



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE
CEMENTO A BASE DE LA CÁSCARA DE COCO”**

Autor:

Arcos Mosquera Cristhoper Ramon

Tutor de Titulación:

Pablo Horacio Hidrovo Alcivar

Manta - Manabí - Ecuador

2025

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE CEMENTO A BASE DE
CÁSCARA DE COCO”**

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, como requisito para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Aprobado por el Tribunal Examinador:

DECANO DE LA FACULTAD

Dr. Arq. Hector Cedeño Zambrano

DIRECTOR

Ing. David Loor Vélez

JURADO EXAMINADOR

Ing. Emilio Loor Mendoza

JURADO EXAMINADOR

Dr. Santos Álava Macias

Certificación del Tutor

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudian **Arcos Mosquera Cristhoper Ramon**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Industrial, período académico **2025-1**, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO A BASE DE LA CÁSCARA DE COCO”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

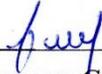
Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.



Ing. Pablo Horacio Hidrovo Alcivar.
TUTOR DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS

Arcos Mosquera Cristhoper Ramon, estudiante de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO A BASE DE LA CÁSCARA DE COCO.”** Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Pablo Horacio Hidrovo Alcivar y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Arcos Mosquera Cristhoper Ramon
C.I. 0803689660



Pablo Horacio
Hidrovo Alcivar
Time Stamping
Security Data

Ing. Pablo Horacio Hidrovo Alcivar
C.I. 0802289850

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, a mi madre Rosela Mosquera la cual siempre me consintió preparando mis comidas favoritas además de acompañarme a lo largo de este trayecto visitándome al menos una vez al mes para no sentirme solo, a mi padre Ever Arcos el cual me brindo su apoyo fundamental para poder alcanzar este logro, proveyéndome de materiales y la ayuda necesaria para culminar con este proyecto, a mi hermano Karwin Arcos el cual es un gran guía que me ayudo siempre que tenía dudas.

A mis amigos que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, ya sea para relajarnos y quitar un poco la presión.

A mis compañeros de la carrera gracias por regalarme parte de su tiempo para explicar, con paciencia, los temas que me resultaron difíciles durante el transcurso de la carrera.

A mi tutor, el ingeniero Pablo Hidrovo que no desistió conmigo a pesar de los fallos que tuve durante la elaboración de la tesis.

Reconocimiento

Este trabajo de investigación fue posible gracias al invaluable apoyo del laboratorio de ingeniería civil y su equipo. En especial, agradezco al Ing. Hugo por facilitarme el acceso a las instalaciones y equipos, así como por su paciencia al enseñarme la metodología correcta para elaborar y medir las probetas de Hormigón, garantizando que cumplieran con los estándares requeridos para los ensayos de resistencia en la prensa hidráulica.

Reconozco también a los otros ingenieros y pasantes del laboratorio que, en distintos momentos, me orientaron sobre el manejo de los materiales, el curado de las probetas y el uso de instrumentos de medición. Su disposición fue fundamental para el desarrollo técnico de este proyecto.

Un agradecimiento muy especial al coquero de mi ciudad, quien me proporciono las cáscaras de coco seco utilizadas en este estudio. Estos residuos, recolectados se convirtieron en un componente clave para la innovación de este material.

Finalmente, expreso mi más sincera gratitud a mi tutor de tesis, el Ing. Pablo Hidrovo por su guía constante, sus críticas constructivas y su compromiso con la aplicabilidad ambiental de esta investigación.

Índice de Contenido

Contenido

Dedicatoria.....	v
Reconocimiento	vi
Índice de Contenido	vii
índice de tablas.....	x
Índice de Figuras.....	xii
Resumen Ejecutivo	xiii
Executive Summary	xv
Introducción	1
Antecedentes	3
Planteamiento del Problema	5
Macro Contexto	5
Meso Contexto	5
Micro Contexto	6
Formulación del Problema	7
Preguntas Directrices	7
Objetivos	8
Objetivo General.....	8
Objetivos Específicos.....	8

Justificación	9
Capítulo 1	10
1 Fundamentación Teórica.....	10
1.1 Antecedentes Investigativos.....	10
1.2 Bases Teóricas	14
1.2.1 Introducción a la Producción del Cemento.....	14
1.2.2 Pasos para la Fabricación del Cemento	16
1.2.3 Equipamiento Utilizado	19
1.2.4 Introducción al Coco.....	22
1.3 Marco Conceptual.....	26
1.4 Marco Legal y Ambiental	27
1.4.1 Marco Legal de las Cáscaras de Coco	27
1.4.2 Marco Ambiental de las Cáscaras de Coco.....	28
1.4.3 Marco Legal del Hormigón.....	28
1.4.4 Marco Ambiental del Hormigón.....	29
1.5 Hipótesis y Variables	29
1.6 Hipótesis	29
1.6.1 Identificación de las Variables.....	30
1.6.2 Operacionalización de las Variables.....	30
1.7 Marco Metodológico.....	31

1.7.1	Modalidad Básica de la Investigación	31
1.7.2	Enfoque	32
1.7.3	Nivel de Investigación	32
1.7.4	Tamaño de la Muestra.....	32
1.7.5	Técnicas de Recolección de Datos.....	34
1.7.6	Procesamiento de la Información.....	35
2	Diagnóstico o Estudio de Campo.....	36
	Capítulo 3.....	43
3	Propuesta de Mejora	43
3.1	Costos.....	43
3.2	Análisis Experimental.....	45
	Conclusiones.....	49
	Recomendaciones	51
	Bibliografía	53
	ANEXOS	57

índice de tablas

Tabla 1 Desarrollo de las variables independientes	30
Tabla 2 <i>Desarrollo de las variables dependientes</i>	31
Tabla 3 Al 0% reemplazado con ceniza de cáscara de coco	33
Tabla 4 Al 5% reemplazado con ceniza de cáscara de coco	33
Tabla 5 Al 10% reemplazado con ceniza de cáscara de coco	34
Tabla 6 <i>Equipos usados para la medición en el estudio</i>	35
Tabla 7 Información sobre las probetas	36
Tabla 8 Datos de dosificación	37
Tabla 9 Medidas de los agregados finos y gruesos	37
Tabla 10 Medidas de la ceniza de la cáscara de coco seco	38
Tabla 11 Peso de los materiales usados para la mezcla de hormigón al 0% de ceniza de cáscara de coco seco	39
Tabla 12 Elaboración de la mezcla de hormigón	39
Tabla 13 Peso de los materiales usados para la mezcla de hormigón al 5% de ceniza de cáscara de coco seco	40
Tabla 14 Peso de los materiales usados para la mezcla de hormigón al 10% de ceniza de cáscara de coco seco	41
Tabla 15 Preparación para antes de usar la prensa.....	41

Tabla 16 Proceso para la obtención de la resistencia del cilindro de hormigón	42
Tabla 17 <i>Precios para las tres probetas 0% de ceniza de cascara de coco reemplazada</i>	43
Tabla 18 <i>Precio para las tres probetas con 5% de ceniza de cascara de coco reemplazada</i>	43
Tabla 19 <i>Precio para las tres probetas con 10% de ceniza de cascara de coco reemplazada</i>	44
Tabla 20 Resistencia obtenida del hormigón	45
Tabla 21 Resultados en Kgf/cm ² , Kgf, Mpa y % cumplido (al 0%)	46
Tabla 22 Resultados en Kgf/cm ² , Kgf, Mpa y % cumplido (al 5%)	47
Tabla 23 Resultados en Kgf/cm ² , Kgf, Mpa y % cumplido (al 10%)	47
Tabla 24 <i>Resultados reemplazando 0%</i>	57
Tabla 25 <i>Resultados reemplazando al 5%</i>	58
Tabla 26 <i>Resultados reemplazando al 10%</i>	59
Tabla 27 <i>Composición química de la ceniza de cáscara de coco</i>	60

Índice de Figuras

Figura 1	23
Figura 2 Resistencia a comprensión del cemento en relación con la temperatura de calcinación de la cáscara de coco.....	25
Figura 3 <i>Grafica de la relación de los precios según el % de ceniza usado</i>	44
Figura 4 <i>Grafica de barras sobre el progreso de la resistencia del hormigón</i>	46
Figura 5 Grafica de barras de la resistencia promedia obtenida de las probetas	48
Figura 6 Cáscara de coco seco.....	60
Figura 7 Secado de la cáscara de coco seco.....	61
Figura 8 Proceso de reducción de la cáscara de coco seco a ceniza.....	61

Resumen Ejecutivo

El estudio de prefactibilidad se centra en la producción de cemento utilizando ceniza de cáscara de coco seco como materia prima, un proyecto que se presenta desde la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, en la carrera de Ingeniería Industrial. Este innovador proyecto tiene como principal objetivo aprovechar los residuos de cáscara de coco seco generados por los distribuidores en Manta, que actualmente son desechados en vertederos y contribuyen a la contaminación ambiental. Al transformar estos residuos en un producto valioso, se busca reducir el impacto ambiental asociado al consumo de coco en Ecuador.

La utilización de la ceniza de cáscara de coco seco como materia prima para la producción de cemento ofrece una solución prometedora para los problemas de gestión de residuos en el país. La ceniza de cáscara de coco seco es un material biodegradable que puede convertirse en un componente sostenible para la construcción, disminuyendo así la demanda de cemento tradicional y minimizando la huella ambiental de los proyectos constructivos.

Incluir un porcentaje de ceniza de cáscara de coco en el cemento la literatura sugiere que podría mejorar propiedades como la resistencia a flexión, aunque en este estudio solo se evaluó la resistencia a compresión. Este estudio realiza un análisis de mercado, una evaluación técnica y un análisis financiero para determinar la viabilidad de producir hormigón a base de un porcentaje de ceniza cáscara de coco seco y cemento en Manta.

La metodología del estudio combina enfoques cuantitativos y cualitativos para la recopilación y análisis de datos. Además, se asegura la adherencia a principios éticos y directrices para proteger a los participantes y garantizar la integridad del proceso de investigación.

Los hallazgos de este estudio contribuirán al desarrollo de materiales de construcción sostenibles y amigables con el medio ambiente, reduciendo el impacto ambiental de la industria de la construcción en Ecuador. Este proyecto también busca promover una economía circular y un futuro más sostenible para el país.

Palabras clave:

- Ceniza de cáscara de coco seco
- Cemento sostenible
- Residuos biodegradables
- Construcción ecológica
- Economía circular

Executive Summary

The prefeasibility study focuses on cement production using coconut shell ash as a raw material. This project is being presented by the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, in the Industrial Engineering program. The main objective of this innovative project is to utilize the coconut shell waste generated by distributors in Manta, which is currently disposed of in landfills and contributes to environmental pollution. By transforming this waste into a valuable product, the project seeks to reduce the environmental impact associated with coconut consumption in Ecuador.

The use of coconut shell as a raw material for cement production offers a promising solution to the country's waste management problems. Coconut shell is a biodegradable material that can become a sustainable component for construction, thereby reducing the demand for traditional cement and minimizing the environmental footprint of construction projects.

Including a percentage of coconut shell ash in cement can significantly improve its flexural strength and other physical and mechanical properties of concrete, such as workability, unit weight, bleeding, and segregation. This study conducts a market analysis, a technical evaluation, and a financial analysis to determine the feasibility of producing coconut shell-based cement in Manta.

The study's methodology combines quantitative and qualitative approaches for data collection and analysis. It also ensures adherence to ethical principles and guidelines to protect participants and guarantee the integrity of the research process.

The findings of this study will contribute to the development of sustainable and environmentally friendly construction materials, reducing the environmental impact of the construction industry in Ecuador. This project also seeks to promote a circular economy and a more sustainable future for the country.

