados en la construcción de mampostería cumplan con estándares de calidad y desempeño adecuados en el contexto de la construcción en Colombia.

NTC 3356: mortero premezclado para mampostería. (ASTM C 1142): Esta norma establece las especificaciones técnicas y los requisitos para el mortero premezclado que se utiliza en la construcción de muros de mampostería. Esto incluye criterios como la composición del mortero, la resistencia a la compresión, la consistencia, la adherencia y otras propiedades clave para garantizar la calidad y el rendimiento del mortero premezclado en proyectos de construcción. La norma NTC 3356 es importante para asegurar que los productos de mortero premezclado utilizados en la mampostería cumplan con estándares de calidad y seguridad apropiados en el contexto de la construcción en Colombia.

NTC 3546: métodos de ensayo para la evaluación, en laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada. (ASTM C 780): Esta norma establece los procedimientos y criterios para llevar a cabo pruebas de laboratorio y pruebas en obra para evaluar la calidad y el desempeño de los morteros utilizados en la construcción de mampostería.

Los ensayos incluidos en esta norma se utilizan para medir propiedades como la adherencia del mortero, la consistencia, la resistencia a la compresión y la expansión en condiciones controladas de laboratorio, así como en condiciones de obra para asegurar que los morteros cumplan con los estándares de calidad requeridos en proyectos de construcción. Estos ensayos son esenciales para garantizar la durabilidad y la seguridad de las estructuras de mampostería en Colombia.

NTC 220: determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado (ASTM C 109): Esta norma establece los procedimientos para realizar pruebas de resistencia en morteros de cemento hidráulico. Los morteros de cemento hidráulico se utilizan comúnmente en la construcción y están compuestos de cemento, agregados y agua. La norma NTC 220 describe cómo se deben preparar y curar los cubos de mortero y cómo se deben realizar las pruebas de resistencia a la compresión en estos cubos. La resistencia a la compresión es una propiedad fundamental para evaluar la calidad y la capacidad de carga de los morteros y se mide aplicando fuerza a los cubos de mortero hasta que se rompen. Esta norma proporciona un método estandarizado para evaluar la resistencia de los morteros de cemento hidráulico y garantizar que cumplan con los requisitos de resistencia específicos en proyectos de construcción en Colombia.

NTC 1032: método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión (ASTM C 231): esta norma describe un procedimiento para medir la cantidad de aire atrapado en el concreto antes de que se endurezca. El contenido de aire en el concreto es una propiedad importante, ya que afecta la durabilidad y el rendimiento del concreto en diferentes aplicaciones. La presencia de aire en el concreto fresco puede ayudar a prevenir daños causados por la expansión y contracción debido a cambios de temperatura y ciclos de congelación

y descongelación. El método descrito en la norma NTC 1032 implica la toma de muestras de concreto fresco y la medición de la cantidad de aire atrapado en esas muestras mediante la aplicación de presión. Este método proporciona datos precisos sobre el contenido de aire en el concreto y es útil para garantizar que el concreto cumpla con las especificaciones y los requisitos de calidad en proyectos de construcción en Colombia.

NTC 121: especificación de desempeño para cemento hidráulico (ASTM C 1157): Esta norma define los criterios de calidad y rendimiento que el cemento hidráulico debe cumplir para garantizar su idoneidad en diversas aplicaciones de construcción. Estos criterios pueden incluir propiedades como la resistencia a la compresión, la durabilidad y otros aspectos clave para asegurar que el cemento cumpla con estándares de calidad y seguridad en proyectos de construcción en Colombia.

NTC 4050: cemento para mampostería (ASTM C 91): Esta norma establece los requisitos y estándares de calidad que el cemento debe cumplir cuando se utiliza en la construcción de muros de mampostería en Colombia. Define las características físicas y químicas esenciales del cemento para garantizar su adecuado desempeño y durabilidad en proyectos de mampostería, lo que contribuye a la seguridad y calidad de las construcciones.

NTC 4019: cal hidratada para mampostería Tipo S (ASTM C 207).

NTC 2240: Agregados usados en morteros de mampostería (ASTM C 144)

NTC 3459: Agua para la elaboración de concreto (BS 3148):

NTC 1299: Aditivos químicos para concreto (ASTM C 494).

2.4 Marco de antecedentes

[25] Esta tesis tenía como objetivo principal caracterizar un mortero convencional para tarrajeo al agregar Mucilago de Nopal. Se utilizó una metodología de tipo aplicada y diseño experimental puro, con técnicas que incluyeron observación experimental, ensayos de laboratorio (como compresión, densidad, absorción, permeabilidad y adherencia) y análisis de contenido. Se tomaron morteros de tarrajeo convencionales como población y se les añadió nopal en diferentes proporciones (0%, 10%, 15%, 20%, 25%) en comparación con el agua, siguiendo normativas específicas. Se crearon cinco tipos de diseños de morteros, con un total de 110 especímenes. Los resultados principales mostraron que la resistencia a la compresión alcanzó su punto máximo (157 kg/cm²) a los 28 días con una adición de nopal del 15%, mejorando en un 13% con respecto al mortero estándar. La absorción y el volumen de vacíos también mejoraron, especialmente con el mortero que contenía un 25% de nopal. Sin embargo, a pesar de las mejoras significativas en algunas propiedades, no se logró mejorar la impermeabilidad del mortero, a pesar de una relación agua/cemento de hasta 0.79 en el mortero con un 25% de nopal.

[26] El trabajo investigó la viabilidad técnica de utilizar cenizas resultantes de la quema de bagazo de caña de azúcar como adición mineral en morteros. Se realizaron pruebas químicas y de difracción de rayos X en las cenizas del bagazo de caña de azúcar. Se llevaron a cabo estudios de molienda y se crearon morteros con diferentes porcentajes de cenizas (3%, 5%, 8%, 10%) en lugar de parte del agregado fino. Se evaluaron propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y la tracción por compresión diametral, así como propiedades relacionadas con la durabilidad del material, como el encogimiento, la absorción y la reactividad acelerada. Aunque se encontró actividad puzolánica en las cenizas, los resultados sugieren que es factible utilizarlas como reemplazo parcial del agregado fino en la producción de mortero.

[27] Este estudio presenta una revisión de los avances en el uso de residuos agrícolas para la fabricación de materiales de construcción sostenibles, en particular los ladrillos ecológicos. El artículo destaca la importancia del uso de materiales sostenibles en la construcción y se centra en la utilización de materiales como la paja, el bagazo de caña y las cenizas de madera como ingredientes principales en la elaboración de los eco ladrillos.

