

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS		Código	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): JHONATAN ALEJANDRO APELLIDOS: RANGEL SUAREZ

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

FACULTAD: INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): LEIDY KATHERINE APELLIDOS: PEÑALOZA ISIDRO

CO-DIRECTOR:

NOMBRE(S): JAVIER ALFONSO APELLIDOS: CÁRDENAS GUTIÉRREZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre una evaluación de mezclas de arcilla adicionando ceniza de cascarilla de arroz para la fabricación de bloque de construcción. El objetivo principal de esta investigación es implementar la ceniza de cascarilla de arroz como sustituto en proporciones de 2.5%, 5% y 7.5%, determinando de esta manera el comportamiento del material y analizando los costos de producción por bloque sin comprometer ninguna de las características físicas y mecánicas del producto. Se determinó que la mezcla de 2,5% es la más óptima, ya que mejora las características físico cerámicas de la misma. Este documento es de uso exclusivo de la Universidad Francisco de Paula Santander, con el fin de fortalecer el aprendizaje, los conocimientos y la práctica profesional de los estudiantes.

PALABRAS CLAVE: Arcilla, ceniza de cascarilla de arroz, bloque de construcción, costos de producción.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 109 PLANOS: ILUSTRACIONES: CD ROOM: 1

Copia No Controlada

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZA DE CASCARILLA
DE ARROZ PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

JHONATAN ALEJANDRO RANGEL SUAREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL

SAN JOSE DE CÚCUTA

2022

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZA DE CASCARILLA
DE ARROZ PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

JHONATAN ALEJANDRO RANGEL SUÁREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

MSc. Ing. LEIDY KATHERINE PEÑALOZA ISIDRO

Codirector:

MSc. Ing. JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL

SAN JOSE DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 21 DE OCTUBRE DE 2022 HORA: 2:00 p. m.

LUGAR: EDIFICIO POSGRADOS SALON AG 303

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

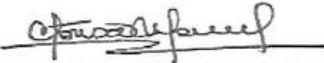
TITULO DE LA TESIS: "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ PARA LA FABRICACION DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN".

JURADOS: ING. CARMEN TERESA MEDRANO LINDARTE
ING. CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ

DIRECTOR: MSc. ING. LEIDY KATHERINE PEÑALOSA ISIDRO
MSc. ING. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERRREZ

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION
		NUMERO LETRA
JHONATAN ALEJANDRO RANGEL SUAREZ	1112088	4,5 CUATRO, CINCO

MERITORIA


ING. CARMEN TERESA MEDRANO LINDARTE


ING. CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ

Vo. Bo. 
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERRREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la sabiduría y entendimiento para permitirme el haber llegado hasta aquí.

A mi madre y hermanos, por enseñarme que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

A Santi, quien con su alma de niño, ternura y sonrisas me dio las últimas fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer hasta lograrlo.

Jhonatan Alejandro Rangel Suarez

Agradecimientos

Agradezco en estas líneas la ayuda de familiares, amigos y colegas que me apoyaron y dieron una voz de aliento en cada proceso de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

A mis docentes por haberme guiado a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado las bases para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A la Universidad Francisco de Paula Santander, por haberme brindado oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Resumen

Este proyecto se basó en la evaluación de mezclas de arcilla adicionando ceniza de cascarilla de arroz para la fabricación de bloque de construcción. Para ello, se implementó una investigación exploratoria tipo descriptiva, ya que se basó en recolectar la información para la fabricación del bloque y el desarrollo de los objetivos propuestos. La información se obtuvo mediante proyectos y artículos de investigación, teniendo en cuenta la normatividad establecida por la NTC 4017, NTC 4205. La población y muestra correspondió a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander y la ceniza de cascarilla de arroz. Se lograron evaluar las mezclas de arcilla adicionando ceniza de cascarilla de arroz para la fabricación de bloque de construcción. Seguidamente, se realizó el diagnóstico del sector de ceniza de cascarilla de arroz, el cual permitió desarrollar un producto utilizando diferentes porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz a nivel de laboratorio. Posteriormente, se evaluó el producto desarrollado a nivel de laboratorio. Finalmente, se establecieron los costos del producto normal y del producto con la ceniza de cascarilla de arroz.

Contenido

	pág.
Introducción	18
1. Problema	19
1.1 Título	19
1.2 Planteamiento del Problema	19
1.3 Formulación del Problema	20
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivos específicos	20
1.5 Justificación	21
1.6 Alcances y Limitaciones	21
1.6.1 Alcances	21
1.6.2 Limitaciones	21
1.7 Delimitaciones	22
1.7.1 Delimitación espacial	22
1.7.2 Delimitación temporal	22
1.7.3 Delimitación conceptual	22
2. Marco Referencial	24
2.1 Antecedentes	24
2.1.1 Antecedentes empíricos	24
2.1.2 Antecedentes internacionales	24
2.1.3 Antecedentes nacionales	25
2.1.4 Antecedentes regionales	26

2.2 Marco Teórico	27
2.2.1 Economía circular	27
2.2.2 Arcilla	29
2.2.3 Bloque y ladrillo de arcilla	30
2.2.3.1 Características de los bloques en arcilla	32
2.2.3.2. Propiedades del bloque de arcilla	32
2.2.3.3 Proceso de producción de bloques de arcilla	33
2.2.3.4 Productoras de bloques de arcilla en la región	35
2.2.4 Proceso productivo de arroz	36
2.3 Marco Conceptual	42
2.3.1 Ceniza de cáscara de arroz	42
2.3.2 Bloque de arcilla	42
2.3.3 Conductividad térmica	42
2.3.4 Resistencia a la compresión	42
2.3.5 Absorción de agua	42
2.3.6 Construcción sostenible	43
2.3.7 Reciclaje	43
2.4 Marco Contextual	43
2.5 Marco Legal	44
3. Diseño Metodológico	47
3.1 Tipo de Investigación	47
3.2 Población y Muestra	48
3.2.1 Población	48
3.2.2 Muestra	48

3.3 Instrumentos para la Recolección de Información	48
3.3.1 Fuentes primarias	48
3.3.2 Fuentes secundarias	49
3.4 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	49
4. Desarrollo del Proyecto	50
4.1 Materias Primas Utilizadas	51
4.2 Proceso de Conformado	57
4.3 Ensayos Realizados	60
4.3.1 Análisis físico-cerámico	60
4.3.2 Determinación de la absorción de agua en unidades de mampostería	62
4.3.3 Determinación de la resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería	65
4.4 Normas Aplicadas	67
4.4.1 NTC 4017:2018 Norma Técnica Colombiana NTC 4017	67
4.4.2 NTC 4205:2000. Norma Técnica Colombiana NTC 4205	67
5. Desarrollo del Proyecto	70
5.1 Diagnóstico del Sector de la Ceniza de Cascarilla de Arroz	70
5.2 Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes de Ceniza de Cascarilla de Arroz a Nivel del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC	72
5.3 Evaluación de Costos de Bloque H-10 para construcción 100% Arcilla y Bloque H-10 con Mezcla de Ceniza de cascarilla de Arroz	99
6. Conclusiones	102
7. Recomendaciones	104

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. Ubicación CIMAC – UFPS	22
Figura 2. Esquema de una economía	28
Figura 3. Tipos de bloques y ladrillos de arcilla según la NTC	31
Figura 4. Proceso industrial del arroz	41
Figura 5. Frente de explotación de la arcilla	53
Figura 6. Morfología de las partículas de ceniza cascarilla de arroz	56
Figura 7. Extrusora de laboratorio con vacío	57
Figura 8. Apisonador de la arcilla (trituración)	57
Figura 9. Molino de martillos (molienda vía seca)	58
Figura 10. Tamiz malla 10 (tamizado)	58
Figura 11. Estufa de 128 litros	59
Figura 12. Horno mufla	60
Figura 13. Pie de Rey digital de 200 mm	61
Figura 14. Balanza digital de 20 kg	62
Figura 15. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión	63
Figura 16. Termohigrómetro EXTECH	63
Figura 17. Prensa de flexión	66
Figura 18. Metodología desarrollada en el proyecto	70
Figura 19. Porcentaje de absorción de agua	77
Figura 20. Resistencia mecánica 100% arcilla	78
Figura 21. Promedio resistencia mecánica 100% arcilla	79
Figura 22. Absorción de agua (2.5%)	82

Figura 23. Resistencia mecánica (2.5%)	84
Figura 24. Promedio resistencia mecánica (2.5%)	85
Figura 25. Absorción de agua (5%)	88
Figura 26. Resistencia mecánica (5%)	90
Figura 27. Promedio resistencia mecánica (5%)	91
Figura 28. Absorción de agua (7.5%)	94
Figura 29. Resistencia mecánica (7.5%)	96
Figura 30. Promedio resistencia mecánica (7.5%)	96
Figura 31. Porcentaje promedio de absorción de agua en mezcla de arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de ceniza de cascarilla de arroz	97
Figura 32. Datos promedio de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% de ceniza de cascarilla de arroz en la mezcla de arcilla	98