Keywords:

- Coconut shell ash
- Sustainable cement
- Biodegradable waste
- Green construction
- Circular economy

Introducción

La presente investigación se plantea desde la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Matriz Manta, en la Carrera de Ingeniería Industrial. Tengo el placer de presentar un estudio de factibilidad para la producción de hormigón a base de ceniza de cáscara de coco. Este proyecto innovador tiene como objetivo utilizar el abundante residuo de cáscara de coco generado por los distribuidores en Manta, que actualmente termina en vertederos y contribuye a la contaminación ambiental. Al transformar este residuo en un producto valioso, podemos reducir el impacto ambiental del consumo de coco en Ecuador.

El uso de ceniza de cáscara de coco como materia prima para la producción de cemento ofrece una solución prometedora para los problemas de gestión de residuos en el país. La cáscara de coco es biodegradable y puede ser convertida en un material de construcción sostenible, reduciendo la demanda de cemento tradicional y minimizando la huella ambiental de los proyectos de construcción.

Este estudio realizará un análisis de mercado, una evaluación técnica y un análisis financiero para determinar la factibilidad de la producción de cemento a base de cascará de coco en Manta. El trabajo de investigación estará basado en un marco teórico, guiado por preguntas de investigación e informado por una revisión exhaustiva de la literatura.

La metodología será un enfoque mixto, combinando ambos métodos de recopilación y análisis de datos cuantitativos y cualitativos. El estudio también se adherirá a principios éticos y directrices, asegurando la protección de los participantes y la integridad del proceso de investigación.

Los hallazgos de este estudio contribuirán al desarrollo de un material de construcción sostenible y ambientalmente amigable, reduciendo el impacto ambiental de la industria de la construcción en Ecuador. Los resultados de este estudio también afectaran a las posibles investigaciones en el campo de los materiales de construcción sostenibles.

El uso de ceniza de cáscara de coco seco como componente en la producción de cemento podría traer diversas mejoras. La ceniza de cáscara de coco seco posee propiedades puzolánicas,

que pueden mejorar la durabilidad y resistencia del cemento. Al transformar residuos en un producto valioso, este estudio tiene como objetivo promover una economía circular y contribuir a un futuro más sostenible para Ecuador.

Antecedentes

La industria cementera es una de las principales fuentes de contaminación a nivel global, representando entre el 8% y 9% de las emisiones totales de CO₂ (Andrew, 2019). Este impacto se debe principalmente al proceso de producción de Clinker, que requiere temperaturas extremadamente altas (superiores a 1400°C) y genera emisiones significativas durante la descarbonatación de la piedra caliza. En países como Honduras, se ha documentado que la producción de cemento generó 722,460 toneladas de CO₂ solo en 2015 (Chávez, 2023). Estas cifras demuestran la urgente necesidad de implementar alternativas sostenibles que reduzcan la huella ambiental de este sector industrial.

La creciente preocupación ambiental ha impulsado el desarrollo de materiales alternativos. Una estrategia efectiva ha sido la sustitución parcial del Clinker por Materiales Cementantes Suplementarios (SCM), donde estudios como Rúa Suárez et al. (2022) demostraron que con un 5% de sustitución por ceniza de cascarilla de arroz se logró aumentar la resistencia a compresión mientras se reducían emisiones

En la provincia de Manabí, Ecuador, la producción de coco genera anualmente 371.7 toneladas de residuos postcosecha, principalmente cáscaras (Pico et al., 2024). Lamentablemente, el 74% de los productores no gestiona adecuadamente estos desechos, optando por quemarlos (28%) o enviarlos a vertederos (46%). La quema de estos residuos libera CO₂ y monóxido de carbono, mientras que en los vertederos generan metano, un gas de efecto invernadero particularmente dañino. Esta situación contrasta notablemente con iniciativas internacionales que han logrado valorizar estos residuos en productos de mayor valor agregado, demostrando que existe un potencial desaprovechado en la región.

La cáscara de coco, un residuo abundante en países productores, ha emergido como un material prometedor para la sustitución parcial del cemento. Bheel et al. [19] evaluaron su uso en hormigón, observando que un reemplazo del 10% mejoraba la resistencia a la compresión en un 8.5%, atribuido al efecto de relleno de poros y a la actividad puzolánica. Adeala et al. [20] corroboraron estos hallazgos, aunque señalaron que porcentajes superiores al 5% podrían reducir la resistencia. Itam et al. [21] también destacaron que la ceniza de cáscara de coco calcinada a temperaturas óptimas (600 °C) incrementaba la resistencia mecánica debido a la formación de sílice amorfo. (Bheel et al. [19], Adeala et al. [20], Itam et al. [21], citado en ,Williams Urango, Palacios Mosquera, Cossio Mena, & Arbelaez Perez, 2023)

La búsqueda de alternativas sostenibles para la fabricación de cemento ha llevado a la exploración de diversos residuos agroindustriales con propiedades puzolánicas. Por ejemplo, Bie et al. [23] investigaron el uso de ceniza de cascarilla de arroz calcinada a 600 °C, encontrando que su alta área superficial y contenido de sílice amorfo mejoraban la resistencia a la compresión del hormigón en un 27%. De manera similar, Cordeiro et al. [24] demostraron que la ceniza de bagazo de caña, cuando se calcina a temperaturas controladas, puede reemplazar hasta el 30% del cemento sin comprometer las propiedades mecánicas. Estos estudios resaltan la importancia de la temperatura de calcinación en la activación de las propiedades puzolánicas de los residuos agrícolas. (Bie et al. [23], Cordeiro et al. [24], citado en ,Williams Urango, Palacios Mosquera, Cossio Mena, & Arbelaez Perez, 2023)

Si bien existen diversos estudios que exploran la viabilidad de sustituir parcial o totalmente el cemento con residuos agroindustriales, pocos se han centrado específicamente en evaluar la ceniza de cáscara de coco seco como único componente puzolánico en proporciones controladas.

La mayoría de los trabajos revisados usaron mezclas combinadas con fibras o con otros tipos de ceniza

Planteamiento del Problema

Macro Contexto

Lo que se hacen con los residuos del coco a pesar de su reutilización en algunos casos aún sigue siendo mucho el que se desperdicia “Anualmente se generan millones de toneladas de residuos de las plantaciones de coco. De todas ellas, solamente se aprovecha alrededor de un 15% y el resto acaba quemándose. En Brasil, por ejemplo, se consume mucha agua de coco verde. El resto del coco, se considera residuo, lo que equivale a un 85% del peso bruto del coco. Todo esto supone aproximadamente el **70% de toda la basura que se recoge en las playas**. Aproximadamente generan más de 3 millones de toneladas de cáscaras de coco, al año, que, de forma natural, tardarían más de 10 años en descomponerse.” (sostenibilidadmasvida, 2021)

Según el sitio web (sostenibilidadmasvida, 2021) son millones de toneladas de cáscaras que tardarían 10 años en descomponerse, pero si podemos reutilizarlo para hacer cemento podemos utilizarlos de forma inmediata y evitar ese proceso de descomposición que normalmente están en las playas arruinando la imagen de las playas

Meso Contexto

Ecuador Produce mucho coco y los que suelen reutilizarlos son los que producen y venden el coco lo suelen reutilizar como abono, pero como podemos observar a continuación el coco sale de esos lugares y se lo distribuye a gente que no realiza un control sobre los residuos después de que lo venden por lo cual normalmente termina tirados en la playa o en otros lugares “Vendedor

V: Puntos de venta a nivel nacional. Esta franquicia en el Ecuador cuenta con 56 puntos de venta donde expenden sus productos. Estos ubicados en terminales terrestres, parques, centro, hipermarket, plazas, multiplaza, mall, centros comerciales y gasolinera. Se encuentran en las siguientes ciudades: Quito, Cuenca, Riobamba, Ambato, Ibarra, Loja, Guayaquil, Durán, Daule, Naranjal, Manta, Portoviejo, Bahía de Caráquez Jipijapa, Chone, Machala, Libertad, Salina, Santo Domingo, Quevedo y Babahoyo.” (Romero Delgado, Rosado Zambrano, Sablón Cossío, & Burbano Mera, 2020)

Micro Contexto

En la ciudad de Manta, se generan numerosos residuos de coco, como se observa en el análisis de la cadena agroalimentaria del coco (*Cocos nucifera*) en la provincia de Manabí, Ecuador. Por ejemplo:

- Un vendedor de agua de coco en Manta vende alrededor de 200 cocos semanales, de lunes a sábado, obtenidos de productores en la parroquia Crucita del cantón Portoviejo, donde reside el vendedor. También distribuye entre 30 y 80 cocos verdes a tres pequeños vendedores en la playa y el centro de Manta. Los residuos generados son depositados en el vertedero de la ciudad.
- Otra vendedora de agua de coco en las playas de Manta vende aproximadamente 80 cocos semanales, suministrados por un proveedor de Riochico. Los residuos también se desechan en los vertederos locales. En las playas de Manta, hay alrededor de seis vendedores adicionales de agua de coco.
- Un tercer comerciante en Manta extrae fibra de coco, que es utilizada por pescadores para sellar los espacios entre los tablones de las lanchas y evitar la

entrada de agua. Este comerciante recoge residuos de coco de mayoristas en Sosote, aunque recolecta pocos residuos ya que solo vende unas 100 libras de fibra de coco cada 15 días. Otros miembros de su familia también se dedican a esta actividad.

Estos ejemplos ilustran cómo los residuos de coco generados por estos vendedores son gestionados y, en su mayoría, terminan en vertederos locales. (Romero Delgado, Rosado Zambrano, Sablón Cossío, & Burbano Mera, 2020)

Formulación del Problema

¿Cuál es la factibilidad económica, técnica y financiera para la producción de hormigón a basa de ceniza cáscara de coco?

Preguntas Directrices

- ¿Cuál es la factibilidad de producir hormigón a base de ceniza cáscara de coco en Manta, Ecuador?
- ¿Cuál es la demanda de hormigón a base de ceniza cáscara de coco en Manta, Ecuador?
- ¿Cuáles son los recursos y equipo necesarios para producir hormigón a base de ceniza de cáscara de coco en Manta, Ecuador?
- ¿Cuál es la viabilidad financiera de producir hormigón a base de ceniza de cáscara de coco en Manta, Ecuador, ¿considerando los costos de producción, marketing y distribución?

Objetivos

Objetivo General

- Realizar un estudio de factibilidad para la elaboración de hormigón a base de ceniza de cáscara de coco seco.

Objetivos Específicos

- Determinar la fórmula para la respectiva dosificación.
- Elaborar probetas para las respectivas pruebas.
- Realizar pruebas de resistencia a compresión en probetas de hormigón con 0%, 5% y 10% de ceniza de cáscara de coco seco como reemplazo parcial del cemento.

Justificación

La elección de incorporar ceniza de cáscara de coco seco como componente parcial en mezclas de cemento surge de la necesidad de proponer soluciones sostenibles frente al problema ambiental generado por los residuos agroindustriales. La cáscara de coco seco es un material biodegradable y ampliamente disponible en zonas urbanas y costeras como Manta, donde se produce en grandes cantidades y, en muchos casos, se desecha de manera inadecuada, contribuyendo a la contaminación del entorno.

Diversos estudios científicos han señalado que las cenizas derivadas de biomasa vegetal, como la cáscara de coco seco, poseen compuestos con potencial puzolánico como se puede observar en **Tabla 27**, capaces de reaccionar con el hidróxido de calcio en presencia de agua y formar productos que refuerzan la estructura del hormigón. Esta evidencia fue uno de los principales fundamentos que motivaron la presente investigación.

El propósito central de este estudio es evaluar técnicamente si la inclusión de ceniza de cáscara de coco seco afecta positiva o negativamente la resistencia a compresión del hormigón en comparación con una mezcla tradicional. Asimismo, se contempla un análisis de costos básicos con el fin de valorar si su implementación podría representar una alternativa económicamente viable para el sector constructivo.

A nivel disciplinar y profesional, esta investigación aporta al conocimiento sobre materiales sostenibles y promueve el aprovechamiento de residuos locales. Además, sienta las bases para futuros estudios enfocados en mejorar las propiedades del hormigón mediante la incorporación de desechos orgánicos.