[28] Este trabajo describe la caracterización y utilización del mucílago de nopal en la elaboración de materiales compuestos, incluyendo los ladrillos ecológicos. Los autores demostraron que el mucílago de nopal puede ser utilizado como aglutinante en la fabricación de materiales compuestos y que estos materiales tienen propiedades mecánicas y térmicas adecuadas para su uso en la construcción.

[29] En este estudio se evaluó la efectividad del uso de la ceniza de bagazo de caña y la cal en la estabilización de suelos para su uso en la construcción. Los autores concluyen que la adición de estos materiales mejora las propiedades mecánicas y la estabilidad del suelo y sugieren su uso en la fabricación de ladrillos ecológicos.

[30] En este estudio se evaluaron las propiedades mecánicas y térmicas de los ladrillos ecológicos hechos de bagazo de caña y poliestireno expandido. Los autores demostraron que estos ladrillos tienen una resistencia mecánica adecuada para su uso en la construcción y tienen propiedades térmicas favorables que pueden contribuir a mejorar el aislamiento térmico de los edificios.

[31] En este estudio se investigó la posibilidad de utilizar residuos de laboratorio para la fabricación de ladrillos ecológicos. Los autores demostraron que estos residuos, incluido papel, vidrio y plástico, pueden servir de ingredientes en la elaboración de los ladrillos y que los resultantes tienen propiedades mecánicas adecuadas para su uso en la construcción.

3. Metodología

Este proyecto se basa en una investigación experimental complementada con una revisión documental. La fase experimental contempla la realización de pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del mortero elaborado con distintas proporciones de mucílago de nopal y bagazo de caña. Paralelamente, la investigación documental permitirá analizar la literatura existente sobre materiales de construcción ecológicos y sostenibles, así como las propiedades específicas de estos aditivos naturales.

La metodología se estructura en seis fases principales, cada una compuesta por un conjunto de tareas esenciales para garantizar el desarrollo integral de la investigación.

3.1.1 Fase de búsqueda de información (FASE 1)

En esta fase, se realiza una revisión de fuentes académicas, libros, artículos y otros recursos disponibles para establecer una base sólida de conocimiento sobre los materiales alternativos aplicables en la construcción. A continuación, se mencionarán los diferentes recursos académicos usados:

- Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo
- Recursos electrónicos y herramientas de investigación de la Universidad Santo Tomás
- Scielo
- Web of Science
- JSTOR
- Science Direct
- Scopus

3.1.2 Fase Experimental (FASE 2)

Selección y caracterización de materiales

En esta fase, se llevó a cabo la selección y adquisición de los materiales necesarios para la elaboración de las muestras de mortero. Así mismo, se llevaron a cabo una serie de ensayos cuyo objetivo es identificar y analizar las propiedades físicas de cada material. Es importante tener en cuenta qué propiedades deben ser evaluadas, como el porcentaje de absorción de agua del bagazo de caña y del mucílago de nopal, así como la granulometría de la arena, entre otras.

3.1.2.1 Agregado Fino (Arena). La arena fue de suministro propio, dentro del cual en la tabla 1 se pueden observar algunas de sus características.

Figura 1. *Agregado fino (Arena)*



Tabla 1. *Características del agregado fino (Arena)*

Ítems	Descripción
Origen	Lecho de ríos
% Absorción	0,805
Gravedad específica	31,00
Tamaño	0,15 mm a 4,76mm

Ensayo de granulometría de agregados

Se realizó el ensayo de granulometría en la muestra de agregado fino, obteniendo un módulo de finura de 4,24. Estos resultados son esenciales para el diseño de la mezcla.

Tabla 2. *Resultados de ensayo de granulometría de los agregados finos*

Tabla granulométrica del agregado fino					
Tamiz (Plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	%Reten.	%Ret.Acum	%Pasa
3/8"	9.5	0		0	100
4	4.76	46	6.07	6.07	93.93
8	2.38	123	16.23	22.30	77.70
16	1.19	153	20.18	42.48	57.52
30	0.59	192	25.33	67.81	32.19
50	0.3	167	22.03	89.84	10.16
100	0.15	59	7.78	97.63	2.37
200	0	0	0.00	97.63	2.37
Total		758	100		
Módulo de finura				4.24	

3.1.2.2 Cemento Portland tipo UG

Se utilizó un cemento hidráulico de marca “Ultracem” donde en la tabla 3 se observan algunas de sus características, para la preparación de la mezcla de mortero convencional y la de mortero con agregados (bagazo de caña y mucilago de nopal).

Tabla 3. *Características del cemento portland tipo 1*

Ítems	
Resistencia a compresión (Mpa) 3 día	>13
Resistencia a compresión (Mpa) 28 día	>24
Tiempo de fraguado inicial (min)	>45 y <420
Cambio de longitud por autoclave (%)	<0.80
Contenido de aire en volumen de mortero (%)	<12
Expansión de barra de mortero (%)	<0.02

Adaptado de ficha técnica cemento gris tipo UG.

3.1.2.3 Bagazo de Caña. El bagazo de caña fue suministrado por una microempresa situada en el municipio de Piedecuesta Santander, la cual se encarga de realizar el procedimiento de extracción de la caña y así reutilizar estos residuos (bagazo) como compostaje. En la tabla 4 se describirán algunas de las características más importantes de este material.

Figura 2. *Bagazo de Caña***Tabla 4.** *Características del Bagazo de caña*

Ítems	Descripción
Origen	caña
Suministrado	Microempresa artesanal en Piedecuesta
Color	marrón claro o beige
Tamaño	Diferentes tipos de tamaño
Aspecto	Fibroso y áspero
% Absorción en 24hr	4,15
Absorción a la humedad	Alta

Ensayo de absorción de agua en el bagazo de caña

Se realizó el ensayo de absorción de agua, en donde se sumergió una muestra de bagazo seco en agua durante un tiempo determinado y luego midiendo el aumento de peso, dando, así como resultado un 4,15% de absorción.

3.1.2.4 Mucilago de Nopal. Este material fue comprado en la plaza de mercado de Floridablanca como la planta el nopal, y a esta planta de manera artesanal, se le realizó la extracción del mucilago. En la tabla 5 se mencionarán algunas de las características de este material.

Figura 3. *Mucilago de Nopal*



Tabla 5. *Características del Mucilago de Nopal*

Ítems	Descripción
Origen	Nopal
Color	verde
Tamaño	-----
Aspecto	Viscoso

Ítems	Descripción
% Absorción en 24hr	3,75
Absorción a la humedad	Alta

Ensayo de absorción de agua en el Mucilago de Nopal

Se realizó el ensayo de absorción de agua, en donde generalmente, se extrae el mucílago del nopal y se seca para luego exponerlo a un ambiente húmedo o sumergirlo en agua durante un tiempo determinado. Posteriormente, se mide el incremento de peso para calcular la cantidad de agua absorbida. Como resultado se obtuvo que su porcentaje de absorción es de 3,75%.