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Producción de arroz paddy seco en Colombia 2.010 - 2.020	38
Tabla 2. Resultados obtenidos por fluorescencia de rayos-x de la muestra identificada	55
Tabla 3. Composición química de la ceniza de cascarilla de arroz	56
Tabla 4. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural	69
Tabla 5. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural	69
Tabla 6. Mezclas elaboradas y ensayadas	72
Tabla 7. Resultados de análisis físico cerámico	72
Tabla 8. Resultados de la condición húmeda del material (arcilla)	73
Tabla 9. Resultados de la condición seca del material (arcilla)	73
Tabla 10. Resultados de la condición cocida del material (arcilla)	74
Tabla 11. Resultados de la contracción del material (arcilla)	74
Tabla 12. Resultados de la Pérdida de Masa (Arcilla)	74
Tabla 13. Resultado muestra A1	75
Tabla 14. Resultado muestra A2	75
Tabla 15. Resultado muestra A3	76
Tabla 16. Resultado absorción de agua muestras A1, A2 y A3	76
Tabla 17. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión con 100% arcilla	77
Tabla 18. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión con 100% arcilla	77
Tabla 19. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión con 100% arcilla	78
Tabla 20. Resultados de ensayo resistencia mecánica a la compresión	78
Tabla 21. Resultados de la condición húmeda del material (2.5%)	79
Tabla 22. Resultados de la condición seca del material (2.5%)	80

Tabla 23. Resultados de la condición cocida del material (2.5%)	80
Tabla 24. Resultados de la contracción del material (2.5%)	80
Tabla 25. Resultados de la pérdida de masa (2.5%)	81
Tabla 26. Resultado absorción de agua muestra A1 (2.5%)	81
Tabla 27. Resultado absorción de agua muestra A2 (2.5%)	81
Tabla 28. Resultado absorción de agua muestra A3 (2.5%)	82
Tabla 29. Resultado absorción de agua muestras A1, A2 y A3	82
Tabla 30. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 con 2.5% ceniza de cascarilla de arroz (R1)	83
Tabla 31. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 con 2.5% ceniza de cascarilla de arroz (R2)	83
Tabla 32. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 con 2.5% ceniza de cascarilla de arroz (R3)	84
Tabla 33. Resultados de ensayo resistencia mecánica a la compresión para muestra con 2.5% de ceniza de cascarilla de arroz (R1, R2 y R3)	84
Tabla 34. Resultados de la condición húmeda del material (5%)	85
Tabla 35. Resultados de la condición seca del material (5%)	86
Tabla 36. Resultados de la condición cocida del material (5%)	86
Tabla 37. Resultados de la contracción del material (5%)	86
Tabla 38. Resultados de la pérdida de masa (5%)	87
Tabla 39. Resultado absorción de agua muestra A1 (5%)	87
Tabla 40. Resultado absorción de agua muestra A2 (5%)	87
Tabla 41. Resultado absorción de agua muestra A3 (5%)	88
Tabla 42. Resultado absorción de agua muestras A1, A2 y A3 (5%)	88

Tabla 43. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 con 5% ceniza de cascarilla de arroz (R1)	89
Tabla 44. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 con 5% ceniza de cascarilla de arroz (R2)	89
Tabla 45. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 con 5% ceniza de cascarilla de arroz (R3)	90
Tabla 46. Resultados de ensayo resistencia mecánica a la compresión para muestra con 5% de ceniza de cascarilla de arroz (R1, R2 y R3)	90
Tabla 47. Resultados de la condición húmeda del material (7.5%)	91
Tabla 48. Resultados de la condición seca del material (7.5%)	92
Tabla 49. Resultados de la condición cocida del material (7.5%)	92
Tabla 50. Resultados de la contracción del material (7.5%)	92
Tabla 51. Resultados de la pérdida de masa (7.5%)	93
Tabla 52. Resultado absorción de agua muestra A1 (7.5%)	93
Tabla 53. Resultado absorción de agua muestra A2 (7.5%)	93
Tabla 54. Resultado absorción de agua muestra A3 (7.5%)	93
Tabla 55. Resultado absorción de agua muestras A1, A2 y A3 (7.5%)	94
Tabla 56. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 con 7.5% ceniza de cascarilla de arroz (R1)	94
Tabla 57. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 con 7.5% ceniza de cascarilla de arroz (R2)	95
Tabla 58. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 con 7.5% ceniza de cascarilla de arroz (R3)	95

Tabla 59. Resultados de ensayo resistencia mecánica a la compresión para muestra con 7.5% de ceniza de cascarilla de arroz (R1, R2 y R3)	95
Tabla 60. Valores promedio de propiedades físicas de mezcla de arcilla con diferentes porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz en ensayo de absorción de agua	97
Tabla 61. Análisis comparativo de resultados	99
Tabla 62. Costos de las actividades de producción en proceso de elaboración de bloque H-10 con arcilla 100%	100
Tabla 63. Costos de las actividades de producción en proceso de elaboración de bloque H-10 con ceniza de cascarilla de arroz	100

Introducción

Actualmente los sectores productivos e industriales generan gran impacto al ecosistema, debido a esto ha aumentado la problemática ambiental en cuanto al manejo de los desechos. Las empresas establecen como reto mediante la economía circular la re-utilización de estos residuos en los procesos productivos de cada una según su sector.

El departamento Norte de Santander pertenece a una de las zonas productoras de arroz del país, cuenta con sembrados en todo su territorio, dejando una gran porción de residuos de cascarilla de arroz que en algunos casos es calcinada y esta no es utilizada al 100%. Teniendo en cuenta que existe ceniza cascarilla de arroz y que la mejor arcilla para producir materiales de construcción es la del Área Metropolitana de Cúcuta, se busca aprovechar en esta investigación estos dos materiales directos, para la elaboración de un producto identificando las propiedades y beneficios que se tiene al fabricar un bloque de arcilla con diferentes proporciones de ceniza de cascarilla de arroz y que este sea útil para el sector constructor.

Con este proyecto se pretende contribuir a ese concepto de sostenibilidad y economía circular con la necesidad de la evaluación de diferentes mezclas para la fabricación de bloques de construcción demostrando el análisis diagnóstico del sector de la ceniza de cascarilla de arroz, cualidades del producto final y costos del producto con adición de ceniza y producto en condiciones normales sin adición de ceniza. Esta investigación se realizó de acuerdo a los conceptos de clasificación expuestos en la NTC 4205, mediante un diseño de formulación de arcilla y diferentes porcentajes de cenizas de cascarilla de arroz.

1. Problema

1.1 Título

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN.

1.2 Planteamiento del Problema

Con el paso del tiempo el hombre ha venido perfeccionando diferentes tipos de materias primas utilizadas en el campo de la construcción, una de ellas es la arcilla la cual se procesa para elaborar ladrillos y bloques, que desde su invención hasta nuestros días han ido evolucionando según las necesidades del hombre, comenzando desde el dimensionamiento hasta su forma de cocción, (honra2.com, 2014); Colombia por su parte continúa avanzando a nivel global y es calificada por expertos ceramistas por tener una de las mejores materias primas cerámicas (Medina, 2016), conjuntamente, el departamento de Norte de Santander ha sido caracterizado por ser una potencia en la industria de la arcilla, (Vasquez, Barbosa, Garcia & Garcia, 2018).

Además de ello, se localiza en la región la zona arrocera, que produce alrededor de 14.200 hectáreas cultivadas, (Cuevas & Fedearroz, 2018), dejando una gran porción equivalente de cascarilla de arroz que en algunos casos es calcinada formando la ceniza de cascarilla de arroz y que esta no tiene un propósito de uso, con el fin de minimizar los daños ambientales y empleando las reglas básicas de sostenibilidad de los recursos y salud medioambiental como lo son Reflexionar, Rechazar, Reducir, Reutilizar, Reciclar, Redistribuir, Reclamar; y teniendo en cuenta que la arcilla y la cenizas de cascarilla de arroz son de fácil acceso en la región y aplicando los conceptos mencionados, se buscó fabricar un nuevo material elaborado a partir de

arcilla con diferentes proporciones de ceniza de cascarilla de arroz aprovechando todas sus propiedades, además que cumpla con las características básicas de resistencia, economía y sea factible para la construcción diferentes proyectos del sector civil.

1.3 Formulación del Problema

¿Qué aportes dará la fabricación de un Bloque de construcción adicionando ceniza de cascarilla de arroz?

¿Qué beneficios ambientales mostrará la fabricación de un Bloque de construcción adicionando ceniza de cascarilla de arroz?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general. Evaluar Mezclas de Arcilla adicionando Ceniza de Cascarilla de Arroz para la Fabricación de Bloque de Construcción.

1.4.2 Objetivos específicos. Los objetivos específicos se plantean a continuación:

Realizar un diagnóstico del sector de ceniza de cascarilla de arroz.

Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz a nivel de laboratorio.

Evaluar el producto desarrollado a nivel de laboratorio.

Establecer los costos del producto normal y del producto con la ceniza de cascarilla de arroz.