Finalmente, el análisis de la cadena agroalimentaria del coco en la provincia de Manabí evidencia que una gran parte de estos residuos no se gestiona adecuadamente, lo que genera impactos ambientales negativos. Por tanto, explorar alternativas como la producción de hormigón con ceniza de cáscara de coco seco se vuelve una estrategia valiosa para reducir la contaminación y fomentar prácticas constructivas más responsables.

Capítulo 1

1 Fundamentación Teórica

1.1 Antecedentes Investigativos

(Bach. AMASIFUEN PASHANASI & Bach. ROMERO LOPEZ, 2021) realizaron un estudio titulado "Diseño de Concreto de Alta Resistencia con Aplicaciones de Ceniza de Coco y Ceniza de Cascarilla de Arroz, para Mejorar su Resistencia a la Compresión, San Martín – 2020", con el propósito de evaluar la sustitución parcial del cemento por ceniza de coco y ceniza de cascarilla de arroz en la resistencia a compresión del hormigón. Utilizando una muestra de 36 probetas cilíndricas de hormigón, emplearon un diseño experimental con posprueba y grupo control, dividiendo las probetas en cuatro grupos con diferentes porcentajes de adición de ceniza. Los resultados destacan que el óptimo porcentaje de sustitución fue del 1%, obteniendo una resistencia de 325.75 kg/cm^2 a los 28 días, equivalente al 93.07% de la resistencia total. Se concluyó que este porcentaje proporciona la mayor resistencia en comparación con otros porcentajes evaluados, aunque se advierte que una proporción mayor puede disminuir la resistencia esperada del hormigón de alta resistencia, estimada en $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$.

En un estudio llevado a cabo por (Giler Loor & López, 2022), se exploró la factibilidad de mejorar las propiedades mecánicas del mortero tradicional mediante la incorporación de fibra de coco. Se elaboraron diferentes dosificaciones de mortero con distintos porcentajes y longitudes de fibra de coco, evaluando su resistencia a la compresión y trabajabilidad. Aunque el mortero con fibra de coco no igualó las propiedades del mortero convencional, demostró una resistencia aceptable, aunque se observaron desafíos en términos de trabajabilidad, especialmente para operarios inexpertos. Se sugirió utilizar la dosificación más exitosa como punto de partida para

futuras investigaciones y considerar este tipo de mortero en aplicaciones que no requieran altas resistencias, dada su ventaja económica y ambiental.

(Huaman Mondalgo & Tantalean Cruz, 2023) investigaron la posibilidad de estabilizar la base de un pavimento flexible mediante la inclusión de cenizas de bagazo y cáscaras de coco en la Av. General Alipio Ponce, Chorrillos, en el año 2022. Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas del material granular base, así como su influencia en el diseño del pavimento según las normativas AASHTO 93. Aunque las adiciones no mejoraron significativamente las propiedades físicas, sí aumentaron las mecánicas, permitiendo reducir el espesor de la capa base. Se concluyó que las dosificaciones óptimas de estas adiciones son factibles para estabilizar la base del pavimento flexible. Se recomienda precisar las unidades de medida en futuras investigaciones y explorar más a fondo la composición química de las cáscaras de coco, considerando materiales que brinden beneficios económicos y ambientales, como las cenizas de bagazo de caña de azúcar.

(Medina Castro, 2024) desarrolló un estudio para elaborar un material de construcción utilizando residuos de corteza del coco (*Cocos nucifera* L.). Se empleó un enfoque cuantitativo para evaluar el efecto de la fibra de coco en la proporción del mortero. Se realizaron tres prototipos de mortero con diferentes proporciones de fibra de coco, y se encontró que el prototipo con un 45% de fibra de coco mostró una mayor resistencia a la compresión. Se concluyó que la corteza de coco puede ser aprovechada como material de refuerzo en la construcción, lo que contribuye a reducir la explotación de recursos no renovables y gestionar los desechos orgánicos. Las recomendaciones incluyen aumentar el contenido de fibra de coco para mejorar la compactación, utilizar instrumentos adecuados para el análisis de fuerza, considerar el diámetro de la fibra de coco, y aplicar suficiente presión al moldear el bloque para evitar espacios con aire.

(Neyra Ascate, 2021) llevó a cabo un estudio para evaluar si la adición de ceniza de fibra de coco mejora la resistencia a compresión del hormigón simple. Se empleó un enfoque experimental y cuasi experimental, manipulando la variable independiente para analizar su efecto en la variable dependiente. Los resultados revelaron que la ceniza de fibra de coco aumenta la resistencia a la compresión del hormigón por encima del hormigón patrón. Se determinó que la mezcla óptima es aquella que contiene un 2% de ceniza de fibra de coco, logrando una resistencia a compresión promedio de 215.56 kg/cm² a los 28 días. Además, se recomienda realizar estudios más profundos sobre las propiedades del aditivo en laboratorios especializados, considerar cuidadosamente los agregados a utilizar en futuras investigaciones y utilizar la ceniza de fibra de coco al 2% para contribuir a la mejora del medio ambiente y evitar un aumento significativo en los costos del hormigón.

(Encina Santillan & Peralta Sanchez, 2023) En la investigación titulada "Uso de Ceniza de Cáscara de Coco en el Concreto" se evaluó la viabilidad de incorporar ceniza de cáscara de coco en el hormigón. El objetivo general fue determinar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón con adición de ceniza de cáscara de coco en diferentes porcentajes. La población del estudio consistió en muestras de hormigón fabricadas en Chiclayo, Perú. Se empleó una metodología experimental que incluyó pruebas de resistencia a la compresión y flexión de las muestras de hormigón. La muestra estuvo compuesta por 95 especímenes, de los cuales 65 eran cilíndricos y 30 cuboideos. Los resultados principales indicaron que la adición de un 5% de ceniza de cáscara de coco mejoró significativamente las propiedades mecánicas del hormigón, incrementando su resistencia a la compresión y flexión. Las conclusiones señalaron que el uso de ceniza de cáscara de coco es una alternativa viable para mejorar el rendimiento del hormigón y reducir el impacto ambiental. Se recomendó continuar con investigaciones adicionales para

optimizar las proporciones de mezcla y evaluar otros posibles beneficios ambientales y económicos.

Diversos estudios han investigado el uso de residuos de coco en materiales de construcción, mostrando resultados prometedores en la mejora de sus propiedades mecánicas. Amasifuen Pashanasi y Romero López (2021) evaluaron la sustitución parcial de cemento por ceniza de coco y ceniza de cascarilla de arroz, concluyendo que un 1% de sustitución optimiza la resistencia a la compresión del hormigón, alcanzando un 93.07% de la resistencia total esperada. Giler Loor y López (2022) encontraron que la incorporación de fibra de coco en el mortero mejoró su resistencia, aunque con desafíos en la trabajabilidad, sugiriendo su uso en aplicaciones que no requieran altas resistencias debido a sus beneficios económicos y ambientales. Huaman Mondalgo y Tantalean Cruz (2023) demostraron que la inclusión de cenizas de bagazo y cáscaras de coco en la base de pavimentos mejora las propiedades mecánicas del material granular, permitiendo reducir el espesor de la capa base. Medina Castro (2024) desarrolló un material de construcción con corteza de coco, hallando que un 45% de fibra de coco aumenta la resistencia a la compresión, recomendando su uso para reducir la explotación de recursos no renovables y gestionar desechos orgánicos. Neyra Ascate (2021) concluyó que la adición de un 2% de ceniza de fibra de coco mejora la resistencia a la compresión del hormigón, sugiriendo estudios adicionales sobre sus propiedades. Encina Santillan y Peralta Sanchez (2023) confirmaron que la ceniza de cáscara de coco mejora significativamente las propiedades mecánicas del hormigón, proponiendo su uso como una alternativa viable para reducir el impacto ambiental y mejorar el rendimiento del hormigón, recomendando investigaciones adicionales para optimizar las proporciones de mezcla y evaluar otros beneficios. En conjunto, estos estudios evidencian el potencial de los residuos de

coco para mejorar las propiedades del hormigón y otros materiales de construcción, promoviendo prácticas sostenibles y económicas en la industria de la construcción.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Introducción a la Producción del Cemento

1.2.1.1 De donde Proviene el Cemento

El cemento no es un descubrimiento reciente, sino que tiene una larga trayectoria. Sus orígenes se remontan a la Antigua Grecia, donde se utilizaban tobas volcánicas de la isla de Santorini. Más tarde, en la Antigua Roma, también se empleó el cemento natural para sus construcciones.

El cemento se fabrica a partir de la mezcla de caliza y arcilla calcinadas y molidas finamente para obtener un polvo gris. Este polvo, al mezclarse posteriormente con agua, forma la pasta que fragua y da lugar al hormigón.

1.2.1.2 De que esta Hecho el Cemento

Los cuatro elementos esenciales para hacer cemento son: calcio, silicio, aluminio y hierro. El calcio se obtiene de la piedra caliza, el silicio de la arena y/o arcilla, y el aluminio y el hierro de la bauxita y el mineral de hierro, respectivamente.

1.2.1.3 Tipos de Cemento

Existen diferentes tipos de cemento, que se clasifican según su origen (arcilloso o puzolánico) o su composición química. Algunos de los más comunes son:

- Cemento Portland o cemento gris: es el aglomerante más conveniente para preparar hormigón.
- Cemento blanco: menos resistente que el gris, se utiliza como aglomerante para morteros.
- Cementos de mezclas: como el cemento puzolánico y el siderúrgico, que se componen de cemento Portland mezclado con otras sustancias.
- Cemento romano o de fraguado rápido: más duro que el Portland y con un proceso de fraguado más rápido.
- Cemento fundido o aluminoso: contiene impurezas de óxido de hierro, titanio y silicio.

1.2.1.4 Propiedades del Cemento

- Resistente a agentes químicos: el cemento puede soportar la exposición a diversos agentes químicos sin verse afectado.
- Soporta temperaturas extremas: el cemento es capaz de resistir tanto altas como bajas temperaturas sin perder sus propiedades.
- Pasta muy porosa: la estructura interna del cemento es altamente porosa, lo que le confiere ciertas características beneficiosas.
- Composición exotérmica: el proceso de fraguado del cemento genera calor, lo que lo hace idóneo para usarse en ambientes fríos.
- Resistente al fuego: el cemento es un material refractario, es decir, resiste bien la acción del fuego.

- Consistencia garantizada: siempre y cuando se aplique con las técnicas adecuadas, el cemento mantendrá su consistencia.
- Versatilidad: el cemento se adapta perfectamente a las diferentes aplicaciones y entornos en los que se utiliza.
- Larga durabilidad: el cemento es un material sumamente duradero gracias a su alta resistencia, comprobada a lo largo de los años en diversas construcciones.
- Bajo mantenimiento: al ser tan resistente, el cemento no requiere de constantes reparaciones o modificaciones con el paso del tiempo.
- Bajo costo: el cemento es uno de los materiales de construcción más económicos, lo que facilita su amplio uso en el sector.

En resumen, el cemento destaca por su versatilidad, resistencia, durabilidad y bajo costo, lo que lo convierte en un material fundamental para la construcción.

1.2.2 Pasos para la Fabricación del Cemento

1.2.2.1 Obtención y Preparación de las Materias Primas

El primer paso en el proceso de fabricación del cemento es la extracción de las materias primas, principalmente arcillas, piedras calizas y pizarras, así como otros minerales necesarios para la producción del Clinker. Estas materias primas se extraen directamente de canteras utilizando maquinaria de excavación. Una vez extraídas, los minerales se clasifican según su tipo y se cargan en camiones y vehículos para ser transportados a la planta de producción.