3.1.3 Diseño de la mezcla (FASE 3)

Diseño de la mezcla según la norma ASTM-C270

Se estableció como objetivo determinar una dosificación de 1:2 con una resistencia de 23 Mpa, para lo cual se llevó a cabo el diseño de la mezcla siguiendo las directrices de la norma ASTM-C270 [5]. De este modo, se obtuvo la dosificación detallada en la tabla 6. En el proceso, se consideró una relación agua/cemento entre 0,5 y 0,6, de acuerdo con los requisitos aproximados indicados en la norma.

Tabla 6. Tipo de mortero – NSR-10

Tipo de mortero	Materiales por m3		
	Cemento (kg)	Arena (m3)	Agua (L)
1:2	610	0,97	250
1:3	454	1,10	250
1:4	364	1,16	240
1:5	302	1,20	240
1:6	261	1,20	235

Tomado de NSR-10

Considerando la proporción 1:2, se concluye que se requieren:

Tabla 7. *Dosificación para la mezcla de mortero*

Dosificación para la mezcla de mortero					
Volumen (m3)	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Mucilago de nopal (g)	Bagazo de caña (g)
1	500	1000	250		
0,12	250	500	156,25		
0,12	250	500	125	25	6,25

Además, se evaluó la absorción de los nuevos agregados. La absorción del bagazo de caña es elevada, con un valor de 4,15%, mientras que la absorción del mucílago de nopal también es considerable, alcanzando un 3,75% de su propio peso. Esto sugiere que podría absorber hasta 25 g de agua. Como resultado, se ajustó la cantidad de agua a añadir a la mezcla, estableciéndose en 125 g.

Tabla 8. *Número de cubos con respecto al tiempo de curado.*

Tipo de cubo	7 días	14 días	28 días	Total
<i>Mortero convencional</i>	3	3	3	9
<i>Mortero + Bagazo de caña</i>	3	3	3	9
<i>Mortero + Mucilago de nopal</i>	3	3	3	9
<i>Mortero + Bagazo de caña + Mucilago de Nopal</i>	3	3	3	9
<i>Total</i>				36

3.1.4 Ensayos de laboratorio (FASE 4)

En esta etapa se llevarán a cabo pruebas de laboratorio para evaluar la resistencia y durabilidad del elemento no estructural. Para ello, se utilizarán pequeñas muestras de mortero elaboradas con materiales alternativos. Este proceso es fundamental para determinar la viabilidad de estos materiales en la construcción.

Inicialmente, se realizará la prueba de fluidez en cada mezcla, considerando cuatro tipos de muestras, como se muestra en la tabla 8. Posteriormente, se ejecutará la prueba de resistencia en las mismas muestras, permitiendo un análisis detallado del comportamiento de cada material, tanto de forma individual como en combinación con otros.

Al preparar las diferentes mezclas, se procederá a realizar el ensayo de fluidez para cada una de ellas. Posteriormente, se verterá el mortero en los moldes correspondientes, y, al concluir el proceso de curado, se llevará a cabo el ensayo de resistencia en los cubos. El proceso de curado se realizará durante 7, 14 y 28 días, aplicándose a los diferentes cubos. Los ensayos específicos que se ejecutarán se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. *Ensayos de laboratorio (cubos)*

Ensayos	Norma
<i>Ensayo de resistencia a la compresión de cubos de mortero</i>	<i>NTC-220</i>
<i>Ensayo de fluidez</i>	<i>NTC-111</i>

3.1.5 Fase de Interpretación de resultados (FASE 5)

En esta fase, se realizará un análisis y comparación exhaustiva de los resultados obtenidos en la etapa anterior, con el objetivo de validar la hipótesis del proyecto y evaluar las posibles ventajas de incorporar materiales sostenibles en la industria de la construcción. Al final de esta etapa, se identificaron diferencias en el comportamiento mecánico y las propiedades de trabajabilidad entre la mezcla de mortero convencional y la mezcla con bagazo de caña y mucílago de nopal. Se evaluó cómo los materiales adicionales afectan la resistencia a la compresión del mortero. Con base en estos resultados, se establecieron comparaciones clave para determinar la viabilidad y el rendimiento de la mezcla modificada en comparación con la convencional.

3.1.6 Fase del informe (FASE 6)

En esta fase, se elaboró un informe escrito que recopila los resultados y conclusiones de la investigación, lo cual constituye un paso fundamental para comunicar y difundir de manera efectiva los hallazgos y aportes del proyecto.

4. Elaboración de mezclas de mortero y fusión de molde (cubos)

Tras finalizar los ensayos de caracterización de materiales y determinar los requisitos y parámetros especificados en la norma ASTM-C270 para la dosificación necesaria en la preparación del mortero, se llevaron a cabo dos tipos de mezclas: un mortero convencional y otro con la adición de bagazo de caña y mucílago de nopal. Las características de estos materiales se presentan en las tablas 1, 3, 4 y 5. A continuación, se procedió a verter el material en el molde triple cubo. Estas mezclas fueron preparadas en el laboratorio de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomás, ubicado en el campus de Piedecuesta.

4.1. Procedimiento de la elaboración de la mezcla de mortero (mortero convencional – mortero + bagazo de caña – mortero + mucilago de nopal - mortero + bagazo de caña+ mucilago de nopal)

- Tras caracterizar y realizar los ensayos correspondientes a los materiales, se verificaron las condiciones de humedad del agregado fino (arena) antes de proceder con la mezcla. Se determinó que el agregado fino se encontraba en un estado seco.

Figura 4. *Condiciones de humedad de los materiales*



- Se procede a pesar cada material (arena, cemento, agua) en la balanza con su cantidad adecuada para la elaboración del mortero.
- Se agrega cada cantidad de cada material (agua y cemento) a la mezcladora eléctrica para el primer tipo de mezcla sin ningún tipo de agregado, teniendo en cuenta que mientras la mezcladora va girando, se le va agregando poco a poco el agua de acuerdo con la dosificación de la mezcla.

Figura 5. *Preparación de la mezcla*

- Seguidamente obteniendo la mezcla, se realiza el ensayo de fluides el cual es fundamental para el proyecto, ya que nos ayuda a medir la consistencia de la mezcla y su capacidad para fluir bajo ciertas condiciones, con el fin de determinar si la mezcla tiene la viscosidad adecuada para ser trabajada de manera eficiente garantizando sus propiedades.

Figura 6. *Mortero convencional en ensayo de fluidez*

- Seguidamente, se aplica aceite vegetal con una esponja a el molde triple de cubos para que al momento de fundir la mezcla no se pegue a el molde y se desencofre de una manera adecuada sin afectar al cubo.
- Se funde en el molde triple cubo.