1.5 Justificación

Un objeto de la buena práctica del ingeniero civil es asegurar la calidad de vida de todos sus proyectos, esta investigación se realizó con el propósito de usar una economía circular para reducir la cantidad de desechos que son arrojados al medio y que no tiene función una vez cumplido su ciclo de vida, el aporte más importante es dar un producto al sector constructor con la elaboración de un bloque de arcilla usando ceniza de cascarilla de arroz, beneficiando no solo al ecosistema sino a la industria mediante la creación de un producto que cumpliera con las características básicas exigidas por la norma NTC 4205 como lo es la resistencia mecánica a la compresión, el porcentaje de absorción del agua, densidad de bloque, variación de dimensiones entre otras, siendo útil, económico y factible para la construcción.

1.6 Alcances y Limitaciones

1.6.1 Alcances. El presente proyecto pretendía obtener la información correspondiente al comportamiento de un bloque de arcilla con una mezcla de ceniza de cascarilla de arroz en diferentes dosificaciones, además de considerar el costo a comparación con un bloque convencional, lo anterior se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander ubicado en el municipio de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

1.6.2 Limitaciones. Este estudio se limitó por la situación actual que se empezó a vivir debido al Covid – 19, ya que ha detenido diferentes actividades que afectaron directamente las actividades donde se deseaban realizar los laboratorios correspondientes al proyecto; a su vez el equipo disponible en el laboratorio se encontró en diferentes ocasiones ocupado a la hora de elaborar los ensayos correspondientes al bloque de arcilla con ceniza de cascarilla de arroz,

además no se contó con el tiempo que se estipuló para completar la investigación del proyecto.

1.7 Delimitaciones

1.7.1 Delimitación espacial. El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, ubicado en la Avenida Gran Colombia N° 12E-96 Colsag del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

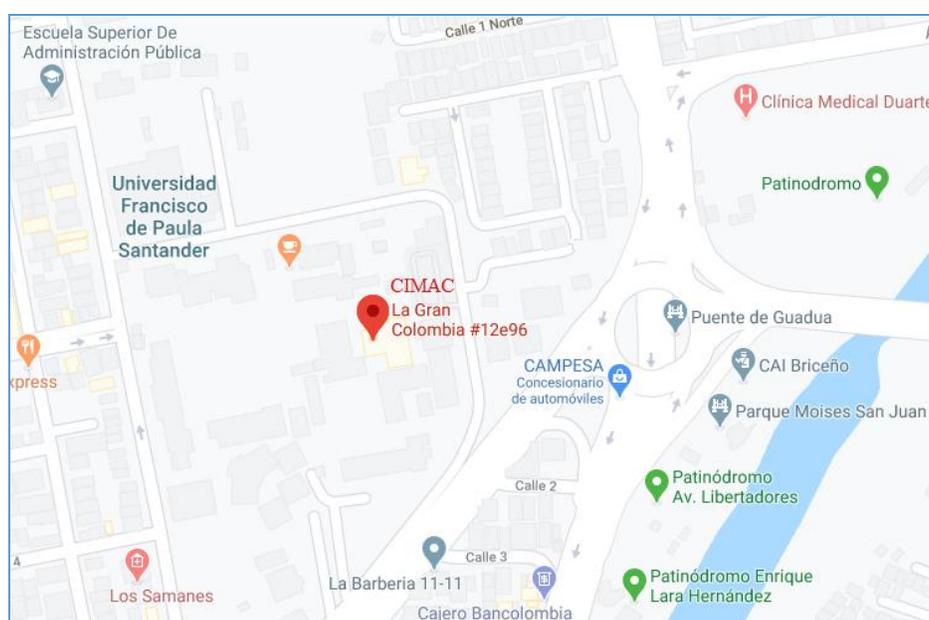


Figura 1. Ubicación CIMAC – UFPS

Fuente: Google Maps. (2022).

1.7.2 Delimitación temporal. El proyecto se ejecutó a partir de la fecha de aprobación del mismo, con una duración de 4 meses.

1.7.3 Delimitación conceptual. El proyecto se desarrolló con base a los procedimientos de realización de ensayos del laboratorio CIMAC, basados en las normas NTC 4017:2018 Método

para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y otros productos de Arcilla; y NTC 4205:2000 Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos.

2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes empíricos. Rahman (1987). “Properties of clay - sand - rice husk ash mixed bricks (Propiedades de los ladrillos mixtos de arcilla, arena y ceniza de cascarilla de arroz)”. El objetivo de este artículo fue encontrar los efectos de la ceniza de cascarilla de arroz en ladrillos hechos con mezclas de arcilla y arena, además de examinar la idoneidad de estos ladrillos para muros de carga y de no carga. La consistencia el trabajo que le dio la ceniza de cascarilla de arroz a la arcilla fue una de las mejoras que se logró, además que la densidad del ladrillo disminuyó con su contenido. Con esto se concluyó que se puede producir ladrillos ligeros sin que se deteriore la calidad de los mismos, la ceniza de cascarilla de arroz tiende a disminuir la duración de la cocción necesaria para producir ladrillos bien cocidos, igualmente estos pueden ser usados para muros de carga.

Se analizó el efecto que produce la ceniza de cascarilla de arroz (RHA) y las propiedades que los ladrillos tienen al mezclarse la laterítica suelo - arcilla, examinando así la capacidad de aceptación de estos nuevos ladrillos en los muros de carga. Se encontró que a medida que se le adicionaba agua a la mezcla, se aumentaba el contenido de RHA. Se determinó que se podían hacer ladrillos más ligeros y la compresión aumentaba con el aumento en el contenido de RHA, además que las absorciones de agua obtenidas en los ensayos están dentro de los límites permitidos para el uso en países de desarrollo y que los ladrillos que fueron investigados llegaban a una duración de 4. horas a 1000°C y pueden ser recomendados para los muros de carga.

2.1.2 Antecedentes internacionales. Castellanos (2015). “Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural”. Este documento se centró en mejorar la sostenibilidad de

fabricación de materiales usando nutrientes tecnológicos, con el fin de disminuir el uso de materias primas naturales como la arcilla. A partir del uso de la economía circular se escogieron 4 nutrientes tecnológicos que no tuvieran algún propósito después de su proceso de utilidad, estos fueron escoria quema poda de olivar, escoria quema cascarilla de arroz, ceniza volante de central termoeléctrica y tratamiento de RSU. Se concluyó que todas las probetas utilizadas tienen prestaciones técnicas superiores en cuanto a sostenibilidad, además que el nutriente que tuvo un aporte importante fue la ceniza de cascarilla de arroz ya que, por parte de la sílice juega un papel importante porque ayuda a aglutinar toda la masa cerámica.

El estudio propuesto en este artículo se basó en una investigación experimental, a partir del efecto que produce la ceniza volante y la ceniza de cáscara de arroz sobre los ladrillos de arcilla quemada, con dosificaciones en peso de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% para luego ser ensayadas a compresión. Se concluye que los ladrillos con ceniza puzolanico y ceniza de cascarilla de arroz tienen una apariencia similar a los convencionales. La resistencia a compresión de los ladrillos con ceniza puzolanico tiene un 23% superior a los convencionales, sin embargo, el ladrillo echo con ceniza de cáscara de arroz mostró menor resistencia a la compresión, pero con un porcentaje mayor a la absorción de agua y otros análisis arrojaron que no se recomendaba este material para la mezcla de ladrillos con arcilla.

2.1.3 Antecedentes nacionales. Jaramillo (2019). “Propuesta de alternativas para el aprovechamiento del ladrillo como RCD en Colombia”. Se propuso alternativas para el uso del ladrillo, para ello realizó el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de los ladrillos elaborados de manera mecanizada. Este estudio constó de cuatro fases, la primera fase es la definición del objetivo y el alcance, la segunda fase fue de análisis del inventario, la tercera fase fue de evaluación del impacto ambiental, y por último la de interpretación de análisis. Del análisis

realizado se puede concluir que la calidad del ladrillo depende de cada una de las empresas productoras, ya que dependiendo de las propiedades que se deseen, se determina la cantidad de materia prima que se va a utilizar para su fabricación, además de la maquinaria que se utiliza, esto hace que la calidad del producto varíe en cada empresa. Otro aspecto importante es la falta de estandarización de la producción de ladrillos artesanales que garanticen una buena calidad y que además facilite su caracterización y estudio. Así mismo, en la mayoría de los artículos encontrados se utilizó este material de residuo de construcción y demolición como un agregado para la fabricación de otro elemento, es decir se integra en otro ciclo. El uso de agregado triturado de ladrillo reciclado en la elaboración de concreto es una alternativa ofrece una solución prometedora para el problema de los residuos de ladrillo.

