



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento para
mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Loayza Linares, Johan Brandon
ORCID: 0000-0002-1651-0887

Lopez Rosales, Bryan Antonio
ORCID: 0000-0002-4696-7087

ASESOR

Chavarría Reyes, Liliana Janet
ORCID: 0000-0002-1759-2132

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de los autores

Loayza Linares, Johan Brandon

DNI: 74639688

Lopez Rosales, Bryan Antonio

DNI: 75960462

Datos de asesor

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-5142-3789

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Torres Chung, Cesar Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

A mis padres Dorian y Marisol, por todas las expresiones de amor, su apoyo incondicional en mi carrera profesional y enseñanzas de vida.

A mi abuela Carmen, por el apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria.

Y todas las personas que contribuyeron en mi formación profesional.

Johan Brandon Loayza Linares

A mis padres Antonio y Martina por el apoyo a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis abuelos por la confianza a lo largo de mi vida. A Gabriela Félix por su apoyo incondicional y formar parte en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Piero, Matias y todas las personas que contribuyeron a este logro.

Bryan Antonio Lopez Rosales

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a nuestra casa de estudios, la Universidad Ricardo Palma, por darnos los conocimientos a lo largo del recorrido de nuestras carreras. Son muchos los docentes que han contribuido en nuestra formación a lo largo de estos cinco años, a ellos les debemos el conocimiento y las experiencias adquiridas.

Agradecemos también a nuestras familias, quienes nos han apoyado y apostado por nosotros incondicionalmente, ellos fueron nuestra fuerza para seguir avanzando y no rendirnos ante toda adversidad.

Johan Brandon Loayza Linares y Bryan Antonio
Lopez Rosales

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos	1
1.1.1. Problema e importancia	1
1.1.2. Árbol del problema	2
1.2. Formulación de la investigación	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivo general y específico	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Delimitación de la investigación	4
1.4.1. Geográfica	4
1.4.2. Temporal	4
1.4.3. Temática	4
1.4.4. Muestral	4
1.5. Justificación del estudio	4
1.5.1. Conveniencia	4
1.5.2. Relevancia social	4
1.5.3. Aplicaciones prácticas	5
1.5.4. Utilidad metodológica	5
1.5.5. Valor teórico	5
1.6. Importancia del estudio	5
1.6.1. Nuevos conocimientos	5
1.6.2. Aportes	5
1.7. Limitaciones del problema	6
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación	6
1.7.2. Metodológicos o prácticos	6
1.7.3. Medidas para la recolección de los datos	6

1.7.4. Obstáculos en la investigación	6
1.8. Alcance	6
1.9. Viabilidad del estudio	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Marco histórico	8
2.2. Antecedentes del estudio de investigación	9
2.2.1. Investigaciones internacionales	9
2.2.2. Investigaciones nacionales	10
2.2.3. Artículos relacionados al tema	14
2.3. Bases teóricas vinculadas a las variables del estudio	26
2.3.1. Cenizas de residuos agrícolas	26
2.3.2. Ensayos del concreto en estado fresco	27
2.3.3. Ensayos del concreto en estado endurecido	27
2.3.4. American Society for Testing and Materials (ASTM)	27
2.3.5. American Concrete Institute (ACI)	27
2.3.6. Norma E 060	28
2.4. Definición de términos básicos	28
2.5. Fundamentos teóricos que sustenten las hipótesis	30
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	32
3.1. Hipótesis	32
3.1.1. Hipótesis general	32
3.1.2. Hipótesis específicas	32
3.2. Variables	32
3.2.1. Definición conceptual de las variables	32
3.2.2. Operacionalización de variables	33
3.2.3. Matriz operacional de variables	34
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	36
4.1. Tipo y nivel	36
4.1.1. Tipo de investigación	36
4.1.2. Nivel de investigación	36
4.2. Diseño de la investigación	36
4.3. Método de la investigación	36
4.4. Población y muestra	38

4.4.1. Población	38
4.4.2. Muestra	40
4.5. Técnicas e instrumentación de recolección de datos	40
4.6. Descripción de procedimientos de análisis de datos	41
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	42
5.1. Análisis e interpretación de los resultados	43
5.1.1. Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto.	43
5.1.2. Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto.	52
5.1.3. Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión del concreto.	59
5.1.4. Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión del concreto.	73
5.2. Contrastación de resultados	84
5.2.1. Contrastación de la primera hipótesis al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.	84
5.2.2. Contrastación de la segunda hipótesis al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.	86
5.2.3. Contrastación de la tercera hipótesis al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión del concreto.	89
5.2.4. Contrastación de la cuarta hipótesis al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del	

cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión del concreto.	92
DISCUSIÓN	95
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	108
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	109
Anexo 2. Matriz bibliográfica	111
Anexo 3. Matriz de subtemas	126
Anexo 4. Matriz de jerarquía	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables	34
Tabla 2. Resumen de tipología de referencias	37
Tabla 3. Resumen de población de referencias	39
Tabla 4. Resumen de muestras de referencias	40
Tabla 5. Rango de consistencia del concreto según asentamiento	42
Tabla 6. Clasificación de concreto según su densidad	42
Tabla 7. Asentamiento con ceniza de cáscara de arroz con tamaños de 600 um, 150 um y 44 um.	43
Tabla 8. Densidad con ceniza de cáscara de arroz con tamaños de 600 um, 150 um y 44 um.	45
Tabla 9. Asentamiento con relaciones agua/cemento de 0.4, 0.5 y 0.6.	46
Tabla 10. Asentamiento con 8%, 12% y 16% de ceniza de cáscara de arroz	48
Tabla 11. Asentamiento con 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz.	49
Tabla 12. Densidad con 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz.	50
Tabla 13. Asentamiento con 10%, 15% y 20% de ceniza de cáscara de arroz.	51
Tabla 14. Asentamiento con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	53
Tabla 15. Densidad con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	54
Tabla 16. Asentamiento con 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	55
Tabla 17. Densidad con 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	56
Tabla 18. Asentamiento con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	57

Tabla 19. Densidad con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	58
Tabla 20. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz	60
Tabla 21. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 15%, 20% y 25% de cenizas de cáscara de arroz.	62
Tabla 22. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de cenizas de cáscara de arroz.	64
Tabla 23. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.	66
Tabla 24. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 3%, 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz	67
Tabla 25. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10% y 20% de cenizas de cáscara de arroz.	69
Tabla 26. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.	70
Tabla 27. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz.	71
Tabla 28. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	74
Tabla 29. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	75
Tabla 30. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	76
Tabla 31. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	78
Tabla 32. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	79
Tabla 33. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	80
Tabla 34. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	81
Tabla 35. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del problema	2
Figura 2. Fundamentos que sustentan la hipótesis	31
Figura 3. Asentamiento con ceniza de cáscara de arroz con tamaños de 600 um, 150 um y 44 um.	44
Figura 4. Densidad con ceniza de cáscara de arroz con tamaños de 600 um, 150 um y 44 um.	45
Figura 5. Asentamiento con relaciones agua/cemento de 0.4, 0.5 y 0.6.	47
Figura 6. Asentamiento con 8%, 12% y 16% de ceniza de cáscara de arroz.	48
Figura 7. Asentamiento con 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz.	49
Figura 8. Densidad con 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz.	50
Figura 9. Asentamiento con 10%, 15% y 20% de ceniza de cáscara de arroz.	52
Figura 10. Asentamiento con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	53
Figura 11. Densidad con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	54
Figura 12. Asentamiento con 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	55
Figura 13. Densidad con 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	56
Figura 14. Asentamiento con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	57

Figura 15. Densidad con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	58
Figura 16. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para un f'c de 175 kg/cm ² .	60
Figura 17. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para un f'c de 210 kg/cm ² .	61
Figura 18. Resistencia a la compresión con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para un f'c de 280 kg/cm ² .	61
Figura 19. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 15%, 20% y 25% de cenizas de cáscara de arroz.	63
Figura 20. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de cenizas de cáscara de arroz.	65
Figura 21. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.	66
Figura 22. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 3%, 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.	67
Figura 23. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10% y 20% de cenizas de cáscara de arroz.	69
Figura 24. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.	70
Figura 25. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para una relación a/c de 0.4.	72
Figura 26. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para una relación a/c de 0.5.	72
Figura 27. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para una relación a/c de 0.6.	73
Figura 28. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	74
Figura 29. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 10% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	75
Figura 30. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	77
Figura 31. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	78

Figura 32. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	79
Figura 33. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	80
Figura 34. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	82
Figura 35. Resistencia a la flexión (kg/cm ²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.	83
Figura 36. Contrastación hipótesis 1, referido al asentamiento según los autores	84
Figura 37. Contrastación hipótesis 1, referido a la densidad según los autores	86
Figura 38. Contrastación hipótesis 2, referido al asentamiento según los autores.	87
Figura 39. Contrastación hipótesis 2, referido a la densidad según los autores.	88
Figura 40. Contrastación hipótesis 3, referido a la resistencia a la compresión según los autores.	90
Figura 41. Contrastación hipótesis 3, referido a la resistencia a la flexión según los autores.	91
Figura 42: Contrastación hipótesis 4, referido a la resistencia a la compresión según los autores.	92
Figura 43. Contrastación hipótesis 4, referido a la resistencia a la flexión según los autores.	93

RESUMEN

La presente tesis tuvo un objetivo general, siendo este determinar el porcentaje de cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto. Esta investigación es documental bibliográfico. El tipo de investigación fue correlacional y explicativo. El nivel de investigación es descriptivo. Las fuentes recopiladas tuvieron un diseño experimental, longitudinal, retrospectivo y estudio de cohortes.

Respecto a la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, cuando se evaluó la propiedad de consistencia y densidad, se presentó una disminución numérica de estas propiedades; sin embargo, cuando se evalúa las propiedades de resistencia a la compresión y flexión, existe una mejora numérica cuando se usa el porcentaje de reemplazo óptimo de cada investigación.

Con las cenizas de cáscara de palma aceitera, tanto en consistencia como en densidad del concreto, los valores alcanzados tienen diferencias mínimas. Para resistencia a la compresión, los mejores resultados se obtienen al usar un 10% de ceniza, siendo este valor 369 kg/cm^2 y en el caso de resistencia a la flexión, 90 kg/cm^2 . Para ambos casos, se supera la muestra patrón.

Los mejores resultados se obtienen al usar las cenizas de residuos agrícolas entre los rangos de 5% y 10%. Con la ceniza de cáscara de arroz, la resistencia a la compresión y flexión aumenta 23 kg/cm^2 y 5 kg/cm^2 respectivamente. Esto no ocurre con la ceniza de cáscara de palma aceitera, donde la resistencia a la compresión disminuye 26 kg/cm^2 en la mayoría de casos, pero la resistencia a la flexión aumenta 6 kg/cm^2 . En general, la ceniza de cáscara de arroz tiene un mejor comportamiento dentro de las propiedades mecánicas del concreto.

Palabras claves: Ceniza de cáscara de arroz, ceniza de cáscara de palma aceitera, concreto estructural, asentamiento, consistencia, densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión.

ABSTRACT

This thesis had a general objective, this being to determine the percentage of ash from agricultural residues as a partial replacement of cement to improve the physical-mechanical properties of concrete. This research is bibliographical documentary. The type of research was correlational and explanatory. The level of research is descriptive. The collected sources had an experimental, longitudinal, retrospective and cohort study design.

Regarding the rice husk ash as a partial replacement for cement, when the properties of consistency and density were evaluated, there was a numerical decrease in these properties; however, when the compressive and flexural strength properties are evaluated, there is a numerical improvement when the optimal replacement percentage of each investigation is used.

With the oil palm husk ashes, both in consistency and density of the concrete, the values achieved have minimal differences. For compressive strength, the best results are obtained when using 10% ash, this value being 369 kg/cm² and in the case of flexural strength, 90 kg/cm². For both cases, the standard sample is exceeded.

The best results are obtained when using the ashes of agricultural residues between the ranges of 5% and 10%. With rice husk ash, the compressive and flexural strength increases by 23 kg/cm² and 5 kg/cm², respectively. This does not occur with oil palm husk ash, where the compressive strength decreases by 26 kg/cm² in most cases, but the flexural strength increases by 6 kg/cm². In general, rice husk ash has a better behavior within the mechanical properties of concrete.

Keywords: Rice husk ash, oil palm husk ash, structural concrete, settlement, consistency, density, compressive strength, flexural strength.

INTRODUCCIÓN

En el mundo, se da un crecimiento constante en la industria de la construcción y a su vez, en el campo de la tecnología del concreto. Este crecimiento se encuentra relacionado por la búsqueda de nuevos materiales de construcción, entre los cuales se encuentran las cenizas de residuos agrícolas, para los cuales se prevén que traerán beneficios a las propiedades físico-mecánicas del concreto.

La presente tesis permite ampliar nuevos conocimientos con respecto a los materiales cementantes suplementarios como por ejemplo la ceniza de cáscara de arroz y la ceniza de cáscara de palma aceitera para la elaboración del concreto, así como su dosificación en distintos porcentajes de reemplazo parcial de cemento.

Para esta tesis tiene como objetivo general determinar el porcentaje de cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto. Del mismo modo, se plantean objetivos específicos, siendo estos determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento para incrementar la consistencia, densidad, resistencia a la compresión y flexión.

El capítulo 1 presenta la realidad problemática, el problema general y específicos, objetivo general y específicos, justificación, importancia y limitaciones de la investigación. En el capítulo 2 se presentan las investigaciones relacionadas con el tema, la estructura teórica y científica junto a la definición de términos básicos. En el capítulo 3 describe el sistema de hipótesis donde se encuentran la hipótesis general, así como las secundarias planteadas de acuerdo a los objetivos. En el capítulo 4, se describe el marco metodológico, en donde está el tipo, diseño y método de nuestra investigación, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos. El capítulo 5 describe la presentación de resultados, análisis y contrastación de resultados.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

Los investigadores están tratando de encontrar alternativas de insumos semejantes al cemento para crear concreto sin comprometer su resistencia. El cemento es la materia prima principal de la mezcla del concreto, y esta causa una grave contaminación ambiental, por ejemplo, genera a emisiones de CO₂. (Siddika et al., 2018).

Todo esto nos lleva a una concientización del cuidado del medio ambiente, de manera que esta investigación busca insumos que reemplacen al cemento, en esta investigación de manera parcial y esta sea amigable con el medio ambiente o genere una menor contaminación que el mismo cemento.

1.1.1. Problema e importancia

En el Perú, uno de los materiales más usados en la industria de la construcción es el concreto, debido a que se prepara de manera rápida y tiene propiedades como la trabajabilidad que permite adaptarlo a cualquier forma requerida volviéndolo así, un elemento ideal para la construcción de edificaciones.

En el caso del consumo interno del cemento, según la Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), en el año 2019 se consumieron un aproximado de 992 000 toneladas, siendo este valor superior por un 1.6% a los valores registrados en el mismo mes en el año 2018.

En la actualidad se siguen realizando nuevas investigaciones para elaborar concreto usando diversos productos tanto en fibras como cenizas con el fin de mejorar las distintas propiedades físico-mecánicas del concreto requerido. Estas investigaciones tienen impacto en la industria de la construcción y en las universidades debido a que estas tendencias tienen como finalidad el uso de materiales sustentables dentro del concreto y este a su vez deberá cumplir la normativa correspondiente, así como las especificaciones técnicas de cada proyecto. Se plantea la reutilización de cenizas de residuos agrícolas como materiales cementantes suplementarios dentro de los cuales tenemos a la ceniza de cáscara de arroz y la ceniza de cáscara de palma aceitera.

1.1.2. Árbol del problema

Para la formulación del problema se tomó en cuenta una secuencia que describe las causas que lo originan y las consecuencias que generan, lo cual se refleja en la Figura 1, con el fin de realizar un correcto planteamiento de problema en la presente investigación. Se toma en cuenta las zonas donde predomina el clima cálido y tropical, en este caso la zona pertenece al norte del país y selva peruana, lugares donde se obtiene la ceniza de cáscara de arroz y cenizas de cáscara de palma aceitera respectivamente.

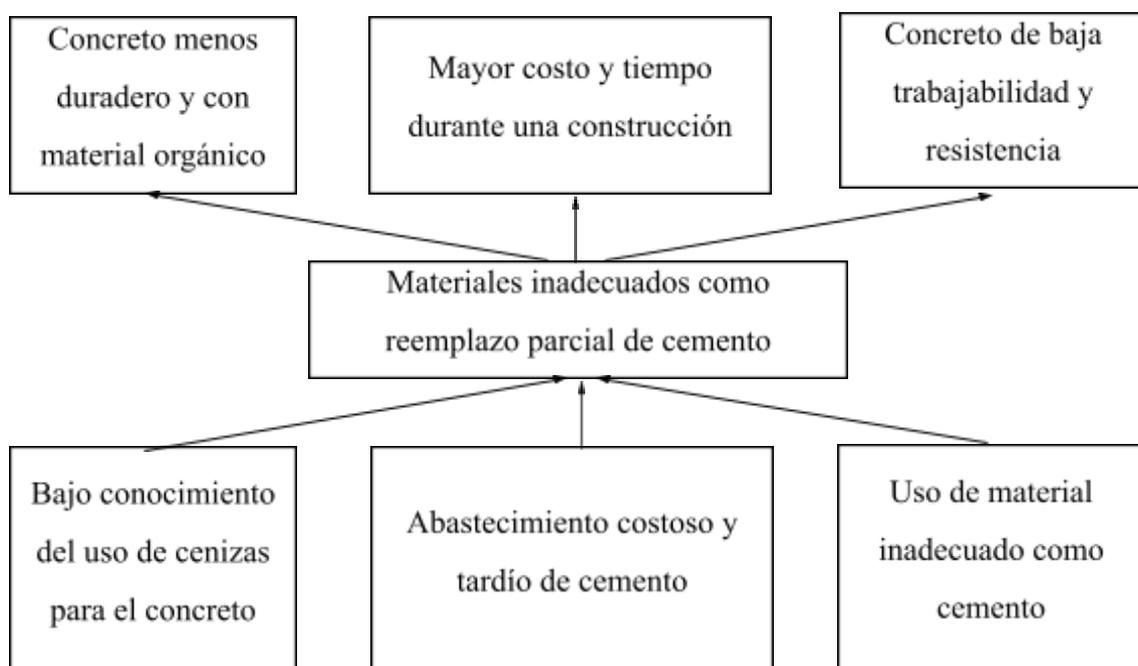


Figura 1. Árbol del problema

Fuente: Elaboración Propia

Los productores peruanos generan grandes cantidades de desechos de ambos productos, los cuales pueden terminar siendo usados como biocombustibles o simplemente se desechan. Al proponer una nueva alternativa, que en este caso sería el reciclaje de estos residuos agrícolas, se espera que se tome en cuenta como un reemplazo parcial del cemento y que a su vez mejore las propiedades físico-mecánicas del concreto.

1.2. Formulación de la investigación

1.2.1. Problema general

¿De qué manera las cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera los porcentajes de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento incrementan la consistencia y densidad del concreto?
- b) ¿De qué manera los porcentajes de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementan la consistencia y densidad del concreto?
- c) ¿De qué manera los porcentajes de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementan la resistencia a la compresión y flexión del concreto?
- d) ¿De qué manera los porcentajes de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementan la resistencia a la compresión y flexión del concreto?

1.3. Objetivo general y específico

1.3.1. Objetivo general

Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial del cemento para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el porcentaje óptimo cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto.
- b) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto.
- c) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión.
- d) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

La investigación toca una problemática que compete a zonas productoras de arroz, así como de aceite de palma, por lo tanto, se dirige a diferentes zonas climáticas cálidas y tropicales, que rondan temperaturas entre los 24°C y 32°C.

1.4.2. Temporal

La investigación está enfocada al diseño del concreto con cenizas, tanto de cáscara de arroz como de cáscara de palma aceitera, la cual se desarrollará desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre del 2022.

1.4.3. Temática

- Campo: Cenizas de residuos agrícolas en el concreto estructural.
- Área Académica: Tecnología del concreto
- Línea de investigación: Tecnología del concreto.
- Sub-Línea de investigación: Diseño

1.4.4. Muestral

Comprende todas las investigaciones que mencionan el uso de cenizas de residuos agrícolas en sus diseños de mezclas, su influencia en las propiedades físico-mecánicas del concreto acorde a las normas American Society for Testing and Materials (ASTM), Norma Técnica Peruana (N.T.P) y normas internacionales para el diseño de concreto y ensayos.

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Conveniencia

El siguiente trabajo de investigación tiene como propuesta hacer uso de dos desechos agrícolas, la cáscara de arroz y la cáscara de la palmera aceitera, ambas en su estado de ceniza, lo cual consideramos conveniente ya que reciclaremos estos insumos con fines de mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto.

1.5.2. Relevancia social

Esta investigación tiene impacto en zonas productoras de arroz y la palma aceitera, mayormente en la costa norte y Amazonía del Perú respectivamente, donde encontramos estos insumos, con la finalidad de utilizarlo como reemplazo parcial de cemento para obtener un concreto de buena calidad.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

Esta investigación tiene como finalidad el reciclaje de los residuos agrícolas, así como la reducción del uso del cemento al elaborar el concreto, lo cual conlleva mejoras en sus propiedades tanto físicas como mecánicas.

1.5.4. Utilidad metodológica

Esta investigación contribuye al valor teórico en las variables de cenizas de residuos agrícolas y conjuntamente a ello las propiedades físico-mecánicas del concreto. Consideramos esta investigación como punto de partida a las futuras investigaciones, que tengan el objetivo de mejorar las propiedades del concreto con el uso de estos residuos agrícolas como reemplazo parcial del cemento.

1.5.5. Valor teórico

Esta investigación refuerza los conocimientos previos que se tiene respecto al uso de cenizas de residuos agrícolas como son la ceniza de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de palma aceitera como uso parcial del cemento en la mezcla del concreto, debido a que se analizaron diversos antecedentes respecto al tema dando como resultado a nuevas conclusiones y recomendaciones, las cuales podrán ser tomadas como antecedentes para investigaciones realizadas en los próximos años.

1.6. Importancia del estudio

1.6.1. Nuevos conocimientos

La presente tesis utiliza diversas fuentes internacionales, que tiene como protagonista a la ceniza de cáscara de arroz (CCA) y ceniza de cáscara de palma aceitera (CCPA) como insumo modificador de propiedades físico-mecánicas del concreto, con el fin de mejorarlas.

1.6.2. Aportes

Hacer uso de nuevos insumos provenientes de residuos agrícolas o industriales determinando un porcentaje de reemplazo parcial para el cemento. Esto se realizó mediante gráficos comparativos para ver la influencia de estos insumos en las propiedades físico-mecánicas del concreto.

1.7. Limitaciones del problema

1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

Por tratarse de insumos que no están difundidos para usarse en el concreto en nuestro medio, se tiene que tomar investigaciones internacionales, especialmente en el caso de la ceniza de cáscara de palma aceitera, debido a que este insumo no contaba con muchas investigaciones nacionales.

1.7.2. Metodológicos o prácticos

No se presentan limitaciones en la presente investigación debido a que nuestras investigaciones recopiladas contaba con normas estandarizadas tanto nacionales como la Norma Técnica Peruana (N.T.P.), e internacionales como American Concrete Institute (A.C.I.) y American Society for Testing and Material (ASTM).

1.7.3. Medidas para la recolección de los datos

Las investigaciones recopiladas consideran diferentes diseños según la resistencia del concreto, así como relaciones a/c adecuadas para alcanzar la resistencia requerida y el uso de cenizas de residuos agrícolas como reemplazo del cemento para mejorar las propiedades del concreto. Se deberá tener información que permita visualizar una tendencia de mejora en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.7.4. Obstáculos en la investigación

Para la presente tesis, se presentaron algunas limitaciones debido a que en las investigaciones se mencionan las características de los materiales, pero en algunos casos no contaban con certificados de calibración de sus equipos e instrumentos, por lo cual los datos obtenidos no son confiables al 100%.

1.8. Alcance

Esta investigación tiene un alcance para el concreto estructural utilizado en edificaciones, principalmente en la costa norte y Amazonia del Perú, siendo estas zonas productoras de estos insumos. El área de estudio de la presente investigación documental es tecnología del concreto debido a que se analizó la influencia de las cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial del cemento en el concreto, sirviendo como una fuente para futuras investigaciones sobre materiales cementantes suplementarios.

1.9. Viabilidad del estudio

La presente investigación es viable debido a que se cuentan con distintas fuentes de investigación necesarias para desarrollar los objetivos planteados. Al ser de tipo documental, la recopilación de información fue constante a lo largo del proyecto para posteriormente realizar un análisis de datos, los cuales fueron recopilados de las distintas investigaciones revisadas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

1.1. Marco histórico

Con el pasar de los años el concreto ha sido el material que se ha utilizado con mayor frecuencia dentro de la industria de la construcción debido a las propiedades que posee empezando por la capacidad de adaptarlo en diferentes formas, también la durabilidad y resistencia que ofrece en su estado endurecido. Debido a los avances en la industria de la construcción, el concreto ha variado en su composición, usando nuevos materiales tanto adicionales como reemplazantes entre cenizas, fibras, aditivos químicos, entre otros; provocando diferentes mejoras en sus propiedades físico-mecánicas como el aumento de la resistencia a la compresión, flexión, entre otras propiedades.

Los primeros temas de investigación datan de los años 60's, a partir de que se dedujo químicamente que la ceniza de arroz posee propiedades puzolánicas, su estudio e investigación fueron creciendo, fortaleciendo cada vez la hipótesis de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

A lo largo de los años, las investigaciones relacionadas a los materiales cementosos suplementarios comenzaron a tomar mayor relevancia debido a los buenos resultados que se obtenía al usar la ceniza volante. Otro factor que influyó en la búsqueda de nuevos materiales como reemplazo de cemento fue la contaminación que genera su producción. Debido a esto se planteó usar desechos industriales y agrícolas, siendo esta última, la categoría donde se encuentra la ceniza de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de palma aceitera.

Por esa razón, actualmente se sigue realizando investigaciones para conocer las mejoras en las propiedades del concreto que ofrece la ceniza de cáscara de arroz y cenizas de cáscara de palma aceitera. Ya que a diferencia de otros materiales cementantes suplementarios no cuenta con la misma cantidad de investigaciones, como por ejemplo la ceniza volante. Estas investigaciones también se derivaron al estudio de mezcla de morteros ya que en la mayoría de los casos la ceniza de cáscara de arroz obtuvo buenos resultados mejorando principalmente las propiedades físicas y mecánicas.

2.2. Antecedentes del estudio de investigación

1.1.1. Investigaciones internacionales

Bustos, E.; Cortés, J. y Rondón, D. (2021), estudian la ceniza de cáscara de palma aceitera como una alternativa de reemplazo parcial de cemento debido a la contaminación que existe en la industria de la construcción. Los autores optaron por utilizar esta ceniza en proporciones de 3%, 3.5%, 4%, 4.5% y 5%. La relación agua/cemento es constante a lo largo de su investigación, manteniendo un valor de 0.5. Principalmente, los autores evaluaron la resistencia a la compresión. Entre sus resultados, se puede notar un incremento de la resistencia conforme el porcentaje de reemplazo aumenta hasta alcanzar un valor máximo al utilizar 4.5% de la ceniza de cáscara de palma aceitera. Para un 5% de reemplazo, la resistencia disminuye considerablemente, encontrándose por debajo de la muestra patrón. Los autores recomiendan utilizar este insumo en proporciones adecuadas para evitar una reducción en la resistencia a la compresión del concreto.

Matienzo, J. (2018), el objetivo de su investigación es mejorar la resistencia del concreto incorporando parcialmente cenizas de la cáscara de arroz y las cenizas de la concha de abanico como reemplazo parcial del cemento, materiales con alto contenido de sílice y calcio. Para ello la investigación realizó probetas de concreto con un diseño de $f'c$ 210 kg/cm^2 , sustituido parcialmente en 8% por polvo de concha de abanico y 12% por las cenizas de la cáscara de arroz del total en peso del cemento, con una relación a/c de 0.68. La cáscara del arroz pasó por un proceso de pre quemado a cielo abierto con el fin de eliminar la materia orgánica que contiene el material. Las muestras se ensayaron a los 7, 14 y 28 días. En los resultados podemos concluir que al sustituir 12% de cenizas de cáscara de arroz en peso del cemento es considerado no viable, ya que no superó a los resultados de la muestra patrón, ni tampoco al diseño del concreto de las muestras, el cual fue de 210 kg/cm^2 , pero obtuvo un resultado muy cercano a este, 208.93 kg/cm^2 .

Montero, D. (2017), el objetivo de su investigación es utilizar desechos agrícolas como la ceniza de cáscara de arroz, como reemplazo parcial de cemento para que de esta manera los costos de producción del concreto

convencional sean más económicos, sin comprometer ninguna de las características físicas y mecánicas del mismo. Los porcentajes de reemplazo son 10%, 15%, 20% y 25% con respecto al cemento. Las muestras tienen un diseño de 210 kg/cm² y cada muestra tiene una relación de a/c diferente. Tales muestras fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado. En los resultados, al sustituir un 10% de ceniza de cáscara de arroz, se obtuvo mejores resultados en resistencia a los 28 días de curado generando un incremento del 16% en la resistencia a la compresión. Las mezclas de 15% y 20% de reemplazo poseen un comportamiento muy similar, pues la diferencia en resistencia a los 28 días entre ambas mezclas no es muy significativa pues se encuentra alrededor del ocho por ciento. Con respecto al asentamiento, la sustitución de hasta un 15% de ceniza de cáscara de arroz mantiene una mezcla de concreto fresco más trabajable, sin afectar su resistencia final.

Rodríguez, A. y Tirabuzón, M. (2019), su investigación estudia al concreto con la inserción de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento, cenizas provenientes de las arroceras de los Llanos Orientales Colombianos, con el fin de determinar las propiedades mecánicas y físicas, tales como resistencia a la compresión, asentamiento, módulo de elasticidad, relación de Poisson y análisis de la microestructura del concreto hidráulico. Los porcentajes de reemplazos parciales fueron 3%, 5%, 10% y 15%. En los resultados, la evaluación del asentamiento para la muestra patrón (0%) tiene los mismos resultados que las muestras de 3% y 5%; para las muestras de 10% y 15% de reemplazos parciales, disminuye su consistencia. Las muestras con un 10% muestran una mayor resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón. Respecto a la relación de Poisson y módulo de elasticidad se observó que las muestras con contenido de ceniza de cáscara de arroz afectan la elasticidad del concreto, la muestra con el 10% de reemplazo parcial, con esta se obtiene la mayor resistencia.

1.1.2. Investigaciones nacionales

Arévalo, A. y López, L. (2020), La investigación es de tipo experimental, la cual tiene como objetivo adicionar ceniza de cáscara de arroz en el

diseño de mezcla con el fin de mejorar la propiedad de resistencia a la compresión en la región de San Martín, Perú. En esta investigación se estudiaron dos diseños de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ($a/c=0.63$) y 210 kg/cm^2 ($a/c=0.58$), en cada una de ellas se definió las cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento tres porcentajes de reemplazos que fueron de 2%, 4% y 6%. Dentro de los resultados, el porcentaje óptimo de reemplazo fue de un 2%. Respecto al asentamiento, cuando el reemplazo parcial aumenta, el asentamiento disminuye; también se evaluó el esfuerzo a flexión. Como resultados en el primer diseño de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo $f'c=176.53 \text{ kg/cm}^2$, $Mr= 39.34 \text{ kg/cm}^2$ y con adición de 2% se obtuvo $f'c (2\%) =177.66 \text{ kg/cm}^2$ y $Mr (2\%) = 41.57 \text{ kg/cm}^2$; para el segundo diseño de 210 kg/cm^2 en el patrón se obtuvo $f'c=210.35 \text{ kg/cm}^2$ y $Mr= 46.06 \text{ kg/cm}^2$ y con adición de 2% se obtuvo $f'c (2\%) =213.82 \text{ kg/cm}^2$ y $Mr (2\%) = 47.83 \text{ kg/cm}^2$. Se concluye que con porcentaje de adición de 2% se mejora levemente la resistencia a la compresión en un 0.64% y 1.65%, para los dos diseños respectivamente en resistencia a la compresión, y en la resistencia a la flexión se mejora en un 5.67% y 3.84%, respectivamente.

Cano, B. y Galarza, E. (2020), su investigación tiene la finalidad de estudiar la influencia de la ceniza de cáscara de arroz y fibras de polipropileno, este último insumo usado para la disminución de la fisuración por contracción plástica del concreto. Respecto al diseño, se optó por un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, con la incorporación de las cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, los porcentajes de reemplazo fueron 5%, 10% y 15% respecto a su peso y fibras de polipropileno de 900 gr/m^3 . Los ensayos que se sometieron fueron a la resistencia a la compresión, flexión y también se evaluó el asentamiento. Respecto a la resistencia a la compresión disminuye conforme el porcentaje aumenta en comparación con la muestra patrón, pero cumple con el diseño (5% de reemplazo) de igual forma en la resistencia a la flexión existe una disminución leve conforme aumenta el porcentaje de reemplazo en comparación con el patrón. Referente al asentamiento, al incrementar el porcentaje de reemplazo de CCA el

asentamiento decrece en 0.50” con 5% de reemplazo, 0.75” con 10% de reemplazo y 1” con 15% de reemplazo en relación a la mezcla patrón.

Huertas, M. y Regalado, L. (2018), en esta investigación se dio los porcentajes de sustitución 8%, 12% y 16% con respecto al peso del cemento. Para el asentamiento del concreto, conforme aumenta el porcentaje de reemplazo, el asentamiento aumenta. En el caso de resistencia a la compresión, las probetas pasaron la prueba de rotura a los 7, 14 y 28 días del curado. Su diseño fue de 175 kg/cm² con una relación a/c de 0.63. Los resultados para el caso de las probetas con sustitución de ceniza de la cáscara de arroz con 8, 12 y 16% podemos observar que la resistencia a la compresión final a los 28 días fue de 231 kg/cm², 203 kg/cm² y 182 kg/cm², respectivamente. Si comparamos la probeta control, cuya resistencia final fue de 184 kg/cm², nos damos cuenta al sustituir 8 y 12% de cemento por ceniza ha logrado superar la resistencia de la probeta control, determinando así que su uso es favorable para el concreto. Se concluye que esta ceniza mejora la resistencia a la compresión, ya que al usar 8% de la ceniza como reemplazo parcial del cemento, se alcanzó la mejor resistencia a los 28 días con 231 kg/cm². También podemos concluir que antes de los 14 días la resistencia no supera los valores de la muestra patrón.

Julon, N. y Marcañaopa, E. (2021), en su investigación se analizaron la resistencia al fuego del concreto con adición de cenizas de cáscara de arroz y cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazos parciales del cemento. Las muestras fueron sometidas a pruebas de resistencia a la compresión y flexión; los porcentajes de reemplazo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento fueron 5% y 10% (asociado solo a la ceniza de cáscara de arroz). Las muestras se curaron por 28 días, posteriormente estuvieron expuestas a temperaturas de 24°C (ambiente), 300 °C y 500 °C, con un tiempo de duración de dos horas, después 24 horas de enfriamiento al aire libre, se procede a ser ensayadas. En los resultados, respecto al asentamiento, se observa que conforme aumenta el porcentaje de reemplazo, el asentamiento disminuye; respecto a la resistencia a la compresión, a 24°C los resultados fueron de 306.90 kg/cm², 304.10 kg/cm² y 326.80 kg/cm² para la muestra patrón y las

muestras con CCA5% y CCA10% respectivamente; para los resultados de resistencia a la flexión, las resistencias más altas obtenidas a 24°C fueron de 47.30 kg/cm² y 47.70 kg/cm², para la muestra patrón y la muestra con reemplazo de 10% de cenizas de cáscara de arroz, respectivamente. Se concluye que las cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento el porcentaje óptimo de este reemplazo fue de 10%.

Martinez, F. y Oyanguren, L. (2019), este estudio se realizó con la finalidad de diseñar y analizar las cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. Los porcentajes de reemplazo fueron de 5%, 10% y 15%. Se realizaron el ensayo de cono de Abrams donde los autores notaron que, a mayor porcentaje de reemplazo, el asentamiento disminuye. Para el ensayo de resistencia a la compresión, se dio en probetas cilíndricas a los 28 días de curado en agua. La resistencia de la muestra patrón fue diseñada para tener una resistencia a la compresión de 280 kg/cm². Los resultados mencionan que el cemento con adición de 5% de CCA llega a superar la resistencia requerida de 280 kg/cm² con un resultado de 306.13 kg/cm², Asimismo, las muestras con 10% y 15% no logran superar la muestra del concreto de control respecto al ensayo de rotura a los 28 días ni tampoco el requerimiento de diseño de 280 kg/cm². Se concluye en relación a la compresión que el reemplazo parcial de 5% de ceniza de cáscara de arroz en la mezcla mejora la resistencia a la compresión en comparación con el concreto patrón, mejorando hasta en un 3.2% la resistencia del concreto. Las recomendaciones de los autores se basan en el procedimiento de quemado de la ceniza, ya que es un proceso clave para los resultados, ya que esta puede variar negativamente la calidad de la ceniza.