Figura 7. *Fundida de cubos*



- Se deja pasar las 24 horas de fraguado de los cubos.

Figura 8. *Cubos fundidos*



- Se desencofran cada cubo.

- Después de esto, se ubican los cubos dentro de la pileta con agua, para que cumplan con el tiempo de curado.

Figura 9. *Tiempo de curado cubos*



- A diferencia del mortero convencional, este segundo tipo de mezcla se realizará el mezclado de manera manual.
- Se procede a pesar cada uno de los materiales y en un balde se agregará solo los materiales solidos (agua, cemento, bagazo de caña), en otro balde los materiales líquidos (agua) y para finalizar en un balde mucho más grande que los anteriores se incorpora la mezcla de sólidos y se va agregando poco a poco la mezcla de líquidos de acuerdo con la dosificación de la mezcla.

Figura 10. *Mezcla mortero + bagazo de caña*



- Este Tercer tipo de mezcla se realizará el mezclado de manera manual.
- Se procede a pesar cada uno de los materiales y en un balde se agregará solo los materiales sólidos (agua, cemento), en otro balde los materiales líquidos (agua y mucilago de nopal) y para finalizar en un balde mucho más grande que los anteriores se incorpora la mezcla de sólidos y se va agregando poco a poco la mezcla de líquidos de acuerdo con la dosificación de la mezcla.

Figura 11. *Mezcla mortero + Mucilago de Nopal*



- Por último, el cuarto tipo de mezcla se realizará el mezclado de manera manual.
- Se procede a pesar cada uno de los materiales y en un balde se agregará solo los materiales sólidos (agua, cemento, Bagazo de caña), en otro balde los materiales líquidos (agua y mucilago de nopal) y para finalizar en un balde mucho más grande que los anteriores se incorpora la mezcla de sólidos y se va agregando poco a poco la mezcla de líquidos de acuerdo con la dosificación de la mezcla.

Figura 12. *Mezcla material Solido***Figura 13.** *Mezcla material liquido***Figura 14.** *Mezcla de mortero con adición de bagazo de caña y mucilago de nopal*

- Seguidamente obteniendo las mezclas, se realiza el ensayo de fluides para cada una, el cual es fundamental para el proyecto, ya que nos ayuda a medir la consistencia de la mezcla y su capacidad para fluir bajo ciertas condiciones, con el fin de determinar si las mezclas tienen la viscosidad adecuada para ser trabajada de manera eficiente garantizando sus propiedades.

Figura 15. Mortero con agregados (bagazo de caña y mucilago de nopal) en ensayo de fluidez.



- Seguidamente, se aplica aceite vegetal con una esponja a el molde triple de cubos para que al momento de fundir la mezcla no se pegue a el molde y se desencofre de una manera adecuada sin afectar al cubo.
- Se funde en el molde triple cubo.

de Bucaramanga ubicado en el campus de Piedecuesta, teniendo presente los tiempos de curado de 7, 14, 28 días y las cantidades obtenidas basándose en la norma NTC 2871-NTC 673 y siendo supervisadas previamente oír el laboratorista de la misma universidad.

Figura 18. *Ensayo a compresión en los cubos*



6.0.1 Comparación entre los cubos, teniendo en cuenta los tiempos de curado.

Una vez cumplido los tiempos de curado correspondientes, los cubos son sacados de la pileta y observados, de esta forma se comparó las características físicas de estos, esto se recopila en la siguiente tabla.

Figura 19. *Información comparativa entre los dos tipos de mezclas en los cubos*

Tipo de mezcla	7 días	14 días	28 días
Convencional			

Observaciones Los cubos tienen un color gris uniforme, típico de morteros a base de cemento. No se aprecian diferencias marcadas en el tono, lo que sugiere que los materiales utilizados están bien mezclados. Las superficies visibles parecen relativamente lisas y homogéneas. No se observan irregularidades significativas, como fisuras o desprendimientos, lo que podría indicar que las muestras están bien preparadas. Los cubos tienen bordes limpios y una forma adecuada para ensayos. Esto sugiere que fueron moldeados y curados correctamente antes de ser sometidos a pruebas.

**Mortero con
bagazo de caña y
mucilago de nopal**



Observaciones En estas muestras es interesante analizar si el color difiere debido al tipo de material utilizado (como residuos orgánicos). Su superficie no es tan lisa, pues debido al bagazo de caña presenta zonas un poco rugosas.

7. Análisis de resultados

Teniendo ya realizado el ensayo a compresión, analizaremos junto a este los resultados obtenidos en el ensayo de fluidez.

7.0.1 Ensayo de fluidez

En cuanto a el porcentaje de fluidez, el ensayo se realizó usando la norma la cual nos dice que, se debe echar 2 capas de 20 golpes cada capa, y luego se le da 25 caídas. Seguidamente tomamos los diámetros para sacar el porcentaje de fluidez. A continuación, en las siguientes tablas evidenciara los diferentes diámetros para cada mezcla.

Tabla 10. Datos de los diámetros para la mezcla con mortero convencional

Mortero Convencional	
Diámetro inicial (Di)= 10,1	Diámetro Promedio (Dp)=20,25
Diámetros	Porcentaje de fluidez
20,3	$\% \text{de Fluidez} = \frac{Di - Dp}{Di} * 100 = 100\%$
20,2	
20,3	
20,2	

Tabla 11. Datos de los diámetros para la mezcla con mortero + bagazo de caña.

Mortero + Bagazo de caña	
Diámetro inicial (Di)= 10,1	Diámetro Promedio (Dp)= 19,825
Diámetros	Porcentaje de fluidez
19,5	$\% \text{de Fluidez} = \frac{Di - Dp}{Di} * 100 = 96,29\%$
19,8	
19,9	
20,1	

Tabla 12. Datos de los diámetros para la mezcla con mortero + mucilago de nopal.

Mortero + Mucilago	
Diámetro inicial (Di)= 10,1	Diámetro Promedio (Dp)= 20,475
Diámetros	Porcentaje de fluidez
20,6	$\% \text{de Fluidez} = \frac{Di - Dp}{Di} * 100 = 102,72\%$
20,5	
20,5	
20,3	

Tabla 13. Datos de los diámetros para la mezcla con mortero + bagazo de caña + mucilago de nopal.

Mortero con mezcla total	
Diámetro inicial (Di)= 10,1	Diámetro Promedio (Dp)=19,375
Diámetros	Porcentaje de fluidez
19,5	$\% \text{de Fluidez} = \frac{Dp - Di}{Di} * 100 = 91,832\%$
19,3	
19,2	
19,5	

Tener muy presente que para que cumpla el porcentaje de fluidez, según la norma mínimo debe ser del 80%.