1.2.2.2 Trituración de Materias Primas

Al llegar a la planta, las materias primas se introducen en una trituradora primaria a través de tolvas de gran tamaño, lo que reduce considerablemente el tamaño de los minerales. Después de la trituración primaria, los materiales se almacenan y se realiza un análisis químico para verificar su composición. Posteriormente, los minerales se someten a una segunda etapa de trituración en una trituradora secundaria, para reducir aún más el tamaño de las partículas hasta alcanzar la granulometría adecuada para ser transportados por las cintas transportadoras al siguiente paso.

1.2.2.3 Pre-homogeneización

Una vez que se han obtenido y seleccionado los polvos crudos para la mezcla, se transportan a la siguiente etapa del proceso, donde se lleva a cabo una pre-homogeneización. Esta etapa permite dosificar adecuadamente los diferentes componentes y reducir su variabilidad. Para ello, los componentes se van almacenando en capas uniformes en la zona de pre-homogeneización, para luego ser seleccionados de forma controlada y enviados a la molienda.

1.2.2.4 Molienda de Materia Prima

El material triturado y pre-homogeneizado se introduce en molinos de bolas o de rodillos, donde se obtiene un polvo de gran finura, ideal para la mezcla del Clinker. Al salir de la molienda, los polvos se almacenan en silos para aumentar la uniformidad de la mezcla.

1.2.2.5 Precalentamiento de Materia Prima

Con el polvo homogeneizado proveniente de los silos de almacenamiento, se alimenta un sistema de precalentadores de ciclones, donde la materia prima es calentada continuamente a

temperaturas cercanas a los 1000 °C, preparándola así para el proceso de cocción y la fabricación del Clinker.

1.2.2.6 Clinkerización o Fabricación del Clinker

La materia prima precalentada se introduce en un horno con una banda transportadora, donde se cocina a temperaturas superiores a los 1500°C, experimentando varias reacciones químicas que producen el Clinker. Al salir del horno, el Clinker se enfría en un intercambiador de calor mediante aire frío, reduciendo su temperatura a unos 1000°C. El aire caliente se reutiliza en el horno para optimizar el proceso.

1.2.2.7 Molienda del Clinker y Fabricación del Cemento

El Clinker enfriado se transporta al área de molienda, donde se introduce en un molino de rodillos junto con yeso y otros aditivos. El molino, que rota sobre su eje, contiene bolas de acero que trituran el Clinker y mezclan los polvos y aditivos, resultando en una mezcla fina y homogénea de cemento.

1.2.2.8 Almacenamiento

El cemento terminado se transporta mediante medios neumáticos a los silos de almacenamiento, donde se clasifica según su tipo.

1.2.2.9 Empaquetado y Distribución del Cemento

El último paso del proceso consiste en empaquetar el cemento almacenado en sacos mediante máquinas de empaquetado. Los sacos se sellan y se llevan al área de almacén de distribución. Se apilan en condiciones libres de humedad y se almacenan en hileras de no más de

14 sacos para almacenamiento de 30 días, o de no más de 7 sacos para almacenamiento prolongado. Luego, se distribuyen a los clientes mayoristas o se envían directamente a las obras.

1.2.3 Equipamiento Utilizado

1.2.3.1 Trituradora de Cemento

La trituradora de cemento se refiere a la trituradora de piedra utilizada en la industria cementera. Es una parte esencial de la planta de cemento, desempeñando un papel crucial en la línea de producción. Antes de ser enviada al molino de crudo, la materia prima debe ser triturada en tamaños pequeños por la trituradora de cemento.

Existen varios métodos para triturar la materia prima, como prensado, cizallamiento, laminado o impacto. Las trituradoras de cemento emplean uno o varios de estos métodos, clasificándose así en trituradora de mandíbula, martillo, cono, impacto y rodillo. Por ejemplo, la trituradora de mandíbula y la de cono operan mediante prensado; la de martillo y la de impacto usan impacto; y la trituradora de rodillo combina cizallamiento y prensado.

Como fabricante especializado, Cementos AGICO produce diferentes tipos de trituradoras de cemento. Ofrecen una guía completa para seleccionar la trituradora adecuada según las necesidades del cliente.

1.2.3.2 Molino Vertical de Cemento

El motor principal acciona una piedra de molino a través de un reductor de velocidad, mientras el aire entra en el molino de crudo desde la entrada de aire. El material cae en el centro del molino mediante un alimentador de tornillo y, por fuerza centrífuga, se desplaza uniformemente hacia el borde, donde es molido por el rodillo. Los materiales más grandes son

tritурados y los más pequeños se desplazan hacia el borde del molino, siendo transportados por el flujo de aire.

Las partículas grandes regresan al molino para seguir triturándose, mientras que las partículas finas pasan al separador. Aquí, las partículas gruesas vuelven al molino y el polvo fino se recoge mediante el colector de polvo.

1.2.3.3 Horno Rotativo de Cemento

El horno rotatorio de cemento, también conocido como horno de Clinker, se divide en proceso seco y húmedo según la tecnología de producción. En el proceso seco, se calcinan los Clinker de cemento, y el horno se compone de varios dispositivos como la cáscara, soporte, transmisión, lubricación, y más.

Durante su operación, el carbón pulverizado (o gas natural) se quema para generar calor, el cual se transfiere al material mediante conducción o radiación. Al girar el horno, las materias primas avanzan y se calcinan en Clinker calificados. Este proceso asegura alta producción, calidad y eficiencia energética.

1.2.3.4 Enfriador de Clinker

El enfriador de Clinker, o enfriador de parrilla, es fundamental en la producción de cemento. Enfría y transporta el Clinker de cemento, y también proporciona aire caliente al horno rotatorio y al calcinador, recuperando calor para el sistema de combustión.

El enfriador enfría el Clinker desde 1000-1200°C hasta menos de 200°C mediante intercambio de calor, mejorando la calidad y facilidad de trituración del Clinker. Este proceso también aumenta la eficiencia térmica y facilita el almacenamiento y transporte del Clinker.

1.2.3.5 Molino de Bolas de Cemento

El molino de bolas de cemento trabaja mediante un cilindro giratorio de baja velocidad, donde los cuerpos de molienda se fijan en el revestimiento y giran. Estos cuerpos suben a una cierta altura y caen por gravedad, triturando el material. Al mismo tiempo, el movimiento circular y de deslizamiento genera molienda adicional entre los cuerpos de molienda, el revestimiento y los materiales. El material triturado fluye lentamente desde el extremo de alimentación hasta el de descarga, completando el proceso de molienda.

1.2.3.6 Transportador de cemento

El transportador de cemento es una cinta transportadora esencial en la planta de cemento, utilizada para mover materiales a granel de densidad inferior a $1,67 \text{ t/m}^3$, así como artículos individuales. Es ampliamente usado para transportar arena, mineral, carbón, cemento y otros materiales. Además, es útil tanto para distancias cortas como largas, ofreciendo una solución económica y práctica.

En la industria del cemento, el transportador se utiliza para mover materias primas, productos semiacabados y acabados entre diferentes etapas del proceso, como minería, trituración, embalaje, alimentación, medición y almacenamiento. Presenta ventajas como alta productividad, largas distancias de transporte, bajo consumo energético, estructura simple y operación fiable.

1.2.3.7 Empacadora de Cemento

La máquina empacadora de cemento es un equipo para el envasado automático de cemento, también conocida como envasadora de cemento. Se utiliza para envasar cemento y otros materiales

en polvo con buena fluidez, como cenizas volantes y aditivos de cemento. Es común en plantas de cemento de tamaño medio o pequeñas.

Las empacadoras de cemento se usan en industrias como la química, construcción, procesamiento de minerales, carreteras, ferrocarriles y construcción subterránea. Existen tipos fijos y rotativos: las fijas tienen 1-4 bocas y requieren movimiento manual de las bolsas, mientras que las rotativas, con 6-14 bocas, completan el envasado automáticamente sin intervención manual.

1.2.4 Introducción al Coco

1.2.4.1 Coco

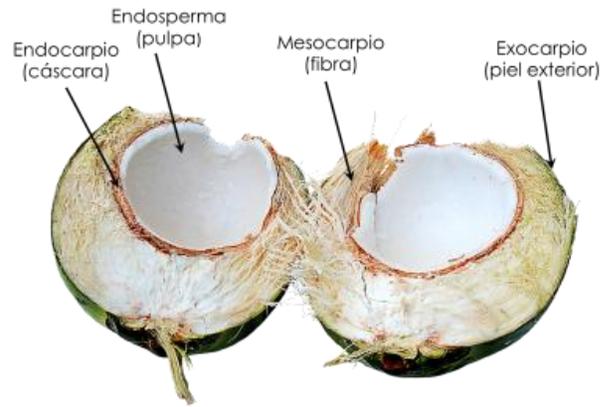
El coco es el fruto del cocotero, perteneciente a la especie “Cocos nucifera”. Este árbol se cultiva abundantemente en las zonas costeras de muchos países, ya que se adapta bien a suelos arenosos y salinos, así como a climas tropicales. Se considera una planta con una gran diversidad de usos, ya que las distintas capas de su cáscara pueden ser recicladas para múltiples fines, que van desde artesanías hasta su conversión en cenizas con propiedades químicas útiles en la construcción.

El coco maduro tiene una forma ovalada y está compuesto por una cáscara dividida en tres capas: la capa externa (exocarpo), la parte fibrosa central (mesocarpio) y la capa dura previa a la pulpa (endocarpio). En el interior de todas estas capas se encuentra el líquido dulce conocido como agua de coco.

La cáscara de coco seca se caracteriza por su alto contenido de lignina y celulosa, lo que la convierte en un material ideal para procesos de calcinación. Su bajo contenido de humedad facilita la obtención de ceniza con propiedades puzolánicas consistentes.

1.2.4.2 Partes del Coco

Figura1
Partes del coco



Nota. *Esquema de partes del coco, tomada de (Barres, 2016)

Cáscara: Es la parte exterior que protege al fruto. Suele ser dura y puede tener diferentes colores y texturas según el tipo de fruta.

Pulpa: Es la parte comestible del fruto, generalmente jugosa y rica en nutrientes. Es donde se encuentran los azúcares y otros compuestos que le dan sabor al fruto.

Fibra: Componente que se encuentra en la pulpa y la cáscara, que es esencial para la digestión. Ayuda a mantener la salud intestinal y puede contribuir a la sensación de saciedad.

Piel exterior: Similar a la cáscara, pero puede referirse más específicamente a la capa más externa que puede ser comestible o no. A menudo contiene antioxidantes y otros nutrientes.

1.2.4.3 Cenizas de Cáscara de Coco

La producción de cenizas de cáscara de coco se realiza mediante la incineración de la cáscara en un horno independiente, a una temperatura de 500 °C durante aproximadamente 6 horas. Inicialmente, se retiran la piel y la fibra del coco para separar la cáscara de la copra. Antes de la incineración, la cáscara se muele hasta convertirla en polvo. Una vez obtenidas las cenizas, se tamizan con un tamiz N.º 200 antes de su aplicación.

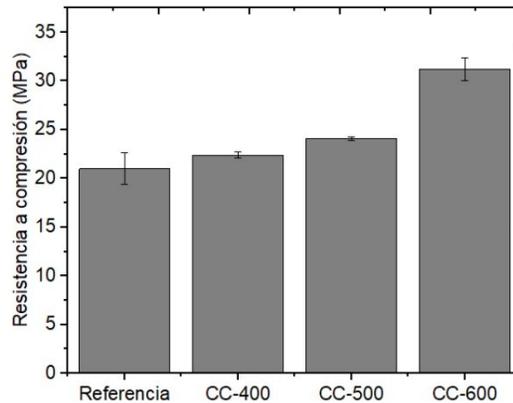
La composición química de estas cenizas muestra un alto contenido de dióxido de silicio (SiO_2), junto con valores significativos de óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), lo que permite clasificar las cenizas como una puzolana natural de clase C según la clasificación ASTM C618-12. Una puzolana de clase C tiene una combinación de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ superior al 50%, lo que convierte a las cenizas de cáscara de coco en un agregado adecuado para su uso como puzolana natural.