Montero, S. (2019), para su investigación se elaboraron cuatro diseños de mezcla con diferentes resistencias a la compresión, las cuales fueron de 175 kg/cm², 210 kg/cm², y 280 kg/cm², los porcentajes de reemplazo parciales de ceniza de cáscara de arroz fueron de 10%, 15% y 20%. En los resultados, se apreció que la consistencia decrece cuando la ceniza de cáscara de arroz reemplaza parcialmente al cemento, ya que conforme se aumentaba el porcentaje de reemplazo el asentamiento disminuía. El reemplazo parcial óptimo es de 10%, con este porcentaje se obtuvo

mayores resultados a la resistencia a la compresión y un slump de 3.6” a 4”. El diseño de slump para todas las muestras fueron de 3” a 4”.

Quispe, Y. (2018), su investigación resalta la importancia de obtener un concreto de durabilidad óptima y al más bajo costo en los proyectos de construcción con el uso de ceniza de cáscara de arroz. Con la presente investigación se busca mejorar algunas propiedades como asentamiento, densidad y resistencia a la compresión del concreto, que tuvo una resistencia de diseño de 210 kg/cm². El proceso de investigación se basó con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz como sustituto parcial del cemento, los cuales fueron ensayados a los 14, 28 y 56 días de curado. Los resultados demuestran que, a mayor porcentaje de reemplazo, el asentamiento y densidad va disminuyendo. Con respecto a la propiedad de resistencia a la compresión, la muestra patrón de concreto a los 28 días se ve superada cuando se utiliza un 10% de reemplazo mientras que, en los demás reemplazos, disminuye la resistencia respecto al concreto patrón. Como recomendación se menciona no se debe utilizar porcentajes mayores al 10% de reemplazo con el fin de evitar una reducción en la resistencia a la compresión.

Torres, J. (2021), para su investigación se usó un diseño f'c para todas las muestras de 245 kg/cm²; los porcentajes de reemplazo parcial de ceniza de cáscara de arroz fueron de 10%, 15% y 20% en peso al cemento. Las muestras de concreto pasaron por el ensayo de resistencia a la compresión, tracción y consistencia. Para el ensayo de resistencia a la compresión las probetas fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días de curado. El porcentaje óptimo de reemplazo fue de 10%, una resistencia a la compresión de 402 kg/cm², en el cual demostró una mejora del 19.28% respecto a los resultados de la muestra patrón, una resistencia a la compresión de 337 kg/cm²; sin embargo, las demás muestras con reemplazo parcial del 15% (una resistencia a la compresión de 305 kg/cm²) y 20% (una resistencia a la compresión de 293 kg/cm²), no mostraron una mejora en comparativa a la muestra patrón. Respecto a los resultados del asentamiento se infiere que conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo parcial de ceniza de cáscara de arroz, disminuye el asentamiento.

1.1.3. Artículos relacionados al tema

Abolhasani, A.; Samali, B. y Aslani, F. (2022), en su investigación, las cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, los porcentajes fueron 2.5%, 5%, 7.5% y 10%, para todas las muestras tuvieron una relación a/c de 0.4. Respecto el ensayo de resistencia a la compresión, fueron realizados a los 7, 28 y 90 días de curado. Se tuvieron mayores resultados a la resistencia a la compresión con un reemplazo de 5%, porcentaje óptimo de reemplazo para su investigación (pero no sobrepaso el resultado de la muestra patrón).

Ahsan, M. y Hossain, Z. (2018), los autores en su trabajo de investigación, analizan la influencia de las cenizas de cáscara de arroz respecto a las propiedades del concreto, resaltando la propiedad de la resistencia a la compresión. La muestra base de la del concreto para la fase experimental resultó en 361 kg/cm², en la prueba de resistencia a la compresión. Se sustituyó la ceniza de cáscara de arroz (CCA) en proporciones de 10% y 20% del cemento, también se usó ceniza volante. Se separaron las cenizas de cáscara de arroz en diferentes muestras según su contenido de finos. Los resultados fueron de 377 kg/cm² y 366 kg/cm² en reemplazo parcial de cemento de 10% y 20% respectivamente. Por último, al usar la ceniza volante, se alcanzó valores de 398 kg/cm² y 387 kg/cm² con 10% y 20% de reemplazo de cemento. Con respecto a resistencia a la flexión, Se evaluó a los 28 días, con CCA superando concreto patrón con porcentajes de 10% y 20%, obteniendo valores de 47.2 kg/cm² y 44.1 kg/cm², siendo el patrón 41.7 kg/cm². Se concluyó que es mejor utilizar CCA ya que favorecen el aumento de resistencia a la compresión siendo 10% el porcentaje más óptimo de sustitución del cemento.

Alnahhal et al. (2017), la siguiente investigación tiene como objetivo promover la utilización de residuos o materiales reciclables con el fin de lograr un equilibrio en el desarrollo sostenible. El presente estudio analiza la influencia de las cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento en el concreto, tanto en el asentamiento del concreto como en la resistencia a la compresión. Los ensayos se realizaron utilizando distintos porcentajes de reemplazo como 10%, 20% y 30% del cemento, con una relación constante de agua/cemento de 0.55. Para el caso del asentamiento,

se realizaron pruebas a través del ensayo de cono de Abrams, en el caso de resistencia a la compresión, los ensayos fueron realizados a 1, 7, 14, 28, 56 y 90 días de curado. Se concluye que los mejores resultados, respecto a la resistencia a la compresión, se obtienen al reemplazar un 10% de cemento por ceniza de cáscara de arroz. A pesar de no superar la resistencia de la muestra patrón, la resistencia obtenida se encuentra muy cerca, siendo este 462 kg/cm^2 a los 90 días de curado y la muestra patrón obtuvo 483 kg/cm^2 . Con respecto a los resultados de resistencia a la flexión, se realizó a los 28, 56 y 90 días. Con un 10% de CCA se obtienen valores cercanos a la muestra patrón, pero no supera a este. Por consecuencia los autores consideran viable utilizar un 10% de reemplazo de cemento en mezclas que se diseñen con una resistencia a la compresión de 300 kg/cm^2 .

Amin, M. y Abdelsalam, B. (2019), afirman que la ceniza de cáscara de arroz (CCA) es un material puzolánico con un alto contenido de sílice, entre los rangos de 85-90% lo cual podría afectar de manera beneficiosa al concreto reflejado en un aumento en la resistencia a la compresión. Se reemplazó en 10, 20 y 30% de CCA de la cantidad del cemento en el concreto, de igual manera se trabajó con las mismas proporciones en ceniza volante. Se usó para tres diseños, el primero 350 kg/m^2 , el segundo 450 kg/m^2 y el tercero con 550 kg/m^2 . También se trabajó con dos diferentes relaciones de agua/cemento, siendo 0.55 la relación a/c para la primera mezcla de concreto y 0.25 para las dos últimas muestras a las cuales también se les incorporó aditivo plastificante. En la mayoría de los casos, las muestras superaron la resistencia del concreto patrón a los 28 días, siendo las cenizas de cáscara de arroz las que generaron mayor aumento. Se concluye que el rango más apropiado se encuentra entre el 10% y 20% de reemplazo de cemento con ceniza de cáscara de arroz, ya que en ese rango se generan los mayores aumentos en la resistencia a la compresión.

Asad et al. (2022), para su investigación los porcentajes de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento fueron de 7% y 14%; y las muestras de la investigación tuvieron diferentes relaciones a/c las cuales fueron de 0.3, 0.5 y 0.7. Para el ensayo de resistencia a la compresión las muestras se ensayaron a los 10, 20 y 30 días de curado.

Para los resultados del ensayo del asentamiento, se denota que en todos los resultados independientemente de cada relación de a/c, tuvieron una disminución del asentamiento conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo. Para el ensayo de resistencia a la compresión y flexión si existe una leve mejora conforme se aumenta el porcentaje de ceniza de cáscara de arroz para ambas propiedades.

Banu, S.; Kartikeyan, J. y Jayabalan, P. (2020), en su investigación presentada, menciona que la ceniza de cáscara de arroz, un residuo agroindustrial, es una las opciones para disminuir el uso del cemento, ya que contiene un alto nivel de sílice, siendo su rango 92-95%. Los investigadores tienen como objetivo analizar la influencia de la CCA en la resistencia del concreto. El porcentaje de reemplazo de las CCA con respecto al cemento varió desde 0% a 20% en intervalos de 2.5%. La máxima resistencia se da cuando se reemplaza un 7.5% de ceniza. Asimismo, se puede notar que, a un mayor porcentaje de reemplazo, los valores de resistencia a la compresión tienden a disminuir, siendo estos menores a la resistencia del concreto patrón. Con los resultados podemos concluir de la investigación que la ceniza en proporciones óptimas genera mejoras en la resistencia a la compresión del concreto, siendo 7.5% el porcentaje más óptimo de reemplazo del cemento.

Bassirou, K.; John, N. y Erick, K. (2022), los porcentajes de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento fueron de 10%, 15% y 20%. Con una relación agua/cemento de 0.5. Todas las muestras pasaron por un curado de 7, 14, 28, 56 y 90 días. Respecto la prueba de consistencia, se observó en sus resultados, que conforme el porcentaje de reemplazo aumenta el asentamiento disminuye, haciendo una concreto menos trabajable, la propiedad de densidad, al igual que el asentamiento disminuye conforme el reemplazo porcentual aumenta. La prueba de resistencia a la compresión, se denota en sus resultados una leve disminución conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo.

Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O. (2019), los autores proponen el uso de la ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento. Analizaron este material y su influencia a las propiedades físico-mecánicas del concreto, dentro de las cuales están la consistencia,

densidad y resistencia a la compresión. Estas cenizas fueron usadas en porcentajes parciales, los cuales fueron de 5%, 10% y 15%. Con respecto a la consistencia del concreto, se realizó el ensayo de cono de Abrams para determinar el asentamiento del concreto y posteriormente su consistencia. La muestra patrón obtuvo un valor de 30 mm mientras que las muestras con ceniza obtuvieron resultados inferiores. Caso similar sucede con la densidad, la cual tiende a disminuir ligeramente conforme el porcentaje de reemplazo aumenta. Con respecto a la propiedad de resistencia a la compresión, se evaluó a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados son similares a las pruebas ya mencionadas, la resistencia tiende a disminuir conforme el porcentaje de reemplazo aumenta. Los autores concluyen que la ceniza de cáscara de palma aceitera debe ser utilizada en menores proporciones para lograr obtener mejores resultados.

Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017), la investigación realizada por los autores se centra en analizar la influencia que puede tener la ceniza de cáscara de palma aceitera en las propiedades físico-mecánicas del concreto cuando este material es usado como reemplazo parcial del cemento. Los ensayos se realizaron con distintos porcentajes de reemplazo, siendo estos 5%, 10%, 15% y 20%. La relación agua/cemento utilizado en la investigación es de 0.5. Los autores realizaron ensayos para determinar la densidad y resistencia a la compresión. Con respecto a la densidad, la muestra patrón alcanzó un valor de 2366 kg/cm^3 mientras que las demás muestras alcanzaron valores menores a esta. A partir del 15% de reemplazo parcial, los valores de densidad vuelven a aumentar hasta alcanzar un valor de 2360 kg/cm^3 , muy similar al patrón. Con respecto a los ensayos de resistencia a la compresión, tanto la muestra patrón como la muestra con un reemplazo parcial de 5% de ceniza obtienen valores muy similares, siendo estos de 182.6 kg/cm^2 y 180.4 kg/cm^2 respectivamente. Los autores recomiendan no utilizar la ceniza en proporciones mayores a 5% debido a que la resistencia tiende a disminuir considerablemente.

Fitriani et al. (2022), los reemplazos parciales de ceniza de cáscara de arroz fueron 2.5%, 5%, 7.5% y 10%, todas las muestras tuvieron una relación de a/c de 0.4. Para las probetas de concreto fueron ensayadas a los 7, 28 y 56 días de curado para la obtención de data de resistencia a la

compresión. En sus resultados el porcentaje óptimo de reemplazo es de 5%, a los 28 días de curado no sobrepasa el resultado de la muestra patrón, pero a los 56 días de curado si lo supera.

Gautam, N.; Patil, R. y Dhawad, P. (2019), mencionan la importancia del rol que cumple el cemento en el campo de la ingeniería civil, por la infinita infraestructura que se realiza con ella, lamentablemente es un producto donde su producción genera contaminación en el medio ambiente. En la presente investigación se reemplazó CCA en porcentajes de 12.5% y 25% como reemplazo parcial del cemento y la relación a/c fue de 0.45 para todas las mezclas. Se evaluó la influencia de dicha ceniza en la resistencia a la compresión del concreto para dos tipos de concretos diferentes, uno de grado 20 y otro de grado 25, representando resistencias de 200 kg/cm² y 250 kg/cm² respectivamente. Para el concreto de grado 20, la muestra patrón se vio superada cuando se usó un 12.5% de ceniza de cáscara de arroz. En el segundo caso, el concreto de grado 25, el concreto patrón no se vio superado en ninguno de los porcentajes de reemplazo. Se concluye que la ceniza de cáscara de arroz es una buena opción de reemplazo del cemento, pero no recomiendan exceder el 12.5% de reemplazo, ya que después de este valor, la resistencia a la compresión tiende a disminuir.

Goh, D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022), los autores en su investigación utilizaran la ceniza de cáscara de palma aceitera como un reemplazo parcial de cemento. Uno de los motivos para llevar a cabo su investigación es la contaminación que produce el cemento durante su fabricación por lo que optan por usar un sustituto parcial para este material. Esta ceniza de cáscara de palma aceitera es usada en porcentajes tales como 5%, 10% y 20%. La relación agua/cemento en el ensayo fue de 0.5 para todas las muestras. Los autores realizaron el ensayo de cono de Abrams para determinar el asentamiento del concreto para posteriormente conocer su consistencia. En los resultados podemos notar como el asentamiento tiende a disminuir conforme el porcentaje de reemplazo aumenta. Con respecto a la propiedad de resistencia a la compresión, esta fue realizada a los 7, 14 y 28 días de curado. El mejor resultado se obtiene cuando se usa un 5% de esta ceniza como reemplazo parcial. Los autores

recomiendan no exceder el 10% de ceniza debido a que la resistencia tiende a disminuir a partir de este punto.

Hamada, H.; Tayeh, B.; Yahaya, F.; Muthusamy, K. y Al-Attar, A. (2020), los autores utilizan la ceniza de cáscara de palma aceitera y ceniza de cáscara de huevo como reemplazo parcial de cemento. En base a sus antecedentes, los autores conjeturan que el concreto tendrá un buen comportamiento con los insumos mencionados. La ceniza de cáscara de palma aceitera es usada en porcentajes cuyos valores son de 10%, 20% y 30%. Los autores evaluaron la resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado. A través de los resultados, los autores notaron un ligero incremento de la resistencia cuando se utiliza 10% de ceniza. Al utilizar un 20% de reemplazo, la resistencia de esta muestra no supera al patrón, pero la diferencia es mínima. Los autores concluyen que la ceniza de cáscara de palma aceitera influye positivamente en la resistencia a la compresión del concreto siempre y cuando se utilice en proporciones no mayor al 20%.

Igba, U.; Ehikhuenmen, S.; Akinyele, J.; Osaghale, M. y Oyebisi, S. (2019), en esta investigación se analiza la influencia que tiene la ceniza de cáscara de arroz en el concreto, reemplazando distintos porcentajes de ceniza, los cuales son 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%, con una relación agua/cemento de 0.5. El ensayo que se realizó fue el de resistencia a la compresión con distintos días de curado, los cuales eran de 7, 14, 28, 60 y 90 días. Al momento de realizar los ensayos, la muestra patrón obtuvo una resistencia de 223.7 kg/cm², 232.6 kg/cm² y 321.2 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días respectivamente. Con respecto a las demás muestras, se notaron descensos en la resistencia a la compresión en todos los casos, siendo el 5% el reemplazo que más se acercó a los resultados de la muestra patrón. Como conclusión, existe un gran potencial en el uso de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo de cemento, a pesar de notar un descenso de resistencia en todos los casos, aclaran que se puede utilizar un 5% de ceniza en la construcción de viviendas convencionales y de bajo costo.

Ismail, M.; Adnan, M. y Deraman, R. (2021), analizan la influencia que tiene la ceniza de cáscara de palma aceitera en las propiedades físicas y

mecánicas del concreto. Los autores usaron porcentajes tales como 10%, 20% y 30% de ceniza como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento fue constante a lo largo de su investigación, siendo esta 0.6. Los autores realizaron el ensayo de cono de Abrams para determinar el asentamiento y a través de los resultados, pudieron notar como a mayor porcentaje de ceniza, el asentamiento disminuía. Caso similar ocurre con la densidad, la cual también disminuye progresivamente conforme se utiliza mayor cantidad de ceniza como reemplazo parcial, aunque en este caso la diferencia no es considerable. Con respecto a la propiedad de resistencia a la compresión y flexión, ambas fueron evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado. Para los ensayos de resistencia a la flexión, el mejor valor obtenido fue 380 kg/cm^2 cuando se usó 10% de ceniza, siendo superado por la muestra patrón, la cual alcanzó un valor de 403 kg/cm^2 . En los resultados de resistencia a la flexión, el valor más alto de las muestras con ceniza fue de 107 kg/cm^2 cuando se utilizó un 10% de esta mientras que la muestra patrón obtuvo un valor de 110 kg/cm^2 superando a todas las muestras. Los autores concluyen que la ceniza de cáscara de palma aceitera resulta beneficiosa siempre y cuando se use en proporciones adecuadas y recomiendan no exceder un 10% de reemplazo.

Jonida, P.; Ahmed, A.; Kamau, J. y Hyndman, F. (2018), evalúan las propiedades de asentamiento y resistencia a la compresión del concreto, el cual lleva ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. Utilizaron esta ceniza en porcentajes, cuyos valores fueron 2.5%, 5%, 10%, 15% y 20%. La relación agua/cemento usado por los autores fue de 0.5. Para determinar el asentamiento, realizaron el ensayo de cono de Abrams. Dentro de los valores obtenidos, los autores notaron un descenso en el asentamiento del concreto a medida que el porcentaje de reemplazo aumenta, lo cual conlleva cambios en la consistencia de la mezcla. En el caso de resistencia a la compresión, los ensayos fueron realizados a los 7, 14 y 28 días de curado. La muestra patrón se ve superada por las muestras que contienen 2.5%, 5% y 10% de ceniza como reemplazo de cemento. A partir del 15% de reemplazo, la resistencia resultó inferior a la muestra patrón, por lo tanto, los autores no recomiendan exceder un 10% de

reemplazo con la finalidad de mantener la mejora en la resistencia del concreto.

Kannan, V. (2018), en su investigación trabajan con cenizas de cáscara de arroz y metacaolín como reemplazo del cemento en dos sistemas binarios (reemplazo independiente de cada insumo por el cemento) y ternarios (ambos insumos a la vez como reemplazo) con el fin de obtener el porcentaje idóneo para la elaboración de concreto. En el método binario, el cemento es parcialmente reemplazado por ceniza de cáscara de arroz o metacaolín de 0% a 30%. Pero, en el caso de un método ternario, un reemplazo de material de 0% a 50%. En los resultados, haciendo mención solo en el caso binario, específicamente con el reemplazo de ceniza de cáscara arroz por el cemento. Los datos de resistencia a la compresión comparando la muestra para 28 y 90 días de curado, muestran que la resistencia a la compresión aumenta al reemplazar ceniza de cáscara de arroz desde un 15% hasta un 30%. Con este último reemplazo, la resistencia a la compresión alcanza un valor más alto siendo 339 kg/cm² a los 28 días y 352.5 kg/cm² a los 90 días de curado. Por lo tanto, el 30% de ceniza de cáscara de arroz se considera el límite óptimo.

Krishna, N.; Sandeep, S. y Mini, K. (2016), los autores con el fin de reducir el uso de cemento, buscan reemplazarlo con residuos agrícolas, las cuales tengan propiedades puzolánicas, de tal manera que aporten en las propiedades al concreto. En esta investigación se centra en la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento en distintos porcentajes, siendo estos 5%, 10%, 15% y 20%. La relación de agua/cemento fue constante en todas las mezclas, siendo el valor de esta 0.55. Se evaluaron dos propiedades del concreto, las cuales fueron la trabajabilidad y la resistencia a la compresión. Para la trabajabilidad del concreto, se apreció un decrecimiento conforme el porcentaje de reemplazo aumento; en el caso de la resistencia a la compresión, estos fueron realizados a los 7, 14 y 28 días de curado. Se observó que a los 28 días de curado la muestra patrón obtuvo un resultado de 270 kg/cm². El mayor valor obtenido, se dio al reemplazar un 10% de ceniza de cáscara de arroz, en donde se obtuvo un valor de 293 kg/cm², superior al valor de la muestra patrón.

Osman et al. (2021), los autores realizan distintos diseños de mezcla, dentro de los cuales se optó por usar ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento con la finalidad de analizar los cambios que puede generar dentro de las propiedades físico-mecánicas del concreto. Los porcentajes de reemplazo usados fueron de 10%, 20% y 30%. La relación agua/cemento que se utilizó fue de 0.5 y se mantuvo constante a lo largo de la investigación. Se analizó la consistencia, densidad y resistencia a la compresión. En el caso de la consistencia, se realizó el ensayo de cono de Abrams para determinar el asentamiento y posteriormente clasificarlo. La muestra patrón obtuvo un valor de 45 mm mientras que la muestra con un 10% de reemplazo alcanzó un valor de 42 mm. El asentamiento fue disminuyendo conforme se aumentó el porcentaje de reemplazo. Con respecto a densidad, los resultados tuvieron una tendencia similar, a medida que el porcentaje de reemplazo aumenta, la densidad disminuye. En el caso de los ensayos de resistencia a la compresión, se realizaron ensayos a los 7, 14 y 28 días de curado. La diferencia entre el patrón y la muestra con un 10% de reemplazo resultó de 40 kg/cm², siendo esta la mejor diferencia con respecto a los valores alcanzados. Los autores concluyen que el mayor porcentaje de reemplazo para usar la ceniza de cáscara de palma aceitera, deberá ser de 10% para evitar elaborar concretos menos resistentes.

Panchal, J.; Challagulla, S. y Kishore, I. (2021), investigan el uso de nuevos materiales que puedan reemplazar parcialmente al cemento en la elaboración del concreto debido a la alta contaminación que se genera cuando se produce. Dentro de estos materiales se encontraba la ceniza de cáscara de palma aceitera, la cual fue utilizada en porcentajes como 10%, 15%, 20%, 30% y 40%. Los autores realizan el ensayo de cono de Abrams para determinar el asentamiento del concreto para posteriormente, conocer la consistencia de este. Sus resultados indican que a medida que el porcentaje de ceniza aumenta, el asentamiento también lo hace. Con respecto a las propiedades mecánicas, los autores evalúan la resistencia a la compresión y flexión del concreto, ambos a 7, 14 y 28 días de curado. En el primer caso, los resultados del ensayo de resistencia a la compresión no son tan favorables debido a que solo la muestra con un 10% de ceniza

logra superar ligeramente a la muestra patrón. En el caso de resistencia a la flexión, los resultados son similares, siendo la muestra que contiene un 10% de ceniza la que mejor resultado alcanza. Los autores concluyen en que la ceniza de cáscara de palma aceitera es un buen sustituto del cemento ya que logra alcanzar los valores de la muestra patrón y recomiendan no exceder el 10% de reemplazo parcial.

Rajesh, G.; Narasimha, M.; Sai, R.; Durga, K. y Pavan, J. (2020), en su investigación, analizan el comportamiento físico-mecánico del concreto cuando se utiliza cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento que los autores utilizaron fue de 0.4 y se mantuvo constante para todas las muestras. Los porcentajes de ceniza que utilizaron los autores fueron 10%, 20% y 30%. Analizaron la densidad del concreto, donde notaron un incremento cuando se utilizó 10% de ceniza, valor que fue disminuyendo hasta llegar a tener un valor similar a la muestra patrón cuando se utilizó un 30% de reemplazo. Respecto a las propiedades mecánicas, realizaron ensayos para determinar la resistencia a la compresión y flexión del concreto. Los ensayos para ambos casos fueron realizados a los 7, 14 y 28 días de curado. Respecto a la resistencia a la compresión, en ninguno de los casos se logró superar la muestra patrón, sin embargo, la muestra con 10% de ceniza obtuvo un valor de 358 kg/cm² mientras que el patrón alcanzó un valor de 376 kg/cm² existiendo una diferencia de 18 kg/cm². En el caso de resistencia a la flexión, las muestras son 10% y 20% de ceniza como reemplazo parcial de cemento logran superar la resistencia del concreto patrón, sin embargo, al utilizar un 30% de ceniza, la resistencia disminuye considerablemente. Los autores concluyen que el uso de la ceniza de cáscara de palma aceitera resulta beneficioso ya que no se presentan una diferencia considerable entre los valores obtenidos y recomiendan utilizarlo en proporciones adecuadas.

Sanawung, W.; Cheewaket, T.; Tangchirapat, W. y Jaturapitakkul, C. (2017), evalúan la ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. En su investigación, los autores plantearon un diseño de mezcla con una relación agua/cemento de 0.5. La ceniza sería usada en porcentajes, los cuales fueron 15%, 25% y 35%. Evaluaron el asentamiento a través del ensayo de cono de Abrams. Durante los ensayos,

los autores notaron una tendencia a disminuir conforme se usaba mayor porcentaje de ceniza a excepción de la muestra con 35% de reemplazo ya que, a partir de este punto, el asentamiento volvió a incrementarse, no obstante, se seguiría encontrando por debajo de la muestra patrón. Con respecto a la resistencia a la compresión, los ensayos se realizaron a los 7, 28 y 90 días de curado. En todas las muestras donde se utilizó esta ceniza, ninguna logro alcanzar la resistencia del concreto patrón. El mejor resultado obtenido por los autores fue de 371 kg/cm^2 mientras que el patrón 404 kg/cm^2 existiendo así, una diferencia de 33 kg/cm^2 . Los autores no recomiendan utilizar porcentajes mayores al 15% de ceniza como reemplazo parcial de cemento debido a que la resistencia será afectada considerablemente.

Salam, M.; Safiuddin, M. y Jumaat, M. (2018), en su investigación, analizan la influencia de las cenizas de aceite de palma como material cementante suplementario para un concreto de alta resistencia. Se usó distintos porcentajes de reemplazo para la ceniza en estudio, los cuales fueron de 10%, 20% y 30% en todos los casos. A su vez, se usaron distintas relaciones agua/cemento, las cuales van desde 0.25 hasta una relación de 0.4. Para todos los casos se utilizó aditivo superplastificante en una relación entre 1 y 2%. En el caso de las propiedades mecánicas, se analizó la resistencia a la compresión del concreto a los 28 y 56 días de curado. Las resistencias del concreto con ceniza superan las resistencias del concreto patrón hasta con 20% de reemplazo ya que después de este valor, la resistencia tiende a disminuir, obteniendo valores inferiores al concreto patrón. Los autores ven viable el uso de la ceniza de cáscara de palma aceitera siempre y cuando no se usen en altos porcentajes, ya que la resistencia a la compresión tiende a disminuir cuando se supera el 20% de reemplazo.

Siddika, A.; Mamun, M. y Ali, M. (2018), el objetivo de su investigación fue analizar la influencia de la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento en la mezcla de concreto. Se trabajaron con porcentajes de 0%, 10% y 15% de ceniza como reemplazo parcial de cemento y con relaciones de agua/cemento de 0.4, 0.5 y 0.6; con el fin de someterlos a ensayos de asentamiento y resistencia a la compresión. Para el ensayo del

asentamiento, se realizó la prueba de cono de Abrams. A través del ensayo, los autores notaron que, a mayor porcentaje de ceniza como reemplazo parcial, el asentamiento disminuye. En el caso de los ensayos de resistencia a la compresión, se realizaron a los 7, 14 y 28 días de curado. En los resultados se observa que la muestra que obtuvo el valor más cercano fue de un reemplazo de 10% de ceniza de cáscara de arroz y con una relación agua/cemento de 0.4, en donde obtuvo un valor de 350 kg/cm². Se concluye que la ceniza de cáscara de arroz es un material adecuado como material cementoso suplementario, la cual puede ser obtenida de manera natural o controlada. Recomiendan no usar valores superiores al 10% debido a que la resistencia a la compresión tiende a disminuir cuando el porcentaje de reemplazo aumenta.

Sindhu, S. (2021), lleva a cabo su investigación debido a la contaminación que genera el cemento durante su producción, por lo que busco otros insumos capaces de reemplazar parcialmente el cemento. Su investigación se centró en la ceniza de cáscara de palma aceitera y las mejoras que podría traer este insumo en la propiedad de resistencia a la flexión del concreto. La relación agua/cemento se mantuvo constante durante su investigación, siendo esta 0.5. Los ensayos de resistencia a la flexión fueron realizados a los 7, 14 y 28 días de curado y usando 5%, 15%, 25%, 35% y 45%. En sus resultados, el autor pudo notar un incremento en la resistencia a la flexión cuando se utilizó un 5% y 15% de ceniza como reemplazo parcial de cemento. El autor ve viable el uso de esta ceniza y recomienda no exceder un 15% de reemplazo.

Sulaiman et al. (2018), los autores investigaron las mejoras que podrían tener las propiedades físico-mecánicas del concreto si se optaba por usar la ceniza de cáscara de palma aceitera como un reemplazo parcial del cemento. Optaron por usar porcentajes de esta ceniza, los cuales fueron 5%, 10%, 15% y 20%. La relación agua/cemento fue de 0.45 y se mantuvo constante a lo largo de la investigación. Los autores realizaron ensayos para determinar el asentamiento del concreto para posteriormente conocer la consistencia de este. Notaron que, a mayor porcentaje de ceniza, el asentamiento se incrementaba. Con respecto a las propiedades mecánicas, realizaron los ensayos de resistencia a la compresión y flexión. Estos

fueron realizados a los 7, 14 y 28 días de curado. Para ambos casos, los autores tuvieron resultados favorables, siendo 10% el porcentaje óptimo de reemplazo. Los autores recomiendan no exceder el 10% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento debido a que la resistencia tiende a disminuir conforme aumenta el porcentaje de reemplazo.

1.2. Bases teóricas vinculadas a las variables del estudio

1.2.1. Cenizas de residuos agrícolas

Es el material producto de la quema de los residuos que han sido causados por actividades como agricultura. Este proceso de obtención de ceniza puede ser llevado por distintos propósitos, como en algunos casos se usan las cáscaras de estos residuos agrícolas como un combustible para generar calor, siendo la ceniza el residuo de la actividad realizada. En otros casos, se suelen quemar estas cenizas con el fin de eliminar los residuos agrícolas de manera rápida generando así una contaminación ya que estas terminan en botaderos. En esta investigación se está considerando el uso de las cenizas de cáscara de arroz y cáscara de palma aceitera como materiales cementantes suplementarios.

1.2.2. Ensayos del concreto en estado fresco

Es el estudio del concreto en su estado moldeable, en la cual es sometido a diferentes pruebas como el ensayo del cono de Abrams. Esta prueba nos ayuda a conocer la consistencia del concreto, lo cual indica su estado de fluidez mientras conserva su estado fresco. La normativa que brinda las indicaciones para realizar la prueba es la Norma Técnica Peruana (N.T.P.) 339.035. Otra propiedad que se puede medir mientras el concreto está en estado fresco es la densidad. Con esta propiedad podemos conocer el peso del concreto respecto a una unidad de volumen. La normativa que brinda las indicaciones para realizar los ensayos es la N.T.P. 339.046.

1.2.3. Ensayos del concreto en estado endurecido

Los ensayos para el concreto en estado endurecido tienen como finalidad medir la resistencia del concreto en diferentes edades de curado. Las muestras del concreto sometidos a las pruebas correspondientes deben superar los estándares de calidad del proyecto de tal manera que nos brinde una confiabilidad necesaria en las obras civiles. Los ensayos a tomar en

cuenta para la presente investigación son la resistencia a la compresión y flexión.

1.2.4. American Society for Testing and Materials (ASTM)

Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés, es una organización internacional fundada en el año 1898. Se encuentra dentro de las organizaciones más grandes del mundo, encargándose del desarrollo y posterior publicación de normas aplicándose a diversas áreas, desde acero hasta sostenibilidad. Los estándares de esta organización son utilizados y aceptados alrededor del mundo, los cuales son elaborados por profesionales de distintos países, haciendo que el procedimiento de creación de estas normas sea abierto, transparente y consensuada.

1.2.5. American Concrete Institute (ACI)

Instituto Americano del Concreto, por sus siglas en inglés, es una organización internacional fundada en el año 1904. Desarrolla principalmente normas teniendo como referencia al concreto. Cuenta con diversas actividades como foros, convenciones internacionales, entre otros donde se discuten temas relacionados con el concreto, desarrollando soluciones a los problemas presentes.

1.2.6. Norma E 060

Carcausto, M. (2018), la norma peruana contiene diversas especificaciones, las cuales deben tomarse en cuenta al momento de realizar cualquier tipo de estructura de concreto armado. Esta norma fija las exigencias y requisitos mínimos para un análisis, diseño, materiales de construcción y control de calidad. Asimismo, también incluye las especificaciones de los agregados como tamaño máximo nominal.

1.3. Definición de términos básicos

a) Cenizas de cáscara de arroz (CCA)

La ceniza de cáscara de arroz (CCA) es un subproducto abundante generado por la quema de cáscara de arroz. Este compuesto entre un 80%-95% de sílice. Tiene una alta estructura celular microporosa, que ayuda a una mejor reacción puzolánica en mezclas que contienen cemento.

b) Ceniza de cáscara de palma aceitera (CCPA)

Es un subproducto generado por la quema de la cáscara y racimos del árbol de palma en la producción de energía. Su producción trae consigo fuertes críticas por su impacto ambiental, más aún con los residuos que se generan. Es un material con un contenido de sílice moderado, entre 60 y 80%, por lo cual se prevé que tendrá un buen comportamiento dentro del concreto.

c) Cemento portland

Es el material más importante para la preparación del concreto, obteniéndose de la combinación del yeso y la calcinación de materiales como piedra caliza, arcilla, entre otros. Es un material conglomerante ya que es capaz de unir otros materiales como piedra y arena, después de interactuar químicamente con el agua. (Chinchón, S. y Sanjúan, M., 2014)

d) Agregado fino

El agregado fino es uno de los materiales que se usa para la elaboración del concreto. Este material no interfiere en las reacciones químicas que se ocurre cuando el agua se mezcla con el cemento. Este material tendrá que ser durable y libre de cualquier impureza, los cuales pueden ser polvo, limo y materias orgánica. (Harmsen, T., 2002)

Su granulometría debe estar dentro del rango de 150 μm (tamiz N°100) a 4.75 mm (tamiz N°4).

e) Agregado grueso

Material constituido por rocas, las cuales pasan por una chancadora dando como resultado las piedras que se usa en la mezcla del concreto. Dentro de su composición, las arcillas no deben exceder en 5%; del mismo modo el material orgánico no debe exceder en 1.5%. (Harmsen, T., 2002)

Su granulometría debe estar dentro del rango de 9.50 mm (3/8") a 100 mm (4").

f) Agua en el concreto

Es uno de los materiales más importantes durante la elaboración del concreto, “debido a que, al mezclarse con el cemento, se inicia el proceso de fraguado, dando como resultado una pasta, la cual comienza a endurecerse a temperatura ambiente y sumergido en agua” (Chinchón, S. y Sanjúan, M., 2014, p.12). También es usado para el curado del concreto cuando está en estado endurecido. Al formar parte de la elaboración del concreto, debe cumplir con ciertas normativas como estar libre de material orgánico.

g) Aditivos

Son productos químicos, los cuales “son adicionados con el fin de mejorar la elaboración y las propiedades del cemento. Estos materiales deben ser utilizados en dosificaciones adecuadas para no perjudicar las propiedades del concreto, tampoco causar la corrosión de las armaduras o metales embebidos en ellos” (Chichón, S. y Sanjúan, M., 2014, p.36).

h) Densidad del concreto

La densidad del concreto hace referencia al peso de este material en kilogramos (kg) con respecto a una unidad de volumen, siendo esta en centímetros cúbicos (cm^3) en muchos casos. El concreto convencional tiene una densidad entre 2200 kg/cm^3 a 2400 kg/cm^3 . Esta propiedad también nos permite clasificar el tipo de concreto, tal como se muestra en la Tabla 6. La densidad tiene relación directa con los materiales usados durante su elaboración por lo que es variable según la dosificación.

i) Consistencia del concreto

El asentamiento es una medida que representa la consistencia de un concreto y permite clasificar al concreto según su grado de fluidez. El asentamiento se obtiene a través del ensayo de cono de Abrams, realizado cuando el concreto está en estado fresco cumpliendo la norma respectiva, la cual puede realizarse tanto en laboratorio como a nivel de campo debido a la facilidad de la prueba. (Gutiérrez, L.,2003)

j) Resistencia a la compresión

Es una de las propiedades mecánicas más importantes y destacables que posee el concreto en estado endurecido. Es la capacidad que tiene el concreto para soportar una determinada carga sobre un área, siendo expresado generalmente en kg/cm^2 . Esta propiedad también permite clasificar el concreto según la resistencia obtenida al realizar el ensayo, el cual se realiza con especímenes cilíndricos a distintos días de curado siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 339.034. (Rajendrachari, S. y Orhan, U.,2021)

k) Resistencia a la flexión

Consiste en la aplicación de carga a una viga de concreto de una determinada sección transversal y con una luz de mínimo tres veces el espesor. Se puede realizarse mediante dos ensayos, siendo el primero, la aplicación de cargas en los puntos tercios de la viga, teniendo como guía la norma ASTM C78 y la aplicación de carga en el punto central, el cual brindara un mayor en el módulo de rotura

comparado con el caso anterior. Se realiza tomando en cuenta la norma ASTM C293. Se suele expresar en unidades de libra por pulgada cuadrada (MPa) o en kg/cm². Gutiérrez, L. (2003) afirma: “Si la resistencia a la compresión del concreto aumenta entonces su resistencia a la flexión aumenta” (p.56).