7.0.2 Ensayo a compresión de cubos

En cuanto a la resistencia de los cubos a compresión, a continuación, en la tabla se puede evidenciar las diferentes resistencias en cuanto a los dos tipos de mezcla con un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días.

Tabla 14. Datos de ensayo a compresión de cubos a 7 días.

7 días					
Cubos	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Peso (kg)	Características
C1	4,9	5,1	5	256,56	Morteros convencionales
C2	5	4,9	5	256,91	Morteros convencionales
C3	5,1	5,05	5	256,14	Morteros convencionales
C4	5	5	5	253,43	Mortero + Bagazo de caña
C5	5,1	5	5,1	254,42	Mortero + Bagazo de caña
C6	5	5	5	247,08	Mortero + Bagazo de caña

7 días					
Cubos	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Peso (kg)	Características
C7	5,1	5	5	263	Mortero + Mucilago de Nopal
C8	5,1	4,9	5	258,48	Mortero + Mucilago de Nopal
C9	5,1	4,9	5	256,54	Mortero + Mucilago de Nopal
C10	5	5	5,1	245	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal
C11	5	4,9	5,1	246	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal
C12	4,9	5	5	245,56	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal

Tabla 15. Datos de resistencia y esfuerzo de cubos a 7 días

Tabla de esfuerzos a los 7 días		
Cubo	Carga (KN)	(Mpa)
C1	21,7	8,52
C2	24,2	9,69
C3	38,9	15,24
C4	34,4	13,76
C5	39,1	15,66
C6	43,2	16,27
C7	44,2	17,69
C8	35,2	14,09
C9	23,7	9,29
C10	20,6	8,22
C11	23,7	9,29
C12	24,2	9,48

Tabla 16. Datos de ensayo a compresión de cubos a los 14 días

14 días					
Cubos	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Peso (kg)	Características
C1	5	5,1	5	278	Morteros convencionales
C2	5	4,9	5	276,87	Morteros convencionales

14 días					
Cubos	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Peso (kg)	Características
C3	5,1	5	5	277,82	Morteros convencionales
C4	5	5	5,1	254,2	Mortero + Bagazo de caña
C5	4,9	5,1	5	258,4	Mortero + Bagazo de caña
C6	4,9	5	5	260,5	Mortero + Bagazo de caña
C7	5	4,9	5,1	263,2	Mortero + Mucilago de Nopal
C8	5	5	4,9	253,2	Mortero + Mucilago de Nopal
C9	4,9	5	5,1	250,6	Mortero + Mucilago de Nopal
C10	5	5	5	244,6	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal
C11	4,9	5	5,1	245,2	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal
C112	5	4,9	5	245,62	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal

Tabla 17. Datos de resistencia y esfuerzo de cubos a 14 días

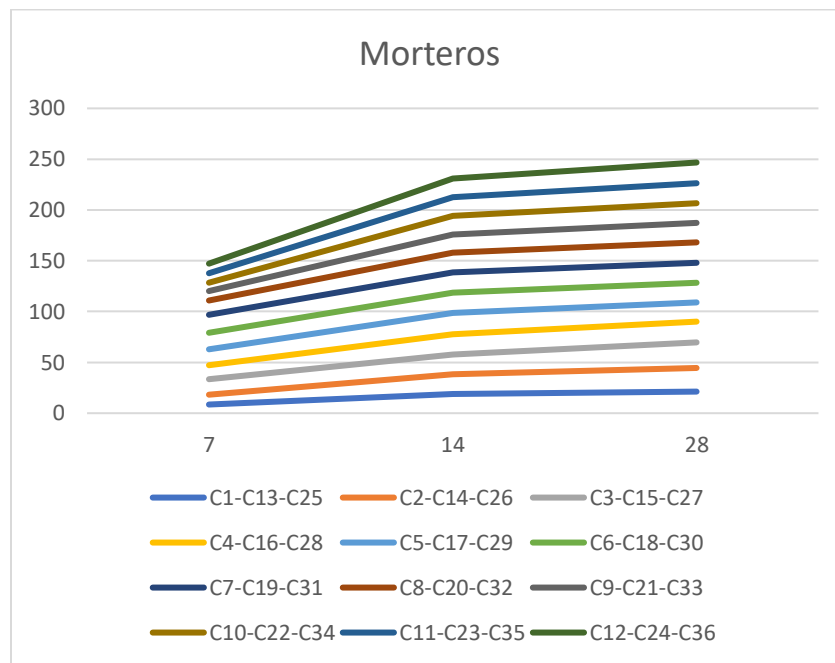
Tabla de esfuerzos a los 14 días		
Cubos	Carga (Kn)	(Mpa)
C1	46,8	18,72
C2	49,2	19,68
C3	47,9	19,16
C4	50,8	20,32
C5	52,3	20,92
C6	49,5	19,8
C7	50,5	20,2
C8	47,8	19,12
C9	45,3	18,12
C10	45,7	18,29
C11	45,3	18,11
C12	46,2	18,47

Tabla 18. Datos de ensayo a compresión de cubos a los 28 días

28 días					
Cubos	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Peso (kg)	Características
C1	5	5	5	260	Morteros convencionales
C2	5	5,1	5,1	276,48	Morteros convencionales
C3	5,1	5,1	5,1	279,88	Morteros convencionales
C4	4,9	5	5	257,6	Mortero + Bagazo de caña
C5	5,1	4,9	5	256,3	Mortero + Bagazo de caña
C6	5	5,1	5	255,8	Mortero + Bagazo de caña
C7	4,9	5	5	250,2	Mortero + Mucilago de Nopal
C8	5	5,1	5	251,1	Mortero + Mucilago de Nopal
C9	4,9	5	5	249,8	Mortero + Mucilago de Nopal
C10	5,1	4,9	5	258,48	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal
C11	4,9	5,1	4,9	255,37	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal
C12	5,1	4,9	5	256,54	Bagazo de caña + Mucilago de Nopal

Tabla 19. Datos de resistencia y esfuerzo de cubos a 28 días

Tabla de esfuerzos a los 28 días		
Cubos	Carga (Kn)	(Mpa)
C1	55,3	21,25
C2	60,5	23,27
C3	64,1	25,15
C4	52,1	20,44
C5	48,2	18,91
C6	49,3	19,34
C7	50,1	19,65
C8	51,3	20,12
C9	48,9	19,18
C10	49,3	19,34
C11	50,2	19,69
C12	51,8	20,37

Figura 20. Comparación de esfuerzos de la mezcla convencional con las demás mezclas.