1.2.4.4 Resistencias al Reemplazar con 5% el Cemento por Ceniza de Cáscara de Coco a las Temperaturas de 400, 500 y 600 Grados Celsius

Como podemos apreciar en la figura 2 se puede observar las diferencias en la resistencia obtenida a las diferentes temperaturas que fueron tratadas.

Figura 2

Resistencia a compresión del cemento en relación con la temperatura de calcinación de la cáscara de coco



Nota. Ceniza de cáscara de coco como sustituto del cemento: efecto de la temperatura de calcinación. Tomado de (Williams Urango, Palacios Mosquera, Cossio Mena, & Arbelaez Perez, 2023)

De la tabla, se aprecia que la ceniza afecta la resistencia a la compresión, y, además, existe variación estadísticamente significativa entre los tres tipos de ceniza es decir las cenizas no son iguales e influyen en la resistencia a la compresión. Como se puede apreciar de la figura, todas las mezclas de hormigón preparadas con ceniza mostraron mayor resistencia que la mezcla tradicional. Resultados que estuvieron en línea con los reportes previos de la literatura, donde se han mencionado aumentos del 8.5% para sustituciones del 5% del cemento por ceniza de cáscara de coco. De la figura se aprecia además que el aumento de la temperatura tiene un efecto positivo en la resistencia. Para las mezclas de hormigón preparadas con ceniza de cáscara de coco calcinadas a 400°C, 500°C y 600° C, se encontraron aumentos de la resistencia del 4.3%, 5.2% y 9.1%. Este comportamiento puede relacionarse con una disminución del área superficial con la temperatura a la que se calcina la ceniza, de hecho, se ha informado que una menor área superficial afecta positivamente la eficiencia de llenado de los espacios vacíos, lo que resulta en un mayor grado de hidratación y una microestructura más compacta en el hormigón, lo que provoca una mayor

resistencia. Se ha informado para el caso de la cascarilla de arroz, que cuando esta se calcina a 600 °C se forma un material cementante de alta actividad puzolánica debido a su SiO₂ amorfo y su baja área superficial, lo que mejora su resistencia a la compresión. Asimismo, a mayores temperaturas de calcinación. 700° C la ceniza presenta baja actividad puzolánica, debido a la presencia de SiO₂ cristalino y baja área superficial. Esta tendencia fue reportada previamente para cenizas residuales del proceso de combustión de residuos de biomasa. (Williams Urango, Palacios Mosquera, Cossio Mena, & Arbelaez Perez, 2023).

1.3 Marco Conceptual

- Cáscara de coco seco: El endocarpio es la capa dura de color marrón, que, en algunos casos, sirve como combustible por su alto contenido de lignina. Este material seco, está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, en proporciones tales que se asemeja a una madera dura. (Fernández, 2022)
- Hormigón: El hormigón es un material de construcción hecho a base de cemento, arena y gravas o piedras, y es uno de los más utilizados en obras de arquitectura e ingeniería a nivel mundial. (ferrovial, 2025)
- Cemento: Material de construcción que consiste en una mezcla de piedras pequeñas, agua y arena, aglutinada con cemento o cal (REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA, 2019)
- Agregado fino: Los agregados finos son materiales de relleno de tamaño pequeño en la construcción. (Mahmud, s.f.)
- Agregado grueso: Los agregados gruesos son materiales de relleno de mayor tamaño en la construcción. (Mahmud, s.f.)

- Puzolana: La puzolana es un material silíceo, que por sí solo posee poco valor cementante, pero que finamente dividido y en medio húmedo a temperatura ordinaria, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, formando un compuesto con propiedades cementantes. (360 en concreto, 2025)
- Resistencia a la compresión: Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa (CEMEX, 2019)
- Economía circular: En la actualidad, la economía de la sociedad está basada en la producción de bienes de consumo a partir de los recursos disponibles en el ambiente que, una vez se rompen o se fabrican modelos nuevos, se descartan para adquirir otros. Esto representa un modelo económico lineal, a saber: extracción de recursos ambientales → producción del artículo → consumo → disposición → generación de residuos (Figura 1). Este modelo no es sustentable ya que ha creado una acumulación masiva de desechos que afectan el ambiente y ha causado el agotamiento de los recursos naturales. (CEEI, 2018; FEC, s.f., citado en Negron-Rios, J., & M., 2020)

1.4 Marco Legal y Ambiental

1.4.1 Marco Legal de las Cáscaras de Coco

- **Según lo establecido en la Ley de Gestión Ambiental**, Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas

tradicionales. (H. CONGRESO NACIONAL LA COMISION DE LEGISLACION Y CODIFICACION, 2004)

- **La Ley de la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental**, Art. 5.- Las instituciones públicas o privadas interesadas en la instalación de proyectos industriales, o de otras que pudieran ocasionar alteraciones en los sistemas ecológicos y que produzcan o puedan producir contaminación del aire, deberán presentar a los Ministerios de Salud y del Ambiente, según corresponda, para su aprobación previa, estudios sobre el impacto ambiental y las medidas de control que se proyecten aplicar. (H. CONGRESO NACIONAL LA COMISION DE LEGISLACION Y CODIFICACION, 2004)

1.4.2 Marco Ambiental de las Cáscaras de Coco

- Generación de residuos: En zonas como Esmeraldas, Manabí y El Oro, la industria del coco (para agua, aceite y derivados) deja como subproducto toneladas de cáscaras, que a menudo se queman o desechan inadecuadamente, contribuyendo a la contaminación y emisiones de CO₂.
- Cultura de disposición final: Persiste el hábito de quemar o enterrar los residuos por desconocimiento de alternativas.
- Sustitución de cemento Portland: Disminuye emisiones de CO₂ asociadas a la producción de Clinker.

1.4.3 Marco Legal del Hormigón

- CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, Art. 228.- De la política para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos. La gestión de los residuos sólidos no

peligrosos, en todos los niveles y formas de gobierno, estará alineada a la política nacional dictada por la Autoridad Ambiental Nacional y demás instrumentos técnicos y de gestión que se definan para el efecto. (REPUBLICA DEL ECUADOR ASAMBLEA NACIONAL, 2017)

- Constitución de la República del Ecuador (2008), Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008, 2008)

1.4.4 Marco Ambiental del Hormigón

- La sustitución parcial del cemento por **materiales suplementarios** (como la ACCC) es una estrategia clave para reducir el impacto ambiental.
- **Menor consumo de recursos naturales:** Reduce la dependencia de la extracción de materias primas no renovables.
- Disponibilidad local: Ecuador produce grandes cantidades de cáscaras de coco (ej.: Esmeraldas, Manabí), lo que reduce costos de transporte y huella de carbono.

1.5 Hipótesis y Variables

1.6 Hipótesis

Esta investigación evalúa la factibilidad técnica, ambiental y económica de sustituir parcialmente el contenido de cemento en mezclas de hormigón por ceniza de cáscara de coco seco,

en proporciones del 5% y 10%, con el fin de determinar si dicha sustitución puede considerarse una alternativa viable para aplicaciones no estructurales en el sector de la construcción.

1.6.1 Identificación de las Variables

- Variable Independiente: Reemplazo parcial del cemento por ceniza de cáscara de coco seco en proporciones del 0%, 5% y 10% para analizar su comportamiento en la resistencia a compresión del hormigón.
- Variable Dependiente: Viabilidad ambiental y técnica para implementar cemento sostenible en la industria de la construcción.

1.6.2 Operacionalización de las Variables

1.6.2.1 Operacionalización de las Variables Independientes

En la siguiente tabla podemos observar la variable independiente, sus dimensiones, sus indicadores y las escalas que se van a usar.

Tabla 1
Desarrollo de las variables independientes

Variable	Dimensión	Indicadores	Escala
Estudio técnico de mezclas de hormigón con ceniza de cáscara de coco seco	Propiedades mecánicas del material	Cumplimiento de estándares de resistencia ($f'c$ de referencia 140 kg/cm ²)	Intervalo
	Viabilidad económica	Costos estimados de inversión inicial en maquinaria industrial	intervalo

Nota. Elaboración propia

1.6.2.2 OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

En la siguiente tabla podemos observar la variable dependiente, sus dimensiones, sus indicadores y las escalas que se van a usar.

Tabla 2
Desarrollo de las variables dependientes

Variable	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Una propuesta ambientalmente responsable	Impacto ecológico	Porcentaje de disminución de subproductos no utilizados	Intervalo

Nota. *Elaboración propia

1.7 Marco Metodológico

1.7.1 Modalidad Básica de la Investigación

En el marco de esta investigación, resulta fundamental analizar el efecto que produce la incorporación de ceniza de cáscara de coco seco en diferentes porcentajes, con el objetivo de sustituir parcialmente el cemento tradicional en la mezcla de hormigón. Este estudio incluye una fase experimental limitada a ensayo de resistencia de compresión como parte de un análisis de factibilidad, de carácter académico, permite observar las propiedades y comportamientos de los materiales cuando son sometidos a procesos de transformación específicos.

Una vez realizados los ensayos para validar las hipótesis planteadas y determinar la factibilidad técnica, es crucial abordar otros aspectos relevantes. Tras culminar la fase experimental, se evaluará no solo la viabilidad de implementar este método de producción, sino también los recursos económicos necesarios para su ejecución. Asimismo, se analizará el potencial impacto positivo en la reducción de la contaminación ambiental, especialmente en la región de Manta, donde se generan grandes cantidades de residuos de coco.

1.7.2 Enfoque

En el estudio técnico, la investigación se centra en determinar los porcentajes óptimos de ceniza de cáscara de coco seco que reemplazarán parcialmente el cemento en la mezcla de hormigón. A medida que aumenta el porcentaje de ceniza, se analizarán sus efectos en las propiedades mecánicas y físicas del material, registrando las variaciones que está presente.

Para ello, se establecen las dosificaciones precisas requeridas en la elaboración de las probetas, las cuales servirán como testigos para comparar el desempeño de cada mezcla. Esta metodología de recolección de datos permitirá categorizar y evaluar las muestras según su composición, garantizando un análisis sistemático de los resultados experimentales.

1.7.3 Nivel de Investigación

El rigor de este estudio se evidencia en el enfoque metodológico aplicado durante la fase experimental, donde se analiza sistemáticamente el impacto de modificar las proporciones de cemento por ceniza de cáscara de coco seco en el hormigón. Este proceso es fundamentalmente descriptivo, ya que permite documentar detalladamente cómo cada variación en la composición afecta las propiedades mecánicas del material.

Además, la investigación adopta un enfoque exhaustivo para garantizar que los resultados obtenidos sean confiables y replicables, lo que refuerza su validez técnica y su potencial aplicación en la industria de la construcción sostenible.

1.7.4 Tamaño de la Muestra

Para este estudio se elaboraron 18 probetas cilíndricas de hormigón (15 cm de diámetro × 30 cm de altura), divididas en tres grupos según el porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza

de cáscara de coco seco (0%, 5% y 10%). Cada grupo incluyó 6 probetas, evaluando su resistencia a compresión a los 3, 7 y 28 días de curado (2 probetas por intervalo de tiempo).

Se puede observar en la siguiente tabla el % de ceniza reemplazado, el número de probetas para dicho porcentaje y los días que van a pasar sumergidas en agua.

Tabla 3

Al 0% reemplazado con ceniza de cáscara de coco

Porcentaje de ceniza de cáscara de coco	Numero de probetas	Días sumergidos en agua
0%	1	3
	2	
	3	7
	4	
	5	28
	6	

Nota. Elaboración propia

Se puede observar en la siguiente tabla las mismas condiciones para cuando se reemplazada al 5%.

Tabla 4

Al 5% reemplazado con ceniza de cáscara de coco

Porcentaje de ceniza de cáscara de coco	Numero de probetas	Días sumergidos en agua
5%	1	3
	2	
	3	7
	4	
	5	28
	6	

Nota. Elaboración propia

Se puede observar en la siguiente tabla las mismas condiciones para cuando se reemplazada al 10%.