1.4. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

En la presente investigación, a través de la Figura 2, se plantea el siguiente modelo conceptual, el cual permitirá sustentar las hipótesis y objetivos de la presente investigación. El objetivo general es el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del concreto usando las cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento. Las propiedades a tomar en cuenta serán la consistencia, densidad, resistencia a la compresión y flexión. Así mismo se menciona los ensayos que se tomaran en cuenta dentro de las investigaciones recopiladas concluyendo en un porcentaje óptimo de reemplazo de estas cenizas de residuos agrícolas.

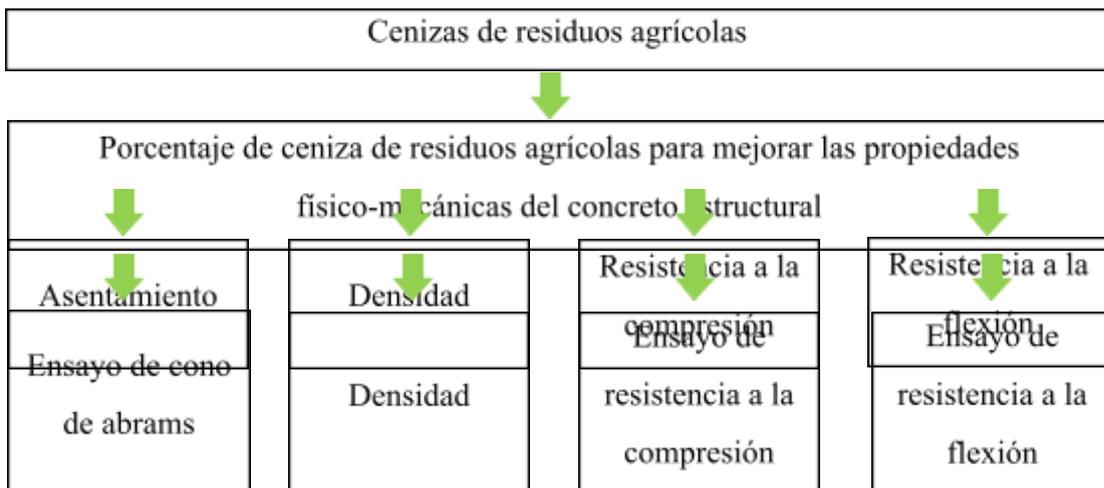


Figura 2. Fundamentos que sustentan la hipótesis

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al determinar el porcentaje óptimo de cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento que mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.
- b) Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.
- c) Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión.
- d) Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión.

1.5. Variables

1.5.1. Definición conceptual de las variables

a) Variable independiente

Las cenizas de residuos agrícolas son consideradas un desecho generado a partir de la industria agrícola. Sin embargo, pueden servir de utilidad como un sustituto parcial del cemento porque presenta propiedades puzolánicas luego de haber sido sometidas a un proceso de combustión adecuado.

b) Variable dependiente

Propiedades físico-mecánicas del concreto

Características propias que posee el concreto en estado fresco y endurecido respectivamente. A partir de estas pueden tener distintas clasificaciones según su propiedad, las cuales están sujetas a normativas, así como índices de calidad.

1.5.2. Operacionalización de variables

Luego de realizar la recopilación de fuentes con muestras de concreto con distintos porcentajes de ceniza de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento, se procede a evaluar las propiedades físico-mecánicas indicadas, las cuales son consistencia, densidad, resistencia a la compresión y flexión, con el fin de analizar la influencia de este material y definir si resultan favorables o desfavorables, así como porcentajes óptimos de reemplazo a utilizar.

1.5.3. Matriz operacional de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
Variable Independiente	Porcentaje de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento	Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz y palma aceitera como reemplazo parcial de cemento.	Porcentaje (%)	Artículos científicos especializados en el tema. NTP 334.104 "Cenizas volante y puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto"	La presente investigación es de tipo bibliográfico, documental y descriptivo. La metodología que sigue la investigación es documental debido a que se sostiene en base a la información recolectada en tesis internacional y nacional, así como artículos científicos. Los estudios revisados utilizaron un método deductivo, orientación aplicada. La recolección de datos es retrolectivo, el tipo explicativo, descriptivo. El diseño es longitudinal, prospectivo y estudio de cohortes.
Cenizas de residuos agrícolas	Porcentaje de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento		Porcentaje (%)	Tesis, fuentes documentales, fichas técnicas e internet.	
Variable Dependiente				NTP 339.036 "Practica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco"	
Propiedades físico-mecánicas del concreto	Consistencia - Densidad	Resultado de los ensayos de asentamiento y densidad del concreto en laboratorio.	Milímetro (mm) - Kilogramo por centímetro metro (kg/m ³)	ASTM C143 "Método de prueba estándar para el asentamiento del concreto" NTP 339.046: Método de ensayo para determinar la densidad del concreto	

			NTP 339.035 "Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams"
			NTP 339.034 "Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas"
Resistencia a la compresión y flexión	Resultados de los ensayos correspondientes a resistencia a la compresión y flexión del concreto en laboratorio.	Kilogramo por centímetro cuadrado (kg/cm ²)	ASTM C39 "Método de Ensayo para esfuerzo de Compresión en Concreto"
			NTP 339.078 "Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo"

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo bibliográfico, documental y descriptivo. La metodología que sigue la investigación es documental debido a que se sostiene en base a la información recolectada en tesis internacionales y nacionales, así como artículos científicos, todo esto relacionado con la temática del reemplazo parcial de cemento por un porcentaje de cenizas agrícolas como las cenizas de cáscara de arroz y palma aceitera.

2.1. Tipo y nivel

2.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue descriptivo, correlacional y explicativo, lo cual nos permitió explicar y plantear una solución a partir de la descripción del problema, teniendo como base las distintas fuentes de investigación recopiladas, cuyos resultados fueron descritos y analizados a lo largo de la investigación.

2.1.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación fue descriptivo debido a que permitió analizar las variables describiéndolas a cada una de estas para cuantificarlas a través del estudio de la consistencia, densidad, resistencia a la compresión y flexión del concreto.

2.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue de tipo no experimental, longitudinal y estudio de cohortes, ya que no realizamos una manipulación física de las variables y se evalúan distintas mezclas de concreto entre convencionales y concreto con cenizas de residuos agrícolas. También fue retrospectivo, ya que evaluamos datos de investigaciones pasadas para conocer la influencia de las cenizas de residuos agrícolas en el concreto como un reemplazo parcial de cemento

2.3. Método de la investigación

El método de investigación fue deductivo ya que se contaron con diversos resultados, cálculos y gráficos los cuales fueron utilizados para dar conclusiones respecto a la mejora de las propiedades físico-mecánicas del concreto. Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo debido a que nos basamos en recolectar y analizar datos que ya han sido estudiados con el fin de realizar un análisis general a estos.

Tabla 2.
Resumen de tipología de referencias

Autor	Titulo	Investigación					Estudio de diseño
		Diseño	Tipo	Método	Orientación	Enfoque	
Fapohunda, C., y Oluwaseguno ta, O. (2019).	Evaluación del rendimiento estructural del hormigón con fracción de cemento parcialmente reemplazada por cenizas de cáscara de aceite de palma.	Experimental y retrospectivo	Experimental	Deductivo	Básica	Mixto	Cohortes
Goh D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022).	Rendimiento de la viga de hormigón de refuerzo que contiene ceniza de cáscara de palma aceitera y poliestireno expandido (EPS) en términos de comportamiento de flexión	Experimental y correlacional	Experimental	Deductivo	Básica	Mixto	Cohortes
Igba, U.; Ehikhuenmen, S.; Akinyele, J.; Osaghale, M. y Oyebisi, S. (2019)	El efecto de la sustitución parcial del cemento de piedra caliza Portland nigeriano por residuos agrícolas como ceniza de cáscara de arroz en el concreto (2019)	Experimental y correlacional	Experimental	Deductivo	Básica	Mixto	Cohortes
Siddika, A.; Mamun, M. y Ali, M. (2018).	Estudio sobre concreto con ceniza de cáscara de arroz.	Experimental y retrospectivo	Experimental	Deductivo	Básica	Mixto	Cohortes
Sindhu, S. (2021).	Rendimiento de microestructura y durabilidad del concreto que contiene cenizas de racimo de fruta de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario.	Experimental y retrospectivo	Experimental	Deductivo	Básica	Mixto	Cohortes

Fuente: Elaboración propia

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

La población de la presente tesis fueron todas las investigaciones relacionadas al tema, las cuales contienen ceniza de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de palma aceitera en el concreto, siguiendo todas las normativas que están ligadas al estudio del concreto, específicamente a las propiedades físico-mecánicas. Estas normativas nos brindan el procedimiento para obtener los resultados de los ensayos de cada propiedad, resultados que analizaremos en esta investigación.

En lo que respecta a las investigaciones, nos encontramos con una diversidad de autores nacionales como internacionales y referente a las normativas tenemos la Norma Técnica Peruana (N.T.P) 339.035, método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams; N.T.P 339.034, método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas; N.T.P 334.104, practica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco; NTP 339.078, Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo, entre otros.

Tabla 3

Resumen de población de referencias

Autor	Titulo	Población
Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017)	Evaluación del rendimiento estructural del hormigón con fracción de cemento parcialmente reemplazada por cenizas de cáscara de aceite de palma.	Diseño de resistencia de 420 kg/cm ² , con porcentajes de reemplazo del 05%, 10%, 15% y 20% como sustituyente del cemento de ceniza de palma aceitera en el diseño de mezcla.
Goh D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022).	Rendimiento de la viga de hormigón de refuerzo que contiene ceniza de cáscara de palma aceitera y poliestireno expandido (EPS) en términos de comportamiento de flexión	Porcentajes de reemplazo de ceniza de cáscara de arroz en 10% y 20% ceniza de palma aceitera respecto al peso del cemento en su diseño.
Igba et al. (2019)	El efecto de la sustitución parcial del cemento de piedra caliza Portland nigeriano por residuos agrícolas como ceniza de cáscara de arroz en el concreto (2019)	Porcentajes de reemplazo de ceniza de cáscara de arroz en 5%, 10%, 15% 20% y 25% respecto al peso del cemento en su diseño.
Siddika, A.; Mamun, M. y Ali, M. (2018).	Estudio sobre concreto con ceniza de cáscara de arroz.	Porcentajes de reemplazo de ceniza de cáscara de arroz en 10% y 15% respecto al peso del cemento en su diseño.
Sindhu, S. (2021).	Rendimiento de microestructura y durabilidad del concreto que contiene cenizas de racimo de fruta de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario.	Porcentajes de reemplazo de ceniza de cáscara de arroz en 0%, 5%, 15% 25% y 35% de ceniza de palma aceitera respecto al peso del cemento en su diseño.

Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Muestra

La muestra son las investigaciones recopiladas en la presente investigación, siendo estas artículos científicos y tesis entre nacionales e internacionales, en las cuales se incorpora la ceniza de cáscara de arroz y la ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento en el concreto, donde se evalúa la consistencia, densidad, la resistencia a la compresión y flexión.

Tabla 4
Resumen de muestras de referencias

Autor	Título	Muestra
Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017).	Evaluación del rendimiento estructural del hormigón con fracción de cemento parcialmente reemplazada por cenizas de cáscara de aceite de palma.	Un total de 3 probetas para cada porcentaje de reemplazo para cada día de rotura.
Goh D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022).	Rendimiento de la viga de hormigón de refuerzo que contiene ceniza de cáscara de palma aceitera y poliestireno expandido (EPS) en términos de comportamiento de flexión	Un total de 3 probetas para cada porcentaje de reemplazo para el día de rotura.
Igba et al. (2019)	El efecto de la sustitución parcial del cemento de piedra caliza Portland nigeriano por residuos agrícolas como ceniza de cáscara de arroz en el concreto (2019)	Se realizó el ensayo de 3 probetas por cada tipo de mezcla
Siddika, A.; Mamun, M. A. A. y Ali, M. H. (2018).	Estudio sobre concreto con ceniza de cáscara de arroz.	Se realizó el ensayo de 3 probetas por cada tipo de mezcla
Sindhu, S. (2021).	Rendimiento de microestructura y durabilidad del concreto que contiene cenizas de racimo de fruta de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario.	Se realizó el ensayo de 3 probetas por cada tipo de mezcla

Fuente: Elaboración propia

2.5. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

Técnica y método

- a) Revisión documental.
- b) Ensayo de asentamiento y densidad del concreto.
- c) Ensayo de resistencia a la compresión, flexión.

Instrumentos

- a) Formato de recolección de datos según ensayos realizados por los autores.
- b) Hojas de cálculo de ensayos realizados.
- c) Diseños de mezclas.

Se usaron la revisión documental para la recolección de datos usando las distintas plataformas de bases académicas, tales como Scopus, Proquest, entre otros. Se tomó en cuenta algunas normas como la N.T.P. 339.035, método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de abrams, N.T.P. 339.034, método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas, entre otras normas tanto nacionales como internacionales.

2.6. Descripción de procedimientos de análisis de datos

Como primer paso se elaboró la pregunta a responder en la presente investigación, la cual es ¿En qué medida las cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto? De esta manera se pudo definir las variables a usar. Luego se procedió a recopilar datos para nuestra investigación, los cuales fueron extraídos a través de distintas fuentes, tanto nacionales como internacionales. Se analizaron los ensayos de asentamiento y densidad, así como los ensayos de resistencia a la compresión y flexión. Finalmente, se realizó un proceso de filtrado para obtener la información más relevante para proceder a evaluar los resultados obtenidos a través de Tablas y gráficos. Toda esta información recolectada fue registrada en el software Microsoft Excel con el fin de realizar una presentación adecuada de los resultados, siendo estos, el porcentaje óptimo de cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para poder realizar un análisis de todos los resultados y posteriormente compararlos en la presente tesis. Se seleccionaron diversas fuentes de investigación, las cuales resaltan los indicadores planteados en la tesis, la cual está enfocada en las propiedades de consistencia, densidad, resistencia a la compresión y flexión. A continuación, se presentan algunos parámetros para el análisis de resultados.

Tabla 5

Rango de consistencia del concreto según asentamiento

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción
Muy seca	0-20	Prefabricado de alta resistencia, revestimiento de muros pantalla
Seca	20-35	Pavimentos
Semi-seca	35-50	Pavimentos, concreto simple, losas poco reforzadas
Media (plástica)	50-100	Losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones
Semi Fluida	100-150	Elementos estructurales esbeltos
Fluida	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ"
Super Fluido	Superior a 200	Elementos muy esbeltos

Fuente: Valverde, E. y Vargas, J. (2020).

Tabla 6

Clasificación de concreto según su densidad

Tipo de concreto	Masa unitaria del concreto (kg/m ³)	Ejemplo de utilización
Ultraligero	500-800	Concreto usado en aislamiento
Ligero	950-1950	Mampostería no estructural, concreto estructural
Normal	2250-2450	Concreto estructural y no estructural
Pesado	3000-5600	Concreto para proteger de radiación gamma o contrapesos

Fuente: Rivera, G. (2021).

1.1. Análisis e interpretación de los resultados

2.6.1. Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto.

a) Ahsan, M. y Hossain, Z. (2018)

Para su investigación, los autores utilizaron 10% y 20% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. La relación a/c fue de 0.47. Para la fase experimental se elaboraron 3 diseños, misma resistencia a la compresión, pero diferentes grados de finura de ceniza de cáscara de arroz, ya que mencionan que, al usar cenizas con un mayor grado de finura, la reacción puzolánica será mejor que las demás, esto lo afirman en base a sus antecedentes de la misma investigación. Los tres grados de finura fueron: CCA1 con una finura de 600 μm ; CCA2 de 150 μm y CC3 de 44 μm .

En la siguiente Tabla 7, se presenta los resultados del asentamiento.

Tabla 7

Asentamiento con ceniza de cáscara de arroz con tamaños de 600 μm , 150 μm y 44 μm .

CCA (%)	Asentamiento (mm)
0	90
10 - CCA1	90
20 - CCA1	115
10 - CCA2	25
20 - CCA2	25
10 - CCA3	40
20 - CCA3	50

Fuente: Ahsan, M. y Hossain, Z. (2018).

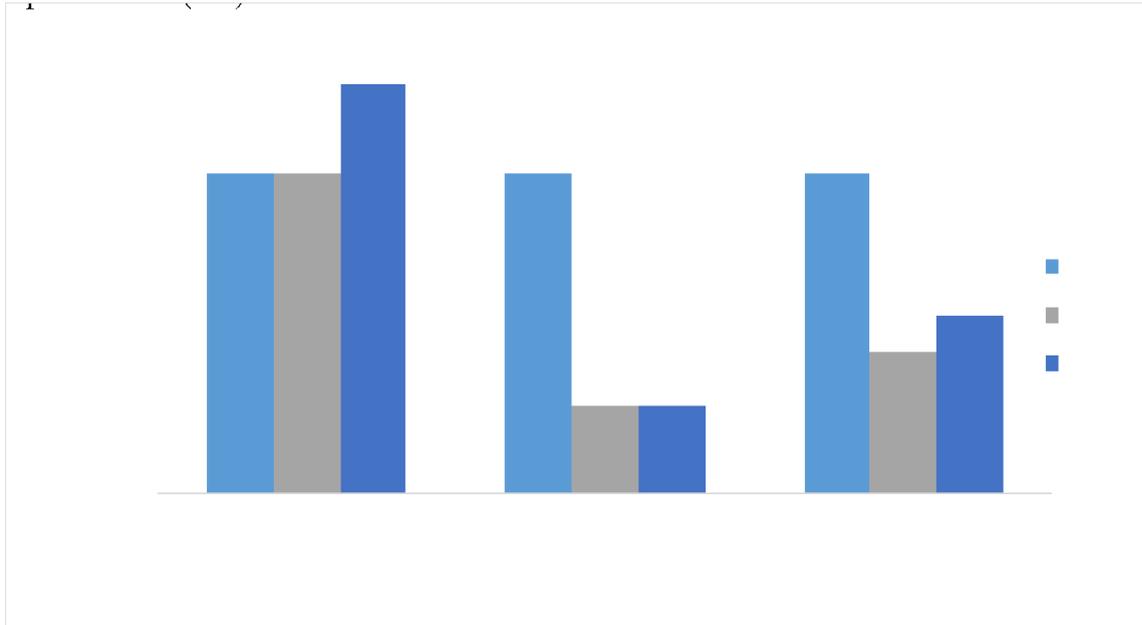


Figura 3. Asentamiento con ceniza de cáscara de arroz con tamaños de 600 um, 150 um y 44 um.

Fuente: Elaboración propia.

Se denota que la muestra patrón, según la Tabla 5, entra en la categoría de un concreto de consistencia semi seca; evaluando la consistencia cuantitativamente no hay una diferencia entre la muestra patrón y la muestra con 10% de reemplazo parcial, además con este mismo porcentaje no varía la categoría, esta evaluación solo está enfocada con la ceniza CCA1. En cambio, cuando se usa la ceniza CCA2 y CC3, la ceniza como reemplazo parcial de cemento, aparte de un decrecimiento numérico del asentamiento también cambia su categorización de consistencia, de consistencia media a semi-seca (CCA3) y seca (CCA2).

En la siguiente Tabla 8, se presenta los resultados de la densidad.

Tabla 8

Densidad con ceniza de cáscara de arroz con tamaños de 600 μm , 150 μm y 44 μm .

CCA (%)	Densidad (kg/m^3)
0	2435
10 - CCA1	2259
20 - CCA1	2179
10 - CCA2	2323
20 - CCA2	2275
10 - CCA3	2371
20 - CCA3	2323

Fuente: Ahsan, M. y Hossain, Z. (2018).

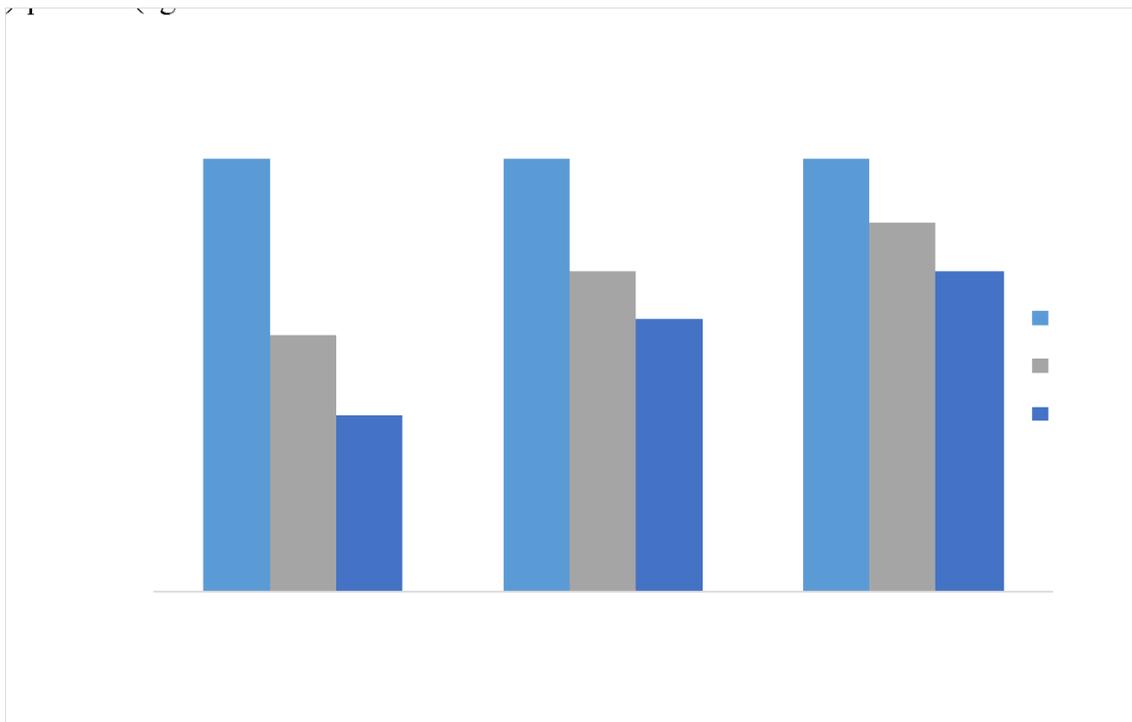


Figura 4. Densidad con ceniza de cáscara de arroz con tamaños de 600 μm , 150 μm y 44 μm .

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera se denota que la muestra patrón, según la Tabla 6 en contraste con la Tabla 8, entra en la categoría de un concreto de densidad normal; analizando la consistencia cuantitativamente hay una diferencia promedio de $117 \text{ kg}/\text{cm}^3$ entre las muestras patrones y las muestras con 10% de reemplazo de parcial. En la Figura 4, se denota que no hay un

aumento de esta propiedad con la inserción de estas cenizas, sin embargo, a pesar de existir un decrecimiento de esta propiedad, este por ser numéricamente pequeño, no cambia su categorización de densidad de cada diseño, contemplada en la Tabla 6.

b) Siddika et al. (2018)

Para su investigación, los autores utilizaron 10% y 15% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. Y se diseñó con tres relaciones a/c: 0.4; 0.5 y 0.6. En base a sus antecedentes, afirman que, la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento en el diseño del concreto, posee una mayor densidad que el concreto convencional, pero conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo, esta propiedad decrece, haciendo un concreto cada vez menos denso. De igual manera en base a sus antecedentes afirman que existe una tendencia en la disminución de la trabajabilidad conforme el porcentaje de reemplazo parcial aumenta, por ello recomiendan que se utilice aditivos adecuados. Los resultados de la consistencia y densidad de la investigación se presentan en las siguientes Tablas y Figuras.

Tabla 9

Asentamiento con relaciones agua/cemento de 0.4, 0.5 y 0.6.

CCA (%)	a/c	Asentamiento (mm)
0	0.4	40
	0.5	62
	0.6	95
10	0.4	31
	0.5	52
	0.6	85
15	0.4	25
	0.5	40
	0.6	72

Fuente: Siddika et al.,2018.

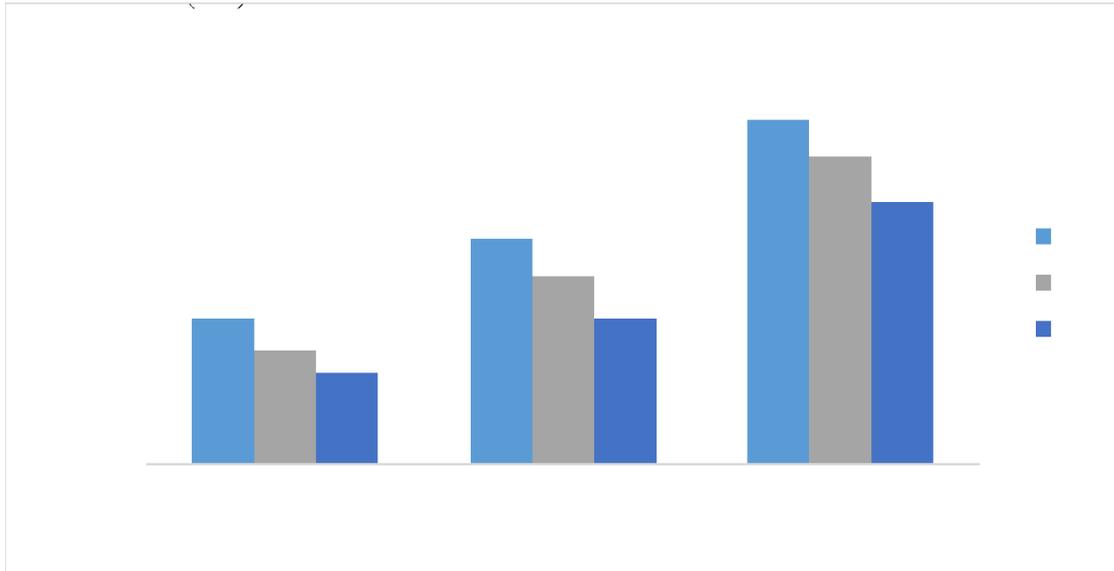


Figura 5. Asentamiento con relaciones agua/cemento de 0.4, 0.5 y 0.6.

Fuente: Elaboración propia.

Se denota que la muestra patrón, según la Tabla 5, entra en la categoría de un concreto de consistencia semi seca para una relación a/c 0.4, concreto de consistencia media para una relación a/c 0.5 y concreto de consistencia media para una relación a/c 0.6, evaluando la consistencia cuantitativamente hay una diferencia promedio de 10 mm entre la muestra patrón y la muestra con 10% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento; bajo esta diferencia no varía la categoría de consistencia de cada muestra.

c) Huertas M. y Regalado L. (2018)

Para su investigación, los autores utilizaron 8%, 12% y 16% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, se escogió una resistencia a la compresión de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, cuya relación agua/cemento fue de 0.63. El diseño de mezcla que se consideró un slump de 76 mm a 102 mm. Respecto a los resultados de slump, cuando se sustituye cada vez más cantidad de ceniza de cáscara de arroz, se obtiene una mezcla más plástica. En los resultados se menciona que con un 8% de ceniza de cáscara de arroz, el slump es de 89 mm, resultando similar a la mezcla del concreto control; los resultados difieren cuando se sustituye con un 12% y 16%, el slump se incrementa a 102 mm y 115 mm respectivamente.

En la siguiente Tabla 10, se presenta los resultados del asentamiento.

Tabla 10

Asentamiento con 8%, 12% y 16% de ceniza de cáscara de arroz.

CCA (%)	Asentamiento (mm)
0	87
8	89
12	102
16	115

Fuente: Huertas M. y Regalado L. (2018).

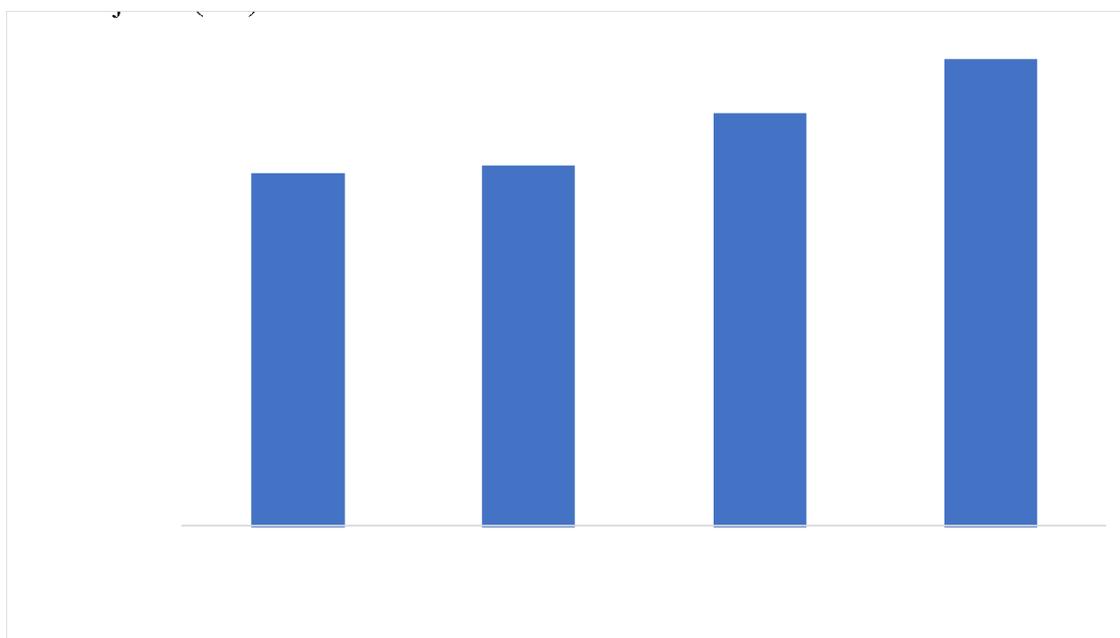


Figura 6. Asentamiento con 8%, 12% y 16% de ceniza de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia.

Se denota que la muestra patrón, según la Tabla 5, entra en la categoría de un concreto de consistencia media, evaluando la consistencia cuantitativamente hay una diferencia de 2 mm entre la muestra patrón y la muestra con 8% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, esta diferencia es positiva; bajo esta diferencia no varía la categoría de consistencia de las muestras.

d) Montero, D. (2017).

Para su presente investigación se tuvo un diseño de resistencia a la compresión $f'c$ de 210kg/cm^2 , los autores utilizaron 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento para todas las muestras fueron de 0.4. Según los resultados, al usar 15% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento en la mezcla, se mantiene una trabajabilidad igual que al usar un porcentaje de 10%, en comparación con un reemplazo de 25% de ceniza de cáscara de arroz, ya que obtuvo un asentamiento mucho menor que el de 10% y 15% de reemplazo y de la muestra patrón.

En la siguiente Tabla 11, se presenta los resultados del asentamiento.

Tabla 11

Asentamiento con 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz.

CCA (%)	Asentamiento (mm)
0	90
10	80
15	80
20	75
25	65

Fuente: Montero, D. (2017).

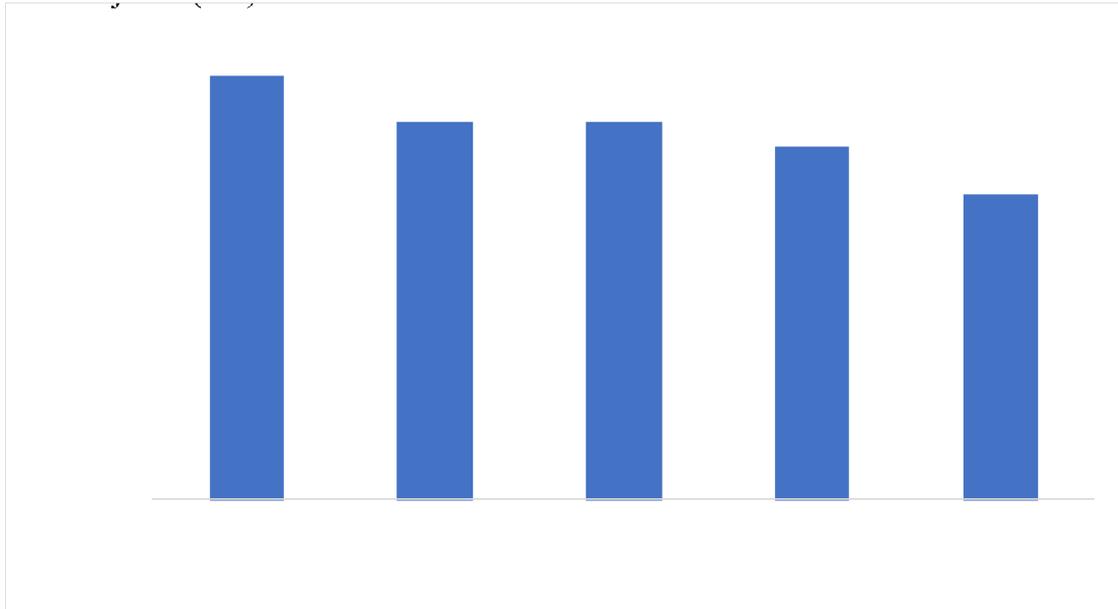


Figura 7. Asentamiento con 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia.

Se denota que la muestra patrón, según la Tabla 5 en contraste con la Tabla 11, entra en la categoría de un concreto de consistencia media, evaluando la consistencia cuantitativamente hay una diferencia negativa de 10 mm entre la muestra patrón y la muestra con 10% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento; bajo esta diferencia no varía la categoría de consistencia de las muestras.

En la siguiente Tabla 12, se presenta los resultados de la densidad

Tabla 12

Densidad con 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz.

CCA (%)	Densidad (kg/m ³)
0	2473
10	2469
15	2439
20	2411
25	2389

Fuente: Montero, D. (2017).

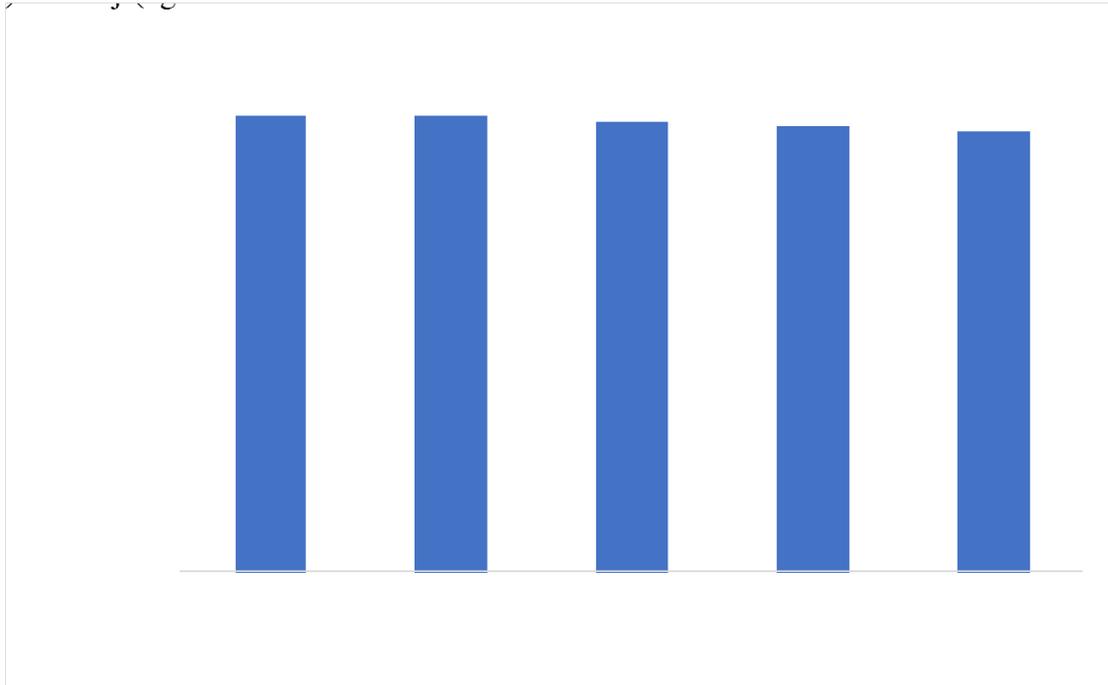


Figura 8. Densidad con 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la muestra patrón, según la Tabla 12 en contraste con la Tabla 6, entra en la categoría de un concreto de densidad normal - pesado evaluando la consistencia cuantitativamente hay una diferencia negativa de 4 kg/cm³ entre la muestra patrón y la muestra con 10% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento; y bajo este mismo porcentaje no varía la categoría de densidad de las muestras.

e) Montero, S. (2019).