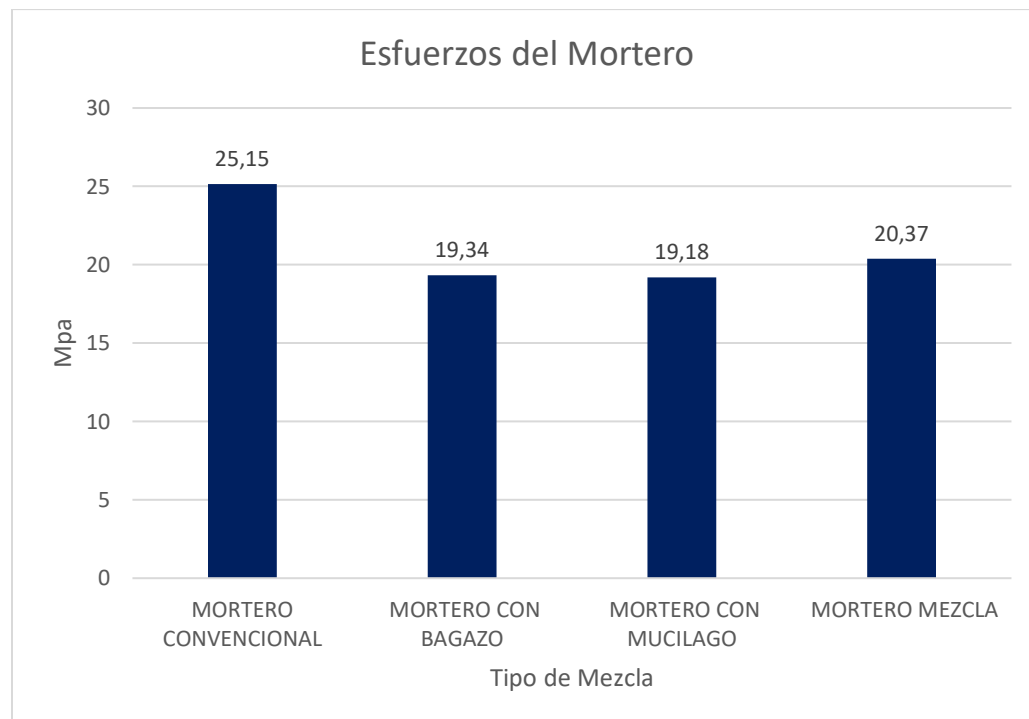
Día 7: Se pudo observar una gran diferencia en los valores de resistencia de los cubos con mortero convencional respecto a las demás mezclas, de acuerdo con la figura 18 los cubos de mortero alcanzan su resistencia máxima (60%) que equivale a 15Mpa frente a los cubos de mortero con los diferentes agregados, donde evidentemente se observa que presentan una resistencia baja.

Día 14: Se observa un cambio el cual sirve, ya que las resistencias y los esfuerzos siguieron siendo más altos para el mortero convencional el cual en esta etapa llega al (90%) que equivale al 18,61Mpa con respecto al mortero con los diferentes agregados, pero aun así el mortero con los diferentes agregados aumento su resistencia y esfuerzo estando un poco más cerca a ese (90%).

Día 28: Es similar a las diferentes etapas donde la resistencia y el esfuerzo del mortero convencional va aumentando con un crecimiento constante con respecto a la resistencia y esfuerzo del otro tipo de mezcla, donde se observa un crecimiento lento en cuanto a la resistencia y esfuerzo en cada una de sus etapas. Por otra parte, se puede observar que respecto al día 14 y 28 los cubos con mortero de bagazo de caña y mucilago de nopal no presentaron un aumento significativo en

sus resistencias y esfuerzos ya que los porcentajes entre una etapa y la otra, es de 5,32% del C10 con respecto al C16, 7,64% del C11 con respecto al C17, y 9,19% del C12 con respecto al C18; lo que significa que para el día 28, el tiempo de curado no se incrementó mucho el esfuerzo de estos cubos.

Figura 21. Comparación de resistencia de cubos a través de la mezcla convencional y las demás mezclas.



Nota: cómo se puede observar para la etapa de 28 días, el C27 de mortero convencional fue el que obtuvo mayor esfuerzo con respecto a los otros cubos de los cuatro tipos de mezclas que manejamos.

Por lo tanto, el cubo que tuvo menos esfuerzo y fallo más rápido fue el C33 dando una diferencia entre un esfuerzo y otro en cuanto al mortero convencional con el mortero con bagazo y el mortero de la mezcla total.

La ejecución del ensayo a compresión en los cubos genera en estos diferentes tipos de falla; donde en la tabla 21 se puede detallar el tipo de falla, el tipo de mezcla (mortero convencional – demás morteros) y el tiempo de curado.

Figura 22. Tipo de fallas ensayo a compresión en cubos

Tipo de mezcla	7 días	14 días	28 días
Mortero Convencional			
	Tipo de falla: por corte	Tipo de falla: por corte	Tipo de falla: por corte
Demás morteros			
	Tipo de falla: por corte	Tipo de falla: por corte	Tipo de falla: por pandeo general de las fibras en dirección externa

7.1 Análisis de costos de Cubos en mortero convencional y mortero con adición de bagazo de caña y mucilago de nopal.

Para analizar la viabilidad económica del proyecto, se elaboró un presupuesto inicial que incluye los costos relacionados con los materiales y suministros necesarios. Este estudio comparó los gastos de los insumos requeridos para dos tipos de mezclas: el mortero tradicional y el mortero que incorpora bagazo de caña y mucílago de nopal como aditivos.

7.1.1 Costo de materiales

Se evaluaron diferentes presupuestos y se decidió elegir las opciones más rentables para elaborar los cuatro tipos de mezclas de mortero. A continuación, se presentan los costos específicos de los materiales utilizados en cada mezcla.

Tabla 20. Presupuesto para la mezcla de un mortero convencional

Precios Mortero Convencional					
Material	Cantidad (Kg)	Precio Und	Cantidad por usar (kg)	Cantidad (bultos)	Precio total
Cemento	50	\$30.000	3	1	\$6.000
Arena (rio)	40	\$16.000	6	1	\$3.000
Total					\$9.000