Tabla 5
Al 10% reemplazado con ceniza de cáscara de coco

Porcentaje de ceniza de cáscara de coco	Numero de probetas	Días sumergidos en agua
10%	1	3
	2	
	3	7
	4	
	5	28
	6	

Nota. Elaboración propia

El proceso de curado en agua resulta fundamental para garantizar el desarrollo óptimo de las propiedades mecánicas en las probetas. Durante este periodo, cada muestra permanece sumergida el tiempo estipulado (3, 7 y 28 días) para luego evaluar su resistencia a compresión. Estas pruebas permitirán determinar si los porcentajes de sustitución de cemento por ceniza de cáscara de coco seco mantienen los parámetros de resistencia requeridos para aplicaciones constructivas, asegurando así su viabilidad técnica en el sector de la construcción sostenible.

1.7.5 Técnicas de Recolección de Datos

Durante la fase experimental, se registraron meticulosamente todas las variaciones observadas en las propiedades mecánicas del hormigón modificado. Este proceso de recolección de datos se apoyó en equipos de medición calibrados (como prensas hidráulicas para pruebas de compresión), los cuales garantizaron la precisión y validez científica de los resultados obtenidos.

En la siguiente tabla se puede observar los equipos usados y la unidad de medida que estos equipos nos brindan.

Tabla 6
Equipos usados para la medición en el estudio

Equipos		
Nombre	Ilustración	Unidad de medida
Balanza		Kg
Prensa de hormigón para ensayos de compresión		Kgf o Kgf/m ²
Regla calibre		Cm

Nota. Elaboración propia

1.7.6 Procesamiento de la Información

Los datos obtenidos fueron sistematizados según el porcentaje de sustitución de cemento por ceniza de cáscara de coco seco, organizándose en tablas y gráficos comparativos donde se podrá observar:

- La relación entre el porcentaje de ceniza incorporado y la resistencia a compresión
- La variabilidad de resultados obtenidos en las pruebas con prensa hidráulica
- El comportamiento del material en los diferentes periodos de curado (3, 7 y 28 días)

CAPITULO 2

2 Diagnóstico o Estudio de Campo

En el contexto de la innovación y la urgente necesidad de abordar la contaminación ambiental, emergen constantemente propuestas que buscan la sostenibilidad.

La fase experimental de este estudio requirió la utilización de diversos materiales que fueron fundamentales para la elaboración de las muestras de hormigón como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 7
Información sobre las probetas

Probetas	
Muestras	3
Cantidad	18
Altura estándar	30 cm
Base estándar	15 cm

Nota. Elaboración propia

se han definido tres proporciones principales para las mezclas de cemento con ceniza de cáscara de coco seco en este estudio. Adicionalmente, se incluirá una muestra de control que servirá de referencia fundamental para evaluar la resistencia de los cilindros elaborados con las demás formulaciones. Es importante señalar que todos los cilindros de prueba utilizados para los ensayos de resistencia poseen unas dimensiones estándar de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro.

Para la elaboración de cada probeta de cemento, se requirió una dosificación específica de materiales que permitió iniciar la preparación de la mezcla a continuación podemos ver en la siguiente tabla la dosificación usada.

Tabla 8
Datos de dosificación

Datos	
Material	Dosificaciones
Cemento	1
Arena de rio	1.3
Ripio	1.8

Nota. Esta fue la cantidad necesaria para 3 cilindros y hubo un sobrante. Elaboración propia

En la siguiente tabla podemos ver las medidas de los agregados finos y gruesos.

Tabla 9
Medidas de los agregados finos y gruesos

Ilustración	Medida
	Ripio de $\frac{3}{4}$
	Arena desde 16 mm a 4.75 mm

Nota. Elaboración propia

Los materiales pétreos se obtuvieron de una cantera local que provee áridos. Para la preparación de la mezcla, se empleó un método tradicional, combinando los componentes manualmente en una carreta con la ayuda de una paleta de albañil, asegurando así una integración adecuada para las probetas.

El componente adicional que se incorporará en la mayoría de las probetas es la ceniza de cáscara de coco seco. Esta ceniza se utilizará para reemplazar parcialmente el cemento en varias proporciones, buscando observar su impacto en las propiedades de las probetas hormigón.

En la siguiente tabla se observan las medidas de la ceniza de la cáscara de coco tamiza en una malla #20

Tabla 10
Medidas de la ceniza de la cáscara de coco seco

Ilustración	Medida
	<p>Ceniza de cáscara de coco seco desde 0.85 mm hasta 0.4 mm</p>

Nota. Medición obtenida mediante tamizado con malla #20. Elaboración propia

Para preparar las probetas, los materiales previamente seleccionados y dosificados se mezclaron cuidadosamente de forma manual. Empezamos con las probetas que no incluyen la ceniza de cáscara de coco seco (el 0% de reemplazo). Este grupo inicial es clave, ya que servirá como nuestra referencia base para comparar los resultados de los demás análisis.

En la siguiente tabla podemos observar la cantidad de material usado para la primera tanda de la muestra de hormigón al 0% se hicieron dos tandas.

Tabla 11

Peso de los materiales usados para la mezcla de hormigón al 0% de ceniza de cáscara de coco seco

Muestra del hormigón al 0% de ceniza de cáscara de coco seco	
Material	Peso(kg)
Cemento	10.1
Arena	13.2
Ceniza de cáscara de coco seco	0
Ripio	18
Agua	5

Notas. Elaboración propia

Estos datos iniciales son cruciales para el comienzo de la fase experimental. A medida que el proceso avance, anticipamos que los pesos de los materiales presentarán ciertas variaciones. Con esta base, se procede entonces con la fabricación de las probetas cilíndricas

La siguiente tabla muestra los pasos que se llevaron a cabo para la preparación de las probetas.

Tabla 12

Elaboración de la mezcla de hormigón

Proceso para el llenado de las probetas				
1	2	3	4	5
				
se realizó el pesaje preciso de cada	se colocan los materiales a la carreta en este	Tras la preparación de la mezcla en carretilla, se procedió al llenado de	Después de la compactación con la varilla se	Al llenar la probeta se procede a

Proceso para el llenado de las probetas					
1	2	3	4	5	
componente según las dosificaciones establecidas en la tabla de diseño experimental.	orden: ripio, arena, cemento, la ceniza de cáscara de coco seco se mezclan los materiales y luego se les agregan agua y se mezclan.	los moldes de probetas (previamente lubricados con aceite) vertido en 3 capas del mismo tamaño se procede a la compactación con la varilla de hierro.	realizan 10 golpes alrededor de la probeta para quitar las burbujas de aire.	alisar la parte de arriba.	

Nota. Elaboración propia

Posteriormente, se procedió a elaborar el siguiente grupo de probetas, incorporando ahora un 5% de ceniza de cáscara de coco seco en sustitución del cemento, y aplicando el mismo método de mezcla artesanal se puede observar en la tabla como varía el peso del cemento y la ceniza de cáscara de coco seco.

Tabla 13

Peso de los materiales usados para la mezcla de hormigón al 5% de ceniza de cáscara de coco seco

Muestra del hormigón al 5% de ceniza de cáscara de coco seco	
Material	Peso(kg)
Cemento	9.6
Arena	13.2
Ceniza de cáscara de coco seco	0.5
Ripio	18
Agua	5

Nota. Elaboración propia

Finalmente, se prepararon las últimas series de muestras, esta vez con un 10% de reemplazo de cemento por ceniza de cáscara de coco seco. Se mantuvo el mismo proceso artesanal de

mezclado en la siguiente tabla se puede seguir observando las variaciones del peso del cemento y la ceniza de cáscara de coco.

Tabla 14

Peso de los materiales usados para la mezcla de hormigón al 10% de ceniza de cáscara de coco seco

Muestra del hormigón al 10% de ceniza de cáscara de coco seco	
Material	Peso(kg)
Cemento	9.1
Arena	13.2
Ceniza de cáscara de coco seco	1
Ripio	18
Agua	5

Nota. Elaboración propia

Después de un día de reposo, se procede al desmolde de las probetas de hormigón. En la siguiente tabla se pueden observar las acciones que se llevaran a cabo.

Tabla 15

Preparación para antes de usar la prensa

Proceso para el retiro de la probeta			
1	2	3	4
			
Se retira con cuidado el molde.	Después de su desmolde se procede con la limpieza del molde y su	Durante el proceso de desmolde, cada probeta debe ser debidamente identificada.	Finalmente se sumergen los cilindros en agua

engrasado para
posteriores usos.

hasta la fecha
correspondiente.

Nota. Elaboración propia

Una vez que las probetas de hormigón hayan completado sus periodos de curado sumergidas en agua, es decir, a los 3, 7 y 28 días. Se procede con los siguientes pasos mostrados en la tabla a continuación.

Tabla 16

Proceso para la obtención de la resistencia del cilindro de hormigón

Proceso para la prueba de resistencia de las probetas				
1	2	3	4	5
				
Retirar de la tina de agua los cilindros.	Se pesan y se miden 3 diámetros del cilindro.	Se ingresa a la prensa y se configura la dimensión del cilindro para que la maquina funcione correctamente.	Se obtiene los resultados numéricos en la pantalla.	Se obtiene la evidencia del resultado después de la compresión.

Nota. Elaboración propia

De esta manera concluye el proceso de la fase experimental que nos permitió llevar a cabo el estudio y para evidenciar posteriormente el resultado junto a las respectivas conclusiones.

Capítulo 3

3 Propuesta de Mejora

3.1 Costos

Para llevar a cabo el procesamiento del hormigón con adición de ceniza de cáscara de coco seco a una escala significativa, se detallan las cantidades monetarias requeridas en los principales elementos involucrados en el estudio técnico.

Tabla 17

Precios para las tres probetas 0% de ceniza de cascara de coco reemplazada

Materiales	cantidad (kg)	valor de material usado(dólar)	kilogramo total	valor total	precio por kg	precio por m3
Cemento	10,1	1,515	50	7,5	0,150	-
Arena	13,2	0,267	50	1,01	0,020	-
Ripio	18	0,364	50	1,01	0,020	-
Agua	5	0,008	1000	1,55	0,002	1,55
ceniza de cascara de coco	-	-	-	-	2,170	-
Total	46,3	2,15299				

Nota. Elaboración propia

Tabla 18

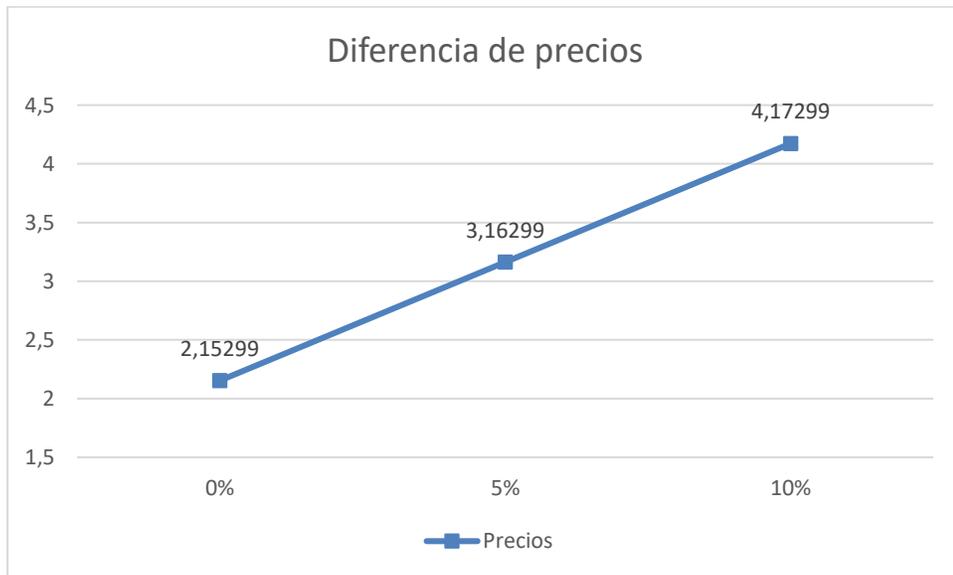
Precio para las tres probetas con 5% de ceniza de cascara de coco reemplazada

Materiales	cantidad (kg)	valor de material usado(dólar)	kilogramo total	valor total (dólar)	precio por kg	precio por m3
Cemento	9,6	1,440	50	7,5	0,150	-
Arena	13,2	0,267	50	1,01	0,020	-
Ripio	18	0,364	50	1,01	0,020	-
Agua	5	0,008	1000	1,55	0,002	1,55
ceniza de cascara de coco	0,5	1,085	-	-	2,170	-
Total	46,3	3,16299				

Nota. Elaboración propia

Tabla 19*Precio para las tres probetas con 10% de ceniza de cascara de coco reemplazada*

Materiales	cantidad (kg)	valor de material usado(dólar)	kilogramo total	valor total (dólar)	precio por kg	precio por m3
Cemento	9,1	1,365	50	7,5	0,150	-
Arena	13,2	0,267	50	1,01	0,020	-
Ripio	18	0,364	50	1,01	0,020	-
Agua	5	0,008	1000	1,55	0,002	1,55
ceniza de cascara de coco	1	2,170	-	-	2,170	-
Total	46,3	4,17299				

*Nota. Elaboración propia***Figura 3***Grafica de la relación de los precios según el % de ceniza usado**Nota. Elaboración propia*

En la figura 3 podemos observar que el precio gastado para la producción de hormigón con 0 % de ceniza reemplazada es de 2,15299 dólares.