Para su investigación se elaboraron cuatro diseños de mezcla con diferentes resistencias a la compresión, las cuales fueron de 175 kg/cm², 210 kg/cm², y 280 kg/cm², las cenizas de cáscara de arroz como reemplazos parciales de cemento fueron de 10%, 15% y 20%.

En los resultados de la presente investigación, se aprecia que la consistencia decrece cuando la ceniza de cáscara de arroz reemplaza parcialmente al cemento; para la presente investigación el reemplazo parcial óptimo es de 10%, con este porcentaje se obtuvo mayores resultados a la resistencia a la compresión y un slump de 91 mm a 102 mm. El diseño de slump para todas las muestras fueron de 76 mm a 102 mm.

En la siguiente Tabla 13, se presenta los resultados del asentamiento.

Tabla 13

Asentamiento con 10%, 15% y 20% de ceniza de cáscara de arroz.

CCA (%)	Resistencia $f'c$ (kg/cm ²)	Asentamiento (mm)
10	175	101
	210	96
	280	91
15	175	89
	210	84
	280	81
20	175	51
	210	51
	280	51

Fuente: Montero, S. (2019).

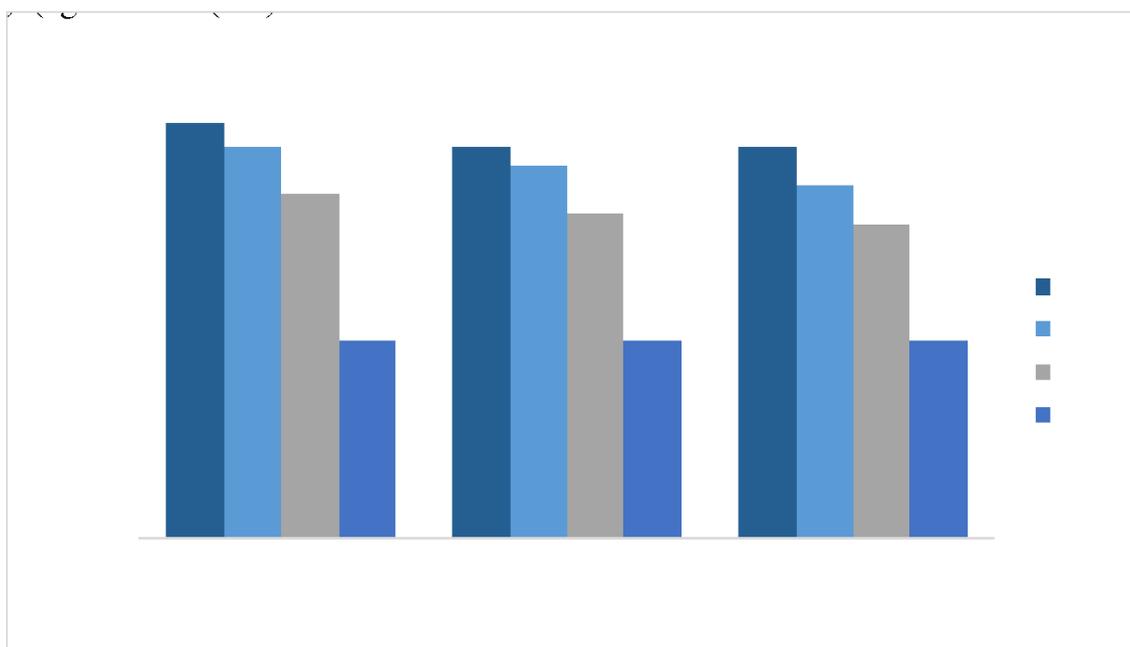


Figura 9. Asentamiento con 10%, 15% y 20% de ceniza de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia.

Se denota que la muestra patrón, según la Tabla 5, todas las muestras presentadas por el autor entra en la categoría de un concreto de consistencia semi fluida, evaluando la consistencia cuantitativamente hay una diferencia promedio de 7 mm entre la muestra patrón y la muestra con

10% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento; bajo esta diferencia si hay una variación de categoría de consistencia, pero esto se debe por que los resultados se encuentran cerca al rango inferior de un concreto semi fluida.

1.1.1. Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto.

a) Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O, (2019)

Para su investigación, los autores usaron 5%, 10% y 15% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento utilizado fue de 0.5. Los autores no utilizaron ningún tipo de aditivo. En la siguiente Tabla 14 se presentan los resultados del asentamiento, datos que fueron obtenidos luego de que los autores realizaran el ensayo de cono de abrams. Es evidente que el asentamiento disminuye desde el primer porcentaje de reemplazo, esto también se refleja en la Figura 10. Una vez que el asentamiento disminuye hasta tener un valor de 20 mm, se mantiene constante incluso cuando los porcentajes de reemplazo aumentan. Cabe resaltar que para determinar el porcentaje óptimo es necesario conocer los valores alcanzados en los ensayos de resistencia a la compresión.

Tabla 14

Asentamiento con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCPA (%)	Asentamiento (mm)
0	30
5	20
10	20
15	20

Fuente: Fapohunda, C., y Oluwasegunota, O. (2019).

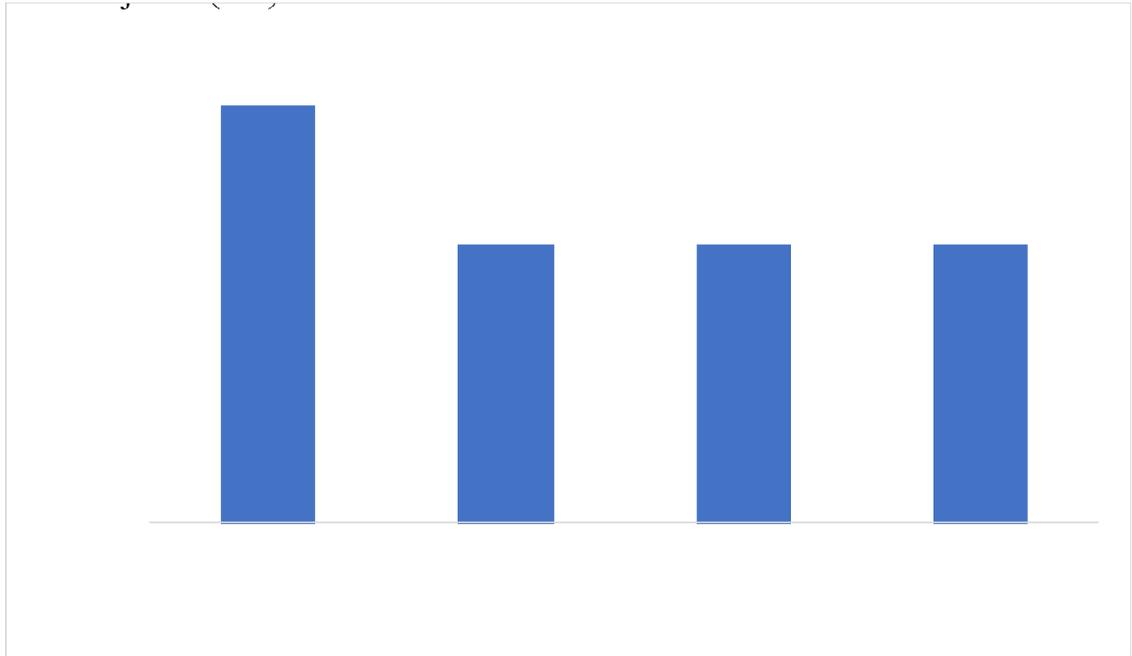


Figura 10. Asentamiento con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente Tabla 15 se presentan los resultados de la densidad del concreto elaborado por los autores.

Tabla 15

Densidad con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCPA (%)	Densidad (kg/m ³)
0	2510
5	2483
10	2474
15	2439

Fuente: Fapohunda, C., y Oluwasegunota, O. (2019).

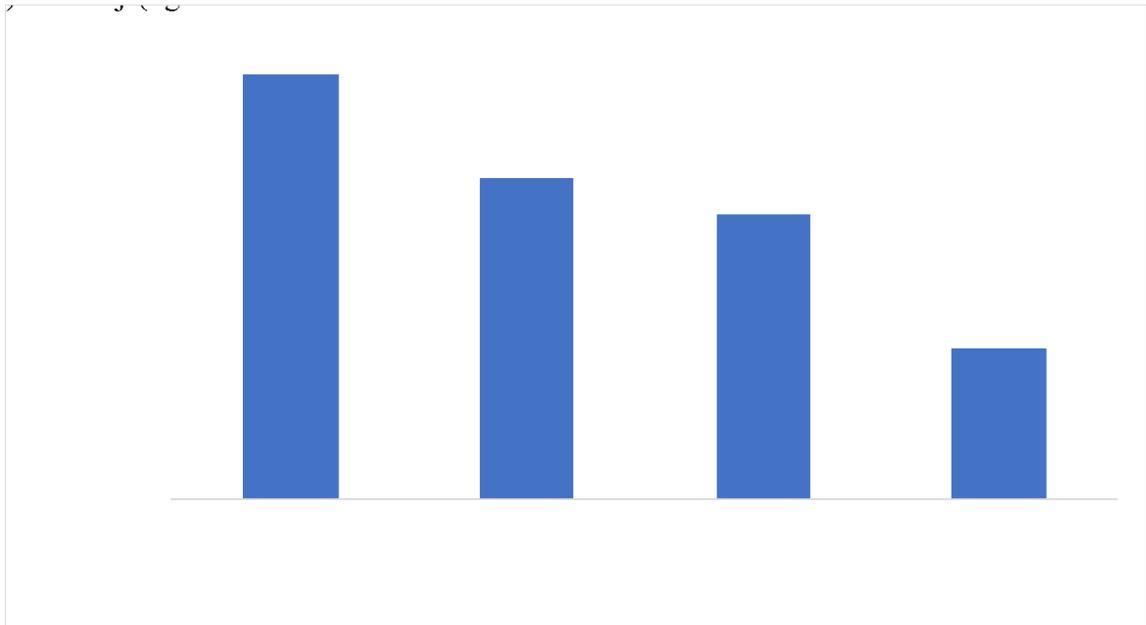


Figura 11. Densidad con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15 y en la Figura 11, la densidad del concreto tiene un comportamiento similar a los ensayos de asentamiento. Esto debido a que la densidad disminuye desde el primer porcentaje de reemplazo y así continua hasta tener un valor de 2439 kg/m^3 . A pesar de esto, existe una diferencia de 71 kg/m^3 entre el valor máximo y mínimo de los resultados, por lo tanto, el concreto sigue manteniendo su clasificación según la Tabla 6.

b) Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017)

Para su investigación, los autores utilizaron 5%, 10%, 15% y 20% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento fue de 0.5. Los autores optaron por no usar ningún tipo de aditivo. Teniendo como base sus antecedentes, los autores afirmaron que, al usar la ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento, existe una tendencia a disminuir con respecto al asentamiento, por lo tanto, la consistencia se vería afectada. Debido a esto, recomiendan utilizar aditivos en dosificaciones adecuadas en caso se desee mantener el asentamiento inicial del concreto. Según los resultados presentes en la Tabla 16 y Figura 12, el asentamiento resulta inversamente proporcional al porcentaje de ceniza de cáscara de palma

aceitera. Mientras más se incremente el porcentaje de reemplazo, el asentamiento continuara disminuyendo.

Tabla 16.

Asentamiento con 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCPA (%)	Asentamiento (mm)
0	50
5	45
10	40
15	40
20	30

Fuente: Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017).

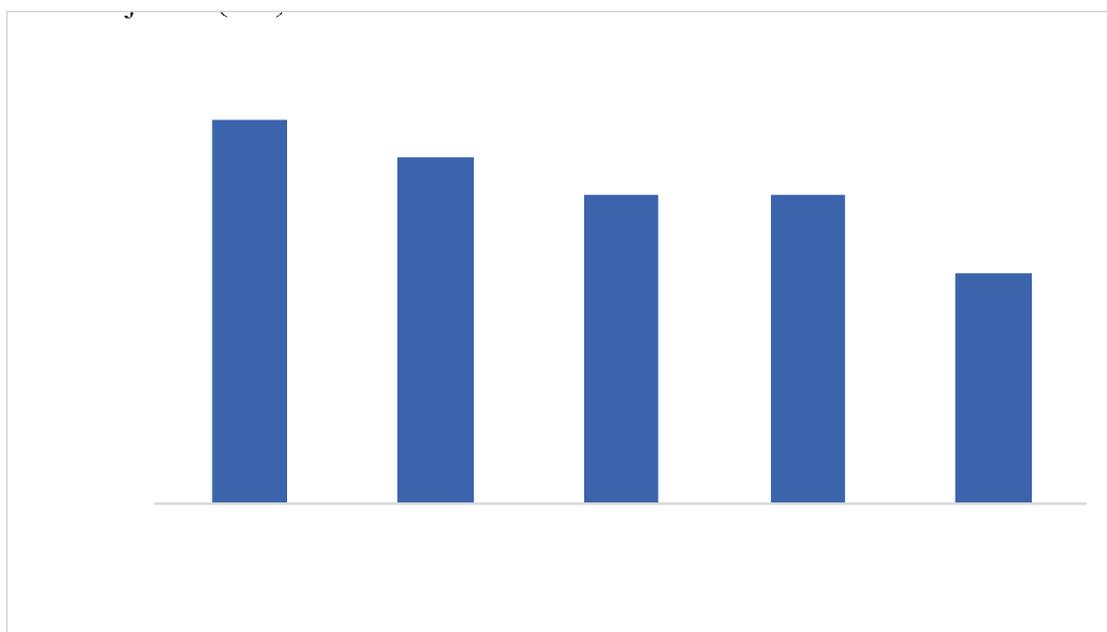


Figura 12. Asentamiento con 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, los autores indican que los resultados son similares con respecto a la densidad del concreto. Podemos notar en sus resultados, presentados en la Tabla 17 y Figura 13 donde al utilizar reemplazo parcial de 10% de ceniza de cáscara de palma aceitera, se obtiene el menor valor con respecto a la densidad. A partir de este punto, la densidad vuelve a aumentar hasta alcanzar un valor de 2360 kg/m^3 presentando una diferencia mínima con respecto a la muestra patrón.

Tabla 17

Densidad con 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCPA (%)	Densidad (kg/m ³)
0	2366
5	2261
10	2202
15	2246
20	2360

Fuente: Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017)

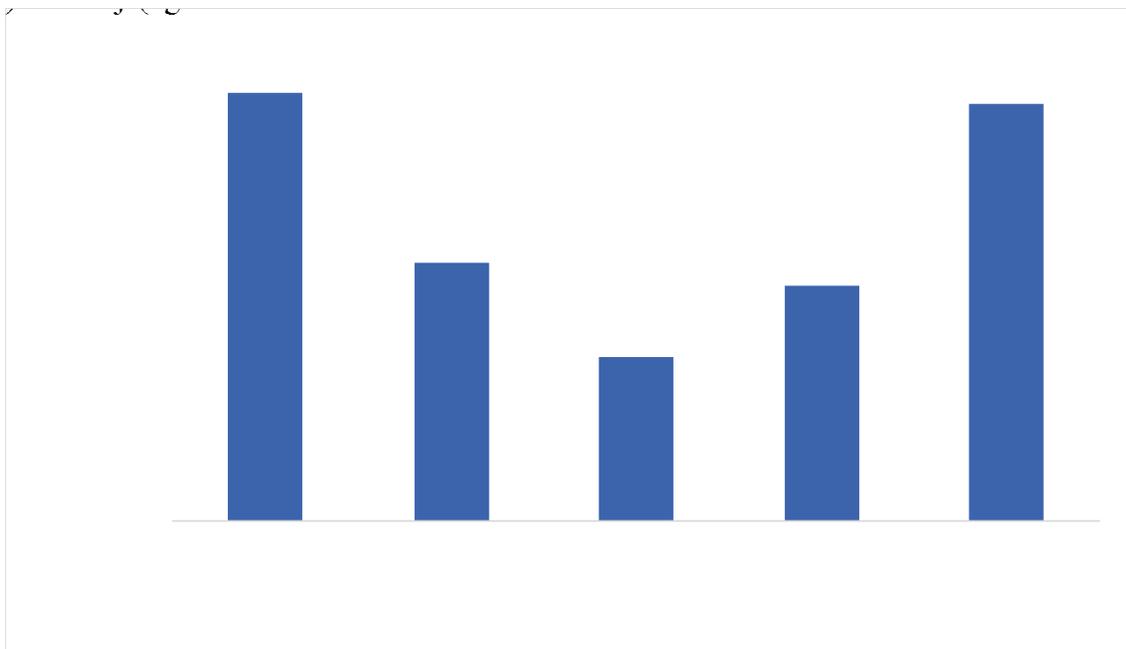


Figura 13. Densidad con 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

c) Osman et al. (2017)

En su investigación, los autores utilizaron 10%, 20% y 30% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento que usaron fue de 0.5. Los autores no utilizaron ningún tipo de aditivo durante el proceso. Los resultados de los ensayos de asentamiento, presentados en la Tabla 18, denotan una tendencia a disminuir conforme el porcentaje de reemplazo aumenta. A pesar de existir

esa relación inversamente proporcional, existe una diferencia de 10 mm entre el valor máximo y mínimo del asentamiento. Del mismo modo, para los resultados correspondientes a la densidad, presentados en la Tabla 19 y Figura 15, a medida que el porcentaje de reemplazo aumenta, la densidad tiende a disminuir.

Tabla 18

Asentamiento con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCPA (%)	Asentamiento (mm)
0	45
10	42
20	38
30	35

Fuente: Osman et al. (2021).

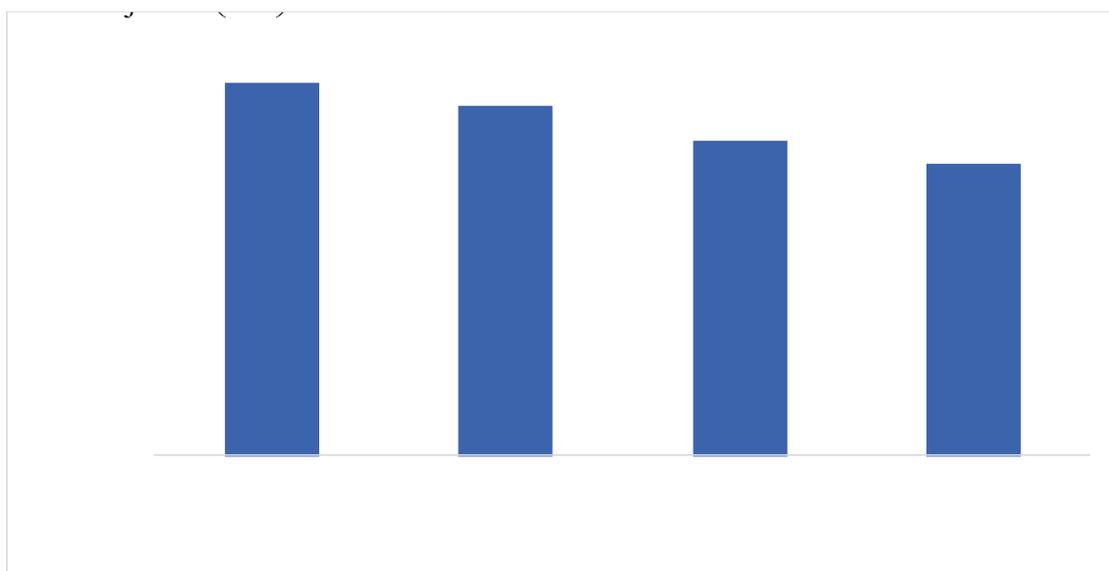


Figura 14. Asentamiento con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Osman et al. (2021).

Del mismo modo, para los resultados correspondientes a la densidad, presentados en la Tabla 19 y Figura 15, la muestra patrón alcanza un valor de 2322 kg/m³ mientras que la muestra con 10% de ceniza, la cual es considerada como el porcentaje óptimo de reemplazo, alcanza un valor de 2269 kg/m³. La diferencia entre el valor máximo y mínimo de las densidades es de 224 kg/m³. Según la Tabla 6, el concreto se mantiene en la clasificación de convencional.

Tabla 19

Densidad con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCPA (%)	Densidad (kg/m ³)
0	2322
10	2269
20	2197
30	2098

Fuente: Osman et al. (2021).

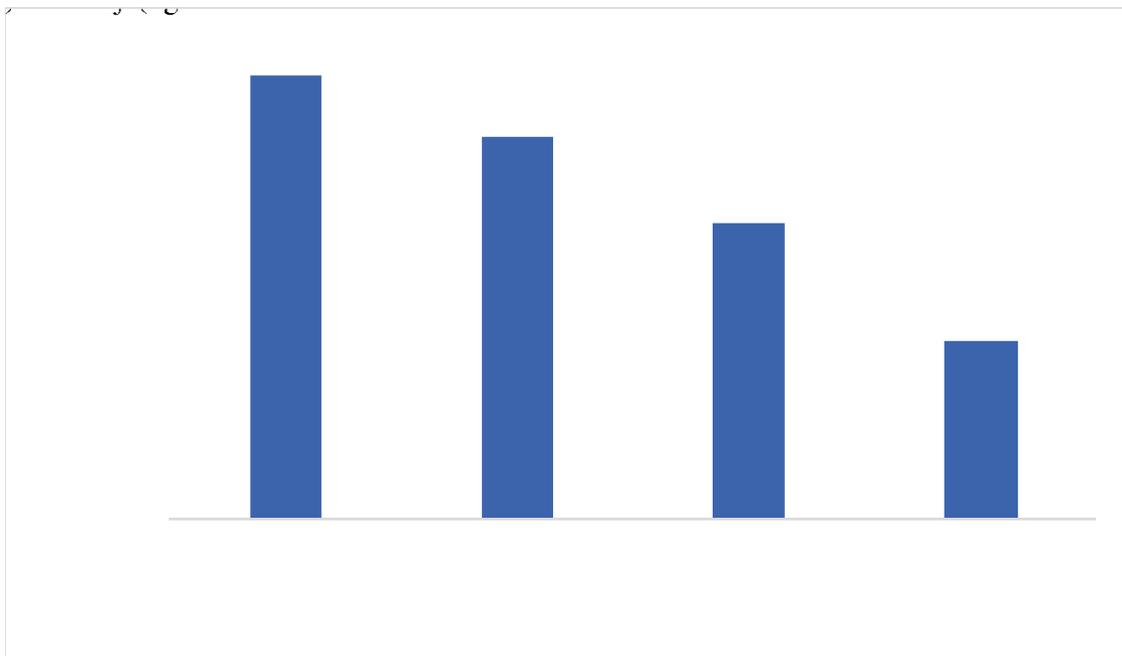


Figura 15. Densidad con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Osman et al. (2021).

1.1.2. Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

a) Montero, S. (2019)

Para su investigación realizaron tres diseños de mezcla, los cuales fueron de 175 kg/cm², 210 kg/cm², y 280 kg/cm², también se usaron 10%, 15% y 20% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento para cada diseño. Para la prueba de resistencia a la compresión, se tomó en cuenta las recomendaciones del comité 211 del ACI, las cuales mencionan

que las probetas deben ser ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado, y estas deben probetas deben medir 6” de diámetro y 12” de altura. Referente a sus resultados de resistencia a la compresión, el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento fue de 10%, obteniendo una mejora de la resistencia a compresión en 19.20% para un diseño $f'c$ de 175 kg/cm², 2.48% para un diseño $f'c$ de 210 kg/cm² y 2.26% para un diseño $f'c$ de 280 kg/cm², todos estos resultados se obtuvieron a los 28 días de curado.

En la siguiente Tabla 20, se presenta los resultados de la resistencia a la compresión.

Tabla 20.

Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz

Diseño $f'c$ (kg/cm ²)	CCA (%)	Dias de curado			
		0	7	14	28
175	0	0	141.28	167.92	192.92
	10	0	135.84	161.19	208.61
	15	0	93.29	109.99	169.21
	20	0	79.30	105.49	114.79

210	0	0	150.99	183.33	213.01
	10	0	125.99	163.78	215.21
	15	0	133.53	150.94	190.98
	20	0	104.11	124.94	142.57
280	0	0	202.48	247.16	283.81
	10	0	170.90	216.17	286.31
	15	0	168.00	211.87	232.56
	20	0	158.26	185.61	214.23

Fuente: Montero, S. (2019)

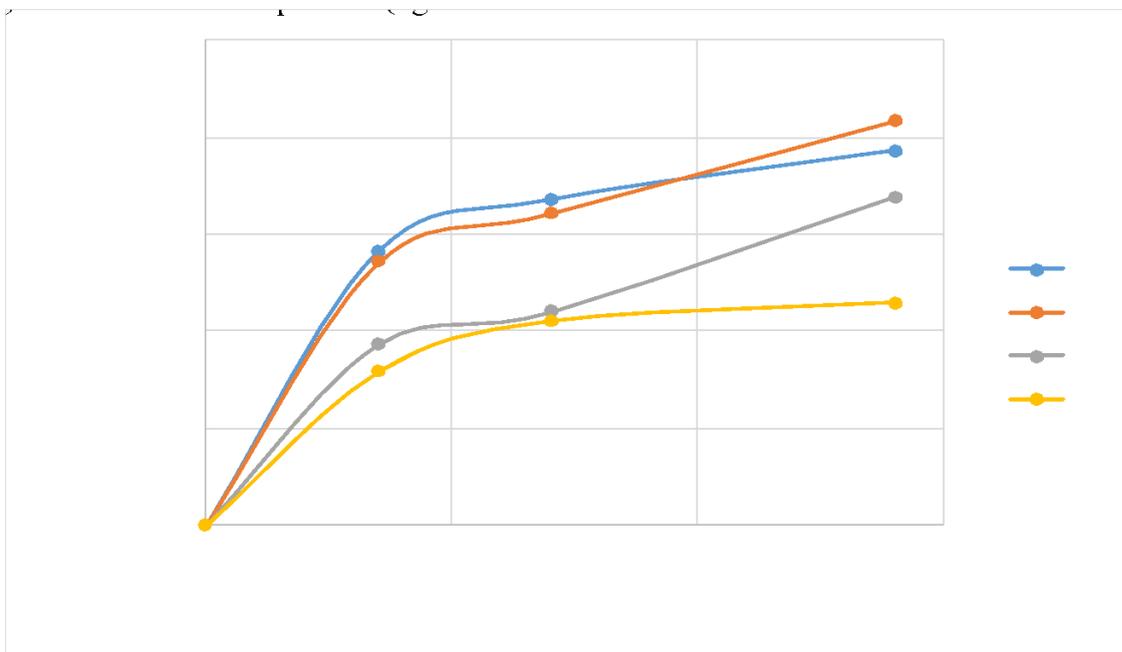


Figura 16. Resistencia a la compresión (kg/cm^2) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para un $f'c$ de 175 kg/cm^2 .

Fuente: Elaboración propia

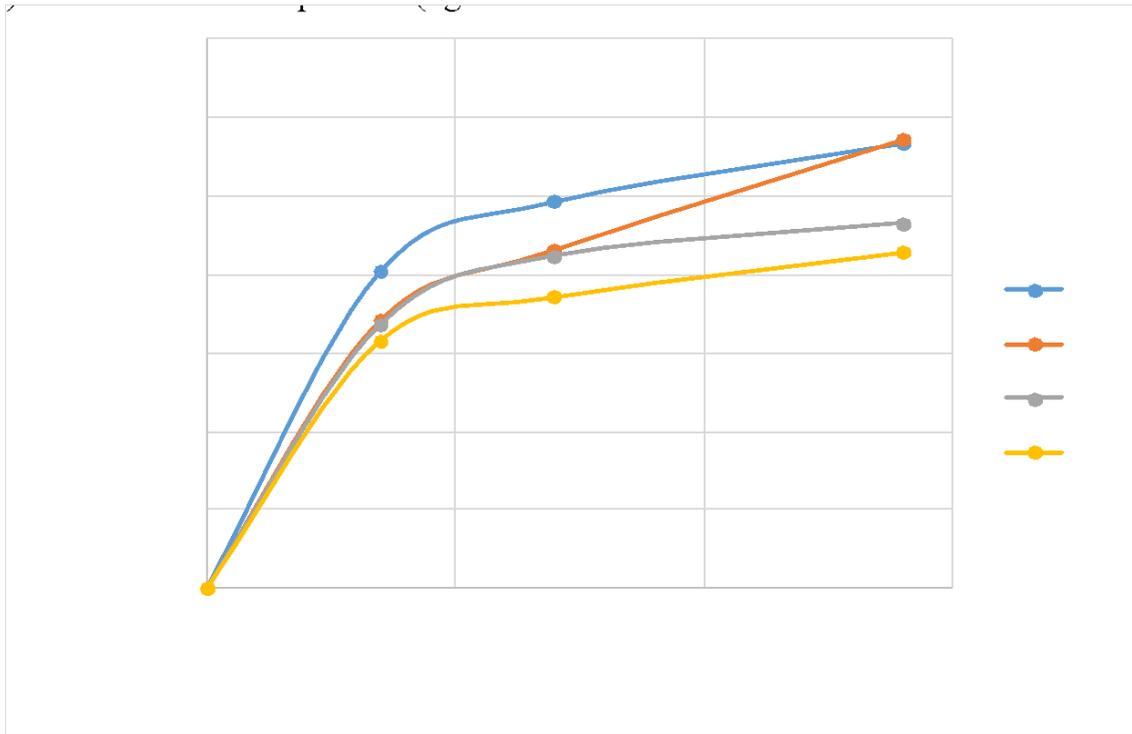


Figura 17. Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para un f'c de 210 kg/cm².

Fuente: Elaboración propia

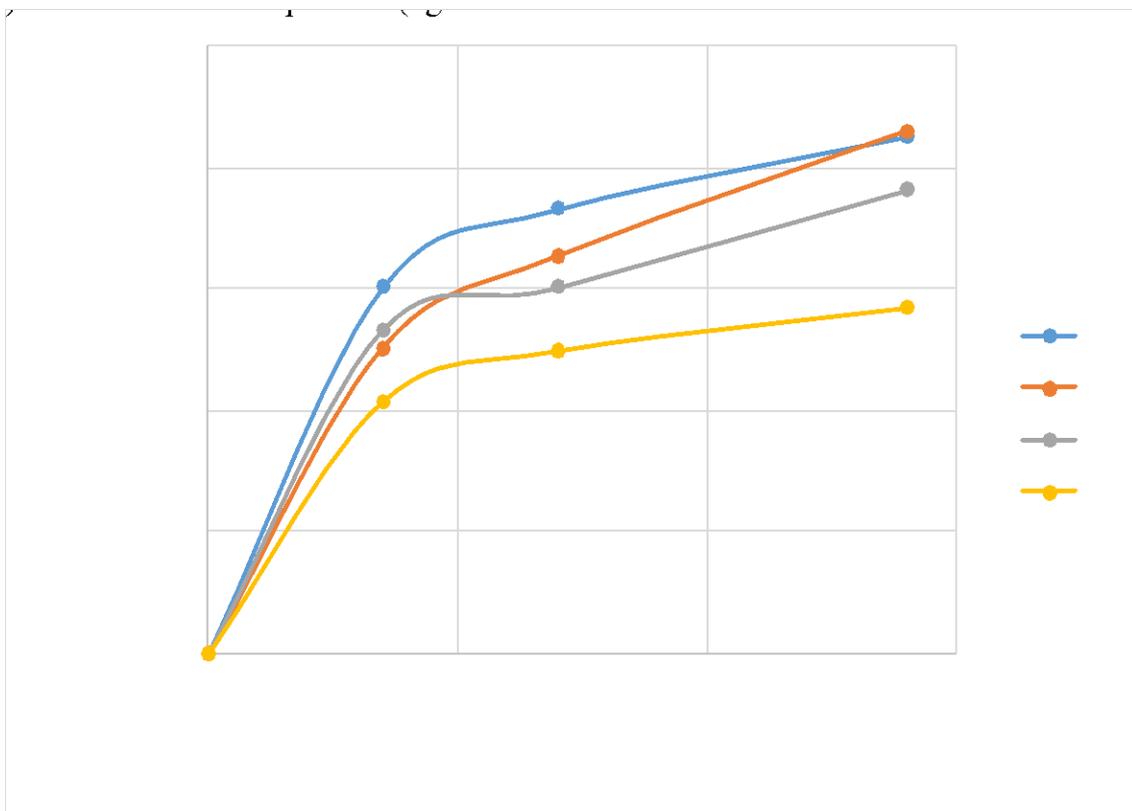


Figura 18. Resistencia a la compresión con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para un f'c de 280 kg/cm².

Fuente: Elaboración propia

b) Montero, D. (2017)

Para su presente investigación se tuvo un diseño de resistencia a la compresión de 210 kg/cm², los autores utilizaron 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento para todas las muestras fueron de 0.4. Para su investigación el ensayo realizado con cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, el porcentaje de 10%, demostró obtener la mejor resistencia a la compresión a los 28 días de curado a comparación del resto de muestras, obteniendo un resultado de 412 kg/cm² superando en 15.73 % al resultado de la muestra patrón que fue de 356 kg/cm².

En la siguiente Tabla 21, se presenta los resultados de la resistencia a la compresión.

Tabla 21.

Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 10%, 15%, 20% y 25% de cenizas de cáscara de arroz.

CCA (%)	Dias de curado			
	0	7	14	28
0	0	220	288	356
10	0	220	324	412
15	0	175	239	287
20	0	154	220	263
25	0	123	189	228

Fuente: Montero, D. (2017)

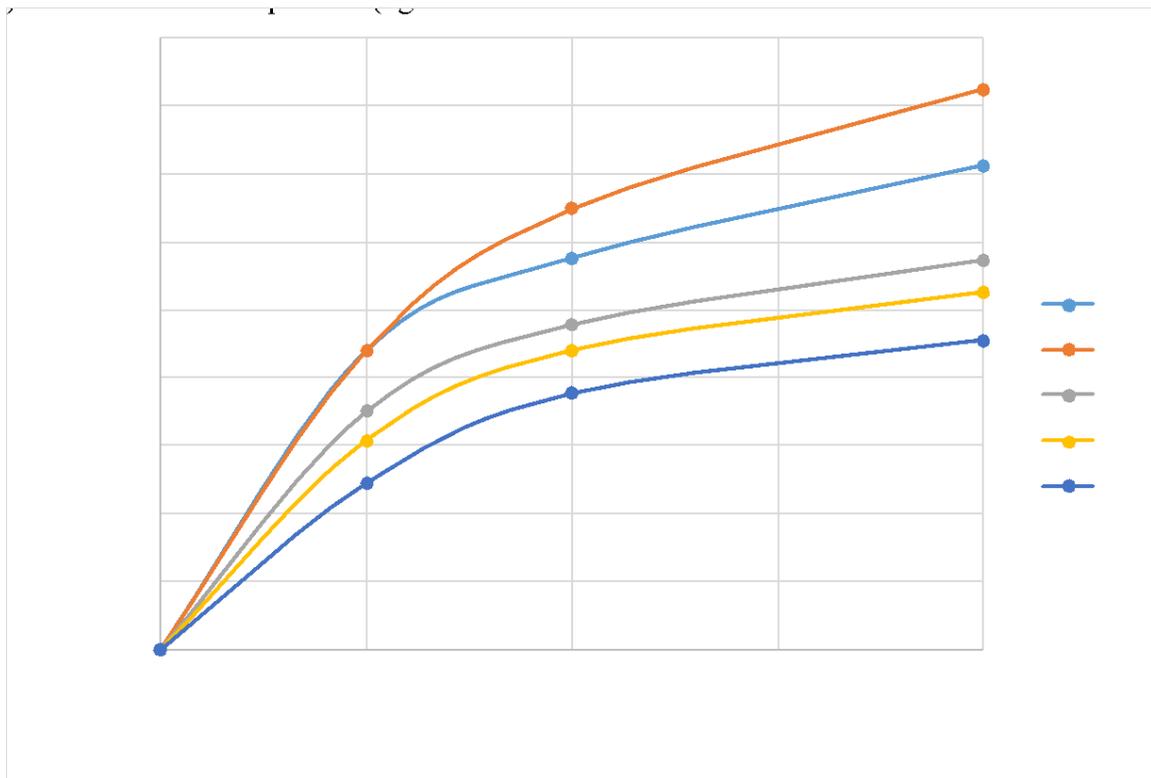


Figura 19. Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 10%, 15%, 20% y 25% de cenizas de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia

c) Igba et al. (2019)

Para su presente investigación se tuvo un diseño de resistencia a la compresión de 300 kg/cm². Para su investigación, los autores utilizaron 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento para todas las muestras fueron de 0.5. En sus resultados se observó que con un reemplazo de 5% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, se obtiene una resistencia a la compresión de 297 kg/cm², valor cercano a la resistencia diseño de 300 kg/cm², siendo este porcentaje óptimo como reemplazo parcial de ceniza.