2.1.4 Antecedentes regionales. Sánchez (2018). “Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta”. Se utilizó la estrategia de economía circular analizando un proceso experimental, con el fin de establecer la viabilidad de sustituir parte del mineral utilizado (arcilla) por residuos agroindustriales como cisco de café, cascarilla de arroz y ceniza de los hornos colmena utilizados en la región. Estos materiales fueron caracterizados por técnicas como la difracción de rayos X (DRX), la fluorescencia de rayos X (FRX), la microscopia electrónica de barrido (MEB), el análisis termo gravimétrico (TG) y la calorimetría diferencial de barrido (DSC). Los residuos propuestos para la sustitución de arcilla sometidos a análisis de flujo de calor permitieron un aporte energético al sistema debido a la oxidación de la materia orgánica, conllevando a reducir la energía emitida por el horno además de disminución de conductividad termina de cerámica. Los análisis correspondientes certificaron que el uso del nutriente tecnológico como materia prima en cerámicos contribuye de manera positiva para cumplir los objetivos de desarrollo sostenible de Colombia.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Economía circular. Actualmente la economía se basa en recolectar la materia prima, transformarla en algún producto y una vez cumplido su propósito este es desechado como basura. Sin embargo, el incremento de desechos, los riesgos en cadena y las diferentes presiones; han alertados a los empresarios y políticos en pensar en la forma más adecuada para aprovechar las ventajas de una economía circular, (Foundation Ellen Macarthur, 2019), teniendo en cuenta la investigación que ha realizada por la Fundación Ellen MacArthur, se toman definiciones y pasos que ellos consideran, de lo que se define y describe a continuación. Una economía circular es aquella que es restaurativa y regenerativa a propósito, y que trata de que los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valor máximos en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos. Una economía circular busca relacionar los recursos que algunas empresas no utilizan en la fabricación de sus productos, con estos se podría generar no solo empleo sino reducir los efectos de contaminación al medio ambiente. La investigación que ha realizado La Fundación Ellen MacArthur, plantea el siguiente esquema:

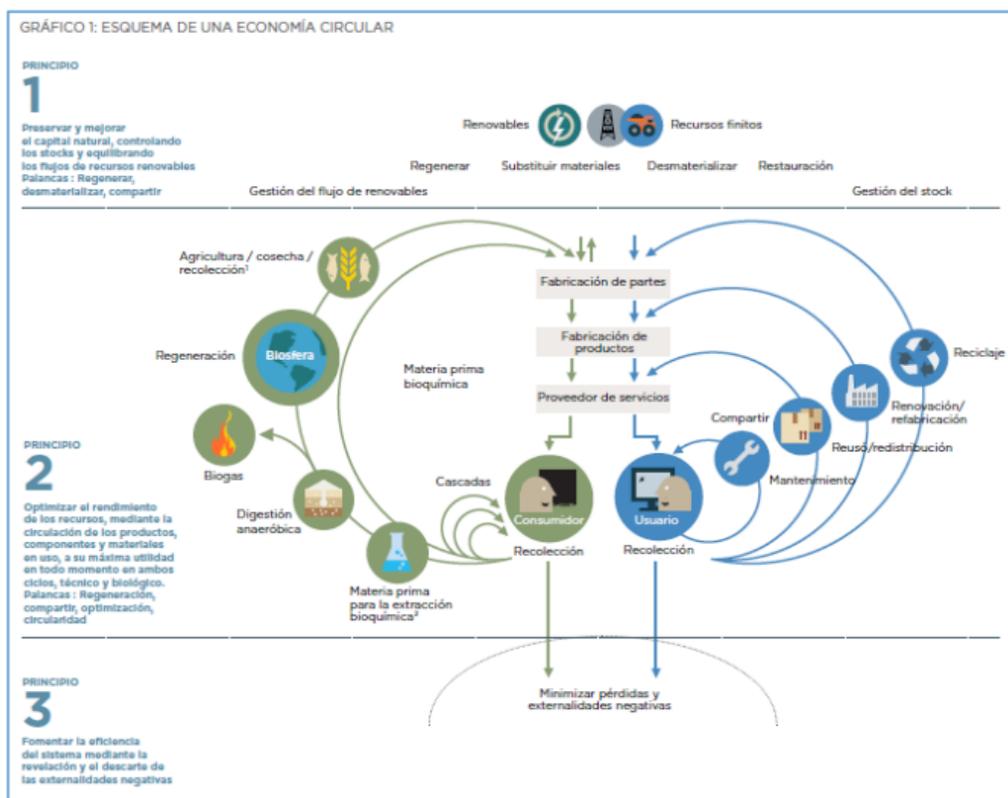


Figura 2. Esquema de una economía

Fuente: Ellen MacArthur Foundation. (2019).

Como se muestra en la Figura 2, la economía circular descansa sobre tres principios.

Principio 1: Preservar y mejorar el capital natural controlando reservas finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables, (Foundation Ellen Macarthur, 2019). Es decir que cuando se necesitan recursos, el sistema circular se encarga de seleccionarlos de forma adecuada que sean renovables o de mayor rendimiento para ser reutilizarlo.

Principio 2: Optimizar los rendimientos de los recursos distribuyendo productos, componentes y materias con su utilidad máxima en todo momento tanto en ciclos técnicos como biológicos, (Foundation Ellen Macarthur, 2019). Este tipo de sistema usa bucles para aprovechar

el rendimiento de cada producto realizado por la empresa, es decir que cada ciclo genere tanto técnico como biológico un nuevo recurso.

Principio 3: Promover la eficacia de los sistemas detectando y eliminando del diseño los factores externos negativos, (Foundation Ellen Macarthur, 2019).

Con el fin de reducir daños en sistemas y ámbitos del ser humano además de los factores externos como el uso del suelo, contaminación acústica, del aire y del agua o el vertido de sustancias tóxicas.

2.2.2 Arcilla. El término arcilla puede ser empleado desde puntos de vista muy diversos:

- En sentido petrográfico como un tipo de roca en sí misma.
- En un sentido mineralógico es aquél conjunto de minerales que comparten unas características químico estructurales.
- En un sentido granulométrico, referido a la fracción de una roca en la que el tamaño de sus granos constituyentes satisface un determinado rango de medida (Universidad de Cartagena, 2016).

En general, el término arcilla se aplica a un material natural, terroso, de tamaño de grano fino y que muestra plasticidad, cuando es mezclado con una cierta proporción de agua. Su composición química está caracterizada por la presencia de Si, Al y H₂O, junto a cantidades variables de Mg, Mn, Fe, Ca, Na y K, principalmente, (Universidad de Cartagena, 2016). Las arcillas son, probablemente, los materiales geológicos más contradictorios desde el punto de vista de su utilidad en Ingeniería Civil. Son fuente inagotable de problemas de estabilidad en buen número de obras, pero constituyen por sí mismas un material de valiosas propiedades

ingenieriles.

Hoy en día las arcillas comerciales, aquellas que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción. Un 90 % de la producción se dedica, preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados; y sólo un 10 % se dedica a otras industrias, (Paraíso de Colores, 2011). En general al primer tipo, es decir, las que se utilizan en construcción, se las denomina arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes, son arcillas compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (Universidad de Cartagena, 2016). Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas.

2.2.3 Bloque y ladrillo de arcilla. Según la Norma técnica Colombiana NTC 4205-1 define tres tipos de bloques:

- Unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillos y bloques) (PH).
Unidad cuyas celdas o perforaciones son paralelas a la cara o superficie en que se asientan en el muro.
- Unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillos y bloques) (PV).
Unidad cuyas celdas o perforaciones son perpendiculares a la cara o superficie en que se asientan en un muro.
- Unidades macizas (ladrillos) (M).

- Mampuestos aligerados con pequeñas perforaciones que ocupan menos del 25% de su volumen o también, que no contienen ninguna perforación.

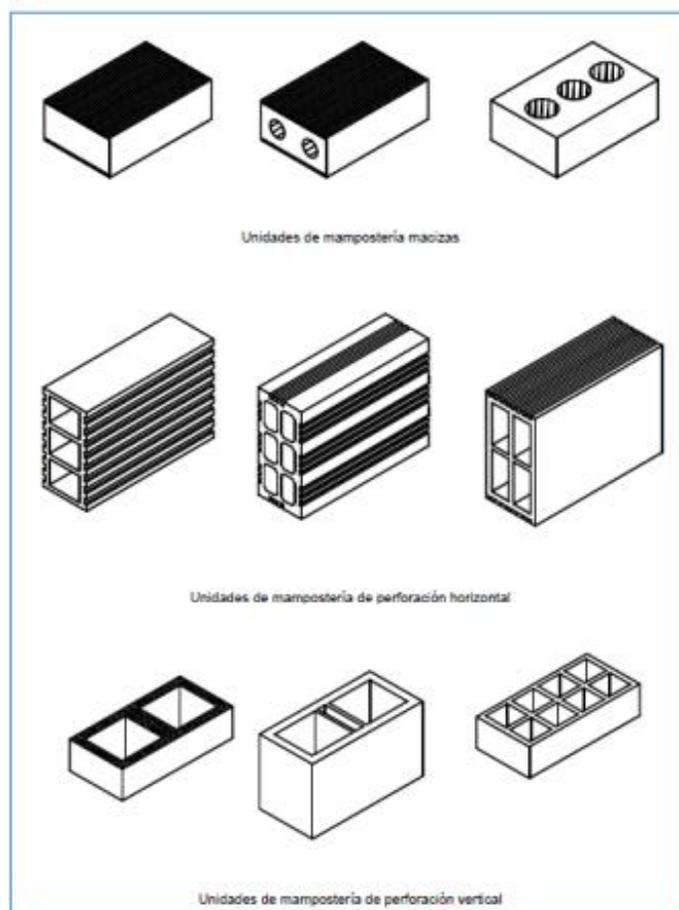


Figura 3. Tipos de bloques y ladrillos de arcilla según la NTC

Fuente: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000).