En la figura 3 también podemos observar que el precio gastado para la producción de hormigón con 5 % de ceniza reemplazada es de 3.16299 dólares en comparación con el hormigón de control el precio incrementa un 46.91%.

En la figura 3 también podemos observar que el precio gastado para la producción de hormigón con 10 % de ceniza reemplazada es de 4.17299 dólares en comparación con el hormigón de control el precio incrementa un 93.82%.

3.2 Análisis Experimental

Los resultados de la resistencia de los cilindros de hormigón a los 3,7 y 28 días se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 20
Resistencia obtenida del hormigón

Días	Resistencia 0%	Resistencia 5%	Resistencia 10%
3	64,98	64,51	35,50
	69,00	75,83	34,11
7	99,73	90,99	60,89
	145,56	97,16	56,77
28	197,10	149,55	98,81
	203,93	189,36	112,16

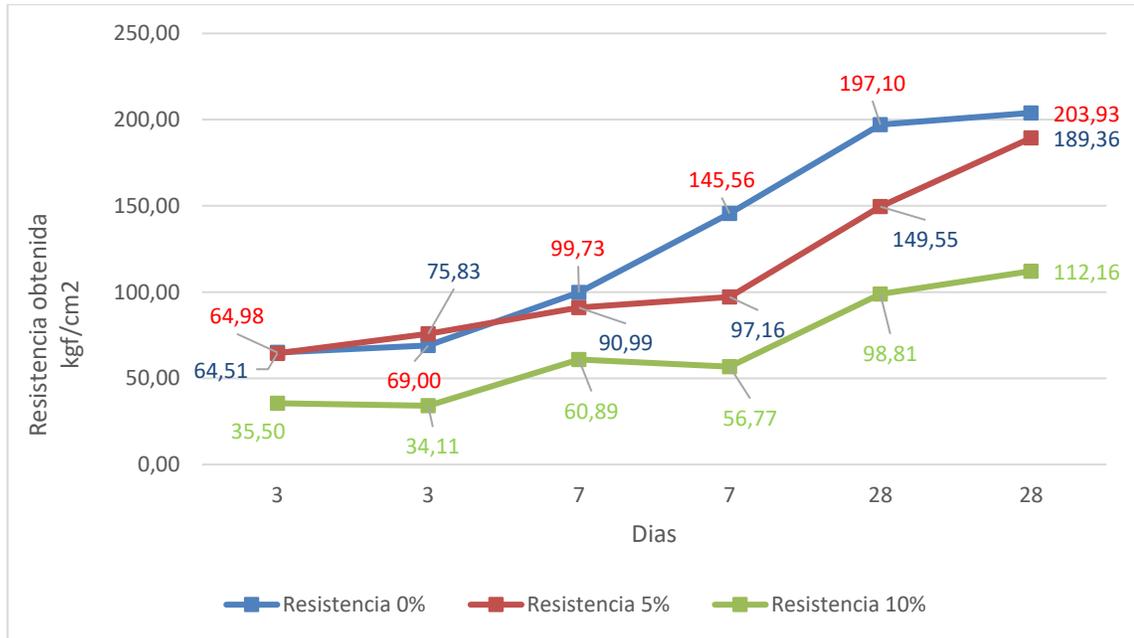
Nota. Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la maquina son en kilogramos fuerza, pero los usados en las tablas serán en kilogramos fuerzas por centímetros cuadrados.

Utilizando las medidas del diámetro obtenidas se procede a sacar un promedio y luego se calcula el área de cada probeta luego usamos la fuerza máxima en Kgf que nos da la máquina para transformarla en Kgf/cm² para así obtener unos datos más exactos con los que trabajar a la hora de hacer las gráficas y las tablas.

Figura 4

Grafica de barras sobre el progreso de la resistencia del hormigón



Nota. Elaboración propia

Se va tomar en cuenta todos los resultados de todas las probetas para ver el desempeño que tienen en comparación con las probetas que contienen 0%

El promedio obtenido a los 28 días de cada uno de los porcentajes de la ceniza de cáscara de coco seco como reemplazo para el cemento en la mezcla de hormigón se presenta continuación en la siguiente tabla y en diferentes medidas Kgf, Kgf/cm2, Mpa y % en base a 140 Kgf/cm2 en base al 0%, 5% y 10%

Tabla 21

Resultados en Kgf/cm2, Kgf, Mpa y % cumplido (al 0%)

	Resultado al 0%	Kgf	Mpa	% de acuerdo al 140
Promedio	200,52	36998,35	19,66	143%
Max	203,93	37443,40	20,00	146%
Min	197,10	36553,30	19,33	141%

Nota. Elaboración propia

La siguiente tabla es con el 5% de ceniza de cáscara de coco seco para reemplazar el cemento:

Tabla 22
Resultados en Kgf/cm², Kgf, Mpa y % cumplido (al 5%)

	Resultado al 5%	Kgf	Mpa	% de acuerdo al 140
Promedio	169,45	30346,35	16,62	121%
Max	189,36	33581,10	18,57	135%
Min	149,55	27111,60	14,67	107%

Nota. Elaboración propia

La siguiente tabla es con el 10% de ceniza de cáscara de coco seco para reemplazar el cemento:

Tabla 23
Resultados en Kgf/cm², Kgf, Mpa y % cumplido (al 10%)

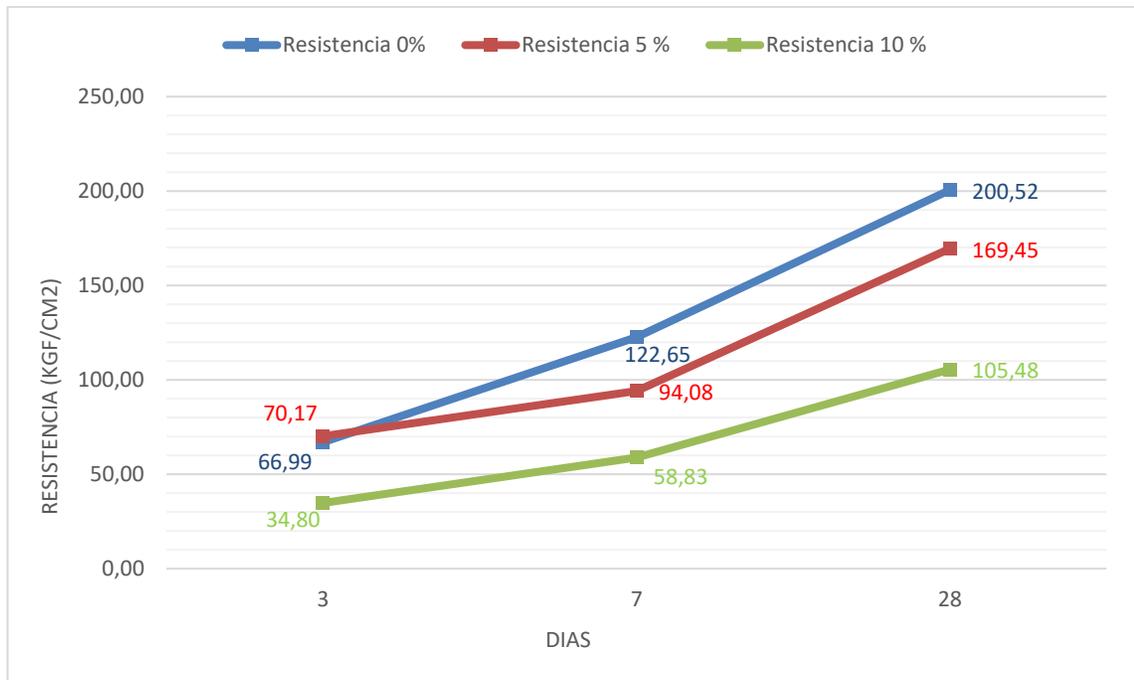
	Resultado al 10%	Kgf	Mpa	% de acuerdo al 140
Promedio	105,48	19304,40	10,34	75%
Max	112,16	20530,10	10,99	80%
Min	98,81	18078,70	9,69	71%

Nota. Elaboración propia

La siguiente figura es una comparativa de los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de coco seco que se usó para reemplazar el cemento 0%, 5% y 10% en los diferentes días donde se realizaron la prueba de resistencia a los 3 días, a los 7 días y a los 28 días.

Figura 5

Grafica de barras de la resistencia promedio obtenida de las probetas



Nota. Elaboración propia

El promedio de cada uno de los porcentajes de la ceniza de cáscara de coco seco reemplazada a la mezcla de hormigon a los 28 dias se puede observar su comparativa donde el promedio mas alto es la resistnecia de 0%.

Conclusiones

Durante la investigación se planteó la siguiente formulación una dosificación a base de 1:1.3:0:1.8:0.5 (cemento: arena: ceniza: ripio: agua) para la mezcla de hormigón. Para los reemplazos del 5% y 10% ajustando las cantidades de cemento y ceniza de cáscara de coco seco la dosificación del 5% con 0.95:1.3:0.05:1.8:0.5 y la dosificación del 10% con 0.9:1.3:0.1:1.8:0.5 (cemento: arena: ceniza: ripio: agua), garantizo una mezcla homogénea y trabajable. La dosificación propuesta permitió una incorporación efectiva de la ceniza sin afectar significativamente la consistencia inicial del hormigón.

Se comprobaron 18 probetas cilíndricas estándar (15 cm × 30 cm) dentro del experimento, divididas en tres grupos según el porcentaje de reemplazo (0%, 5% y 10%). El proceso de mezcla se realizó con la misma materia prima, en el moldeado, compactación y curado se realizó los mismos procedimientos bajo las mismas condiciones, asegurando la integridad y uniformidad de las muestras. La identificación y el seguimiento de cada probeta permitieron una evaluación sistemática en los periodos de 3, 7 y 28 días.

Al realizar las pruebas de resistencia se obtuvieron los siguiente resultados , Una mezcla con 5% de ceniza de cáscara de coco seco (respecto al cemento), que contiene 20.7% de cemento y 1.1% de ceniza de cáscara de coco seco del total de la mezcla, cumplió con los estándares de resistencia, alcanzó el 121% del valor de referencia (140 Kgf/cm²) equivalente a 169.5 Kgf/cm², la mezcla control 0% de ceniza de cáscara de coco seco (respecto al cemento) compuesta por un 21.8% de cemento y 0 % de ceniza de cáscara de coco seco del total registró la resistencia más alta (143%) equivalente a 200.5 Kgf/cm², por el contrario, una mezcla con el 10% de ceniza de cáscara de coco seco (respecto al cemento), que equivale a 19.7% de cemento y 2.2% de ceniza de

cáscara de coco mostró una drástica disminución de la resistencia (75%) equivalente a 105.5 Kgf/cm², lo que limita su aplicabilidad en proyectos constructivos que requieren altas especificaciones.