En la Tabla 22, se muestra el resultado de la muestra patrón de 341.2 kg/cm², resultado mayor de las todas las muestras ensayadas en esta investigación, se concluye que no se obtuvo mejoras con la inserción de cenizas de cáscara de arroz en la mezcla del concreto como reemplazo parcial de este, sin embargo, esta diferencia es numéricamente pequeña, de 43.2 kg/cm² en comparativa con el resultado de la muestra con 5% de

ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. En el tercer puesto lo ocupa la muestra con 10% de reemplazo de esta ceniza, la cual obtuvo una resistencia de 283 kg/cm². En consecuencia, los autores concluyen que la ceniza de cáscara de arroz puede ser adoptada como material de reemplazo parcial del cemento en la construcción de viviendas. En la siguiente Tabla 22, se presenta los resultados de la resistencia a la compresión.

Tabla 22

Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de cenizas de cáscara de arroz.

CCA (%)	Días de curado					
	0	7	14	28	60	90
0	0.0	223.7	232.6	321.2	331.8	341.2
5	0.0	217.0	226.7	281.5	288.9	297.0
10	0.0	206.7	209.6	268.2	274.1	283.0
15	0.0	170.8	192.6	223.7	250.4	266.7
20	0.0	170.7	186.7	204.4	234.1	244.8
25	0.0	156.0	177.8	186.7	231.1	239.6
30	0.0	143.4	174.1	182.2	220.0	234.2

Fuente: Igba et al.

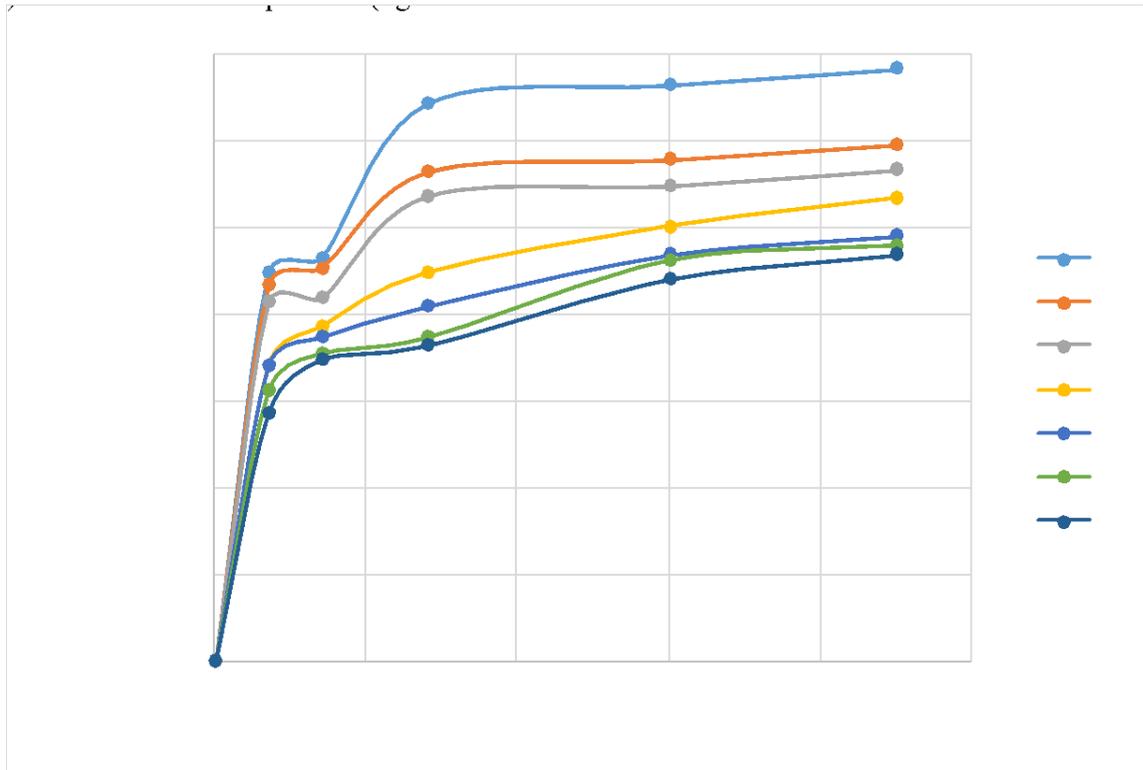


Figura 20. Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de cenizas de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia

d) Martínez, F. y Oyanguren L. (2019).

Para su presente investigación se tuvo un diseño de resistencia a la compresión de 280 kg/cm² y un asentamiento de 76 mm a 102 mm. Para su investigación, los autores utilizaron 5%, 10% y 15% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento para todas las muestras fueron de 0.45. Según los resultados de su investigación las muestras con un 5% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento se obtuvo resistencias que superaron el diseño de 280 kg/cm², obteniendo 316.13 kg/cm².

Las muestras con 10% y 15% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, ambas no lograron superar el resultado de resistencia a la compresión de la muestra control, obteniendo una reducción respecto a este de 9.26% y 16.16% respectivamente.

En la siguiente Tabla 23, se presenta los resultados de la resistencia a la compresión.

Tabla 23

Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.

CCA (%)	Dias de curado			
	0	7	14	28
0	0.00	220.56	251.68	306.13
5	0.00	227.98	257.62	316.13
10	0.00	217.16	250.82	277.77
15	0.00	186.33	222.34	256.65

Fuente: Martínez, F. y Oyanguren L. (2019).

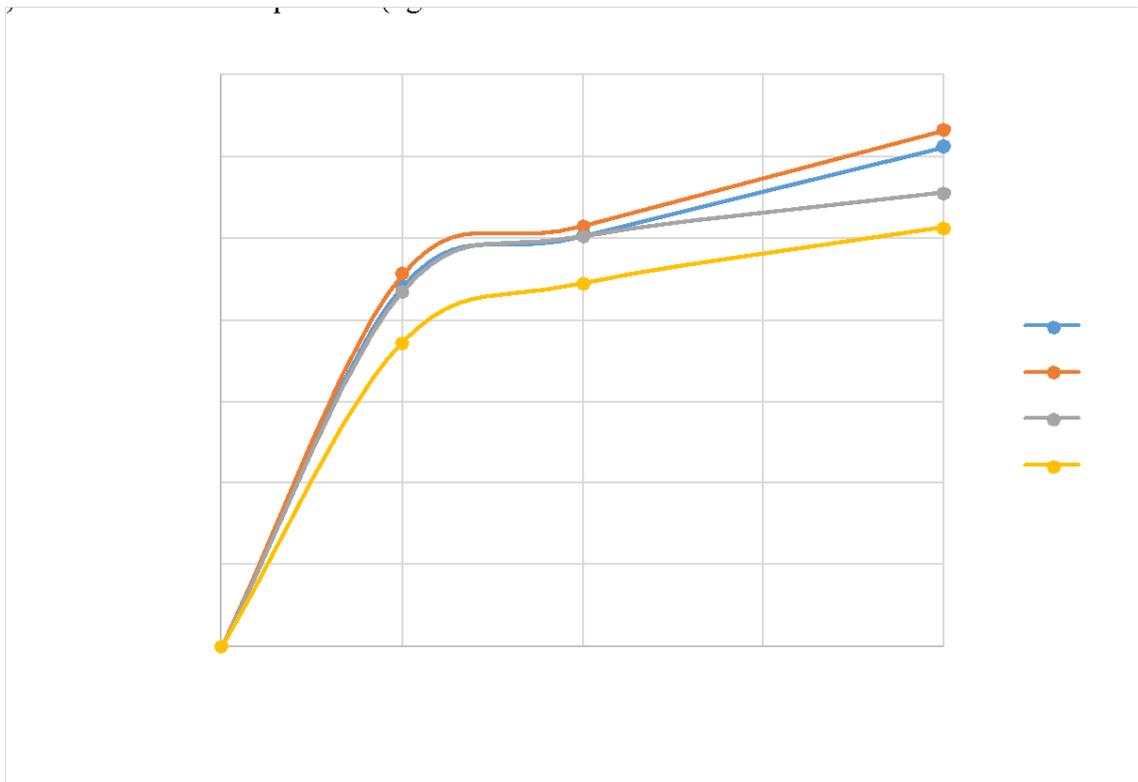


Figura 21. Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia

e) Rodríguez, A. y Tibabuzo, M. (2019)

Para su presente investigación se tuvo un diseño de resistencia a la compresión de 210 kg/cm². Para su investigación, los autores utilizaron 3%, 5%, 10% y 15% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. Se observan en los resultados que las muestras con un

reemplazo parcial del 3%, 5% y 15% no alcanzaron la resistencia de diseño 210kg/cm^2 ; sin embargo, con un porcentaje de 10% supero el diseño.

En la siguiente Tabla 24, se presenta los resultados de la resistencia a la compresión.

Tabla 24

Resistencia a la compresión (kg/cm^2) con 3%, 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz

CCA (%)	Dias de curado			
	0	7	14	28
0	0	130	159	215
3	0	89	129	205
5	0	75	135	208
10	0	140	177	230
15	0	54	119	137

Fuente: Rodríguez, A. y Tibabuzo, M. (2019)

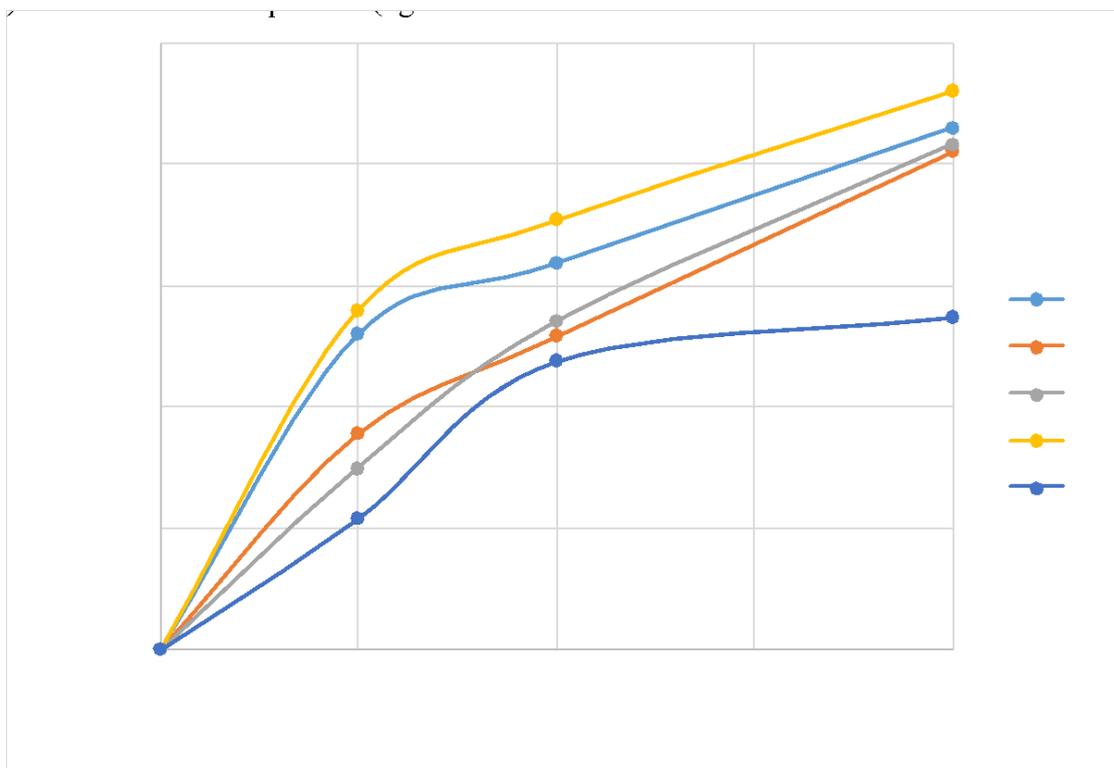


Figura 22. Resistencia a la compresión (kg/cm^2) con 3%, 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 24, el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento es de 10%, obteniendo un resultado de 230 kg/cm², superando todas las muestras restantes de su investigación e incluso el diseño f'c. Seguido de este resultado, en la Figura 22, se muestra que la muestra patrón llega a lograr obtener el segundo mejor resultado, con una resistencia a la compresión de 215 kg/cm², comparando ambos resultados se denota un aumento de 15 kg/cm². Cuando los autores utilizaron porcentajes mayores a 10%, la resistencia a la compresión disminuyó considerablemente hasta alcanzar un valor de 137 kg/cm² encontrándose un 36.28% por debajo de la muestra patrón.

f) Ahsan, M. y Hossain, Z. (2018)

Para su investigación, los autores utilizaron 10% y 20% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. La relación a/c fue de 0.47. Para la fase experimental se elaboraron 3 diseños, misma resistencia a la compresión, pero diferentes grados de finura de ceniza de cáscara de arroz. Los tres grados de finura son CCA1 con una finura de 600 um; CCA2 de 150 um y CC3 de 44 um. Referente a los resultados de la resistencia a la compresión se obtuvo mejores resultados con un 10% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento; sin embargo, no sobrepasó los resultados de la resistencia patrón que fue de 361 kg/cm² para cada diseño con excepción de las muestras compuestas con cenizas de menor grado de finura que fue de 377 kg/cm².

De igual manera, respecto a la resistencia a la flexión, los resultados son proporcionales en comparativa a los resultados de la resistencia a la compresión, en consecuencia, obtienen mejores resultados con 10 % de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, obteniendo 47.2 kg/cm² en comparativa de la muestra patrón de 41.7 kg/cm², obteniendo un aumento de 5.5 kg/cm² esta última usando cenizas con menor grado de finura, ya que en las demás muestras usando un mayor grado de finura de ceniza se denota una disminución de esta propiedad conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo, tal como se muestra en la Figura 23. En la siguiente Tabla 25, se presenta los resultados de la resistencia a la flexión.

Tabla 25

Resistencia a la flexión (kg/cm^2) con 10% y 20% de cenizas de cáscara de arroz.

Finura de la CCA (μm)	CCA (%)	Resistencia f^c a los 28 días
400	0	41.7
	10	31.4
	20	26.9
150	0	41.7
	10	36.2
	20	27.9
44	0	41.7
	10	47.2
	20	44.1

Fuente: Ahsan, M. y Hossain, Z. (2018)

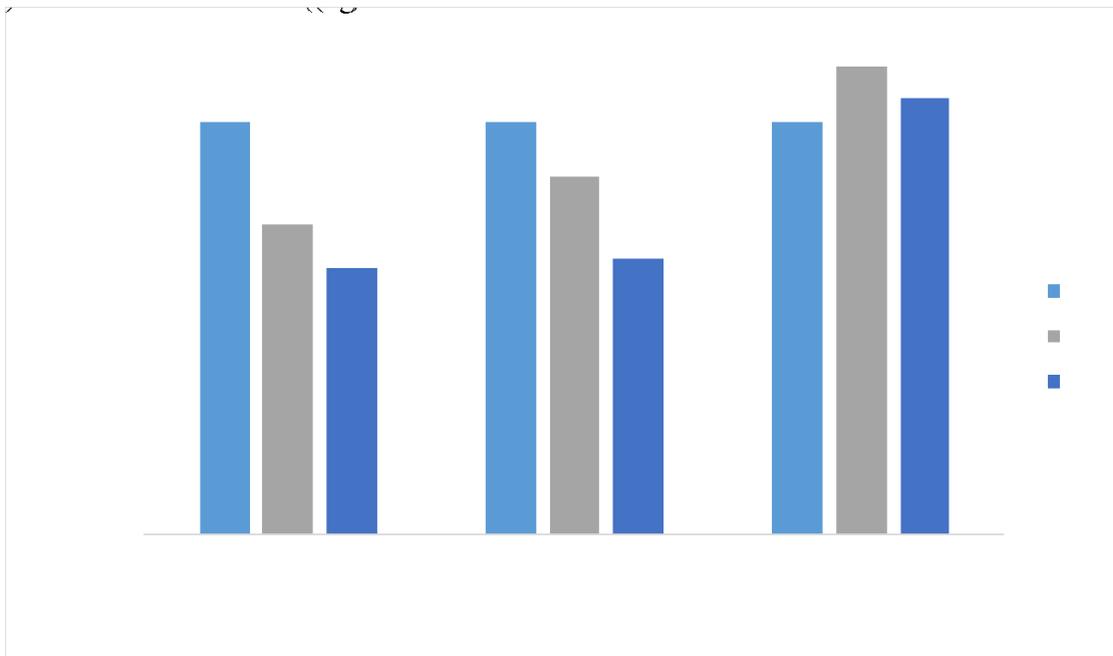


Figura 23. Resistencia a la compresión (kg/cm^2) con 10% y 20% de cenizas de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia

g) Krishna et al. (2016)

Para su investigación, los autores utilizaron 5%, 10%, 15% y 20% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. La relación a/c fue de 0.55. El porcentaje de reemplazo de parcial óptimo para su investigación fue de 10%, la cual se obtuvo una mejora del 8.51% en el resultado de la resistencia a la compresión en comparación de la muestra patrón, de 270 kg/cm² a 293 kg/cm²; sin embargo, con los demás porcentajes de reemplazo no muestran una mejora. Respecto a los resultados de la resistencia a la flexión, hubo un aumento gradual en esta resistencia conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo, hasta llegar al reemplazo de 10%, luego disminuye. En la siguiente Tabla 26, se presenta los resultados de la resistencia a la flexión.

Tabla 26

Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.

CCA (%)	Días de curado				
	0	3	7	14	28
0	0.0	10.1	11.5	25.1	21.1
10	0.0	13.0	14.0	21.5	25.3
15	0.0	10.3	12.5	18.5	19.4

Fuente: Krishna et al. (2016).

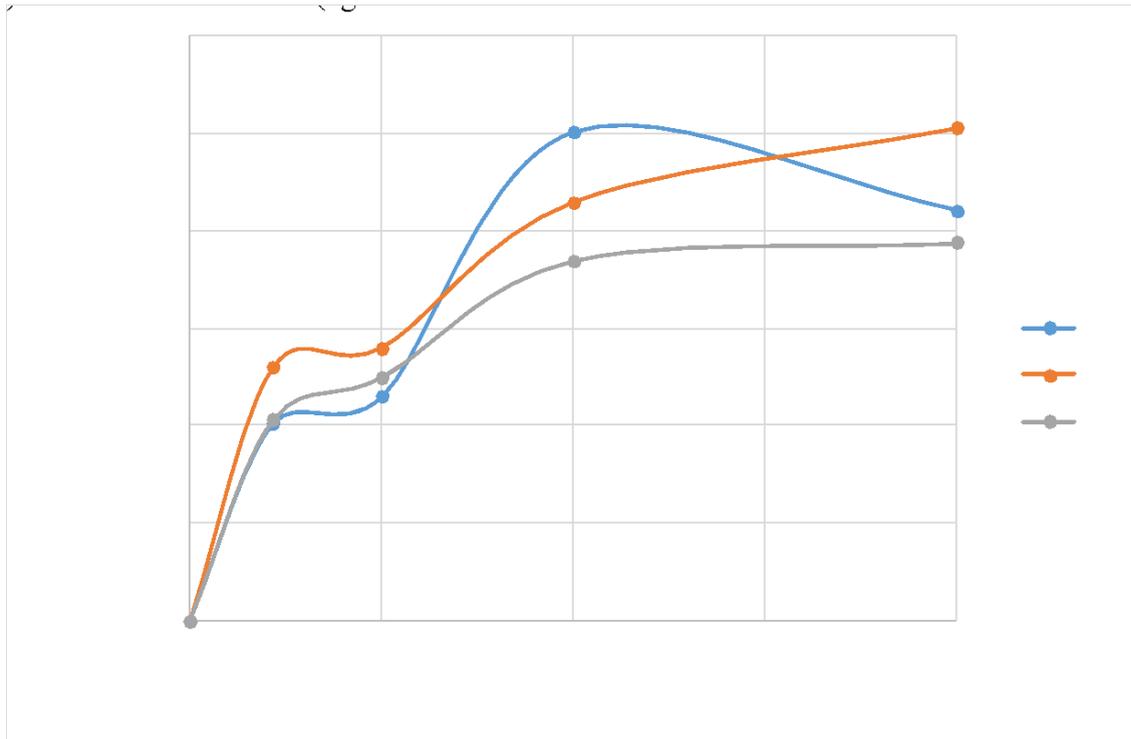


Figura 24. Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz.

Fuente: Elaboración propia.

h) Siddika et al. (2018)

Para su investigación, los autores utilizaron 10% y 15% de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento y se diseñó con tres relaciones a/c: 0.4; 0.5 y 0.6. En los resultados de su investigación, respecto a la resistencia a la compresión, hay una disminución conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo de ceniza de cáscara de arroz. El porcentaje óptimo de reemplazo para su investigación es de 10%, con ello se obtiene mejores resultados de resistencia a la compresión. Respecto a la resistencia a la flexión, los valores más alto están vinculados con las muestras patrón, y disminuye conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo. Esto se ve reflejado en las Figuras 25, 26 y 27. En la siguiente Tabla 27, se presenta los resultados de la resistencia a la flexión.

Tabla 27

Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz.

Relación a/c	CCA (%)	Días de curado			
		0	7	14	28

	0	0.0	12.6	25.0	52.1
0.4	10	0.0	12.5	24.0	48.5
	15	0.0	12.1	23.3	39.3
	0	0.0	11.5	22.2	51.3
0.5	10	0.0	11.3	21.8	46.9
	15	0.0	11.2	21.6	38.7
	0	0.0	10.8	20.3	49.5
0.6	10	0.0	10.6	19.7	41.3
	15	0.0	10.5	19.5	35.8

Fuente: Siddika et al.

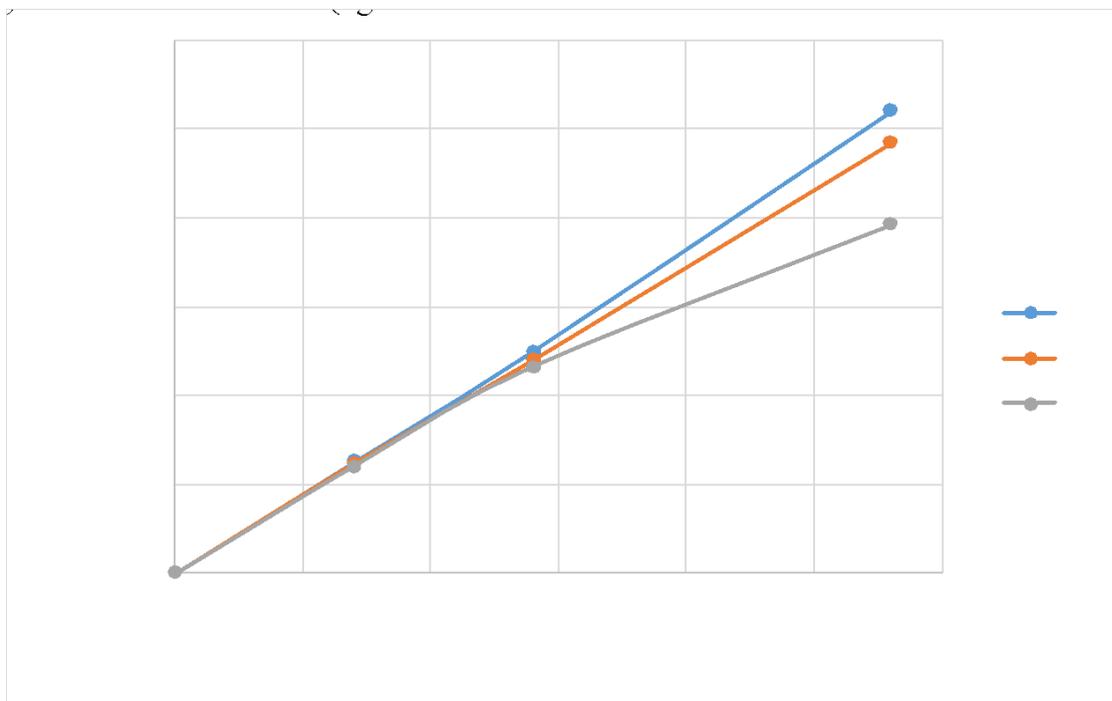


Figura 25. Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para una relación a/c de 0.4.

Fuente: Elaboración propia

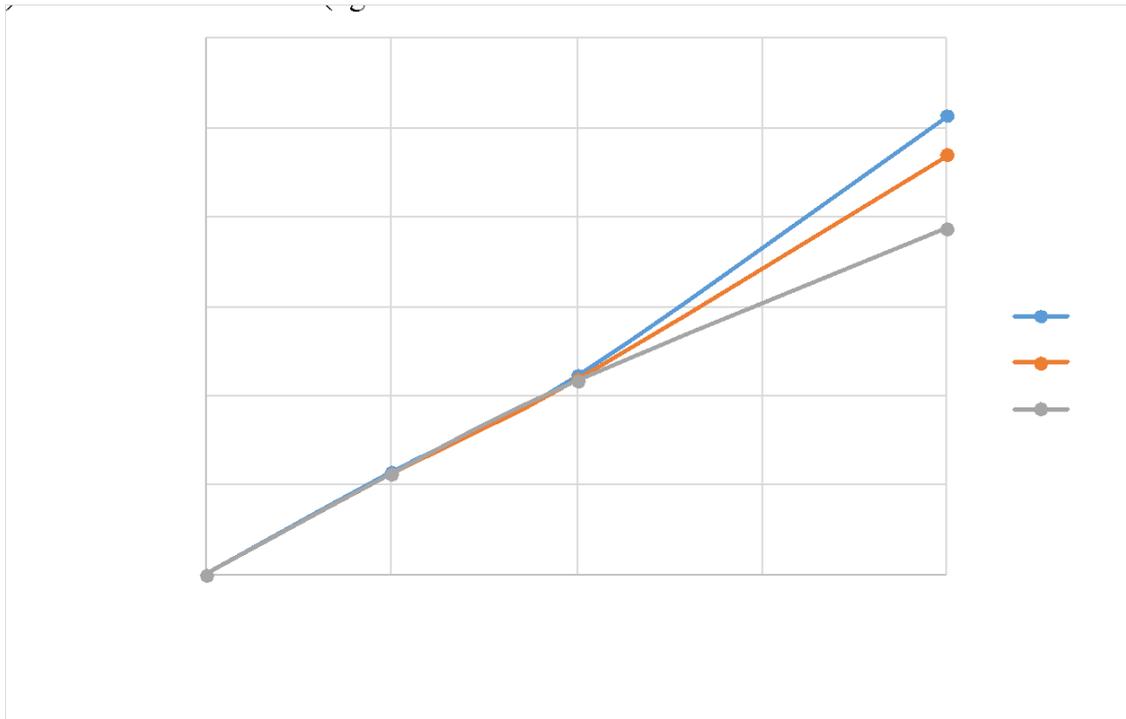


Figura 26. Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para una relación a/c de 0.5.

Fuente: Elaboración propia

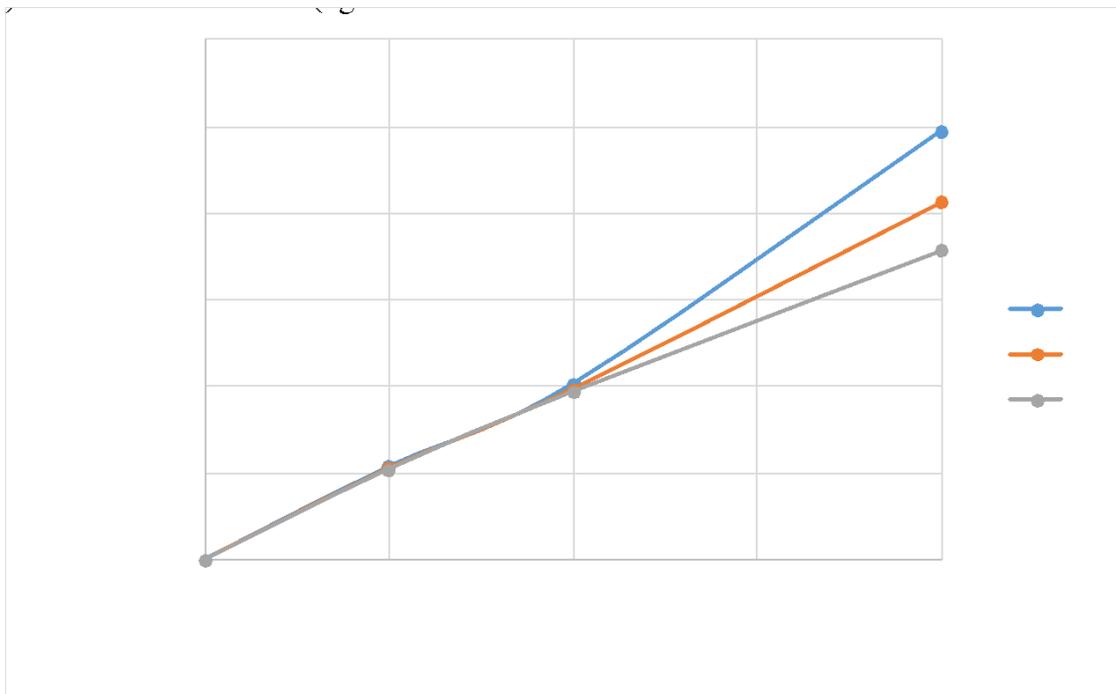


Figura 27. Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de arroz para una relación a/c de 0.6.

Fuente: Elaboración propia

1.1.3. Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

a) Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O. (2019)

Para su investigación, los autores usaron 5%, 10% y 15% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento utilizado fue de 0.5. Durante su investigación, los autores no utilizaron aditivos.

En la Tabla 28 y Figura 28 se presentan los resultados de los ensayos correspondientes a la propiedad de resistencia a la compresión. Se puede notar que el concreto patrón no es superado por las muestras que contienen cenizas de cáscara de palma aceitera. Sin embargo, la muestra con 5% de ceniza alcanza un valor de 285 kg/cm² logrando superar la resistencia de diseño, siendo este 280 kg/cm².

Tabla 28

Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCA (%)	Días de curado			
	0	7	14	28
0	0	253	258	303
5	0	254	253	285
10	0	202	232	249
15	0	161	192	227

Fuente: Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O. (2019).

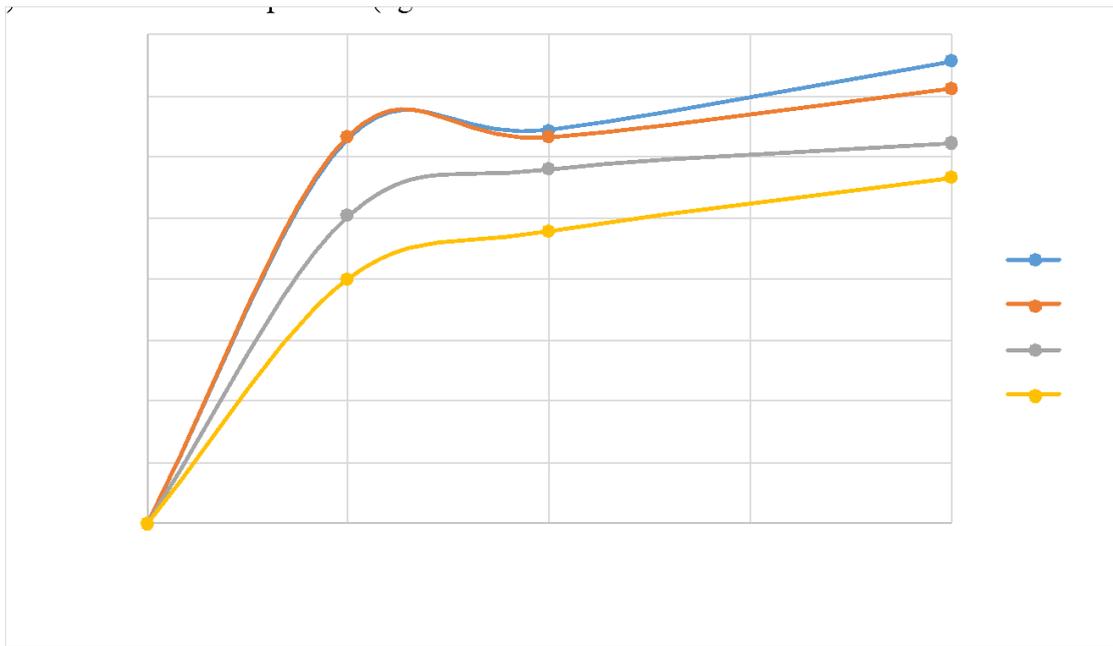


Figura 28. Resistencia a la compresión (kg/cm^2) con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

b) Goh, D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022)

Para su investigación, los autores usaron 5%, 10% y 20% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento utilizado fue de 0.5. Durante su investigación, los autores no utilizaron ningún tipo de aditivo. Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se presentan en la Tabla 29. Se observa que el concreto patrón se ve superado por las muestras que contienen 5% y 10% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento, cuyos valores fueron $307 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y $301 \text{ kg}/\text{cm}^2$ respectivamente. Para la presente investigación, 5% resulta ser el porcentaje óptimo de reemplazo debido a que alcanza el mayor valor. Los autores no realizaron ensayos con respecto a la resistencia a la flexión.

Tabla 29

Resistencia a la compresión (kg/cm^2) con 10% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCA (%)	Días de curado			
	0	7	14	28
10%				
20%				

0	0	238	272	284
5	0	240	281	307
10	0	247	269	301
20	0	139	156	178

Fuente: Goh D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022).

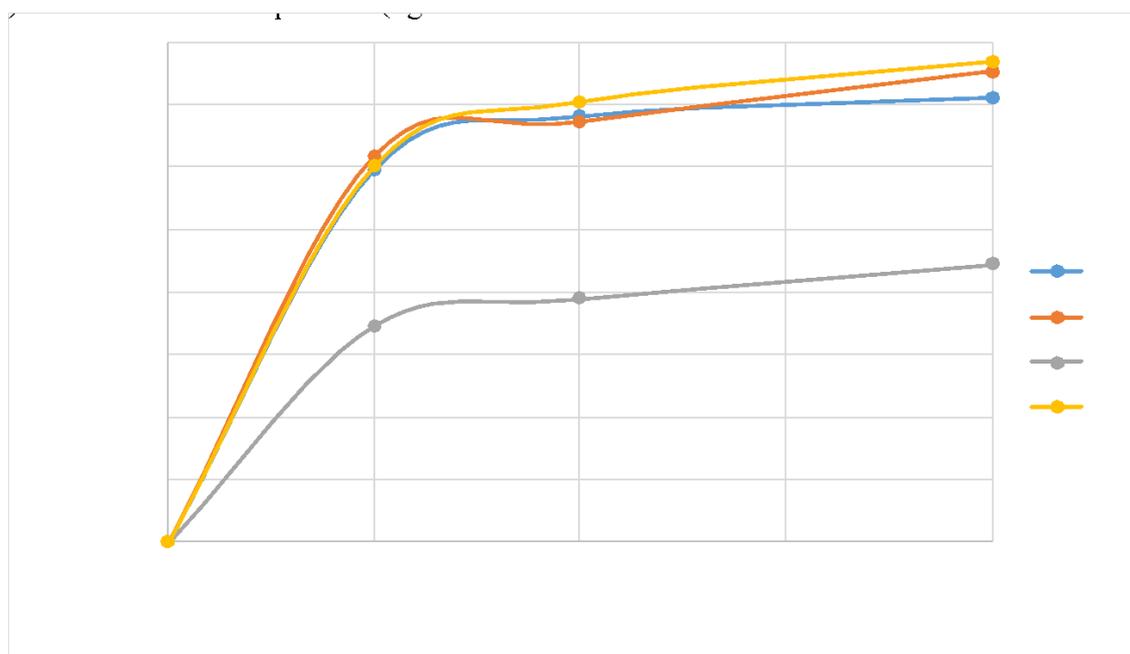


Figura 29. Resistencia a la compresión (kg/cm^2) con 5%, 10% y 20% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

c) Osman et al. (2021)

Durante su investigación, los autores optaron por usar 10%, 20% y 30% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento se mantuvo constante durante toda su investigación, siendo esta de 0.5. Los autores optaron por no utilizar ningún tipo de aditivo. Los resultados de resistencia a la compresión, obtenidos por los autores se presentan en la Tabla 30 y Figura 30, donde se puede notar que el concreto patrón, con un valor de 258 kg/cm^2 es superior en todos los días en los que se realizó el ensayo, siendo estos 7, 14 y 28. Al

utilizar 10% de ceniza, el valor alcanzado resulta ser 218 kg/cm² encontrándose por debajo de la muestra patrón. La causa de esto es la falta de control durante la incineración de la cáscara de palma aceitera. Asimismo, podemos notar un descenso de los valores de resistencia a la compresión conforme el porcentaje de reemplazo aumenta.