Los ladrillos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo (Moreno, 1981).

El presente trabajo se refiere a bloques de arcilla sometidos a cocción con ceniza de cáscara de arroz para ser usados en el sector de la construcción.

2.2.3.1 Características de los bloques en arcilla. Para la fabricación de bloques se utilizan compuestos arcillosos además de otros materiales donde una vez hecha la mezcla es llevada a moldes en forma de prisma rectangular, para luego ser llevados a secado y cocimiento como proceso final, (Rocas y Minerales.Net, 2017). Este tipo de bloques son destinados para la construcción de muros estructurales y no estructurales por lo que se deben diseñar con el fin de soportar la intemperie y ser resistentes a la compresión. Las medidas que el bloque convencional tiene le permiten un empleo fácil para la construcción de un muro sujeto con un mortero. En la antigüedad se usaban de dos tipos:

- Adobe, es aquel que se endurecía al contacto con el sol y llevaba fibras vegetales o animales para su resistencia.
- Ladrillo cocido, es aquel que es endurecido por el contacto con el fuego.

Al tener arcilla como materia prima en la creación de bloque y ladrillo se consideran un material cerámico.

2.2.3.2. Propiedades del bloque de arcilla. El bloque de arcilla posee propiedades que se dividen en dos grandes categorías:

Propiedades que están relacionada con la estética del material:

- **Color:** se relaciona con la composición química que posee la materia prima y el calor que se le adiciona al ser cocido.
- **Textura:** Es el efecto en la superficie o la apariencia que presenta la unidad como resultado de la forma de elaboración (Somayaji, 2001).

Propiedades que se relacionan con la parte ingenieril:

- **Relacionadas con la resistencia estructural:** como la Resistencia a la compresión y la variabilidad dimensional con relación a la unidad nominal.
- **Relacionadas con la durabilidad:** como la absorción, resistencia a la congelación, resistencia al fuego y aislamiento térmico.

2.2.3.3 Proceso de producción de bloques de arcilla. El proceso productivo que comprende la fabricación de bloques de arcilla tienen un orden secuencial para elaborar el producto deseado, (Buitrago & Meza, 2015), a continuación se detalla dichas las etapas del proceso:

Extracción de materia prima. Esta fase permite la remoción del material proveniente del yacimiento, la extracción de la arcilla se realiza en la misma zona donde se ubica la ladrillera, (Buitrago & Meza, 2015).

Selección de la materia prima. Se divide en dos sub – etapas:

Directa: La directa es donde la arcilla se dejada al aire libre para favorecer la desintegración de la misma, después de eso se mezcla con arena dejándola en reposo para que sufra un proceso de envejecimiento que favorece la elaboración de los ladrillos.

Indirecta: consiste en una serie de operaciones destinadas a la condición óptima de la arcilla, dándole consistencia y uniformidad según las características físicas y químicas esperadas.

Tratamiento mecánico previo (molienda). En la zona de acopio la arcilla cumple su maduración, seguido de esto pasa a la fase de pre – elaboración, que consiste en una serie de operaciones con el fin de purificar y refinar la materia prima.

Amasado o mezclado. Mediante amasadores – extrusoras, la mezcla húmeda se somete a alta presión y allí se le extrae el aire; antes de llegar a la operación de moldeo, se saca la arcilla y se lleva a un triturador desintegrador de martillo, y luego a una mezcladora para agregarle agua y obtener la humedad óptima.

Moldeado. De forma manual o mecánica, se le da forma la arcilla. Esta etapa suele hacerse en caliente utilizando vapor saturado de aproximadamente 130°C y a presión reducida.

Cortado. Se establecen las dimensiones del producto moldeado.

Secado. Es una de las fases más delicadas del proceso de producción, porque es allí donde se elimina el agua agregada en la fase de moldeo, el periodo conveniente para esta etapa es de 10 a 12 horas.

Endague. Se ubica el material de manera predeterminada así sea en el secadero o en el horno.

Cocción. En esta etapa se somete el producto a elevadas temperaturas a través de hornos intermitentes o continuos, en el interior del horno la temperatura varía entre los 900°C y 1000°C, experimentando una disminución de masa, por pérdida de agua, de un 5% a un 15.

Enfriamiento. En esta etapa se retira el calor al material que se suministra para su cocción.

Descargue o deshorne. Se retira el material una vez pasado por una temperatura aceptable.

Almacenamiento. Es donde se mantiene el inventario con el producto terminado.

Despacho. Es la distribución del producto al consumidor final.

Para la obtención de ladrillos o bloques, se recomienda la pasta con mezcla de arcillas de 55% "Cascajo" y 45% "Amarilla", con contenido de agua entre 23 y 32%, obteniéndose cerámicos con absorción de agua menor al 15% y módulo de ruptura mayor a 5 Mpa, (Santos, Malagón & Córdoba, 2009).

2.2.3.4 Productoras de bloques de arcilla en la región. La región de Norte de Santander cuenta con riquezas en el subsuelo a lo largo de su territorio, Cúcuta es el municipio más privilegiado por poseer formaciones de arcilla de excelente calidad, esto ha permitido dar origen que la región crezca en el sector de la industria cerámica conformados por 49 empresas que se dedican a la 25 fabricación de materiales de la construcción como cerámica, tejas, ladrillos, productos artesanales entre otros, siendo este las mejores alternativas de desarrollo de la región.

Algunas de las empresas que trabajan en el sector ladrillero que se ubican entre los municipios de Cúcuta, Los Patios, San Cayetano y el Zulia, son las siguientes:

- Tejar de Pescadero.
- Ladrillera Casablanca S.A.S.
- Ladrillera Arcigres Ltda.
- Ladrillera Colbee S.A.S.
- Tejar San Gerardo Ltda.
- Tejar Santa Rosa Ltda.
- Tejar Santa Teresa.
- Ladrillera Merkagres de Colombia Ltda.

- Tejar Santa María Ltda.
- Ladrillera Cúcuta.
- Ladrillera Norsan Ltda.
- Tejar Cerámica Babilonia.
- Arcillas San Felipe Ltda.
- Ladrillera el Topacio.
- Arcillas del Rosario
- Cerámica Támesis S.A.
- Ladrillera Sigma Ltda.
- Cerámicas América.
- Cerámica La Española.
- Tejar Los Vados.
- Cerámica Andina Ltda.
- Arcillas los Ángeles Ltda.
- Ladrillera Mejía & Mora Cía. Ltda.
- Tejar La Esperanza de María.

2.2.4 Proceso productivo de arroz. En Colombia existen dos sistemas de siembra de arroz: uno de forma mecanizada y otro manual. El primero se caracteriza por emplear en sus diferentes labores tractores, combinadas y avionetas; este a su vez se divide en arroz riego 26 mecanizado, con la particularidad de aplicarse una lámina de agua por inundación y bombeo o gravedad,

específicamente para el control de algunas malezas y enfermedades, y otro, el arroz seco mecanizado, que emplea tan solo el agua lluvia en los requerimientos hídricos de cultivo. Y en cuanto al arroz seco manual, se caracteriza por utilizar mano de obra en las diferentes actividades de cultivo y corresponde a agricultores pequeños con bajo nivel tecnológico, (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2017). Una de las consecuencias de este proceso industrial del arroz es la cantidad de residuos que se generan, en Colombia son alrededor de 2'000.000 de toneladas de arroz de Paddy seco que se cosecha y 400.000 toneladas de cascarilla de arroz de las cuales son considerados de poco valor, (Piñeros, Otálvaro, Campos, Cortés, Proaños & Velasco, 2011), además que una parte de estas son calcinadas, y aunque ya se está iniciando con la comercialización de estos residuos, el mercado no posee la capacidad de consumir toda esa cantidad. Según la Federación Nacional de arroceros (Fedearroz), en promedio general del proceso industrial por cada 1Kg de arroz cáscara (Paddy seco), se genera según Cuevas & Fedearroz (2018):

- 595 gr de arroz blanco excelso o entero
- 55gr de arroz de grano medio o cristal
- 30 gr de arroz partido industrial
- 100gr de harina de arroz
- 200gr de cascarilla 200
- 20gr de impurezas

Además, la producción de Arroz Paddy seco en Colombia ubicado por zonas desde 2.010 hasta 2.020 en toneladas son las siguientes:

Tabla 1. Producción de arroz paddy seco en Colombia 2.010 - 2.020

Año	Zona Centro	Zona Llanos	Zona Bajo Cauca	Zona Costa Norte	Zona Santanderes	Total Nacional
2000	934.389	729.966	199.115	208.852	132.626	2.204.948
2001	850.759	801.379	185.126	171.290	115.431	2.123.985
2002	812.829	770.623	169.153	137.346	140.761	2.030.712
2003	919.946	912.300	245.885	171.492	145.248	2.394.871
2004	930.326	920.907	302.723	174.740	135.700	2.464.396
2005	890.931	670.875	240.404	141.130	120.758	2.064.098
2006	887.883	561.013	202.033	139.605	120.265	1.910.799
2007	915.314	687.036	213.671	141.651	127.227	2.084.899
2008	1.016.658	827.440	244.494	155.811	128.968	2.373.371
2009	1.003.161	933.756	250.165	136.494	102.953	2.426.529
2010	754.650	793.689	172.562	85.731	117.115	1.923.747
2011	879.066	719.964	149.311	92.468	100.574	1.941.383
2012	815.007	702.478	158.190	81.037	92.495	1.849.207
2013	776.915	752.148	175.409	111.318	128.480	1.944.270
2014	759.504	619.366	127.579	89.441	147.602	1.743.492
2015	794.794	816.458	130.851	85.756	160.325	1.988.184
2016	859.736	1.156.460	222.495	111.687	175.801	2.526.179
2017	898.542	1.149.421	209.150	142.940	191.601	2.591.654
2018	926.004	1.009.751	231.449	122.961	196.559	2.486.724
2019	865.925	1.106.385	279.284	95.880	189.438	2.536.912
2020	928.732	1.294.043	366.731	128.683	192.312	2.910.501

Fuente: Dane & Fedearroz (2022).