Tras el análisis desde una perspectiva de costos, la adición de ceniza de cáscara de coco no es viable. El alto costo unitario de la ceniza (\$2.17/kg) en comparación con el cemento (\$0.15/kg) genera incrementos significativos en el precio final del hormigón: un 46.91% más para el 5% de reemplazo y un 93.82% más para el 10%. Los resultados indican que su uso como reemplazo del cemento no es recomendable en las condiciones actuales. La propuesta no es económicamente competitiva y conlleva una pérdida de performance estructural.

En conclusión, si bien la ceniza de cáscara de coco seco es una alternativa viable para reducir el impacto ambiental y aprovechar residuos, los resultados demuestran que su uso como reemplazo del cemento no supera la resistencia del hormigón tradicional. Sin embargo, el reemplazo del 5% logra una resistencia adecuada para aplicaciones no estructurales. Estos hallazgos resaltan la importancia de optimizar el porcentaje de sustitución para mantener un equilibrio entre la viabilidad ambiental y las exigencias técnicas del hormigón. Por lo tanto, su implementación debe ser cuidadosamente dosificada para no comprometer la integridad estructural.

Recomendaciones

Para futuras investigaciones, se sugiere explorar métodos de tratamiento de la ceniza (como calcinación a diferentes temperaturas) o la combinación con otros materiales suplementarios (como ceniza de cascarilla de arroz) para mejorar su desempeño. Asimismo, se recomienda implementar campañas de sensibilización en la industria de la construcción para promover el uso de materiales sostenibles y reducir la dependencia del cemento tradicional, es crucial establecer alianzas con distribuidores de coco en Manta para garantizar un suministro estable de materia prima y fomentar prácticas de economía circular.

De acuerdo con las conclusiones presentadas, se recomienda adoptar y estandarizar el método de dosificación por peso absoluto, utilizando la proporción en peso de cada material en relación al cemento, tal como se estableció en el estudio.

También se recomienda considerar el uso de moldes de probetas de dimensiones menores al estándar utilizado (15 cm x 30 cm) para estudios futuros de caracterización de materiales, siempre que se garantice la proporcionalidad dimensional y se aplique el método de ensayo y corrección correspondiente, Esta práctica ofrece ventajas logísticas significativas, como una elaboración, desmolde, curado, transporte y desecho más sencillos, además de un menor consumo de materiales.

Si, a pesar de la inviabilidad económica, se prioriza el aspecto ambiental en un proyecto específico, la mezcla con 5% de reemplazo es la única opción técnicamente viable, aunque debe restringirse exclusivamente a aplicaciones no estructurales previa evaluación caso por caso, no se recomienda utilizar la mezcla de hormigón al 10% debido a su bajo rendimiento y la mezcla de control al 0% demostró una resistencia superior a la óptima demostrando que por el momento

donde realizo la tesis no hay forma de reemplazarla en construcciones donde la resistencia sea la prioridad como columnas, vigas, suelos y muros. Esto permitirá aprovechar los beneficios ambientales de la ceniza sin afectar significativamente la calidad del material. Además, es fundamental realizar estudios adicionales para evaluar otras propiedades del hormigón modificado, como resistencia a tracción y resistencia a flexo-tracción, lo que podría ampliar su campo de aplicación.

No se recomienda la implementación de la ceniza de cáscara de coco como reemplazo del cemento basándose en el criterio de costos. El alto precio unitario de la ceniza (\$2.17/kg) en comparación con el cemento (\$0.15/kg) hace que la sustitución sea económicamente inviable, ya que se sustituye un material barato por uno caro, obteniendo además un producto de menores prestaciones. La única manera de revertir esta conclusión sería lograr una drástica reducción en el costo de producción de la ceniza, volviéndola más barata que el cemento, o encontrar una valorización en otras propiedades (mayor durabilidad, menor permeabilidad) que, aunque no compensen el costo inicial, sean indispensables para una aplicación específica.

Bibliografía

360 en concreto. (2025). *¿QUÉ ES LA PUZOLANA?* Recuperado el 16 de 07 de 2025, de 360 en concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-la-puzolana/>

AGICO CEMENT. (26 de 06 de 2022). *PLANTA DE CEMENTO AGICO*. Obtenido de cementplants: <https://cementplants.es>

ALIBABA. (1999). *Maquinaria Inicial*. Obtenido de alibaba: <https://www.alibaba.com>

Bach. AMASIFUEN PASHANASI, R. E., & Bach. ROMERO LOPEZ, J. (2021). DISEÑO DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON APLICACIONES DECENIZA DE COCO Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, PARA MEJORAR SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, SAN MARTIN – 2020. *Tesis para optar el título de Ingeniero Civil*. TARAPOTO, SAN MARTIN, Peru. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14503/1649>

Barres, L. (20 de 06 de 2016). *Esquema de las partes del coco*. Obtenido de wordpress: <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/06/20/biologia-cocotero-coco>

CEMEX. (05 de abril de 2019). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?* Recuperado el 16 de 07 de 2025, de CEMEX: <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->

CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008. (20 de octubre de 2008). *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008*. Obtenido de oas: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Encina Santillan, H. A., & Peralta Sanchez, W. (2023). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del concreto 210. (*TESIS*). CHICLAYO, Peru: FACULTAD DE

INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. Obtenido de

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/144992/Encina_SHA-

[Peralta_SW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/144992/Encina_SHA-Peralta_SW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fernández, I. (14 de 09 de 2022). *Endocarpio de coco como recurso renovable para el diseño de*

materiales verdes. Recuperado el 16 de 07 de 2025, de greenteach:

[https://www.greenteach.es/endocarpio-de-coco-recurso-renovable-diseno-materiales-](https://www.greenteach.es/endocarpio-de-coco-recurso-renovable-diseno-materiales-verdes/)

[verdes/](https://www.greenteach.es/endocarpio-de-coco-recurso-renovable-diseno-materiales-verdes/)

ferrovial. (2025). *Hormigón*. Recuperado el 16 de 07 de 2025, de ferrovial:

<https://www.ferrovial.com/es/recursos/hormigon/>

Giler Loor, D. I., & López, J. G. (marzo de 2022). Análisis de factibilidad de la incorporación de

fibra del coco al mortero tradicional para. (*tesis de grado*). Portoviejo, Manabi, Ecuador:

rera Arquitectura Universidad San Gregorio de Portoviejo. Obtenido de

<http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/2647/1/ARQ-C2022-009.pdf>

H. CONGRESO NACIONAL LA COMISION DE LEGISLACION Y CODIFICACION. (10 de

septiembre de 2004). *LEY DE GESTION AMBIENTAL, CODIFICACION*. Obtenido de

ambiente: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf)

[DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf)

H. CONGRESO NACIONAL LA COMISION DE LEGISLACION Y CODIFICACION. (10 de

09 de 2004). *LEY DE PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION*

AMBIENTAL. Obtenido de ambiente: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf)

[content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf)

[CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf)

Huaman Mondalgo, F. E., & Tantalean Cruz, A. d. (2023). (Tesis). *Estabilización de la base de un pavimento flexible con cenizas de bagazo y cáscaras de coco, Av. Alipio, Chorrillos – 2022*. Lima, Peru: FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/132945>

Mahmud, I. (s.f.). *Diferencia entre agregado fino y grueso*. Recuperado el 16 de 07 de 2025, de civiltoday: https://civiltoday-com.translate.goog/civil-engineering-materials/aggregate/253-difference-between-fine-and-coarse-aggregate?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Medina Castro, M. G. (2024). *Elaboración de un mortero a base de corteza del coco Cocos. (tesis de grado)*. babahoyo, Los rios, ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16366/E-UTB-FACIAG-%20AGROINDUSTRIA-000021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Negron-Rios, G., J., D., & M., S. (2020). *La economía circular*. Recuperado el 16 de julio de 2025, de naturaleza sin toxicos: <https://naturalezasintoxicos.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/02/cc-economc3ada-circular.pdf>

Neyra Ascate, C. F. (2021). *Evaluación del concreto simple con aplicación de ceniza de fibra de. (tesis de grado)*. Tarapoto, Peru: Universidad Cesar Vallejo FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/67720/Neyra_ACF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. (2019). *HORMIGON*. Recuperado el 16 de julio de 2025, de RAE: <https://www.rae.es/diccionario-estudiante/hormigón#:~:text=m.,aglutinada%20con%20cemento%20o%20cal>.

REPUBLICA DEL ECUADOR ASAMBLEA NACIONAL. (12 de abril de 2017). *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. Obtenido de ambiente: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Romero Delgado, V. M., Rosado Zambrano, G. V., Sablón Cossío, N., & Burbano Mera, L. (14 de 10 de 2020). Análisis de la cadena agroalimentaria del coco (cocos nucifera) en la provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 43-72.

sostenibilidadmasvida. (22 de 12 de 2021). Fibra de Coco | Usos y Ventajas de este Recurso Natural Sostenible. *sostenibilidadmasvida*. Obtenido de <https://sostenibilidadmasvida.com/recursos-nat/fibra-de-coco>

truck1. (2003). *Maquinaria Inicial*. Obtenido de truck1: <https://www.truck1.ec>

Utsev, J. T., & Taku, J. K. (2012). Coconut Shell Ash As Partial Replacement of Ordinary Portland Cement In Concrete Production. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 86-89.

Williams Urango, E., Palacios Mosquera, D. G., Cossio Mena, C. F., & Arbelaez Perez, O. F. (2023). Ceniza de cáscara de coco como sustituto del cemento: Efecto de la temperatura de calcinación. *ITECKNE*, 20(2). doi:<https://doi.org/10.15332/iteckne.v20i2.3006>

ANEXOS

Tabla 24
Resultados reemplazando 0%

Días	Probeta	Rotura de probeta al 0%	
		Imagen de rotura	Resultado de la prensa
3	1		
	2		
7	3		
	4		
28	5		
	6		

Nota. Elaboración propia

Tabla 25
Resultados reemplazando al 5%

Rotura de probeta al 5%			
Días	Probeta	Imagen De Rotura	Resultado De La Prensa
3	1		
	2		
7	3		
	4		
28	5		
	6		

Nota. Elaboración propia

Tabla 26
Resultados reemplazando al 10%

Rotura de probeta al 10%			
Días	Probeta	Imagen de rotura	Resultado de la prensa
3	1		
	2		
7	3		
	4		
28	5		
	6		

Nota. Elaboración propia

Tabla 27*Composición química de la ceniza de cáscara de coco*

oxido	Ceniza de cáscara de coco
SiO ₂ %	37,97
Al ₂ O ₃ %	24,12
Fe ₂ O ₃ %	15,49
CaO %	4,98
MgO	1.89
MnO	0.81
Na ₂ O	0.95
K ₂ O	0.83
P ₂ O ₅	0.32
SO ₃	0.71
LOI	11.94

Nota. Fuente: adaptada de (Utsev & Taku, 2012)

Figura 6

Cáscara de coco seco



Nota. En la siguiente figura se puede ver la recolección de las Cáscara de coco seco en negocios que utilizan el coco

Figura 7

Secado de la cáscara de coco seco



Nota. La cáscara de coco seco fue expuesta al sol para eliminar cualquier humedad residual antes de su calcinación, asegurando así la calidad de la ceniza obtenida.

Figura 8

Proceso de reducción de la cáscara de coco seco a ceniza



Nota. La cáscara de coco seco fue quemada en un zinc para evitar cualquier contaminación con la ceniza de cáscara de coco seco. Elaboración propia