Tabla 30

Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCA (%)	Días de curado			
	0	7	14	28
0	0	195	234	258
10	0	167	195	218
20	0	162	168	172
30	0	151	161	183

Fuente: Osman et al. (2021)

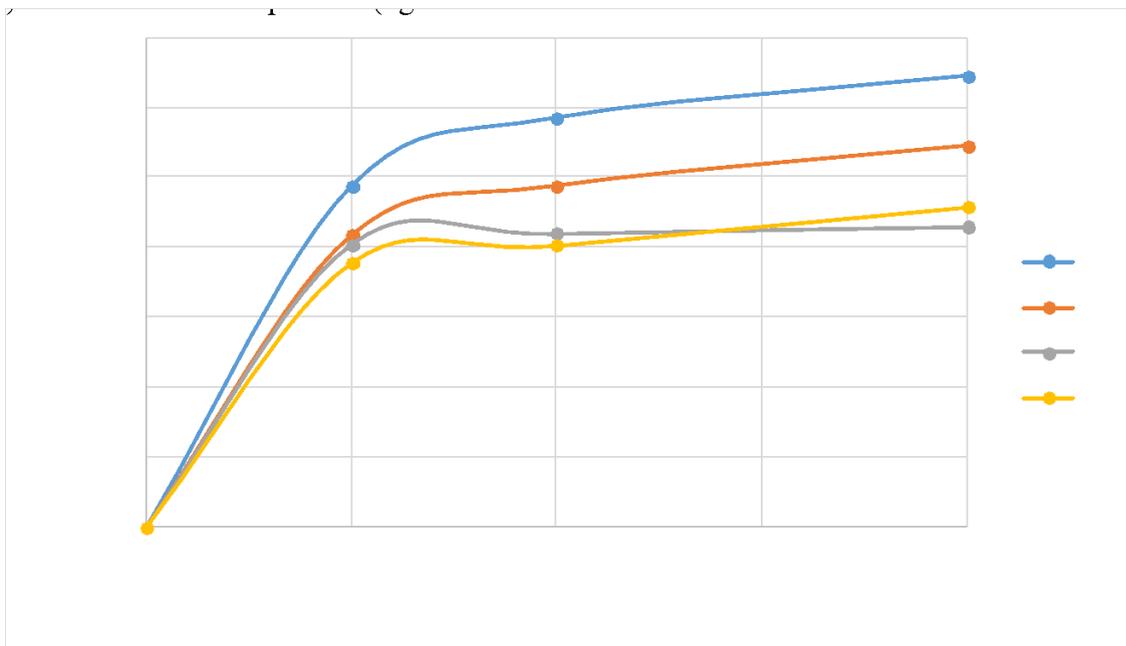


Figura 30. Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

d) Ismail et al. (2021)

En su investigación realizada, los autores usaron 10%, 20% y 30% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento.

La relación agua/cemento usado para la preparación de la mezcla fue de 0.6. Los autores optaron por no utilizar ningún tipo de aditivo. Los autores realizaron los ensayos de resistencia a la compresión y flexión del concreto, los cuales fueron realizados a los 7, 14 y 28 días de curado para ambos casos. En el caso de resistencia a la compresión, los resultados se muestran en la Tabla 31 y Figura 31, donde podemos notar que, a mayor porcentaje de reemplazo, la resistencia disminuye. La muestra con 10% de ceniza logra alcanzar la resistencia de diseño, pero no logra superar la resistencia del concreto patrón, presentando una diferencia de 23 kg/cm² entre ambos valores alcanzados. Estas resistencias inferiores a la muestra patrón suelen estar relacionadas a un incorrecto control dentro del proceso de incineración para obtener las cenizas.

Tabla 31

Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCA (%)	Días de curado			
	0	7	14	28
0	0	307	361	403
10	0	302	342	380
20	0	221	254	275
30	0	219	249	263

Fuente: Ismail, M.; Adnan, M. y Deraman, R. (2021).

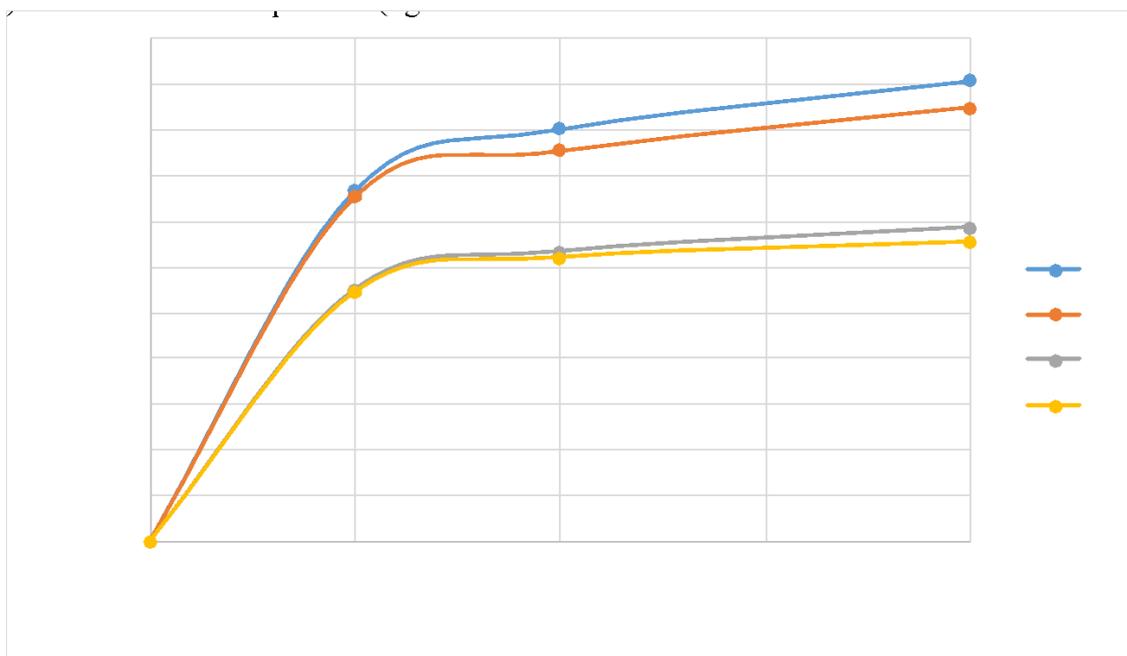


Figura 31. Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

Caso similar ocurre con los resultados de resistencia a la flexión, a medida que el porcentaje de reemplazo aumenta, la resistencia a la flexión tiende a disminuir. No obstante, la diferencia de la muestra patrón con el porcentaje óptimo, el cual es 10%, es solo de 3 kg/cm², obteniendo un resultado muy similar, el cual se muestra en la Tabla 32 y Figura 32.

Tabla 32

Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCA (%)	Días de curado			
	0	7	14	28
0	0	96	107	110
10	0	94	104	107
20	0	88	97	99
30	0	74	88	101

Fuente: Ismail et al. (2021).

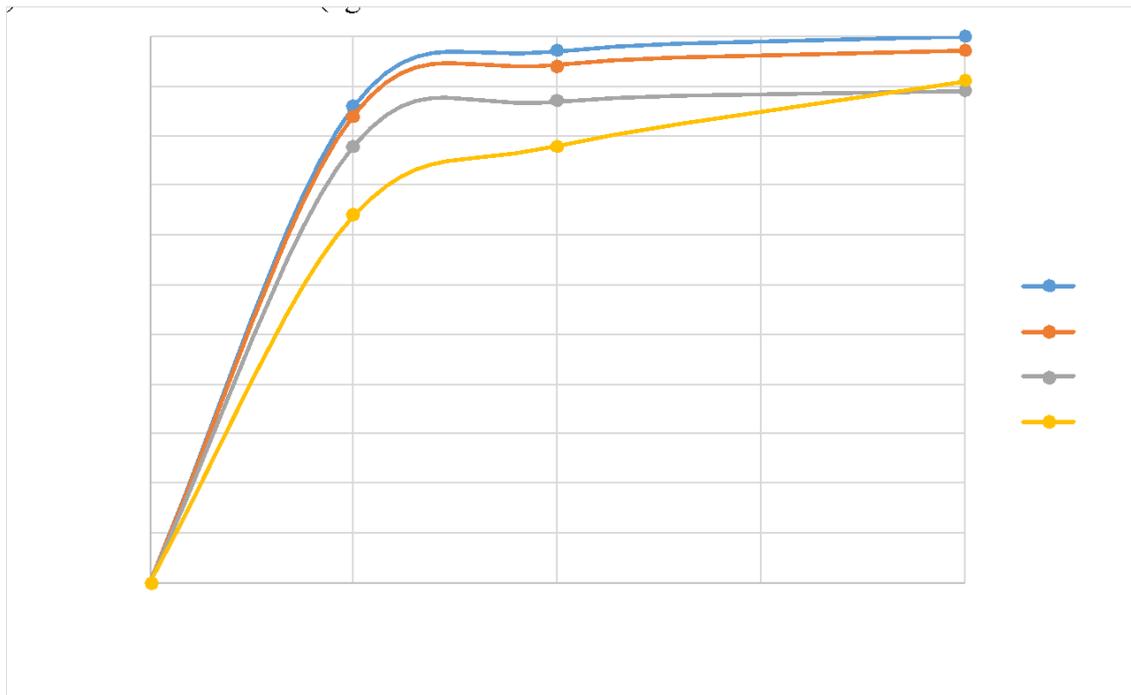


Figura 32. Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 10%, 20% y 30% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

e) Sindhu, S. (2021)

Para su investigación, el autor utilizó 5%, 15%, 25%, 35% y 45% de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. La relación agua/cemento fue de 0.5 y se mantuvo constante a lo largo de su investigación. El autor evaluó la resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días de curado. A través de los resultados, los cuales son mostrados en la Tabla 33 y Figura 33, se puede notar un incremento en la resistencia a la flexión cuando se utiliza la ceniza de cáscara de palma aceitera en porcentajes de 5%, 15% y 25%. El porcentaje óptimo para esta investigación resulta 15%, alcanzando un valor de 44 kg/cm², alcanzando la mayor resistencia con respecto a la muestra patrón, presentando una diferencia de 6 kg/cm² a favor de la muestra con ceniza de cáscara de palma aceitera. A partir de un 25% de reemplazo, la resistencia tiende a disminuir, obteniendo valores inferiores a la muestra patrón.

Tabla 33

Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCA (%)	Días de curado			
	0	7	14	28
0	0	21	31	38
5	0	21	32	40
15	0	20	29	44
25	0	18	26	37
35	0	12	16	21
45	0	9	11	16

Fuente: Sindhu, S. (2021).

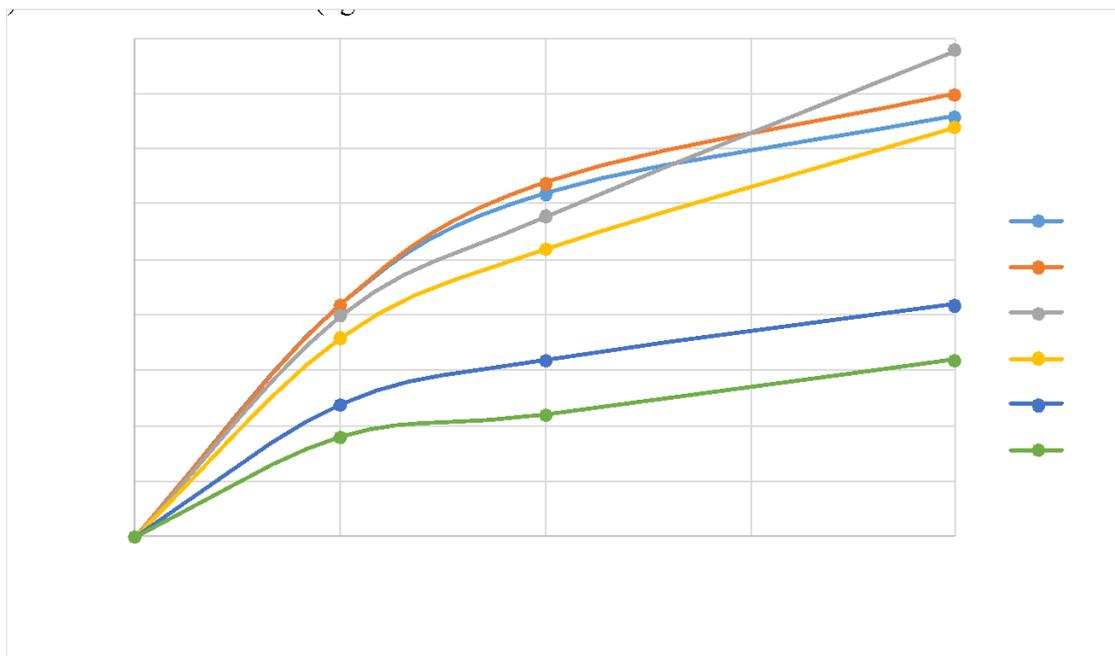


Figura 33. Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

f) Sulaiman, et al. (2018)

Los autores usaron ceniza de cáscara de palma aceitera en proporciones de 5%, 10%, 15% y 20% como reemplazo parcial de cemento. En toda su investigación, la relación agua/cemento tuvo un valor de 0.45. Los autores evaluaron la resistencia a la compresión y flexión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado para ambos casos. Con respecto a resistencia a la compresión, los resultados se muestran en la Tabla 34 y Figura 34. Al

utilizar la ceniza de cáscara de palma aceitera en un 5% como reemplazo parcial de cemento, obtiene un valor de 290 kg/cm² resultando inferior a la muestra patrón a los 28 días de curado. No obstante, los valores obtenidos resultan superiores cuando se usó 10% y 15% de ceniza, siendo estos 369 kg/cm² y 313 kg/cm² respectivamente. A partir de este último porcentaje, la resistencia tiende a disminuir cuando se utilizó 20% de ceniza, alcanzando un valor de 251 kg/cm². Se considera 10% como el porcentaje óptimo de reemplazo.

Tabla 34

Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCA (%)	Días de curado			
	0	7	14	28
0	0	219	252	300
5	0	203	241	290
10	0	235	290	369
15	0	201	248	313
20	0	163	207	251

Fuente: Sulaiman et al. (2018).

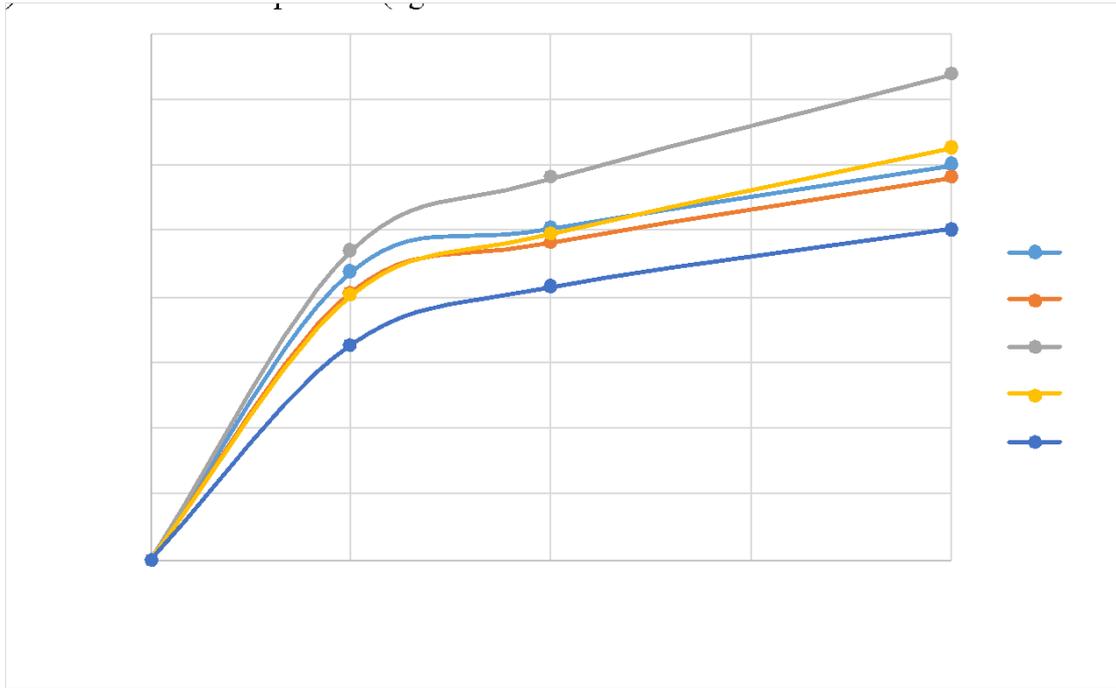


Figura 34. Resistencia a la compresión (kg/cm²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de resistencia a la flexión, cuyos resultados se muestran en la Tabla 35 y Figura 35, los valores obtenidos resultan superiores a la muestra patrón cuando se utilizan 5%, 10% y 15% de ceniza como reemplazo parcial de cemento, obteniendo valores de 83 kg/cm², 90 kg/cm² y 86 kg/cm² respectivamente. Sin embargo, al usar un 20% se obtiene un resultado muy similar al patrón con una diferencia de 3 kg/cm². El mayor valor alcanzado resulta ser 90 kg/cm² cuando se utiliza 10% de ceniza, por lo que se considera el porcentaje óptimo de reemplazo.

Tabla 35

Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

CCA (%)	Días de curado			
	0	7	14	28
0	0	69	76	80
5	0	75	83	83
10	0	77	86	90
15	0	66	75	86
20	0	60	70	77

Fuente: Sulaiman et al. (2018).

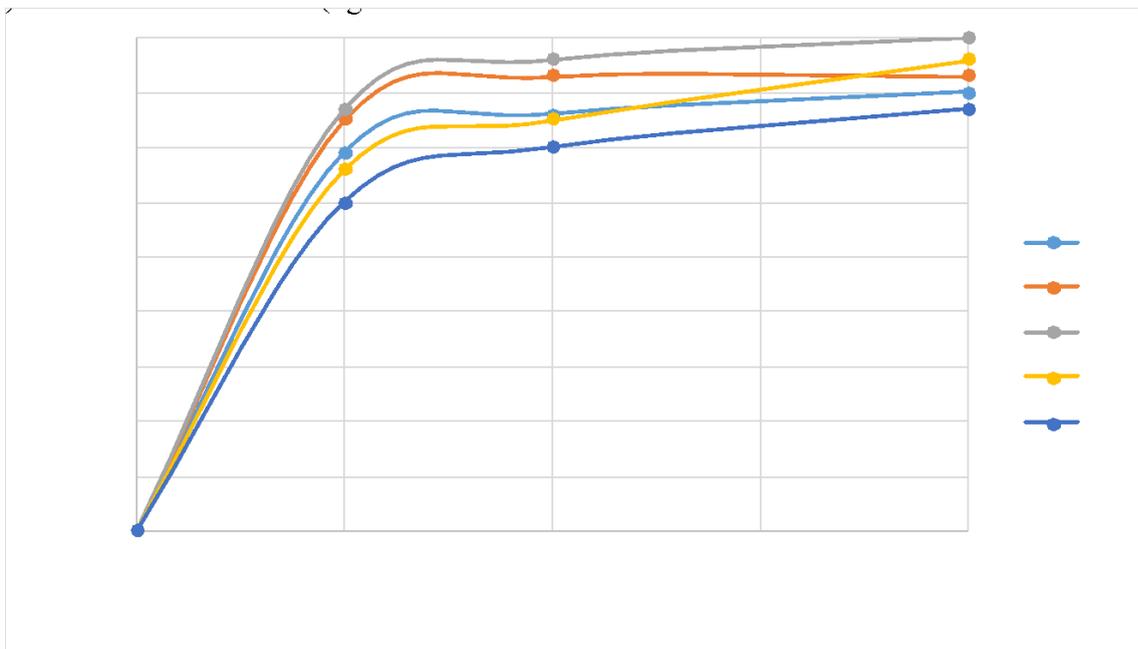


Figura 35. Resistencia a la flexión (kg/cm²) con 5%, 15%, 25% y 35% de cenizas de cáscara de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia

1.2. Contrastación de resultados

1.2.1. Contrastación de la primera hipótesis al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.

Hipótesis 1: Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.

Para analizar la influencia de la ceniza de cáscara de arroz en la propiedad de consistencia y densidad del concreto se requieren los resultados de otras investigaciones.

a) Hipótesis auxiliar:

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento si incrementa la consistencia y densidad del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento no incrementa la consistencia ni densidad del concreto.

Observación ver Figura 36, relacionado al asentamiento:

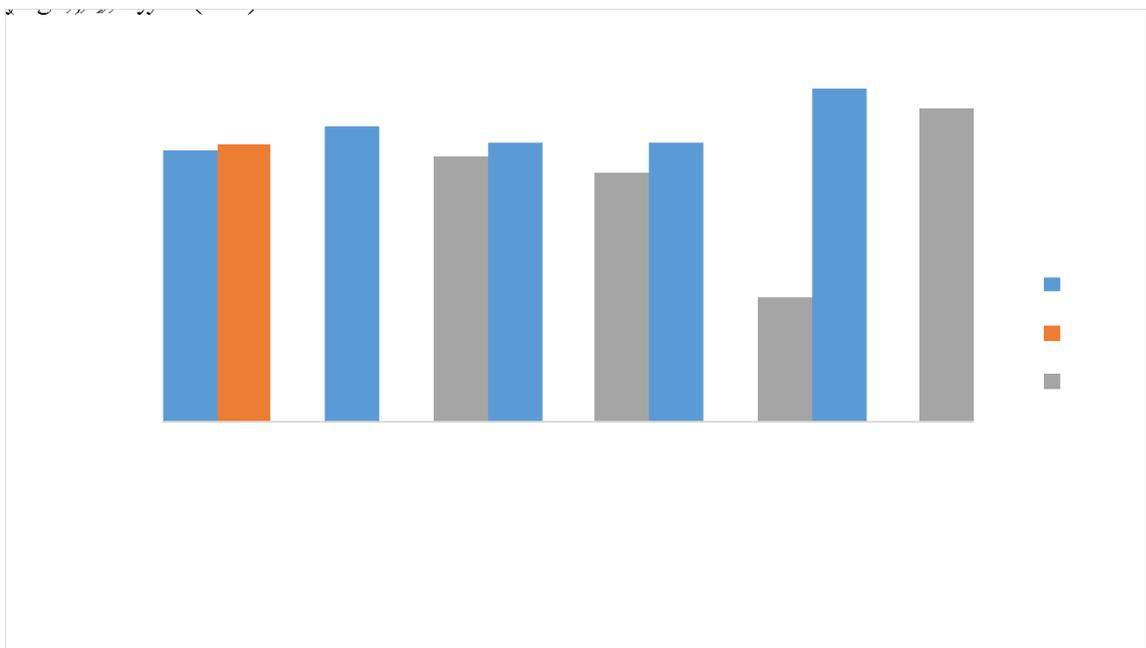


Figura 36. Contrastación hipótesis 1, referido al asentamiento según los autores

Fuente: Elaboración Propia

Para la Hipótesis 1, se toma como porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, cuyo porcentaje de reemplazo proporcione resultados favorables en el ensayo a la resistencia a la compresión de todos los diseños presentados por cada autor, por consiguiente en la Figura 36, se presentan los resultados de asentamiento de las muestras influenciadas por las cenizas de cáscara de arroz que a su vez tuvieron resultados favorables y destacables en el ensayo de la compresión.

Para la hipótesis 1, los resultados de consistencia obtenida de las muestras por los autores “Huertas, M. y Regalado, M.” resulto con un asentamiento de 87 mm respecto a la muestra patrón y 89 mm respecto a la muestra con el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento, resultando un aumento de 2 mm en la propiedad de consistencia; en cambio, los resultados de las muestras de los autores “Siddika et al.”, “Montero, D.”, “Ahsan, M. y Hossain, Z.” y “Montero, D.”, no se visualiza en la Figura 36 un aumento, evaluado dentro de un enfoque cuantitativo; ya que hubo una reducción del asentamiento en 5 mm, 10 mm, 50mm y 6 mm respectivamente para cada investigación; sin embargo, estas reducciones de los resultados de las muestras patrones y las muestras con cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento, no alcanza a modificar la categorización de la consistencia de las muestras independientemente de cada investigación, presentada en la Tabla 5, logrando así una viabilidad dentro de un enfoque cualitativo ya que no hay cambios; además, estas diferencias son aceptadas por la N.T.P. 060 Concreto Armado, que te permite un margen de error de 20 mm, con excepción del autor “Ahsan, M. y Hossain, Z.”, ya que con esta investigación existe una disminución de 50 mm.

Observación ver Figura 37, relacionado a la densidad:

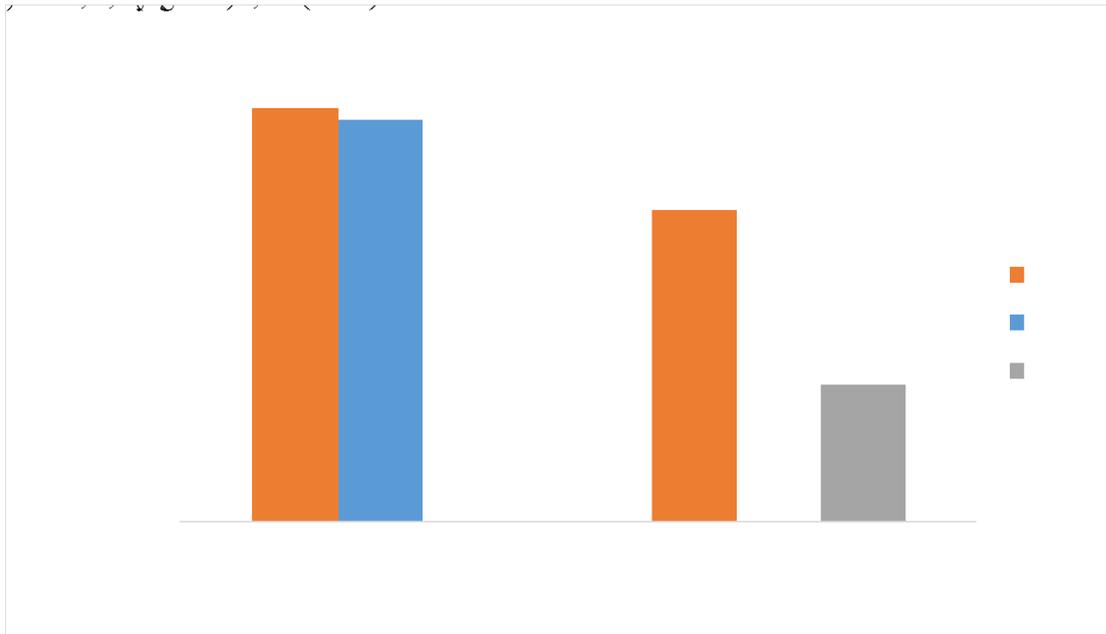


Figura 37. Contrastación hipótesis 1, referido a la densidad según los autores

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 37, se muestra los resultados de densidad del concreto de los autores “Montero, D.” y “Ahsan, M. y Hossain, Z.”, evaluando la propiedad de densidad dentro de un enfoque cuantitativo se denota una disminución de 4 kg/cm^3 para el autor “Montero, D.”; y una disminución de 34 kg/cm^3 para los autores “Ahsan, M. y Hossain, Z.”, comparando los resultados de las muestra patrón y muestra con cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento; sin embargo, ya que esta variación no es numéricamente significativa, la categoría de las muestras no varía para la Tabla 5, independiente de las muestras por cada investigación.

De acuerdo a los resultados obtenido para la Hipótesis 1, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra que, según las observaciones, que el uso óptimo de ceniza de cáscara de arroz no incrementa la consistencia ni densidad del concreto.

- 1.2.2. Contrastación de la segunda hipótesis al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.

Hipótesis 2: Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.

Para analizar la influencia de la ceniza de cáscara de palma aceitera en las propiedades de consistencia y densidad del concreto, se necesitan los resultados de otras investigaciones.

a) Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento no incrementa la consistencia y densidad del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.

Observación ver Figura 38

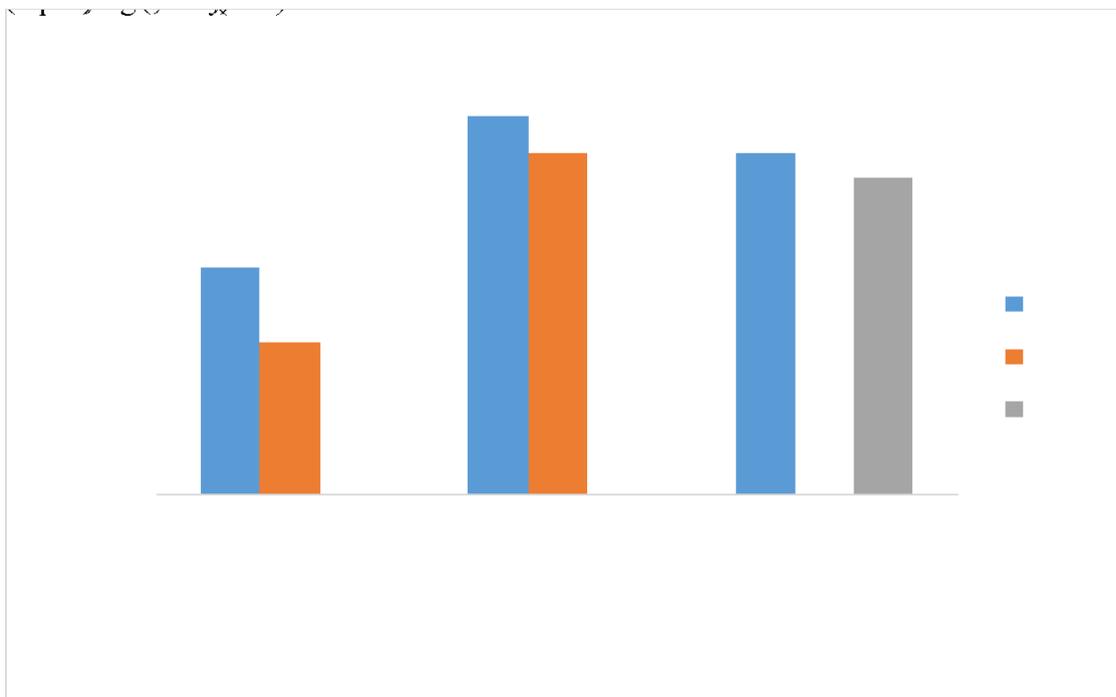


Figura 38. Contrastación hipótesis 2, referido al asentamiento según los autores.

Fuente: Elaboración propia

Para la hipótesis 2, se toma en cuenta como porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento al porcentaje que proporcionó mejores resultados con respecto al ensayo de resistencia a la compresión para todas las muestras presentadas por cada autor.

Los resultados correspondientes a la hipótesis 2, los resultados de consistencia de los autores Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O. son 30

mm para la muestra patrón y 20 mm para la muestra con 5% de ceniza como reemplazo parcial de cemento. Para el caso de Fapohunda, C. y Shittu, A., la diferencia de los resultados obtenidos resulta ser de 5 mm, donde la muestra patrón alcanza un valor de 50 mm y la muestra con 5% de ceniza de cáscara de palma aceitera alcanza un valor de 45 mm. Para Osman et al. los resultados son bastante similares debido a que la muestra patrón obtuvo un asentamiento de 45 mm y la muestra con 10% de ceniza alcanzó un valor de 42 mm. Para los casos presentamos, existe una disminución del asentamiento, sin embargo, estas reducciones no llegan a modificar la categorización de la consistencia de las muestras ensayadas por los autores, presentada en la Tabla 5.

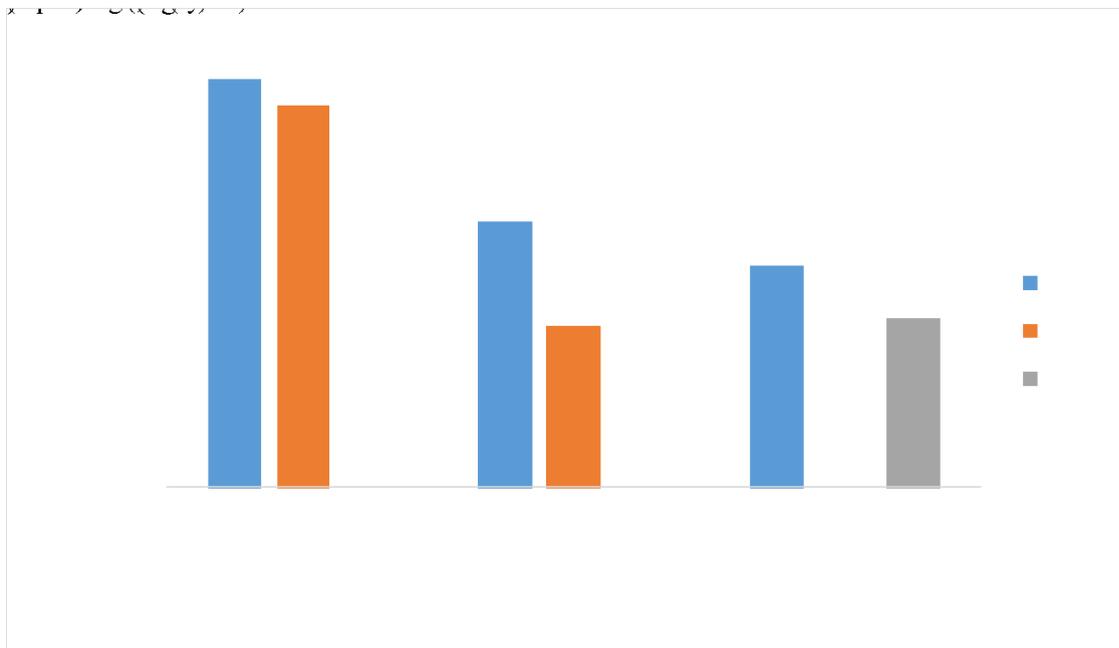


Figura 39. Contrastación hipótesis 2, referido a la densidad según los autores.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de densidad del concreto, los resultados que obtuvieron los autores presentan un comportamiento similar debido a que, en todos los casos, al utilizar la ceniza de cáscara de palma aceitera, la densidad disminuye. Para el caso de Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O. existe una diferencia de 27 kg/m^3 , disminuyendo la densidad en 1.07 % aproximadamente. En los resultados de Fapohunda, C. y Shittu, A. la diferencia resulta de 105 kg/m^3 , representando una disminución del 4% de la densidad del concreto patrón. Para el último caso, Osman et al., la muestra patrón alcanzó un valor de 2322 kg/m^3 mientras que la muestra

con 10% de ceniza obtuvo un resultado de 2269 kg/m³ existiendo una reducción de 53 kg/m³ en la densidad del concreto.

De acuerdo a los resultados de las investigaciones recopiladas para la hipótesis 2, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alterna (H1). Esto se debe a la demostración, la cual se llevó a cabo a través de la presentación de los resultados, demostrando que, a medida que los porcentajes de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento aumentan, tanto la consistencia como la densidad del concreto tienden a disminuir.

- 1.2.3. Contrastación de la tercera hipótesis al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

Hipótesis 3: Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

Para analizar la influencia de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades de resistencia a la compresión y flexión del concreto, se necesitan los resultados de otras investigaciones.

a) Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento no incrementa la resistencia a la compresión ni flexión del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

Observación ver Figura 40 y 41.