Por otra parte, Norte de Santander cuenta con nueve municipios que comprenden la siembra de arroz que son: Cúcuta, El Zulia, Tibú, San Cayetano, La Esperanza, Puerto Santander, Villa del Rosario, Los Patios y Santiago, agrupando un área de producción de 14.200 hectáreas cultivadas.

Sin embargo, en una encuesta realizada por un grupo de estudiantes de especialización (Albarracín, Mendoza & Monroy, 2019) de gerencia de proyectos que trabajaron con algunas de las empresas productoras de arroz y obtuvieron los siguientes resultados afirman que:

- El 50 % de los encuestados manifestaron que en la mayoría los residuos generados en el proceso productivo de arroz (Tamo) se queman para agilizar la preparación del terreno.

- El 25 % de los encuestados respondieron que en algunas ocasiones utilizan el tamo como abono
- El 25% restante comercializan la cascarilla de arroz sin realizar alguna transformación, debido a que las mismas empresas que la adquieren la convierten en subproductos que se utilizan en la industria pecuaria, como insumos para la adecuación de galpones y fabricación de concentrados.

A continuación, se explica el proceso productivo que tiene el arroz desde que inicia a partir del sembrado hasta el empaque final para ser distribuido:

Recepción de la materia prima. El arroz es recibido en la molinera en una tolva de recepción en la cual el arroz tiene 25-30% de humedad, (Alvarado & Hernaíz, 2012). A partir de esto se toma una muestra para determinar el porcentaje de humedad e impurezas como palos, hojas, etc.

Pre limpieza. Antes del secado el arroz pasa por una maquina pre-limpia en la cual consiste en una zaranda con tres mallas metálicas, la 1ª tiene un orificio de $\frac{3}{4}$ diámetro y los 2 siguientes tienen un menor diámetro, esta zaranda se encarga de limpiar el grano de impurezas (palote, paja, etc.), (Alvarado & Hernaíz, 2012). Posteriormente el arroz es transportado por medio de cangilones al secador.

Secado. Los cangilones son transportados por un elevador, el cual lo deposita en el secador el arroz. El secador tiene una capacidad de 35 toneladas y está a una T° de 35°C a una potencia de 20- 25 HP, y succionan el aire del ambiente para que se caliente a través de un horno que es alimentado con la pajilla del arroz (las cenizas se utilizan como abono), (Alvarado & Hernaíz, 2012). Dentro de la máquina de secado, el arroz está en constante movimiento, ya que en la parte

inferior del secador hay una compuerta que se abre cada 30 segundos y deja pasar una cantidad determinada de arroz, el objetivo es tener una humedad óptima de 14%, de lo contrario la muestra deberá pasar nuevamente por el secador.

Reposo. El arroz es llevado por cangilones, el cual llevan al arroz a los silos de almacenamiento, en donde reposan 12 horas para que se enfríe. Los silos son limpiados cada 6 meses, (Alvarado & Hernaíz, 2012). Luego el arroz es vaciado en tolvas cuales tienen una rejilla en las que se quedan los residuos que todavía se encuentran. Después pasa por una máquina pre-limpia antes del pilado, la cual tiene una balanza incorporada que cada 200Kg hace una descarga automática.

Descascarado. Las descascaradoras tienen en su interior unos rodillos de caucho que se encargan del descascarado, pero no lo hacen al 100 % sino al 90%, por ello intervienen una máquina satoque el cual por medio de vibración separa el arroz con cáscara y al que no tiene en diferentes lados, esta máquina regresa al arroz con cáscara a los rodillos y así separarlos de la cáscara, (Alvarado & Hernaíz, 2012).

Blanqueo. Aquí se desprende el endospermo dándole un color más claro (blanco transparente), mediante dos blanqueados. En el primer blanqueado se obtiene un polvillo negro el cual es desechado, y en el segundo blanqueado se desprende un polvillo limpio el cual es destinado para el consumo de animales, (Alvarado & Hernaíz, 2012).

Pulido. El arroz pasa por polichadoras las cuales trabajan por fricción, aire y agua. Rocían agua al grano y se encuentra a una presión de 10 psi, de esta forma pulen el grano y le dan brillo, (Alvarado & Hernaíz, 2012).

Clasificadores:

Clasificadores por tamaño. El arroz es separado de acuerdo al tamaño. Separan el arroz quebrado del entero.

Clasificadores según el color. Aquí el arroz es separado de acuerdo al color. Se separan el arroz de color homogéneo con el arroz que tiene manchas blanquizas. Se utiliza una luz de color azul para ver mucho más claro el color del grano.

Brillo. Después que haya pasado las clasificadoras se echa aceite y achote al arroz para que le dé un mejor brillo y color, (Alvarado & Hernaíz, 2012).

Envasado. Al final es embazado en sacos de polietileno de 50Kg y almacenados en lotes para luego ser llevado al mercado, (Alvarado & Hernaíz, 2012).

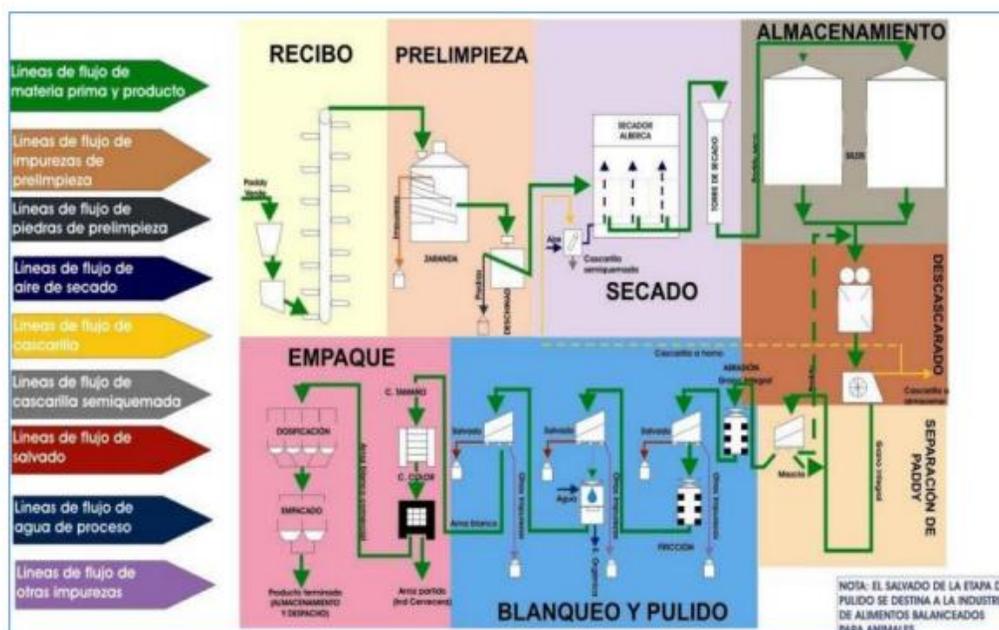


Figura 4. Proceso industrial del arroz

Fuente: Alvarado & Hernias (2012).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Ceniza de cáscara de arroz. La ceniza de cascarilla de arroz es un material con escasas propiedades cementicias y actividad hidráulica por sí sola, por su carácter puzolanico al estar en presencia de agua genera compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos, dando propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico (Medina & López, 2020).

2.3.2 Bloque de arcilla. Pieza de mortero o arcilla con un grueso superior al del ladrillo normal que se emplea en construcción. También llamado bloque, ladrillo grueso.

2.3.3 Conductividad térmica. Es una propiedad física que describe la capacidad de un material de transferir calor por conducción, esto es, por contacto directo y sin intercambio de materia. Es una magnitud intensiva que no depende de la cantidad de materia, (Khan Academy, 2018).

2.3.4 Resistencia a la compresión. Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión (Instron, 2000).

2.3.5 Absorción de agua. Agua que contiene un cuerpo o material sólido, que posee unas propiedades físicas que apenas se diferencian de las del agua corriente a la misma temperatura y

presión, (Pino, Fienco, Álvarez, Cantos, Macias & Ponce, 2018).