Tabla 21. Presupuesto para la mezcla de Mortero con bagazo de caña

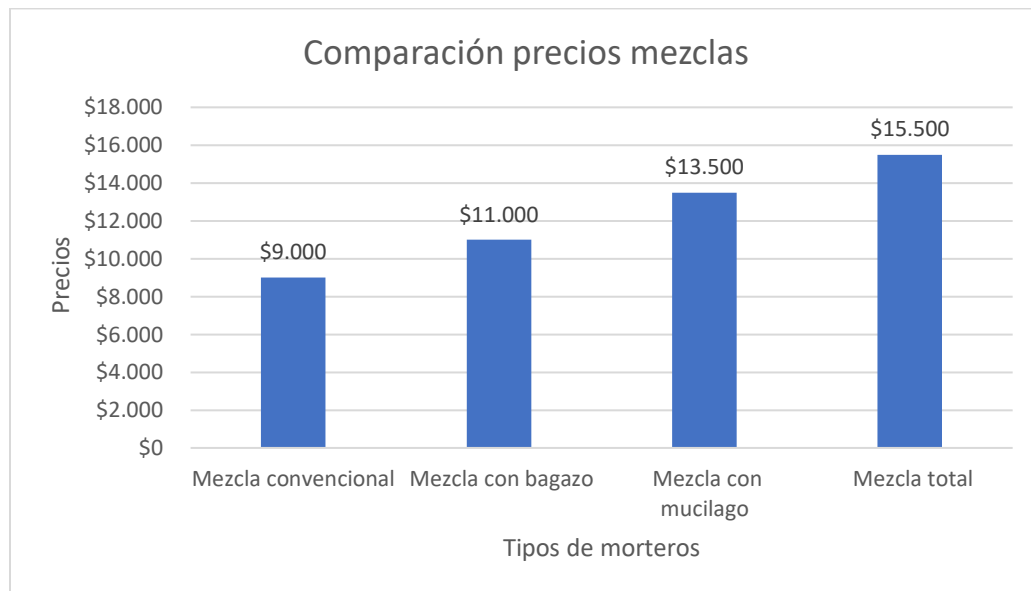
Precios Mortero con bagazo de caña					
Material	Cantidad(kg)	Precio unidad	Cantidad por usar (kg)	Cantidad (bultos)	Precio total
Cemento	50	\$30.000	3	1	\$6.000
Arena (rio)	40	\$16.000	6	1	\$3.000
Bagazo de caña	1000	\$16.000	0,3	1	\$2.000
Total					\$11.000

Tabla 22. *Presupuesto para la mezcla de Mortero con Mucilago de Nopal.*

Precios Mortero con mucilago de nopal					
Material	Cantidad(kg)	Precio unid	Cantidad por usar (kg)	Cantidad (bultos)	Precio total
Cemento	50	\$30.000	3	1	\$6.000
Arena (rio)	40	\$16.000	6	1	\$3.000
Mucilago de nopal	1	\$15.000	0.3	-----	\$4.500
Total					\$13.500

Tabla 23. *Presupuesto para la mezcla Total.*

Precios Mortero Mezcla total					
Material	Cantidad(kg)	Precio unid	Cantidad por usar (kg)	Cantidad (bultos)	Precio total
Cemento	50	\$30.000	3	1	\$6.000
Arena (rio)	40	\$16.000	6	1	\$3.000
Bagazo de caña	1000	\$16.000	0,3	1	\$2.000
Mucilago de nopal	1	\$15.000	0.3	-----	\$4.500
Total					\$15.500

Figura 23. Comparación precios de los cuatro tipos de mezclas

La gráfica compara el costo de cuatro tipos de mezclas de mortero: el convencional, con un presupuesto de \$9,000 COP, el mortero con bagazo con un presupuesto de \$11,000 COP, el mortero con Mucilago de Nopal con un presupuesto de \$13,500 COP y el mortero con bagazo de caña y mucílago de nopal, con un costo de \$15,500 COP, un 72% más alto que el convencional. Este incremento puede atribuirse a los costos de obtención y procesamiento de estos materiales innovadores, pero aporta beneficios ambientales al reducir residuos agrícolas y fomentar prácticas ecológicas. Aunque más costosa, la mezcla sostenible representa una inversión que puede ser rentable a largo plazo, especialmente en proyectos que valoren la sostenibilidad y el impacto ambiental positivo.

8. Conclusiones

El uso de materiales sostenibles como el bagazo de caña y el mucílago de nopal en la fabricación de morteros representa una alternativa interesante dentro de la economía circular,

contribuyendo a la reducción de residuos agrícolas y fomentando prácticas constructivas más ecológicas.

Se desarrolló una mezcla de mortero con una resistencia de diseño de 3400 psi, integrando un 3% de bagazo de caña y un 6% de mucílago de nopal como aditivos principales. El diseño fue llevado a cabo bajo el estricto cumplimiento de los lineamientos establecidos por las normas NTC-10 aplicables a morteros para mampostería no estructural, asegurando que el producto resultante cumpla con las exigencias técnicas y de calidad propias del sector de la construcción.

Con lo anterior se puede concluir que: se observó que, para la etapa de 28 días, el C27 de mortero convencional fue el que obtuvo mayor esfuerzo con respecto a los otros cubos de los cuatro tipos de mezclas que manejamos.

Por otra parte, mientras que el mortero convencional mostró un crecimiento constante y significativo en la resistencia a lo largo de los días de curado, el mortero con bagazo de caña y mucílago de nopal tuvo un crecimiento más lento y un aumento poco significativo entre los días 14 y 28. Esto limita su aplicabilidad en proyectos que demandan alta resistencia estructural.

Por último, los resultados indican que estos agregados disminuyen significativamente la resistencia a la compresión del mortero en comparación con los convencionales. Aunque el mortero con bagazo de caña y mucílago de nopal tiene limitaciones técnicas y económicas, su desarrollo constituye un aporte significativo hacia una construcción más sostenible y abre la puerta a nuevas líneas de investigación en materiales alternativos.

9. Recomendaciones

Este proyecto sienta las bases para explorar el potencial de materiales renovables en la industria de la construcción, subrayando la necesidad de continuar innovando en materiales

sostenibles. Aunque los resultados no alcanzaron las expectativas iniciales, el estudio constituye un punto de partida para futuras investigaciones y ajustes en el diseño de mezclas.

La incorporación de residuos agrícolas en morteros representa una estrategia prometedora para reducir el impacto ambiental de la construcción, promoviendo la reutilización de materiales que de otro modo serían desechados, lo que se alinea con los principios de la economía circular.

Referencias

- [1] J. C. S. Gonçalves and K. Bode, “The environmental value of buildings: a proposal for performance assessment with reference to the case of the tall office building,” *Innovation the European Journal of Social Science Research*, vol. 24, no. 1–2, pp. 31–55, Mar. 2011, doi: 10.1080/13511610.2011.586495.
- [2] W. Ye, W. Jiang, P. Li, D. Yuan, J. Shan, and J. Xiao, “Analysis of mechanism and time-temperature equivalent effects of asphalt binder in short-term aging,” *Construction and Building Materials*, vol. 215, pp. 823–838, May 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.197.
- [3] Y. Wu, Y. Tao, Z. Deng, J. Zhou, C. Xu, and B. Zhang, “A fuzzy analysis framework for waste incineration power plant comprehensive benefit evaluation from refuse classification perspective,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 258, p. 120734, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120734.
- [4] J.J. Anaya, C.A. Anaya, and M.A. Anaya, “Caracterización de las cenizas de bagazo de la caña de azúcar para ser usadas en materiales de construcción”. Memorias del Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y Congreso de Control de Calidad en la Construcción. (2020).
- [5] P. F. De J Cano-Barrita, S. Ramírez-Arellanes, F. Julián-Caballero, and C. Gómez-Yañez, (Apr,2019). Propiedades de durabilidad en concreto y análisis microestructural en pastas de cemento con adición de mucílago de nopal como aditivo natural. [Online]. Available: <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/818/873/953>
- [6] N. Arena, J. Lee, and R. Clift, “Life Cycle Assessment of activated carbon production from coconut shells. Revista de Producción Más Limpia, vol. 125, págs. 68-77. (Apr,2016).