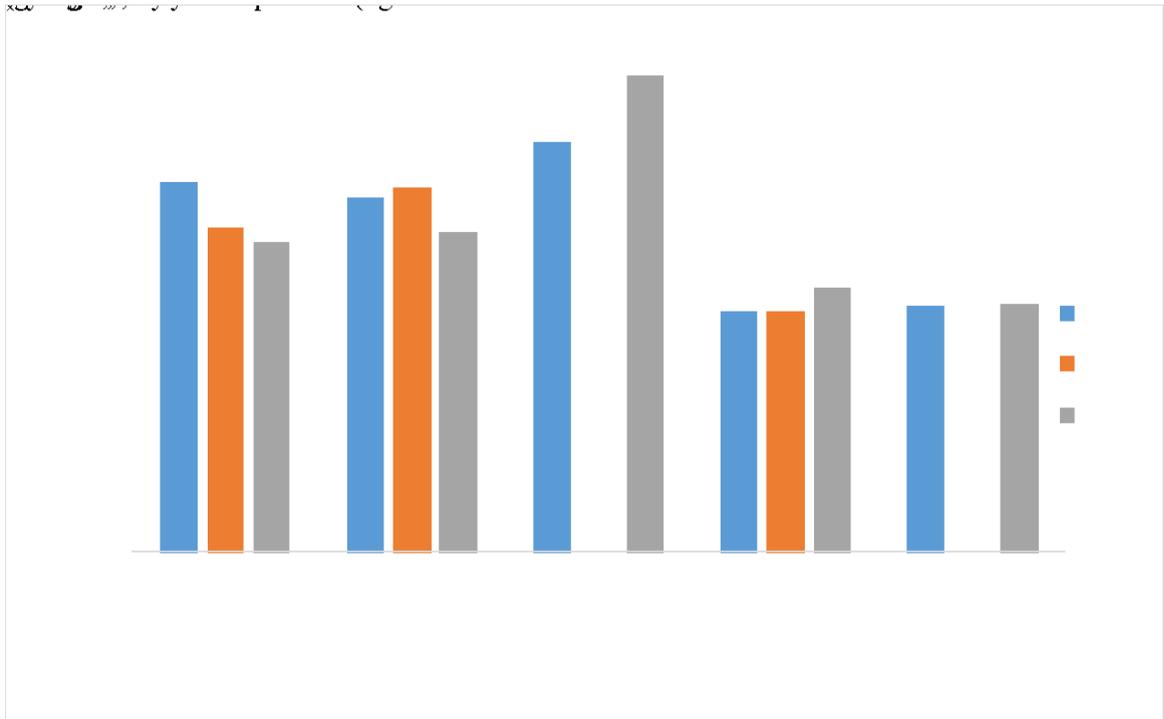


Figura 40. Contrastación hipótesis 3, referido a la resistencia a la compresión según los autores.

Fuente: Elaboración propia

Para la hipótesis 3, respecto a la resistencia a la compresión, en la Figura 40, para los autores “Igba et al.” y “Martínez, F. y Oyanguren, L.” existe una disminución de esta propiedad cuando se usa la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento en un 10%, la diferencia es de 53 kg/cm² para la investigación de “Igba et al.” y 28 kg/cm² para la investigación de “Martínez, F. y Oyanguren, L.”, pero para esta misma investigación con un porcentaje de 5% como reemplazo parcial, existe una mejora de 10 kg/cm² de 306 kg/cm² a 316 kg/cm². Sin embargo, para los autores “Montero, D.”, “Montero, S.” y “Rodríguez, A. y Tibabuzo, M.” con un porcentaje de 10% de reemplazo parcial se denota un incremento de esta propiedad, en la cual destaca la investigación de “Montero, D.”, incrementando 15.7% en comparativa del resultado de la muestra patrón.

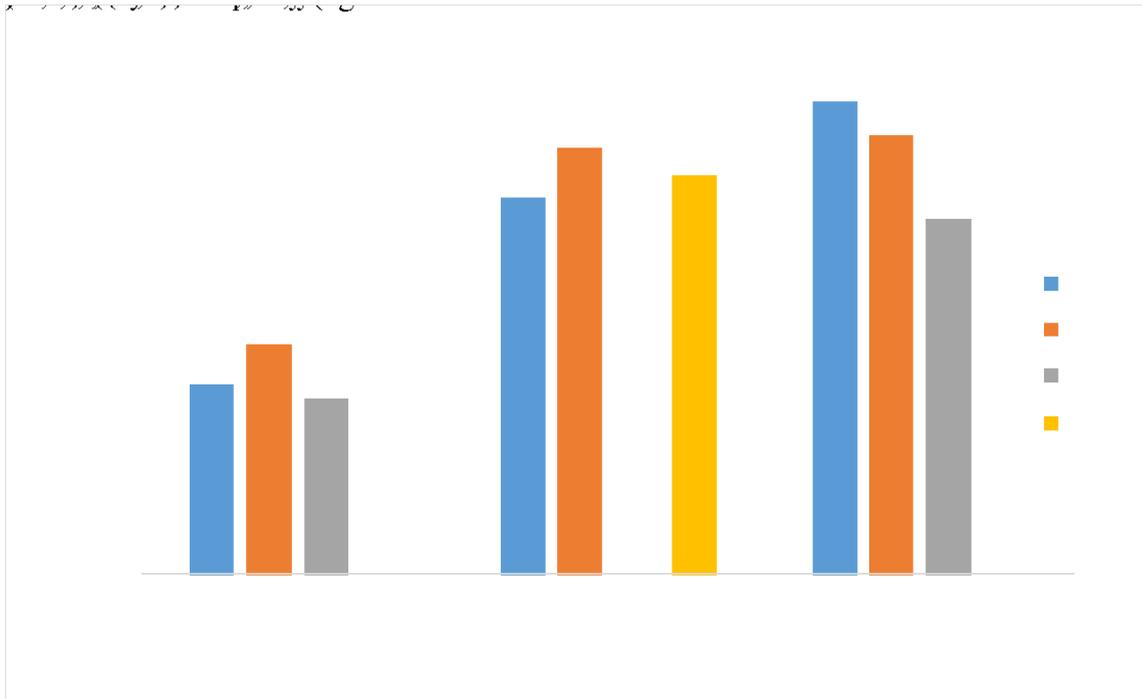


Figura 41. Contrastación hipótesis 3, referido a la resistencia a la flexión según los autores.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41, se presentan los resultados de la resistencia a la flexión, en el cual las investigaciones de “Krishna et al.” y “Ahsan, M. y Hossain, Z.”, se denota un incremento de esta propiedad con un reemplazo parcial de 10%, para la investigación de “Krishna et al.” aumento en 4 kg/cm² y para la investigación de “Ahsan, M. y Hossain, Z.” aumento en 5 kg/cm²; con excepción de la investigación de “Siddika et al.” en la cual hay una diferencia negativa de 52 kg/cm² a 49 kg/cm².

De acuerdo a los resultados de las investigaciones recopiladas para la hipótesis 3, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1). Esto se debe a la demostración, la cual se llevó a cabo a través de la presentación de los resultados, demostrando que, las cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento existe una mejora en la resistencia a la compresión y flexión en la mayoría de las investigaciones presentadas en esta investigación.

1.2.4. Contrastación de la cuarta hipótesis al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

Hipótesis 4: Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

Para analizar la influencia de la ceniza de cáscara de palma aceitera en las propiedades de resistencia a la compresión y flexión del concreto, se necesitan los resultados de otras investigaciones.

a) Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento no incrementa la resistencia a la compresión ni flexión del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

Observación ver Figuras 42 y 43.

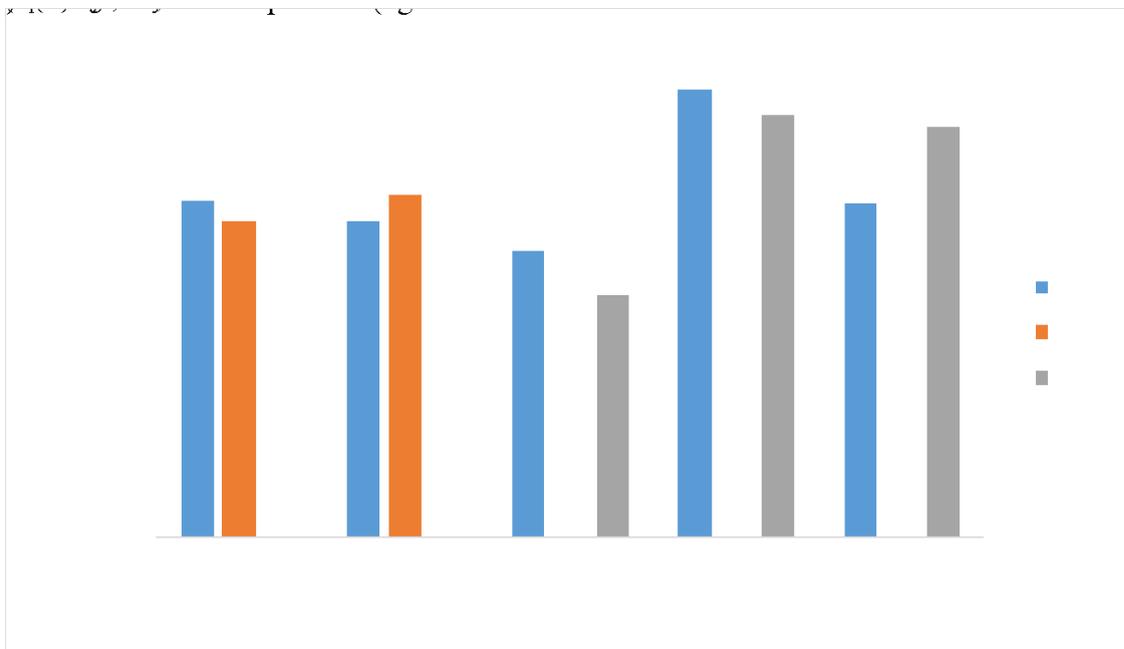


Figura 42: Contrastación hipótesis 4, referido a la resistencia a la compresión según los autores.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 42 se presentan los resultados de resistencia a la compresión de todos los autores consultados, tanto de la muestra patrón como del porcentaje óptimo según cada investigación. En los resultados de los

autores Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O., la muestra con ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento alcanzó un valor de 285 kg/cm² sin embargo, no logra superar a la muestra patrón, la cual obtuvo 303 kg/cm². Caso similar ocurre con Osmann et al. donde, a través de los resultados, es evidente la disminución de la resistencia a la compresión, presentando una diferencia de 40 kg/cm² por debajo de la muestra patrón. Del mismo modo sucede con Ismail et al., donde la muestra patrón tuvo un valor de 403 kg/cm² y la muestra con ceniza, un valor de 380 kg/cm². Solo en los casos de Goh et al. y Sulaiman et al. los resultados de resistencia a la compresión resultan favorables, presentando una diferencia de 23 kg/cm² y 69 kg/cm² respectivamente.

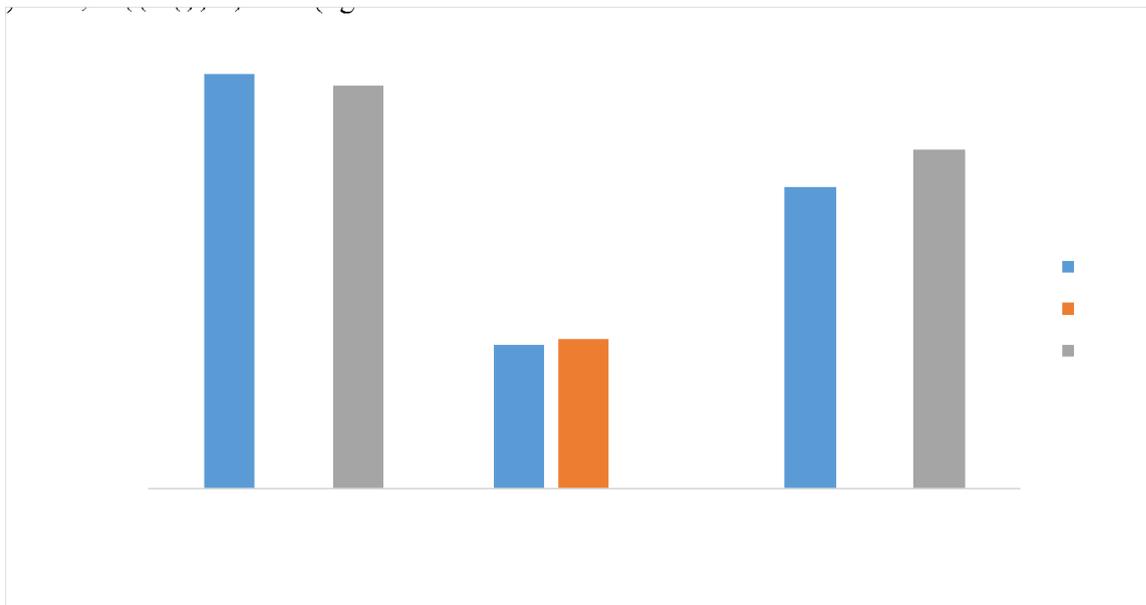


Figura 43. Contrastación hipótesis 4, referido a la resistencia a la flexión según los autores.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de resistencia a la flexión, los resultados se muestran en la Figura 43. Según los resultados de Ismail et al., se presentó una disminución ligera de 3 kg/cm² en los valores de resistencia a la flexión. Caso contrario ocurre con el resto de autores presentados, donde los resultados de las muestras con ceniza de cáscara de palma aceitera son superiores a la muestra patrón. Para Sindhu, S., la muestra patrón obtuvo un valor de 38 kg/cm² y la muestra con ceniza alcanzó un valor de 40 kg/cm². En el caso de Sulaiman et al., la diferencia entre la muestra patrón

y la muestra con 10% de ceniza resulta favorable con una diferencia de 10 kg/cm².

De acuerdo a los resultados de las investigaciones recopiladas para la hipótesis 4, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alterna (H1). Esto se debe a la demostración, la cual se llevó a cabo a través de la presentación de los resultados, demostrando que, las cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento no presenta mejoras significativas en las propiedades de resistencia a la compresión y flexión. En la mayoría de investigaciones logra superar la resistencia de diseño f'_c sin embargo, no supera la resistencia de la muestra patrón.

DISCUSIÓN

1. Según los resultados de Huertas M. y Regalado L., con el porcentaje óptimo (8%) de ceniza de cáscara de arroz, el asentamiento aumenta en 2 mm y este aumento es progresivo conforme se usa mayor porcentaje de ceniza. En el caso de Montero, D., Siddika et al., Montero S., Ahsan et al. y Siddika et al. en sus investigaciones el asentamiento disminuye conforme aumenta el porcentaje de cenizas de cáscara de arroz. El porcentaje óptimo de reemplazo para estas investigaciones fue 10%. Con este porcentaje, el asentamiento fue inferior con respecto a las muestras sin ceniza, obteniendo una disminución de 10 mm, 5 mm, 6 mm y 50 mm respectivamente. Para las investigaciones de Ahsan, M. y Hossain, Z. y Montero, D., la densidad disminuye conforme aumentan los porcentajes de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento. Además, los resultados de las muestras con los porcentajes óptimos de reemplazo para cada investigación tampoco superaron los resultados de densidad de la muestra patrón, la disminución es de 64 kg/m^3 y 4 kg/m^3 respectivamente de cada investigación.
2. Según los resultados de Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O. (2019), con respecto al asentamiento y densidad del concreto, se presenta una disminución en los resultados presentados en la Tablas 14 y 14, donde la muestra patrón alcanzó un valor de 30 mm y 2510 kg/m^3 respectivamente mientras que la muestra con 5% de ceniza, obtuvo un valor de 20 mm en los ensayos de asentamiento y 2483 kg/m^3 en los ensayos de densidad. Caso similar ocurre con los resultados obtenidos de los autores Fapohunda, C. y Shittu, A., donde se presenta una diferencia de 5 mm en el asentamiento entre la muestra patrón y la muestra con 5% de ceniza. Del mismo modo, existe una diferencia de 105 kg/m^3 en la densidad del concreto. Para ambas investigaciones, el porcentaje óptimo resulta ser 5%. Para el caso de Osman et al., a través de las Tablas 18, 19 y Figuras 14 y 15, se presenta una disminución del asentamiento y densidad del concreto a medida que aumenta el porcentaje de ceniza de cáscara de palma aceitera. Del mismo modo, el porcentaje óptimo para la presente investigación, no logro superar al concreto patrón. Finalmente, es bueno precisar que los

resultados presentados no varían su clasificación tanto en asentamiento, según la Tabla 5 y densidad según la Tabla 6.

3. Para la investigación de Igba et al., Martinez, F. y Oyanguren, L. respecto a los resultados de la resistencia a la compresión, las muestras con cenizas de cáscara de arroz, no sobrepasaron los resultados de la muestra patrón. Con excepción de un porcentaje de 5% en la investigación Martinez, F. y Oyanguren, L. que con este porcentaje sobrepasa en 10 kg/cm^2 al patrón. Para la investigación de Montero, D., el porcentaje óptimo es de 10% y logró superar los resultados de la muestra patrón, con una diferencia de 56 kg/cm^2 , al igual que la investigación de Rodríguez, A. y Tibabuzo, M., superando en 22 kg/cm^2 a la muestra patrón. Para la investigación de Montero, S., en el cual se contempla resultados para 3 diseños $f'c$ (175 kg/cm^2 , 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2), al utilizar un porcentaje de reemplazo de 10% se obtuvo los valores máximos de resistencia a la compresión superando a la muestra patrón. Respecto a los resultados de resistencia a la flexión, las investigaciones de Krishna et al., Ahsan, M. y Hossain, Z., con 10% de ceniza de cáscara de arroz se obtiene los valores máximos de resistencia a la flexión, superando los resultados de las muestras sin ceniza en 4 kg/cm^2 y 5 kg/cm^2 respectivamente. En la investigación de Siddika et al., los resultados de resistencia a la flexión, no muestran un incremento; sin embargo, hay una diferencia negativa de 3 kg/cm^2 , evaluando los resultados de la muestra patrón y la muestra con 10% de ceniza. Estos resultados están ligados a la calidad de la ceniza de cascara de arroz, es decir, la calidad de finura y el tiempo de quemado al igual que la temperatura son factores que pueden alterar la resistencia a la compresión y flexión.
4. Según los resultados de los autores Fapohunda, C. y Oluwasegunota, O.; Osman et al. e Ismail et al. no reportan mejoras, tanto en resistencia a la compresión como resistencia a la flexión. Los resultados de las muestras patrón de los autores resultan ser superiores a las muestras que contienen ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento. Sin embargo, según los resultados de resistencia a la compresión de Sulaiman et al.; la resistencia a la compresión logra superar a la muestra patrón cuando se usa 10% de ceniza de cáscara de palma aceitera, alcanzando un valor de 369 kg/cm^2 y 300 kg/cm^2 respectivamente. En el caso de resistencia a la flexión, la muestra con ceniza

alcanzó un valor de 90 kg/cm^2 , siendo superior por 10 kg/cm^2 con respecto a la muestra patrón. Del mismo modo, los resultados de Goh et al. evidencian un aumento en la resistencia a la compresión cuando se usa ceniza de cáscara de palma aceitera. La muestra con ceniza obtuvo una resistencia de 307 kg/cm^2 presentando una diferencia favorable de 23 kg/cm^2 . Para el caso de Sindhu, S., los valores alcanzados de resistencia a la flexión son 38 kg/cm^2 en el caso de la muestra patrón y 40 kg/cm^2 para la muestra con 10% de ceniza. A pesar de que estos resultados favorables no ocurren en todos los casos, los valores alcanzados de las muestras que contienen esta ceniza como reemplazo parcial de cemento si superan la resistencia de diseño $f'c$ (kg/cm^2) planteada por los autores en sus investigaciones.

CONCLUSIONES

1. Los mejores resultados se obtienen al usar las cenizas de residuos agrícolas entre los rangos de 5% y 10%. Con la ceniza de cáscara de arroz, la resistencia a la compresión y flexión aumenta 23 kg/cm² y 5 kg/cm² respectivamente. Esto no ocurre con la ceniza de cáscara de palma aceitera, donde la resistencia a la compresión disminuye 26 kg/cm² en la mayoría de casos pero la resistencia a la flexión aumenta 6 kg/cm². En general, la ceniza de cáscara de arroz tiene un mejor comportamiento dentro de las propiedades mecánicas del concreto.
2. Según las Figura 36 y 37, las muestras con ceniza de cáscara de arroz, no logran incrementar las propiedades de consistencia, siendo el resultado más significativo una reducción de 50 mm en los resultados de la investigación de Ahsan, M. y Hossain, Z. con un porcentaje de 10% de reemplazo en comparativa de los resultados de la muestra patrón, ni densidad, siendo el resultado más significativo una reducción de 64 kg/m³ en los resultados de la investigación del mismo autor con el mismo porcentaje de reemplazo en comparativa con los resultados de la muestra patrón; por ello se deduce que dentro de un enfoque cuantitativo, no hay aumento; sin embargo, dentro de un enfoque cualitativo, apoyado en las Tabla 5 y Tabla 6, la diferencia de los resultados de la muestra patrón entre la muestra con cenizas de cáscara de arroz para ambas propiedades, no cambia su categorización de consistencia ni densidad, por ello se considera bajo este enfoque sin efecto. En base los resultados presentados, se aceptó la hipótesis nula.
3. Como se muestra en la Figura 38, al usar la ceniza de cáscara de palma aceitera con una relación a/c de 0.5, el asentamiento disminuye conforme el porcentaje de reemplazo aumenta. La disminución del asentamiento es de 6 mm en promedio, encontrándose dentro del mismo rango de consistencia de la muestra patrón para cada investigación analizada. Asimismo, para la propiedad de

densidad, como se muestra en la Figura 39, la ceniza de cáscara de palma aceitera provoca una disminución promedio de 62 kg/m^3 pero estos valores se encuentran dentro del rango de densidad del concreto convencional presentado en la Tabla 6. La diferencia entre las muestras del concreto patrón con respecto a las muestras con ceniza resulta mayor cuando se supera el 10% para ambas propiedades, siendo este el porcentaje óptimo de reemplazo.

4. Respecto a la resistencia a la compresión y flexión, según las Figura 40 y 41, haciendo uso de ceniza de cáscara de arroz en un porcentaje de 10% como reemplazo parcial del cemento existe una mejora en la mayoría de investigaciones recopiladas para ambas propiedades en comparativa con resultados de la muestra patrón e incluso lograron alcanzar la resistencia de diseño $f'c$ (kg/cm^2) propuesta para cada investigación. La investigación de Montero, D. es la más resaltante ya que existe una mejora en 56 kg/cm^2 respecto al resultado de la muestra patrón en la propiedad de resistencia a la compresión; y la investigación de Ahsan, M. y Hossain, Z. se obtiene una mejora de 5 kg/cm^2 respecto a la muestra patrón en la propiedad de resistencia a la flexión. Por ello se acepta la hipótesis alterna.
5. Como se muestra en la Figura 42, la resistencia a la compresión del concreto presenta una diferencia positiva y negativa promedio, siendo estas 15% y 9.3% respectivamente. El mejor valor se obtiene al utilizar un 10% de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento, obteniendo un valor de 369 kg/cm^2 con respecto al resultado de la muestra patrón, siendo esta 300 kg/cm^2 a los 28 días de curado. Del mismo modo, como se muestra de la Figura 43, la ceniza de cáscara de palma aceitera, en una dosificación de 10% como reemplazo parcial del cemento, se obtiene el mejor valor, siendo este 90 kg/cm^2 presentando una diferencia de 10 kg/cm^2 con respecto a la muestra patrón. En la mayoría de los casos, las muestras con ceniza logran superar la resistencia de diseño $f'c$ (kg/cm^2) sin embargo, en diversos casos, no superan la resistencia de la muestra patrón.

RECOMENDACIONES

1. Usar aditivos reductores de agua en la mezcla del concreto para mejorar las propiedades de consistencia y densidad, y así mitigar la disminución de los valores para estas propiedades al hacer uso de la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento, incrementando la consistencia y densidad dentro de un enfoque cuantitativo.
2. Mantener una relación a/c constante de 0.5 y no exceder el 10% de ceniza de cáscara de palma aceitera para no disminuir en gran medida el asentamiento y variar la consistencia del concreto. En caso se desee usar un porcentaje mayor al mencionado, se recomienda el uso de aditivos plastificantes para tener una mezcla trabajable.
3. El control de calidad de la molienda e incineración de las cenizas de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de palma aceitera es importante debido a que la finura debe ser semejante a la del cemento para obtener mejores resultados con respecto a las propiedades de resistencia a la compresión y flexión.
4. Para concretos convencionales, no exceder el 10% de ceniza de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento, para así obtener una resistencia a la compresión y flexión requerida, con la finalidad de evitar problemas, teniendo como resultado, un concreto menos resistente y duradero.
5. Realizar estudios relacionados al desarrollo de concreto con cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento, utilizando hasta un 15% de este material en intervalos de 2.5%, manteniendo una relación a/c entre 0.4 a 0.5 para el caso de concretos convencionales y en caso se desee usar una relación a/c menor, utilizar aditivos plastificantes en dosificaciones adecuadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abolhasani, A.; Samali, B. y Aslani, F. (2022). Rice husk ash incorporation in calcium aluminate cement concrete life cycle assessment, hydration and strength development. *Sustainability*, 14(2). Doi: 10.3390/su14021012
- Ahsan, M. y Hossain, Z. (2018). Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry. *Construction and Building Materials*, 178, 1-9. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.101
- Alnahhal, M.; Alengaram, U.; Jumaat, M.; Alqedra, M.; Mo, K. y Sumesh, M. (2017). Evaluation of Industrial By-Products as Sustainable Pozzolan Materials in Recycled Aggregate Concrete. *Sustainability*, 9(5), 767. doi:10.3390/su9050767
- Alsubari, B.; Shafiqh, P.; Ibrahim, Z.; Alnahhal, M. F. y Jumaat, M. Z. (2018). Properties of eco-friendly self-compacting concrete containing modified treated palm oil fuel ash. *Construction and Building Materials*, 158, 742–754. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.174
- Amin, M. y Abdelsalam, B. (2019). Efficiency of rice husk ash and fly ash as reactivity materials in sustainable concrete. *Sustainable Environment Research*, 1 (1), art. no. 30. Doi: 10.1186/s42834-019-0035-2
- Arévalo, A. y López, L. (2020). *Adición de ceniza de la cáscara de arroz para mejorar las propiedades de resistencia del concreto en la región San Martín* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, San Martín, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3740/CIVIL%20-%20Andy%20Fabi%20a1n%20Ar%20a9valo%20Torres%20%26%20Luis%20L%203%20pez%20del%20Aguila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asad, A.; Mustafa, A.; Faten, I.; Hayder, A.; Mohanad, H.; Malik, M. y Mohammed, F. (2022). The impact of using rice husk ash as a replacement material in concrete:

- An experimental study. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, ISSN 1018-3639. Doi: 10.1016/j.jksues.2022.03.002.
- ASTM C143-78. ASTM License Agreement, version C0143-78. ICS Code: 91.100.10. Publicado el 16 de agosto de 2017.
- ASTM C143-78. ASTM License Agreement, version C0143-78. ICS Code: 91.100.10. Publicado el 16 de agosto de 2017.
- ASTM C1611. ASTM License Agreement, version C1611_1611M-05. DOI: 10.1520/C1611_C1611M-05. Publicado el 31 de diciembre de 2010.
- ASTM C172-08. ASTM License Agreement, version C0172-08. DOI: 10.1520/C0172-08. Publicado el 16 de agosto de 2017.
- ASTM C685-07. ASTM License Agreement, version C0685_C0685M-07. DOI: 10.1520/C0685_C0685M-07. Publicado el 31 de diciembre de 2010.
- Banu, S. S.; Kartikeyan, J. y Jayabalan, P. (2020). Influence of using agro-waste as a partial replacement in cement on the compressive strength of concrete – A statistical approach. *Construction and Building Materials*, 250. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118746
- Bassirou, K.; John, N. y Erick, K. (2022). Experimental Effect of Cassava Starch and Rice Husk Ash on Physical and Mechanical Properties of Concrete. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(2), 343-350. Doi: 10.14445/22315381/IJETT-V70I2P239
- Bustos, E.; Cortés, J. y Rondón, D. (2021). *Incidencia de la ceniza de cuesco de palma aceitera en morteros y concretos hidráulicos* (Tesis de pregrado). Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué, Colombia. Recuperado de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/43942/1/2021_CortesRondonBustos-Incidencia_Cuesco_Concreto.pdf
- Cano, B. y Galarza, E. (2020). *Propuesta de uso de cenizas de cáscara de arroz y fibras de polipropileno en diseños de mezclas de concreto para el control de fisuras en losas macizas entrepiso in-situ en la ciudad de Lima* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/654901>
- Carcausto, M. (2018). *Análisis y diseño estructural de la IES Agropecuaria N 125 de Chupa, Distrito de Chupa-Azangaro-Puno* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7292>

- Chinchón, S y Sanjuán, M. *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/45347>
- Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017). Some Later Ages Structural Characteristics of Concrete Containing Empty Palm Oil Fruit Brunch Ash (EPO-FBA) as Partial Replacement of Ordinary Portland Cement. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*. 2. Doi: 10.46792/fuoyejtv2i1.38.
- Fapohunda, C., y Oluwasegunota, O. (2019). Evaluation of structural performance of concrete with opc fraction partly replaced by empty palm oil brunch ash (epo-fba). *Fuw trends in science & technology journal*, 4(1), 202–208. Recuperado de <http://www.ftstjournal.com/uploads/docs/41%20Article%2036.pdf>
- Fitriani, H., Ahmed, A., Kolawole, O., Hyndman, F., Idris, Y., & Rosidawani, R. (2022). Optimizing Compressive Strength Properties of Binary Blended Cement Rice Husk Concrete for Road Pavement. *Trends in Sciences*, 19(9), 3972-3972. Doi: 10.48048/tis.2022.3972
- Gautam, N. R., Patil, R. N., y Dhawad, P. D. (2019). Experimental study investigation of rice husk ash on concrete. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 9(4), 4534-4537. Doi:10.1063/1.5100476
- Goh D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022). The Performance of Reinforcement Concrete Beam Containing Palm Oil Fuel ASH (POFA) and Expanded Polystyrene (EPS) in Term of Flexural Behavior. *Progress in Engineering Application and Technology*, 3(1), 289–296. Doi: <https://doi.org/10.30880/peat.2022.03.01.030>
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Recuperado de https://www.academia.edu/28633263/El_Concreto_y_Otro_Materiales_Para_la_Construccion
- Hamada, H.; Tayeh, B.; Yahaya, F.; Muthusamy, K. y Al-Attar, A. (2020). Effects of nano-palm oil fuel ash and nano-eggshell powder on concrete. *Construction and Building Materials*, 261. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119790
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Recuperado de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disenodeestructurasdeconcretoharmesen.pdf>

- Huertas, M. y Regalado, L. (2018). *Influencia de la cáscara y ceniza de cáscara de arroz sobre la resistencia a la compresión de un concreto no estructural*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada Del Norte, Trujillo, Perú. Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13593>
- Igba, U.; Ehikhuenmen, S.; Akinyele, J.; Osaghale, M. y Oyeibisi, S. The effect of partial replacement of Nigerian Portland limestone cement with rice husk ash agricultural waste in concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 640 (1), art. no. 012041. Doi: 10.1088/1757-899X/640/1/012041
- Ismail, M.; Adnan, M. y Deraman, R. (2021). Short-Term Effect on Mechanical Strength and Water Absorption of Concrete Containing Palm Oil Fuel Ash Exposed to Chloride Solution. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 12(3), 269–279. Doi: 10.30880/ijscet2021.12.03.026
- Jonida, P.; Ahmed A.; Kamau, J. y Hyndman, F. (2018). Palm Oil Fuel Ash as A Cement Replacement in Concret. *Modern Approaches on Material Science, Lupine Publishers, LLC, vol. 1(1)*, pages 4-8. Recuperado de <https://lupinepublishers.com/material-science-journal/fulltext/palm-oil-fuel-ash-as-a-cement-replacement-in-concrete.ID.000102.php#:~:text=The%20findings%20suggest%20that%20Palm,compare%20to%20the%20control%20one.>
- Julon, N. y Marcañaopa, E. (2021). *Mejoramiento de la resistencia a compresión y flexión de concreto sostenible a elevadas temperaturas, con adición de cenizas puzolánicas* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657263>
- Kannan, V. (2018). Strength and durability performance of self-compacting concrete containing self-combusted rice husk ash and metakaolin. *Construction and Building Materials*, 160, pp. 169-179. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.043
- Krishna, N.; Sandeep, S. y Mini, K. (2016). Study on concrete with partial replacement of cement by rice husk ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149, 012109. Doi:10.1088/1757-899x/149/1/012109
- Martinez, F. y Oyanguren L. (2019). *Diseño y evaluación de concreto especial con cenizas de cáscara de arroz (RHA) para aumentar la durabilidad de las estructuras frente a la exposición al ambiente marino* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Recuperado de

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628220/Martinez_UF.pdf?sequence=3&isAllowed=y

- Matienzo, J. (2018). *Resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo al cemento por la combinación de un 8% por el polvo de la concha de abanico y 12% por las cenizas de la cáscara de arroz* (Tesis de pregrado). Universidad San Pedro, Chimbote, Perú. Recuperado de <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/5476>
- Montero, D. (2017). *Uso de la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad de Quito, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6412>
- Montero, S. (2019). *Evaluación de las propiedades del concreto empleando ceniza de cáscara de arroz como sustituto del cemento en porcentajes para las edificaciones en la ciudad de Chiclayo* (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/8066/Montero%20Flores%20Segundo%20Yoel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Norma Técnica Peruana 339.033. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 22 de diciembre del 2015.
- Norma Técnica Peruana 339.034. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 22 de diciembre del 2015.
- Norma Técnica Peruana 339.034. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 26 de setiembre del 2012.
- Norma Técnica Peruana 339.035. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 21 de abril del 1999.
- Norma Técnica Peruana 339.036. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 27 de diciembre del 2017.

- Norma Técnica Peruana 339.104. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 14 de noviembre del 2018.
- Norma Técnica Peruana 339-009. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 31 de marzo de 2005.
- Norma Técnica Peruana 339-088. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 14 de enero del 2016.
- Norma Técnica Peruana 339-134. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145. Publicado el 11 de julio del 2014.
- Norma Técnica Peruana. (2010). Norma E.060. Obtenido de [http://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/54%20E.060%20CONCRETO%20ARMADO%20DS%20N%C2%B0%20010-2009%20\(1\).pdf](http://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/54%20E.060%20CONCRETO%20ARMADO%20DS%20N%C2%B0%20010-2009%20(1).pdf)
- Osman, M. H. B.; Kai, O. S.; Adnan, S. H.; Salim, S.; Rahman, M.; Jaafar, A. y Yahya, N. F. (2021). Mechanical properties of concrete containing expanded polystyrene (EPS) and palm oil fuel ash (POFA). *Proceedings of 8th International conference on advanced materials engineering and technology. (ICAMET 020)*. Doi:10.1063/5.0052774
- Panchal, J.; Challagulla, S. y Kishore, I. (2021). Influence of palm oil fuel ash on strength properties of concrete. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering, 1197*(1). Doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1197/1/012082>
- Quispe, Y. (2018). *Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial del cemento por cenizas de cáscara de arroz en la zona Altiplano* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8398>
- Rajendrachari, S. y Orhan, U. (2022). *Fundamentals of Materials Engineering - a Basic Guide*. Recuperado de <https://www.proquest.com/legacydocview/EBC/6512659?accountid=45097>.
- Rajesh, G.; Narasimha, M.; Sai, R.; Durga, K. y Pavan, J. (2020). Consumption of palm oil fuel ash in producing lightweight concrete. *Materials Today: Proceedings, 33*(1), 1073-1078. Doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.096.

- Rivera G. (2021). *Concreto simple*. Recuperado de https://www.academia.edu/13569512/CONCRETO_SIMPLE
- Rodríguez, A. y Tibabuzo, M. (2019). *Evaluación de la ceniza de cáscara de arroz como suplemento al cemento en mezclas de concreto hidráulico* (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Meta, Colombia. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15589/2019anyirodr%C3%ADguez,2019mar%C3%ADapaulatibabuzo.pdf?sequence=1>
- Salam, M.; Safiuddin, M. y Jumaat, M. (2018). Durability Indicators for Sustainable Self-Consolidating High-Strength Concrete Incorporating Palm Oil Fuel Ash. *Sustainability*, 10(7), 2345. Doi:10.3390/su10072345
- Sanawung, W.; Cheewaket, T.; Tangchirapat, W. y Jaturapitakkul, C. (2017). Influence of Palm Oil Fuel Ash and W/B Ratios on Compressive Strength, Water Permeability, and Chloride Resistance of Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1–8. Doi:10.1155/2017/4927640
- Siddika, A.; Mamun, M. y Ali, M. (2018). Study on concrete with rice husk ash. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1). Doi:10.1007/s41062-018-0127-6
- Sindhu, S. (2021). Microstructure and Durability Performance of Concrete Containing Empty Palm Oil Fruit Bunch Ash as Partial Replacement of Ordinary Portland Cement. *Afribary*. Recuperado de <https://afribary.com/works/microstructure-and-durability-performance-of-concrete-containing-empty-palm-oil-fruit-bunch-ash-as-partial-replacement-of-ordinary-portland-cement>
- Sulaiman, M.; Muthusamy, K.; Mat, S.; Mohd, M.; Paramasivam, R. y Othman, R. (2018). Effect of unground oil palm ash as mixing ingredient towards properties of concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140, 012150. Doi:10.1088/1755-1315/140/1/012150
- Torres, J. (2021). *Aplicación de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades del concreto de $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/87530>
- Valverde, E. y Vargas, J. (2020). *Influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas del concreto con aditivos* (Tesis de título profesional). Universidad Ricardo Palma, Lima, Peru. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3712>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Anexo 2. Matriz bibliográfica

Anexo 3. Matriz de subtemas

Anexo 4. Matriz de jerarquía

Anexo 1. Matriz de consistencia

Cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial del cemento para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente		La presente investigación es de tipo bibliográfico, documental y descriptivo. La metodología que sigue la investigación es documental debido a que se sostiene en base a la información recolectada en tesis internacional y nacional, así como artículos científicos. Los estudios revisados utilizaron un método deductivo, orientación
¿De qué manera las cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto?	Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial del cemento para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto.	Al determinar el porcentaje óptimo de cenizas de residuos agrícolas como reemplazo del cemento mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto.	Cenizas de residuos agrícolas	Porcentaje de ceniza de cascara de arroz Porcentaje de ceniza de cáscara de palma aceitera	
Problema Específicos	Objetivo Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente		
a) ¿De qué manera los porcentajes de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento incrementan la consistencia y densidad del concreto?	a) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto.	a) Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto.	Propiedades físico-mecánicas del concreto	Consistencia - Densidad	

- | | | |
|---|---|---|
| <p>b) ¿De qué manera los porcentajes de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementan la consistencia y densidad del concreto?</p> | <p>b) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto</p> | <p>b) Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementa la consistencia y densidad del concreto</p> |
| <p>c) ¿De qué manera los porcentajes de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementan la resistencia a la compresión y flexión del concreto?</p> | <p>c) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión.</p> | <p>c) Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento incrementa la resistencia a la compresión y flexión.</p> |
| <p>d) ¿De qué manera los porcentajes de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento incrementan</p> | <p>d) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del</p> | <p>d) Al determinar el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del</p> |

aplicada. La recolección de datos es retrolectivo, el tipo explicativo, descriptivo. El diseño es longitudinal, prospectivo y estudio de cohortes.