2.3.6 Construcción sostenible. Se puede definir como aquella que teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales, (Ramírez, 2017).

2.3.7 Reciclaje. Es un proceso donde las materias primas que componen los materiales que usamos en la vida diaria como el papel, vidrio, aluminio, plástico, etc., una vez terminados su ciclo de vida útil, se transforman de nuevo en nuevos materiales, (Universidad del Valle, 2015).

2.4 Marco Contextual

Este proyecto se llevó a cabo en la Universidad Francisco de Paula Santander, en las instalaciones del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC, ubicada en la Avenida Gran Colombia # 12E - 96, Cúcuta, Norte de Santander con coordenadas 7°53'57"N 72°29'15"O. la función social de "la Universidad Francisco de Paula Santander como Institución de educación Superior es desarrollar programas de pregrado y posgrados formales o no formales, en los campos de la técnica, la ciencia, la tecnología, las humanidades, el arte y la filosofía, de acuerdo con lo previsto en la Ley 30 de 1992.

El CIMAC se encarga de agrupar la información relacionada con el sector cerámico el cual incluye estudios e investigaciones por instituciones públicas y privadas a nivel regional, nacional e internacional, artículos, catálogos, revistas científicas entre otros.

La población que recibe la influencia de este proyecto es el sector productor de cascarilla de arroz y empresas dedicadas a la fabricación de materiales para la construcción en gres.

2.5 Marco Legal

NTC 4017 (2018, Método para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y otros Productos de Arcilla). Esta norma establece los procedimientos de muestreo y ensayo, para todo tipo de ladrillos de arcilla cocida, incluidas las tejas, los adoquines y los bloquelones. En esta norma se incluyen los ensayos de: módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, resistencia al congelamiento y descongelamiento, eflorescencias, tasa inicial de absorción, determinación del peso, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones, análisis térmico-diferencial, térmico-dilatométrico y expansión por humedad, aunque no todos los ensayos son aplicables necesariamente a todos los tipos de unidades o están referidos a otras normas complementarias. Todas las especificaciones que contengan las respectivas normas de productos relacionadas con métodos de muestreo y ensayos priman sobre lo establecido en esta norma.

NTC 4205 (2000, Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos). Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería y fija los parámetros con que se determinan los distintos tipos de unidades.

NTC 4205 (2009, Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos).

Mampostería estructural. Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida, utilizados como unidades de mampostería estructural en muros interiores o exteriores y establece los parámetros con lo que se determinan los distintos tipos de unidades.

NTC 4205 (2009, Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos).

Mampostería no estructural. Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla, utilizados como unidades de mampostería no estructural en muros interiores divisorios y cortafuegos no estructurales o muros exteriores que tengan un acabado de protección con revoque.

NTC 4205 (2009, Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos).

Mampostería de Fachada. Reúne los requisitos de las unidades de arcilla cocida utilizadas para muros en ladrillo a la vista interiores o exteriores (fachadas). Las unidades para fachadas pueden ser fabricadas tanto para usos en muros divisorios o de cierre, no estructurales.

Artículo 139 (Del trabajo de grado exigido por el Estatuto Estudiantil) Acuerdo 065 del 26 de agosto de 1996 de la Universidad Francisco de Paula Santander, título V, del Trabajo de Grado “El trabajo de grado es un componente del plan de estudio” y tiene como objetivos:

- a. Brindar al estudiante la oportunidad de manifestar de manera especial su capacidad investigativa, su creatividad y disciplina de trabajo mediante la aplicación integral de los conocimientos y métodos requeridos.
- b. Servir como instrumento de extensión a la comunidad y medio de generación del conocimiento.
- c. Facilitar al estudiante su participación y concurso en la solución de problemas comunitarios.

- d. Facilitar al estudiante una mayor autonomía en el desarrollo de trabajos científicos, científico-tecnológicos y profesionales propios de su formación.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

Exploratoria y descriptiva, El proyecto “Evaluación de Mezclas de Arcilla adicionando ceniza de cascarilla de arroz para la Fabricación de Bloque de Construcción”, se enmarca según el propósito en una investigación aplicada; según el nivel en exploratoria y descriptiva y finalmente según la estrategia en investigación experimental.

Es de tipo exploratorio porque el proyecto se enfocó en un problema que no se ha abordado ampliamente en la región, ni se encuentran datos específicos sobre la fabricación de un prototipo de bloque de construcción a nivel de laboratorio, para ser empleado en construcciones sostenibles. “Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes” (Hernández, Fernández & Batista, 2014, p. 91).

Es de tipo descriptiva porque en el proyecto se evaluaron las mezclas de arcilla a nivel de laboratorio, simulando las etapas del proceso productivo para la fabricación de un prototipo de bloque de construcción, mediante la formulación de diferentes porcentajes de nutriente tecnológico en las muestras.

Así mismo, la investigación en el laboratorio permitió obtener la información necesaria para la fabricación del bloque y el desarrollo de los objetivos propuestos. “Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Hernández et al., 2014, p. 92).

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población. La población a tener en cuenta para la realización del proyecto, involucra a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, y la ceniza de cascarilla de arroz.

3.2.2 Muestra. El tamaño de la muestra se seleccionó mediante un acuerdo con la empresa Cerámica Támesis S.A., porque es la mejor mina explotada en el Área Metropolitana de Cúcuta, cumpliendo con los requisitos ambientales y sistema de explotación adecuado, con patios de almacenamiento de materias primas, botadero de los residuos y con sistema siembra de árboles en zonas explotadas.

Además, esta mina es utilizada para una empresa del sector cerámico reconocida del Área Metropolitana de Cúcuta, debido a sus propiedades químicas y a su comportamiento en la industria cerámica para elaboración de productos de construcción.

Para la ceniza de cascarilla de arroz se tomó del proceso productivo donde utilizan como combustible la cascarilla de arroz de las empresas Coagronorte, quedando como producto final la ceniza de la cascarilla de arroz.

3.3 Instrumentos para la Recolección de Información

Para la recolección de información y datos de procesamiento para la evaluación de mezclas, se utilizaron distintos instrumentos fundamentales para el registro de datos, como:

3.3.1 Fuentes primarias: La búsqueda de información en bases de datos, proyectos de investigación, artículos de investigación, NTC 4017, NTC 4205 y, conocimientos adquiridos por el personal del laboratorio que es idóneo y capacitado para el desarrollo de los mismo

3.3.2 Fuentes secundarias: La búsqueda de información en bases de datos, proyectos de investigación, artículos de investigación, NTC 4017, NTC 4205 y, conocimientos adquiridos por el personal del laboratorio que es idóneo y capacitado para el desarrollo de los mismos.

3.4 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Se implementaron hojas de cálculo en el software Excel para el análisis, procesamiento y tabulación de información en base a los ensayos trabajados en el proyecto.

También se empleó el software Word para realizar la evaluación que contiene información como descripción de los ensayos, equipos, materiales y un esquema del registro de datos o resultados de cada ensayo.

Para este estudio, se llevó a cabo inicialmente la observación directa, la entrega de los resultados de cada ensayo realizado por el personal del CIMAC.

4. Desarrollo del Proyecto

El proyecto se llevó a cabo con un enfoque detallado en la evaluación del comportamiento de la ceniza de la cascarilla de arroz vs los componentes naturales de la arcilla del Área Metropolitana de Cúcuta.

Para este estudio se realizó la evaluación con la arcilla de la mina de Cerámica Tamices S.A. y el nutriente tecnológico en este caso la ceniza de la cascarilla de arroz producido por la empresa Coagronorte.

La recolección de información se realizó en dos fases:

- Mediante la primera fase se tuvieron en cuenta los estudios químicos de la arcilla y la ceniza de la cascarilla de arroz, complementando la información con asesorías técnicas de profesionales con conocimiento en el tema.
- A través de la segunda fase se realizó la recolección de datos tras los resultados de los análisis de laboratorio realizados en el CIMAC, los cuales se encontraron relacionados en el desarrollo de los objetivos específicos planteados.

Las técnicas de análisis que se contemplaron son los ensayos requeridos según la norma NTC 4205, para clasificación del bloque, según sus requisitos técnicos.

Con el fin de analizar el valor del producto final se realizó el estudio de costos del bloque normal H-10, comparado con la mejor mezcla de las tres que se realizaron utilizando el nutriente tecnológico en diferentes porcentajes.

4.1 Materias Primas Utilizadas

En el departamento Norte de Santander están focalizadas las arcillas en el área metropolitana de Cúcuta, contando esta con una superficie de 2.196 km², que ocupa el 10,1% de la extensión departamental.

En la ciudad de Cúcuta se explotan las arcillas estratificadas de la parte superior del Grupo Guayabo y la Formación León, en algunos sectores de Cúcuta los estudios sobre la

Composición mineralógica y química de las arcillas las muestran como materiales de primera calidad, desde el punto de vista cerámico (Pedroza, 1996).

- Arcilla.

El término “arcilla” encierra en sí mismo un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión, tales como el tamaño de partícula, la mineralogía, la petrografía, las propiedades físicas, entre otras.