- [7] F. Ballester, "Contaminación atmosférica, cambio climático y salud," *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*, Jan. 2005, [Online]. Available: <https://doaj.org/article/0077e09aa8624e45b7445e955aeae362>
- [8] ASTM C270-24: "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024.
- [9] H. Xargay, M. Ripani, A. Caggiano, P. Folino, and E. Martinelli, "Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios," [Online]. April 2019. Available: <https://doi.org/10.14483/22487638.14697>.
- [10] G. A. Ordóñez, "Salud ambiental: conceptos y actividades," *Revista Panamericana De Salud Pública*, (2021, Apr 08) .
- [12] L. Patiño, "Se clasifican en: ◻ Pastas ◻ Morteros ◻ Cementos Pastas," *www.academia.edu*, Sep. 2015, [Online]. Available: https://www.academia.edu/16301876/Se_clasifican_en_Pastas_Morteros_Cementos_Pastas?source=swp_share
- [13] L. Gutiérrez de López, *El concreto y otros materiales para la construcción*. Repositorio Universidad Nacional: 2003
- [14] D.L. Arias 2016,09,20. Propiedades físicas de los aglomerantes [Online]. Available: <https://prezi.com/lhhkumqhvbvg/propiedades-fisicas-de-los-aglomerantes/>
- [15] N. Aguilar Rivera (2016), "Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga", *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 047-055. abril de 2025
- [16] C.J. Hernández-Torres, A. Ilina, J.M. Ventura-Sobrevilla, R. E. Belmares-Cerda, J.C. Contreras-Esquivel, G. Michelena Álvarez, J.L. Martínez Hernández. La microencapsulación

de bioactivos para su aplicación en la industria ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 50, núm. 1, pp. 12-19, enero-abril, 2016

- [17] M. A. Monterrey, Jan. 20, 2025, “Aceros de Refuerzo: Tipos, Especificaciones Técnicas y Usos Clave,” [online] Available: <https://maxacero.com/blog/aceros-de-refuerzo-caracteristicas-tipos-y-usos/>
- [18] United Nations, “Sostenibilidad | Naciones Unidas,” United Nations. Available: <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad>
- [19] M. Romero Garcia, P. Museros Romero, M. D. Martinez Rodrigo, A. Poy Gil, *Resistencia de materiales*. Ed. Lll. Titol, Publicacion de la Universidad Jaume I, D.L. 2002.
- [20] D. Martinez, 2021/06/17. “Versátil “ [online], Available : <https://bladenonline.com/versatil/>
- [21] K.N. Pérez Rubio, P.P. Quintana Llanos, S. G. Ramírez Cursi, “INFORME-MORTERO y UNIDADES DE ALBAÑILERÍA,” Universidad Nacional de Ingenieria, curso de tecnologia de los materiales, 03 de Nov del 2021
- [22] H. F.Cortez Gutierrez, & O. Gómez Huayanay, “Caracterización de morteros para revestimiento incorporando Mucílago de Nopal, San Bartolomé, Lima”, tesis de grado, UCV, Lima, 2021
- [23] P. Camargo Macedo, A. M. Pereira, J. L. Akasaki, C. F. Fioriti, J. Payá, & J. L. Pinheiro, “Rendimiento de morteros producidos con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar”, *Revista ingeniería de construcción*, vol.29 no.2, 187-199. Agosto 2014
- [24] A. De Colombia and N. De Acreditación De Colombia, “INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC,” Instituto Colombiano De Normas Tecnicas Y Certificacion, Jan. 2014, [Online]. Available:

<https://onac.org.co/directorios/anexos/archivos/obj01/ALCANCESSISGESTION/archivocertificado-621-53.pdf>

- [25] R. Villalobos, “morteros de cal con mucílago de nopal (opuntia ficus-indica) como aditivo: Evaluación de las propiedades mecánicas en base al método de extracción empleado”, Tesis para Licenciatura en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural, Olla de San Luisosí, SLP, UASLP, San Luis Potosí, 2014
- [26] P. Camargo Macedo, A. M. Pereira, J. L. Akasaki, C. F. Fioriti, J. Payá, & J. L. Pinheiro, “Comportamiento de morteros elaborados con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar”. *Revista de ingeniería de la construcción*, 29 (2), 187-199, 2014
- [27] O. Kizinievič, V. Kizinievič, I. Pundiene, D. Molotokas, “Eco-friendly fired clay brick manufactured with agricultural solid waste”, *archives of Civil and Mechanical Engineering*, Volume 18, Issue 4, 2018, Pages 1156-1165, ISSN 1644-9665, september 2018
- [28] anónimo, (2018) *Ladrillos Ecológicos (papel y nopal)*, MUCIMEX. [Online]. Available at: <https://expociencias.com.mx/ver-17/project/ladrillos-ecologicos-papel-y-nopal/>
- [29] Mohd Adnan, Sanjeev Kumar, Nikhil Garg, Keerat Kumar Gupta and Sourav Kumar Das, “Soil stabilization using waste “Bagasse ash and lime”: A review”, 2023
- [30] M. Gareca, M. Andrade, D.pool, F.Barrón and H. Villarpando, “Nuevo material sustentable: ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos”, *New sustainable material: ecological bricks blocks made of inorganic waste*, Rev. Cien. Tec. In. v.18 n.21 Chuquisaca jun. 2020
- [31] P. Muñoz Velasco, M.P. Morales Ortiz, M.A. Mendívil Giró, L. Muñoz Velasco, Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review, *Construction and Building Materials*, Volume 63, Pages 97-107, ISSN 0950-0618, 2014

- [32] A. Michel, J. Paat-Estrella, A. Bacelis-Jiménez, A. Vilchis-Nestor, T. Pérez-López y W. Talavera-Pech, “Adición de fibras de bagazo de caña de azúcar y nanopartículas de sílice MCM-41 sintetizadas a partir de vidrio de desecho y su efecto sinérgico en las propiedades del hormigón armado”, *Mater. constr.*, vol. 75, n.º 357, pág. e366, marzo de 2025