Resistencia a la compresión y flexión

la resistencia a la compresión y flexión del concreto? cemento incrementar la resistencia a la compresión y flexión. para cemento incrementar la resistencia a la compresión y flexión.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2. Matriz bibliográfica

Fuente	Autor	Título	Título (español)	Método	Observaciones	Año	Residuo o agrícola
1	Abolhasani, A., Samali, B., & Aslani, F. (2022).	Rice husk ash incorporation in calcium aluminato cement concrete life cycle assessment, hydration and strength development.	Incorporación de ceniza de cascarilla de arroz en la evaluación del ciclo de hidratación y desarrollo de la resistencia del hormigón de cemento de aluminato de calcio.	Experimental	Los porcentajes fueron 2.5%, 5%, 7.5% y 10%, para todas las muestras tuvieron una relación a/c de 0.4. Se tuvieron mayores resultados a la resistencia a la compresión con un reemplazo de 5%, porcentaje óptimo de reemplazo para su investigación (pero no sobrepaso el resultado de la muestra patrón).	2022	Ceniza de cáscara de arroz
2	Asad A. Khedheyer Al-Alwan, Mustafa Al-Bazoon, Faten I. Mussa, Hayder A. Alalwan, Mohanad Hatem Shadhar, Malik M. Mohammed, Mohammed	The impact of using rice husk ash as a replacement material in concrete: An experimental study	El impacto del uso de ceniza de cascarilla de arroz como material de reemplazo en el concreto: un estudio experimental	Experimental	Los porcentajes de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento fueron de 7% y 14%; y las muestras de la investigación tuvieron diferentes relaciones a/c las cuales fueron de 0.3, 0.5 y 0.7. Para el ensayo de resistencia a la compresión y flexión existe una leve mejora conforme se aumenta el	2022	Ceniza de cáscara de arroz

	Fakhri Mohammed (2022).				porcentaje de ceniza de cáscara de arroz para ambas propiedades. Los porcentajes de reemplazo parcial de cemento fueron de 10%, 15% y 20%. Respecto la prueba de consistencia, se observó en sus resultados, que conforme el porcentaje de reemplazo aumenta el asentamiento disminuye, la propiedad de densidad, al igual que el asentamiento disminuye. La prueba de resistencia a la compresión, se denota en sus resultados una leve disminución conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo. Los reemplazos parciales de ceniza de cáscara de arroz fueron 2.5%, 5%, 7.5% y 10%. Todas las muestras tuvieron una relación de a/c de 0.4. En sus resultados el porcentaje óptimo de reemplazo es de 5%, a los 28 días de curado no sobrepasa el resultado de la muestra patrón, pero a los 56 días de curado si lo supera.		
3	Bassirou Kone, John N. Mwero, Erick K. Ronoh, (2022).	Experimental Effect of Cassava Starch and Rice Husk Ash on Physical and Mechanical Properties of Concrete	Efecto experimental del almidón de yuca y la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón	Experimenta 1		202 2	Ceniza de cáscara de arroz
4	Fitriani, H., Ahmed, A., Kolawole, O., Hyndman, F., Idris, Y., & Rosidawani, R. (2022).	Optimizing Compressive Strength Properties of Binary Blended Cement Rice Husk Concrete for Road Pavement.	Optimización de las propiedades de resistencia a la compresión del concreto con cáscara de arroz y con mezcla binaria con cemento para pavimento de carreteras	Experimenta 1		202 2	Ceniza de cáscara de arroz

5	Goh D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022).	The Performance of Reinforcement Concrete Beam Containing Palm Oil Fuel ASH (POFA) and Expanded Polystyrene (EPS) in Term of Flexural Behavior	El rendimiento de la viga de hormigón de refuerzo que contiene aceite de palma combustible ASH (POFA) y poliestireno expandido (EPS) en términos de comportamiento de flexión	Experimenta 1	Los ensayos fueron realizados a los 7, 14 y 28 días de curado. La muestra patrón se ve superada cuando se usa un 10% de ceniza como reemplazo parcial de cemento. Para un 20% los valores son menores.	202 2	Ceniza de cáscara de palma aceitera
6	Julon, N. y Marcañaopa, E. (2021)	Mejoramiento de la resistencia a compresión y flexión de concreto sostenible a elevadas temperaturas, con adición de cenizas puzolánicas.		Experimenta 1	Las muestras fueron sometidas a pruebas de resistencia a la compresión y flexión; los porcentajes de reemplazo de ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento fueron 5% y 10%. Se concluye que las cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento el porcentaje óptimo de este reemplazo fue de 10%.	202 1	Ceniza de cáscara de arroz
7	Torres, J. (2021).	Aplicación de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades del concreto de $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$, Lima 2021.		Experimenta 1	Para su investigación se usó un diseño $f'c$ para todas las muestras de 245 kg/cm^2 ; los porcentajes de reemplazo parcial de ceniza de cáscara de arroz fueron de 10%, 15% y 20% en peso al cemento.	202 1	Ceniza de cáscara de arroz

8	Ismail, M.; Adnan, M. y Deraman, R. (2021).	Short-Term Effect on Mechanical Strength and Water Absorption of Concrete Containing Palm Oil Fuel Ash Exposed to Chloride Solution.	Efecto a corto plazo sobre la resistencia mecánica y la absorción de agua del hormigón que contiene cenizas combustibles de aceite de palma expuestas a la solución de cloruro.	Experimental	Los ensayos se realizaron a los 7, 14 y 28 días de curado. Las resistencias de compresión obtenidas por el concreto patrón fueron superiores en todos los casos. En la muestra con un 10% de ceniza se obtuvo valores cercanos, pero no logra superar al patrón; sin embargo, sobre la resistencia a la flexión paso a lo inverso.	2021	Ceniza de cáscara de palma aceitera
9	Osman, M.; Kai, O.; Adnan, S.; Salim, S.; Rahman, M.; Jaafar, A. y Yahya, N. (2021).	Mechanical properties of concrete containing expanded polystyrene (EPS) and palm oil fuel ash	Propiedades mecánicas del hormigón que contiene poliestireno expandido (EPS) y cenizas combustibles de aceite de palma	Experimental	Se realizo a los 7, 14 y 28 días de curado, Para todos los casos, no se alcanzó a superar al concreto patrón. El valor más cercano se obtuvo al reemplazar un 10% de ceniza.	2021	Ceniza de cáscara de palma aceitera
10	Sindhu, S. (2021).	Microstructure And Durability Performance Of Concrete Containing Empty Palm Oil Fruit Bunch Ash As Partial Replacement Of Ordinary Portland Cement.	Rendimiento de microestructura y durabilidad del concreto que contiene cenizas vacías de racimo de fruta de aceite de palma como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario.	Experimental	Los ensayos se realizaron a los 7, 14 y 28 días de curado. La resistencia del concreto patrón se vio superada hasta con un 15% de reemplazo. Luego de este valor, la resistencia tiende a disminuir	2021	Ceniza de cáscara de palma aceitera

11	Arévalo, A y López, L. (2020)	Adición de ceniza de la cáscara de arroz para mejorar las propiedades de resistencia del concreto en la región San Martín.		Experimenta 1	En esta investigación se estudiaron dos diseños de $f^c=175 \text{ kg/cm}^2$ ($a/c=0.63$) y 210 kg/cm^2 ($a/c=0.58$), tres porcentajes de reemplazos que fueron de 2%, 4% y 6%. Dentro de los resultados, el porcentaje óptimo de reemplazo fue de un 2%. Respecto al asentamiento, cuando el reemplazo parcial aumenta, el asentamiento disminuye. Se concluye que con porcentaje de adición de 2% se mejora levemente la resistencia a la compresión y flexión. La máxima resistencia se da cuando se reemplaza un 7.5% de ceniza de cáscara de arroz por cemento. Asimismo, se puede notar que, a un mayor porcentaje de reemplazo, los valores de resistencia a la compresión tienden a disminuir, siendo estos menores a la resistencia del concreto patrón. Respecto a la resistencia a la compresión disminuye conforme el porcentaje aumenta en comparación con la muestra patrón, pero cumple con el diseño (5% de reemplazo) de igual forma en la resistencia a	202 0	Ceniza de cáscara de arroz
12	Banu, S. S., Kartikeyan, J., y Jayabalan, P. (2020).	Influence of using agro-waste as a partial replacement in cement on the compressive strength of concrete – A statistical approach.	Influencia del uso de residuos agrícolas como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión del concreto: un enfoque estadístico.	Experimenta 1	Respecto a la resistencia a la compresión disminuye conforme el porcentaje aumenta en comparación con la muestra patrón, pero cumple con el diseño (5% de reemplazo) de igual forma en la resistencia a	202 0	Ceniza de cáscara de arroz
13	Cano, B. y Galarza, E. (2020)	Propuesta de uso de cenizas de cáscara de arroz y fibras de polipropileno en diseños de mezclas de concreto para el control de fisuras en losas macizas entrepiso		Experimenta 1		202 0	Ceniza de cáscara de arroz

		in-situ en la ciudad de Lima.			la flexión. Referente al asentamiento, al incrementar el porcentaje de reemplazo de CCA el asentamiento decrece. Los porcentajes de ceniza que utilizaron los autores fueron 10%, 20% y 30%. Analizaron la densidad del concreto, donde notaron un incremento cuando se utilizó 10% de ceniza, valor que fue disminuyendo hasta llegar a tener un valor similar a la muestra patrón cuando se utilizó un 30% de reemplazo. La ceniza de cáscara de palma aceitera es usada en porcentajes cuyos valores son de 10%, 20% y 30%. A través de los resultados, los autores notaron un ligero incremento de la resistencia a la compresión cuando se utiliza 10% de ceniza. Al utilizar un 20% de reemplazo, la resistencia de esta muestra no supera al patrón, pero la diferencia es mínima. Se usó para tres diseños, el primero 350 kg/m ³ , el segundo 450 kg/m ³ y el tercero con 550 kg/m ³ . En la mayoría de los casos, las muestras superaron la resistencia del concreto patrón a	
14	Rajesh, G.; Narasimha, M.; Sai, R.; Durga, K. y Pavan, J. (2020).	Consumption of palm oil fuel ash in producing lightweight concrete.	Consumo de cenizas de combustible de aceite de palma en la producción de hormigón ligero.	Experimenta l	202 0	Ceniza de cáscara de palma aceitera
15	Hamada, H., Tayeh, B., Yahaya, F., Muthusamy, K., Al-Attar, A. (2020).	Effects of nano-palm oil fuel ash and nano-eggshell powder on concrete.	Efectos del nano-aceite de palma combustible ceniza y polvo de nano-cáscara de huevo en el concreto.	Experimenta l	202 0	Ceniza de cáscara de palma aceitera
16	Amin, M., Abdelsalam, B.A. (2019).	Efficiency of rice husk ash and fly ash as reactivity materials in sustainable concrete.	Eficiencia de cenizas de cascarilla de arroz y cenizas volantes como materiales de reactividad en concreto sustentable.	Experimenta l	201 9	Ceniza de cáscara de arroz

17	Gautam, N. R., Patil, R. N., y Dhawad, P. D. (2019).	Experimental study investigation of rice husk ash on concrete.	Investigación de estudio experimental de ceniza de cascarilla de arroz sobre hormigón.	Experimenta l	los 28 días de curado, siendo las cenizas de cáscara de arroz las que generaron mayor aumento. En la presente investigación se reemplazó en un 12.5% y 25% como reemplazo parcial del cemento y la relación a/c fue de 0.45 para todas las mezclas. Con diseños de resistencias de 200 kg/cm ² y 250 kg/cm ² respectivamente. Para el concreto de resistencia 200 kg/cm ² , la muestra patrón se vio superada cuando se usó un 12.5% de ceniza de cáscara de arroz. En el segundo caso, el concreto de diseño f'c 250 kg/cm ² , el concreto patrón no se vio superado en ninguno de los porcentajes de reemplazo. Los investigadores mencionan que la cáscara de arroz al volverlo ceniza, esta se vuelve un material puzolánico por contener una gran cantidad de sílice en su componente (superior al 80%), al ser así puede ser un buen reemplazo parcial de cemento para la elaboración del concreto.	201 9	Ceniza de cáscara de arroz
18	Igba, U.; Ehikhuenmen, S.; Akinyele, J.; Osaghale, M. y Oyebisi, S. (2019)	The effect of partial replacement of Nigerian Portland limestone cement with rice husk ash agricultural waste in concrete	El efecto de la sustitución parcial del cemento de piedra caliza Portland de Nigeria con residuos agrícolas de ceniza de cascarilla de arroz en el hormigón	Experimenta l	los 28 días de curado, siendo las cenizas de cáscara de arroz las que generaron mayor aumento. En la presente investigación se reemplazó en un 12.5% y 25% como reemplazo parcial del cemento y la relación a/c fue de 0.45 para todas las mezclas. Con diseños de resistencias de 200 kg/cm ² y 250 kg/cm ² respectivamente. Para el concreto de resistencia 200 kg/cm ² , la muestra patrón se vio superada cuando se usó un 12.5% de ceniza de cáscara de arroz. En el segundo caso, el concreto de diseño f'c 250 kg/cm ² , el concreto patrón no se vio superado en ninguno de los porcentajes de reemplazo. Los investigadores mencionan que la cáscara de arroz al volverlo ceniza, esta se vuelve un material puzolánico por contener una gran cantidad de sílice en su componente (superior al 80%), al ser así puede ser un buen reemplazo parcial de cemento para la elaboración del concreto.	201 9	Ceniza de cáscara de arroz

19	Martinez, F. y Oyanguren L. (2019).	Diseño y evaluación de concreto especial con cenizas de cáscara de arroz (RHA) para aumentar la durabilidad de las estructuras frente a la exposición al ambiente marino.	Experimenta l	Este desecho se utilizó para reemplazar en 5%, 10% y 15% al cemento tipo V. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 28 días de curado en agua. Los agregados por utilizar en la mezcla fueron provenientes de la cantera “La Sorpresa” ubicada en las afueras de Chimbote, esto debido a la cercanía del proyecto situado en la localidad de Chimbote. Se elaboraron cuatro diseños de mezcla con diferentes resistencias a la compresión, las cuales fueron de 175 kg/cm ² , 210 kg/cm ² , y 280 kg/cm ² , los porcentajes de reemplazo parciales de ceniza de cáscara de arroz fueron de 10%, 15% y 20%. En los resultados, se apreció que la consistencia decrece cuando la ceniza de cáscara de arroz reemplaza parcialmente al cemento, ya que conforme se aumentaba el porcentaje de reemplazo el asentamiento disminuía.	201 9	Ceniza de cáscara de arroz
20	Montero, S. (2019)	Evaluación de las propiedades del concreto empleando ceniza de cáscara de arroz como sustituto del cemento en porcentajes para las edificaciones en la ciudad de Chiclayo.	Experimenta l	Este desecho se utilizó para reemplazar en 5%, 10% y 15% al cemento tipo V. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 28 días de curado en agua. Los agregados por utilizar en la mezcla fueron provenientes de la cantera “La Sorpresa” ubicada en las afueras de Chimbote, esto debido a la cercanía del proyecto situado en la localidad de Chimbote. Se elaboraron cuatro diseños de mezcla con diferentes resistencias a la compresión, las cuales fueron de 175 kg/cm ² , 210 kg/cm ² , y 280 kg/cm ² , los porcentajes de reemplazo parciales de ceniza de cáscara de arroz fueron de 10%, 15% y 20%. En los resultados, se apreció que la consistencia decrece cuando la ceniza de cáscara de arroz reemplaza parcialmente al cemento, ya que conforme se aumentaba el porcentaje de reemplazo el asentamiento disminuía.	201 9	Ceniza de cáscara de arroz

21	Rodríguez, A. y Tibabuzo, M. (2019)	Evaluación de la ceniza de cáscara de arroz como suplemento al cemento en mezclas de concreto hidráulico.		Experimenta l	Los porcentajes de reemplazos parciales fueron 3%, 5%, 10% y 15%. En los resultados, la evaluación del asentamiento para la muestra patrón (0%) tiene los mismos resultados que las muestras de 3% y 5%; para las muestras de 10% y 15% de reemplazos parciales, disminuye su consistencia. Se uso ceniza de cáscara de arroz de 3 tipos de finuras (600 um, 40 um y 150 um) en porcentajes de 10% y 20% como reemplazo parcial del cemento, se concluyó que es mejor utilizar CCA con la menor cantidad finos ya que favorecen el aumento de resistencia a la compresión siendo 10% el porcentaje más óptimo de sustitución del cemento. Se concluye que la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) mejora las propiedades mecánicas del concreto con respecto a la resistencia a la compresión, ya que al sustituir el 8% del cemento por CCA alcanzó la máxima resistencia a los 28 días con 231 kg/cm ² . Los	201 9	Ceniza de cáscara de arroz
22	Ahsan, M. B. y Hossain, Z. (2018).	Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry.	Uso suplementario de ceniza de cáscara de arroz (RHA) como material cementicio en la industria del concreto.	Experimenta l		201 8	Ceniza de cáscara de arroz
23	Huertas M. y Regalado L. (2018).	Influencia de la cáscara y ceniza de cáscara de arroz sobre la resistencia a la compresión de un concreto no estructural		Experimenta l		201 8	Ceniza de cáscara de arroz

24	Kannan, V. (2018).	Strength and durability performance of self-compacting concrete containing self-combusted rice husk ash and metakaolin	Desempeño de resistencia y durabilidad del concreto autocompactante que contiene ceniza de cascarilla de arroz y metacaolín autocombustibles	Experimental	porcentajes de reemplazo son de 10%, 20% y 30%. Se cuenta con una relación a/c de 0.40. Las muestras tuvieron un diseño de 800 Kg/cm ² , y se analizaron resistencias a la edad de 1, 7, 28 y 56 días de curado. Los datos de resistencia a la compresión comparando la muestra entre los 28 y 90 días de curado, muestran que la resistencia a la compresión aumenta al reemplazar ceniza de cáscara de arroz desde un 15% hasta un 30%.	2018	Ceniza de cáscara de arroz
25	Matienzo, J. (2018).	Resistencia a la compresión de un concreto f'c = 210 kg/cm ² sustituyendo al cemento por la combinación de un 8% por el polvo de la concha de abanico y 12% por las cenizas de la cáscara de arroz.		Experimental	Realizan un conjunto de probetas de concreto con un diseño de 210 kg/cm ² , Se sustituyo parcialmente en 8% por el polvo de la concha de abanico y 12% por las cenizas de la cáscara de arroz del total en peso del cemento, con una relación de a/c de 0.684	2018	Ceniza de cáscara de arroz
26	Quispe, Y. (2018).	Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial del cemento por cenizas de cáscara de arroz en la zona Altiplano.		Experimental	Los resultados demuestran que, a mayor porcentaje de reemplazo, el asentamiento y densidad va disminuyendo. Con respecto a la propiedad de resistencia a la compresión, la muestra patrón de concreto a los 28 días se ve superada	2018	Ceniza de cáscara de arroz

27	Siddika, A.; Mamun, M. A. A. y Ali, M. H. (2018).	Study on concrete with rice husk ash.	Estudio sobre hormigón con ceniza de cascarilla de arroz.	Experimenta 1	cuando se utiliza un 10% de reemplazo mientras que, en los demás reemplazos, disminuye la resistencia respecto al concreto patrón. El objetivo de la investigación fue el análisis de la influencia de la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento en la mezcla de concreto. Se trabajaron con porcentajes de 0%, 10% y 15% de ceniza (como reemplazo parcial de cemento en el diseño) y con relaciones de a/c de 0.4, 0.5 y 0.6; con el fin de someterlos a ensayos de asentamiento y resistencia a la compresión.	201 8	Ceniza de cáscara de arroz
28	Fapohunda, C., y Oluwasegunota, O. (2019).	Evaluation of structural performance of concrete with opc fraction partly replaced by empty palm oil brunch ash (epo-fba).	Evaluación del rendimiento estructural del hormigón con fracción opc parcialmente reemplazada por cenizas de brunch de aceite de palma vacías (epo-fba).	Experimenta 1	Al aumentar el porcentaje de ceniza de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial de cemento en un 5%, el asentamiento disminuye desde 30 a 20 milímetros y se mantiene constante en todos los porcentajes.	201 8	Ceniza de cáscara de palma aceitera

29	Jonida P.; Ahmed A.; Kamau, J. y Hyndman, F. (2018).	Palm Oil Fuel Ash as A Cement Replacement in Concret.	Ceniza de combustible de aceite de palma como reemplazo de cemento en Concreto	Experimenta 1	Utilizaron esta ceniza en porcentajes, cuyos valores fueron 2.5%, 5%, 10%, 15% y 20%. La relación agua/cemento usado por los autores fue de 0.5. Los autores no recomiendan exceder un 10% de reemplazo con la finalidad de mantener la mejora en la resistencia del concreto.	201 8	Ceniza de cáscara de palma aceitera
30	Sulaiman, M. A., Muthusamy, K., Mat Aris, S., Mohd Rasid, M. H., Paramasivam, R., y Othman, R. (2018).	Effect of unground oil palm ash as mixing ingredient towards properties of concrete.	Efecto de la ceniza de palma aceitera sin moler como ingrediente de mezcla hacia las propiedades del hormigón.	Experimenta 1	Se realizo a los 7, 14 y 28 días de curado. Solo con las muestras de 10% y 15% de reemplazo se logra superar al concreto patrón en la propiedad de resistencia a la compresión	201 8	Ceniza de cáscara de palma aceitera
31	Alnahhal, M., Alengaram, U., Jumaat, M., Alqedra, M., Mo, K., y Sumesh, M. (2017).	Evaluation of Industrial By-Products as Sustainable Pozzolanic Materials in Recycled Aggregate Concrete.	Evaluación de subproductos industriales como materiales puzolánicos sostenibles en el hormigón con agregado reciclado.	Experimenta 1	Los ensayos se realizaron utilizando distintos porcentajes de reemplazo como 10%, 20% y 30% del cemento, con una relación constante de a/c de 0.55. Se concluye la viabilidad de utilizar un 10% (porcentaje de reemplazo óptimo) de reemplazo de cemento en mezclas que se diseñen con una resistencia a la compresión de 300 kg/cm ² .	201 7	Ceniza de cáscara de arroz

32	Montero, D. (2017).	Uso de la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador	Experimental	La mezcla del concreto estuvo compuesta por el cemento Holcim GU, cemento hidráulico, y las cenizas tuvo una temperatura de calcinación de 500°C, posteriormente se trituró en un molino de bolas. Los porcentajes de reemplazo son 10%, 15%, 20% y 25% del cemento, las muestras tienen un diseño de 210 kg/cm ² . Conforme se aumenta la dosificación, el asentamiento disminuye obteniendo valores de 50, 45, 40, 40 y 30 para los porcentajes de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% respectivamente; y a medida que la cantidad de ceniza de cáscara de palma aceitera aumenta, la densidad va disminuyendo excepto al reemplazar un 20% que es donde aumenta la densidad ligeramente.	2017	Ceniza de cáscara de arroz
33	Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017).	Some Later Ages Structural Characteristics of Concrete Containing Empty Palm Oil Fruit Brunch Ash (EPO-FBA) as Partial Replacement of Ordinary Portland Cement	Experimental	Algunas edades posteriores Características estructurales del hormigón que contiene aceite de palma vacío como reemplazo parcial del Portland Cement	2017	Ceniza de cáscara de palma aceitera
34	Sanawung, W.; Cheewaket, T.; Tangchirapat, W. y Jaturapitakkul, C. (2017).	Influence of Palm Oil Fuel Ash and W/B Ratios on Compressive Strength, Water Permeability, and Chloride Resistance of Concrete.	Experimental	Influencia de las relaciones W/B y cenizas de combustible de aceite de palma en la resistencia a la compresión, la permeabilidad al agua y la resistencia al cloruro del concreto.	2017	Ceniza de cáscara de palma aceitera

35	Krishna, N. K., Sandeep, S., y Mini, K. M. (2016).	Study on concrete with partial replacement of cement by rice husk ash.	Estudio sobre hormigón con sustitución parcial de cemento por ceniza de cascarilla de arroz.	Experimenta	<p>densidad disminuye a medida que aumentan los porcentajes de reemplazo, tomando valores de 2322 kg/cm³, 2269 kg/cm³, 2197 kg/cm³ y 2098 kg/cm³ para los mismos porcentajes. En esta investigación se centra en la ceniza de cáscara de arroz como reemplazo parcial de cemento en distintos porcentajes, siendo estos 5%, 10%, 15% y 20%. La relación de agua/cemento fue constante en todas las mezclas, siendo el valor de esta 0.55.</p>	201 6	Ceniza de cáscara de arroz
----	--	--	--	-------------	---	----------	----------------------------

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Matriz de subtemas

Subtemas	Definición	Objetivo
Consistencia	<p>El asentamiento es una medida que representa la consistencia de un concreto y permite clasificar al concreto según su grado de fluidez. El asentamiento se obtiene a través del ensayo de cono de Abrams, realizado cuando el concreto está en estado fresco cumpliendo la norma respectiva, la cual puede realizarse tanto en laboratorio como a nivel de campo debido a la facilidad de la prueba. No se debe confundir la manejabilidad con la consistencia o fluidez del concreto, lo cual la consistencia está relacionada con el estado de la mezcla ya sea seca (dura) o fluida (blanda), es decir, está relacionado al grado de humedad de la mezcla. Se puede decir también que las mezclas fluidas o húmedas son más manejables que las mezclas secas, pero dos mezclas que tengan la misma consistencia no son igualmente manejables; para ello deben tener el mismo grado de plasticidad. (Gutiérrez, L.,2003, p.51).</p>	<p>a) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto.</p>
Densidad	<p>La densidad del concreto hace referencia al peso de este material en kilogramos (kg) con respecto a una unidad de volumen, siendo esta en centímetros cúbicos (cm³) en muchos casos. El concreto convencional tiene una densidad entre 2200 kg/cm³ a 2400 kg/cm³. Esta propiedad también nos permite clasificar el tipo de concreto, tal como se muestra en la Tabla 6. La densidad tiene relación directa con los materiales usados durante su elaboración por lo que es variable según la dosificación.</p>	<p>b) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la consistencia y densidad del concreto</p>

Resistencia a la compresión

Es una de las propiedades mecánicas más importantes y destacables que posee el concreto en estado endurecido. Es la capacidad que tiene el concreto para soportar una determinada carga sobre un área, siendo expresado generalmente en kg/cm^2 . Esta propiedad también permite clasificar el concreto según la resistencia obtenida al realizar el ensayo, el cual se realiza con especímenes cilíndricos a distintos días de curado siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 339.034. Rajendrachari, S. y Orhan, U. (2021) afirma: “Se realizan pruebas de resistencia a la compresión para determinar algunas de las propiedades mecánicas fundamentales. Con ello se puede estudiar cómo reacciona tales muestras cuando es aplastado o comprimido por una carga específica” (p.69).

c) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de arroz como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión.

Resistencia a la flexión

Consiste en la aplicación de carga a una viga de concreto de una determinada sección transversal y con una luz de mínimo tres veces el espesor. Se puede realizarse mediante dos ensayos, siendo el primero, la aplicación de cargas en los puntos tercios de la viga, teniendo como guía la norma ASTM C78 y la aplicación de carga en el punto central, el cual brindara un mayor en el módulo de rotura comparado con el caso anterior. Se realiza tomando en cuenta la norma ASTM C293. Se suele expresar en unidades de libra por pulgada cuadrada (MPa) o en kg/cm^2 . Gutiérrez, L. (2003) afirma: “A medida que aumenta la resistencia a la compresión del concreto también aumenta su resistencia a la flexión, sin embargo, la relación no es lineal sino parabólica” (p.56).

d) Determinar el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de palma aceitera como reemplazo parcial del cemento para incrementar la resistencia a la compresión y flexión.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Matriz de jerarquía

C E N I Z A S D E C Á S C A R A D E P A L M A C E I T E R A	Fuente	Autor	Subtema	Fuente	Título
1		Alnahhal, M., Alengaram, U., Jumaat, M., Alqedra, M., Mo, K., y Sumesh, M. (2017).	CON SIST ENCI A- DEN SIDA D	4	Evaluation of structural performance of concrete with opc fraction partly replaced by empty palm oil brunch ash (epo-fba)
2		Ch. Rajesh, G.; Narasimha Sameer, M.; Sai Maheswar, R.; Durga Chaitanya, K. y Pavan Kumar, J. (2020).		3	Some later ages structural characteristics of concrete containing empty palm oil fruit brunch ash (epo-fba) as partial replacement of ordinary portland cement
3		Fapohunda, C. y Shittu, A. (2017).		9	Mechanical properties of concrete containing expanded polystyrene (eps) and palm oil fuel ash (pofa)
4		Fapohunda, C., y Oluwasegunota, O. (2019).		10	Influence of palm oil fuel ash and w/b ratios on compressive strength, water permeability, and chloride resistance of concrete.
5		Goh D.; Osman, M. y Mayhyeddin, M. (2022).		1	Evaluation of industrial by-products as sustainable pozzolanic materials in recycled aggregate concrete.
6		Hamada, H., Tayeh, B., Yahaya, F., Muthusamy, K. y Al-Attar, A. (2020).		5	The performance of reinforcement concrete beam containing palm oil fuel ash (pofa) and expanded polystyrene (eps) in term of flexural behavior
7		Ismail, M.; Adnan, M. y Deraman, R. (2021).		2	Consumption of palm oil fuel ash in producing lightweight concrete.
8		Jonida P.; Ahmed A.; Kamau, J. y Hyndman, F. (2018).	RESI STE NCI AA LA COM PRES IÓN Y	4	Evaluation of structural performance of concrete with opc fraction partly replaced by empty palm oil brunch ash (epo-fba)
9		Osman, M.; Kai, O.; Adnan, S.; Salim, S.; Rahman, M.; Jaafar, A. y Yahya, N. (2021).		5	Some later ages structural characteristics of concrete containing empty palm oil fruit brunch ash (epo-fba) as partial replacement of ordinary portland cement
				9	Mechanical properties of concrete containing expanded polystyrene (eps) and palm oil fuel ash (pofa)

			FLE XIÓ N	7	Short-term effect on mechanical strength and water absorption of concrete containing palm oil fuel ash exposed to chloride solution.
	10	Sanawung, W.; Cheewaket, T.; Tangchirapat, W. y Jaturapitakkul, C. (2017).		11	Microstructure and durability performance of concrete containing empty palm oil fruit bunch ash as partial replacement of ordinary portland cement.
	11	Sindhu, S. (2021).		12	Effect of unground oil palm ash as mixing ingredient towards properties of concrete.
	12	Sulaiman, M. A., Muthusamy, K., Mat Aris, S., Mohd Rasid, M. H., Paramasivam, R. y Othman, R. (2018).		8	Palm oil fuel ash as a cement replacement in concret.
				6	Effects of nano-palm oil fuel ash and nano-eggshell powder on concrete.
C E N I Z A S D E C Á S C A R A D E C Á S	13	Ahsan, M. B. y Hossain, Z. (2018).	CON SIST ENCI A- DEN SIDA D	13	Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry.
	14	Abolhasani, A., Samali, B., & Aslani, F. (2022).		32	Evaluación de las propiedades del concreto empleando ceniza de cáscara de arroz como sustituto del cemento en porcentajes para las edificaciones en la ciudad de Chiclayo
	15	Alnahhal, M., Alengaram, U., Jumaat, M., Alqedra, M., Mo, K., y Sumesh, M. (2017).		35	Study on concrete with rice husk ash.
	16	Amin, M., Abdelsalam, B.A. (2019).		24	Influencia de la cascarilla y ceniza de cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión de un concreto no estructural, Universidad Privada Del Norte, Trujillo, Perú.
	17	Arévalo, A y López, L. (2020)		31	Uso de la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador.
	18	Asad A. Khedheyer Al-Alwan, Mustafa Al-Bazoon, Faten I.Mussa, Hayder A. Alalwan, Mohanad Hatem Shadhar, Malik M.		14	Rice husk ash incorporation in calcium aluminate cement concrete: life cycle assessment, hydration and strength development.

C A R A D E A R R O Z		Mohammed, Mohammed Fakhri Mohammed (2022).		
	19	Banu, S. S., Kartikeyan, J., y Jayabalan, P. (2020).	15	Evaluation of Industrial By-Products as Sustainable Pozzolanic Materials in Recycled Aggregate Concrete.
	20	Bassirou Kone, John N. Mweru, Erick K. Ronoh, (2022).	16	Efficiency of rice husk ash and fly ash as reactivity materials in sustainable concrete.
	21	Cano, B. y Galarza, E. (2020)	21	Propuesta de uso de cenizas de cáscara de arroz y fibras de polipropileno en diseños de mezclas de concreto para el control de fisuras en losas macizas entrepiso in-situ en la ciudad de Lima
	22	Fitriani, H., Ahmed, A., Kolawole, O., Hyndman, F., Idris, Y., & Rosidawani, R. (2022).	36	Aplicación de la ceniza de cascara de arroz en las propiedades del concreto de F'c = 245 kg/cm ² , Lima 2021.
	23	Gautam, N. R., Patil, R. N., y Dhawad, P. D. (2019).	25	The effect of partial replacement of Nigerian Portland limestone cement with rice husk ash agricultural waste in concrete.
	24	Huertas M. y Regalado L. (2018).	29	Diseño y evaluación de concreto especial con cenizas de cáscara de arroz (RHA) para aumentar la durabilidad de las estructuras frente a la exposición al ambiente marino.
	25	Igba, U.; Ehikhuenmen, S.; Akinyele, J.; Osaghale, M. y Oyebisi, S. (2019)	34	Evaluación de la ceniza de cascarilla de arroz como suplemento al cemento en mezclas de concreto hidráulico
	26	Julon, N. y Marcañaopa, E. (2021)	28	Study on concrete with partial replacement of cement by rice husk ash.
	27	Kannan, V. (2018).	17	Adición de ceniza de la cascarilla de arroz para mejorar las propiedades de resistencia del concreto en la región San Martín.
28	Krishna, N. K., Sandeep, S., y Mini, K. M. (2016).	18	The impact of using rice husk ash as a replacement material in concrete: An experimental study	
		RESI STE NCI AA LA COM PRES IÓN Y FLE XIÓ N		

29	Martinez, F. y Oyanguren L. (2019).	19	Influence of using agro-waste as a partial replacement in cement on the compressive strength of concrete – A statistical approach.
30	Matienzo, J. (2018).	20	Experimental Effect of Cassava Starch and Rice Husk Ash on Physical and Mechanical Properties of Concrete International
31	Montero, D. (2017).	22	Optimizing Compressive Strength Properties of Binary Blended Cement Rice Husk Concrete for Road Pavement.
32	Montero, S. (2019)	23	Experimental study investigation of rice husk ash on concrete.
33	Quispe, Y. (2018).	26	Mejoramiento de la resistencia a compresión y flexión de concreto sostenible a elevadas temperaturas, con adición de cenizas puzolánicas
34	Rodríguez, A. y Tibabuzo, M. (2019)	27	Strength and durability performance of self-compacting concrete containing self-combusted rice husk ash and metakaolin (2018)
35	Siddika, A.; Mamun, M. A. A. y Ali, M. H. (2018).	30	Resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo al cemento por la combinación de un 8% por el polvo de la concha de abanico y 12% por las cenizas de la cáscara de arroz.
36	Torres, J. (2021).	33	Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial del cemento por cenizas de cáscara de arroz en la zona Altiplano.

Fuente: Elaboración propia