Las arcillas son fruto de los agentes de meteorización físico-químicos actuantes sobre la roca madre original, se las puede considerar como unas acumulaciones naturales, consolidadas o no, de tamaño de grano fino:

< 1 μm según los químicos que estudian los coloides.

< 2 μm según los mineralogistas e investigadores del suelo.

< 4 μm , según los sedimentólogos.

Constituidas por variados minerales arcillosos y otros minerales acompañantes como el cuarzo, los feldespatos, los carbonatos, etc. Además, salvo excepciones, poseen un comportamiento físico muy peculiar frente al agua el cual es la plasticidad, e incluso endurecen cuando son secadas o sometidas a tratamientos térmicos a alta temperatura (Alonso, 1961; Bernal, 2003; Díaz & Torrecillas, 2002; Liberto, 1964).

Mineralógicamente están constituidas en su mayoría por filosilicatos, los cuales son un subgrupo de la familia de los silicatos que tienen por principal característica la disposición planar de las redes poliméricas de tetraedros de sílice. Este es un grupo variado, y la principal característica de los filosilicatos arcillosos es su alto contenido de aluminio (Bernal, 2003; Liberto, 1964).

Los principales minerales que componen la arcilla son:

- Caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).
- Illita ($\text{K, H}_3\text{O}$) (Al, Mg, Fe)₂ (Si, Al)₄ $\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$.
- Montmorillonita (Na, Ca)_{0.33}(Al, Mg)₂(Si_4O_{10})(OH)₂• $n\text{H}_2\text{O}$.
- Vermiculita (Mg, Fe, Al)₃(Al, Si)₄ $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ • $4\text{H}_2\text{O}$.

Los principales minerales que componen la arcilla de la mina Támesis, lugar en donde se tomó la materia prima principal son:

- SiO_2 (Cuarzo).
- $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (Moscovita).
- TiO_2 (Anatasa).
- $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ (Caolinita).

- Fe_2O_3 (Hematita).
- $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ (Microclina).
- $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ (Albita).

Las arcillas tienen otros minerales diferentes de los anteriores, que se denominan minerales asociados (cuarzo, feldespatos, calcita, pirita) y ciertas fases asociadas no cristalinas, que pueden o no impartir plasticidad, y la materia orgánica (Guggenheim & Martín, 1995).



Figura 5. Frente de explotación de la arcilla

- Arcillas cerámicas.

El término de arcillas cerámicas se refiere a los materiales arcillosos que usualmente son utilizados por la industria para la elaboración de piezas cerámicas. Como se sabe, la industria cerámica es la encargada de generar diferentes productos a partir de procesos especializados o artesanales utilizando como materia prima la arcilla. Las arcillas cerámicas se han clasificado según el uso en la industria de los productos que se pretende realizar, lo cual es una consecuencia

de su composición química, su mineralogía y su distribución textural (Díaz & Torrecillas, 2002).

- Arcillas comunes.

Los principales usos a los que se destinan estas arcillas son para la industria de la construcción, como ladrillos huecos o caravista, tejas, azulejos para gres y revestimientos. También se emplean en el sector de la alfarería, en las industrias del cemento y como agregados ligeros. El color del producto acabado lleva una componente roja característica, originada por los altos contenidos en óxidos de hierro que suelen estar por encima del 2-2,5%, estas son las arcillas usadas por Cerámica Italia (Díaz & Torrecillas, 2002).

El conocimiento de la composición química de las arcillas es vital en la evaluación del uso específico que se le dará a esta, sin embargo, esta información deber ser usada juntamente con las propiedades físicas para una visión completa.

Toda la arcilla está compuesta, principalmente de arcilla pura que es el aglutinante de la mezcla que constituye el ladrillo. La muestra de arcilla utilizada para los ensayos está compuesta a su vez de un 59,67% de sílice, un 21,72% de alúmina y un 14% de agua.

Para conocer la composición química de la muestra de arcilla se realizó un ensayo de fluorescencia de rayos x (XRF, siglas en ingles), que consiste en emitir rayos x secundarios (o fluorescentes) característicos de un material que ha sido excitado al ser bombardeado con rayos x de alta energía o rayos gamma (Beckhoff, 2006).

Este fenómeno es muy utilizado para análisis elemental y análisis químico, particularmente en la investigación de metales, vidrios, cerámicos y materiales de construcción, así como en la de geoquímica, ciencia forense y arqueología. El porcentaje de los distintos elementos encontrados

en la muestra de arcilla tomada de la mina expresados en forma de óxidos son los siguientes:

Tabla 2. Resultados obtenidos por fluorescencia de rayos-x de la muestra identificada

Elemento	Número atómico (Z)	Concentración	Óxido	Concentración
Si	14	27,89%	SiO ₂	59,67%
Al	13	11,50%	Al ₂ O ₃	21,72%
Fe	26	3,70%	Fe ₂ O ₃	5,29%
K	19	1,64%	K ₂ O	1,98%
Ti	22	0,57%	TiO ₂	0,95%
Mg	12	0,41%	MgO	0,67%
Ca	20	0,27%	P ₂ O ₅	0,57%
Na	11	0,26%	CaO	0,38%
P	15	0,25%	Na ₂ O	0,35%
Ba	56	0,05%	BaO	0,06%
Zr	40	0,03%	SO ₃	0,04%
V	23	0,02%	V ₂ O ₅	0,04%
Mn	25	0,02%	ZrO ₂	0,03%
S	16	0,02%	MnO	0,03%
Zn	30	0,01%	ZnO	0,02%
Cl	17	0,01%	Cr ₂ O ₃	0,01%
Sr	38	0,01%	CuO	0,01%
Cu	29	0,01%	SrO	0,01%
Cr	24	0,01%	Cl	0,01%
Rb	37	0,01%	Rb ₂ O	0,01%
---			* L.O.I	8,12%
Elementos minoritarios				
Elemento	Número atómico (Z)	Concentración	Óxido	Concentración
Ni	28	41 mg/Kg	NiO	52 mg/Kg
Pb	82	25 mg/Kg	Y ₂ O ₃	30 mg/Kg
Y	39	23 mg/Kg	Ga ₂ O ₃	29 mg/Kg
Ga	31	22 mg/Kg	PbO	26 mg/Kg
Nb	41	16 mg/Kg	Nb ₂ O ₅	23 mg/Kg

- Ceniza de Cascarilla de Arroz.

La cascarilla de arroz es un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo y la ceniza de cascarilla del arroz proviene de la

quema del anterior producto mencionado, esta ceniza tiene un alto contenido de sílice (91.4%) lo cual es coherente con un material puzolánico.

Tabla 3. Composición química de la ceniza de cascarilla de arroz

<i>Componente</i>	<i>% en peso</i>	<i>Componente</i>	<i>% en peso</i>
SiO ₂	91,39	S	0,14
K ₂ O	2,17	P ₂ O ₅	0,79
CaO	0,39	Na ₂ O	0,05
Al ₂ O ₃	0,13	Zn	0,02
Fe ₂ O ₃	0,37	Cl	0,04
MgO	0,33	Cr	0,01
MnO	0,17	H ₂ O	4,00

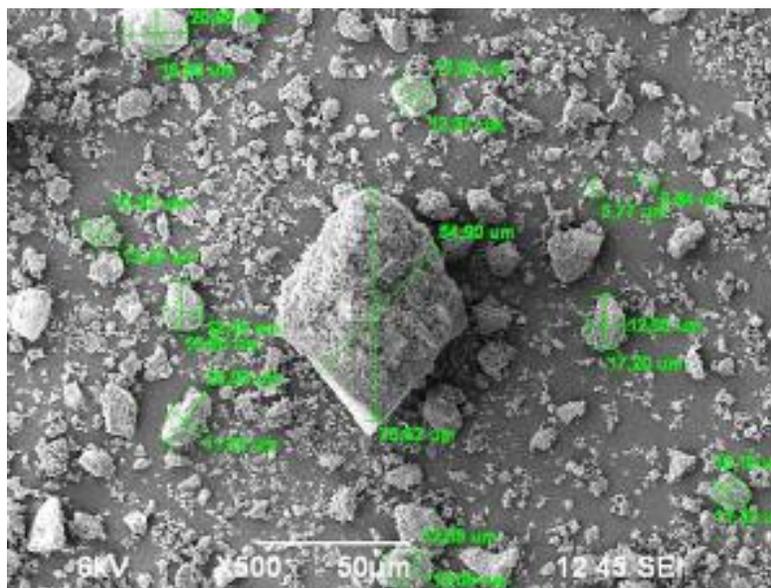


Figura 6. Morfología de las partículas de ceniza cascarilla de arroz

4.2 Proceso de Conformado

Para el desarrollo del proyecto se contó con una extrusora de laboratorio con vacío modelo NEW WAVE fabricada por la empresa Metal Souza Ltda (figura 7).



Figura 7. Extrusora de laboratorio con vacío

Fuente: CIMAC. (2022).

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (figura 8).



Figura 8. Apisonador de la arcilla (trituración)

Fuente: CIMAC. (2022).

Seguidamente se molturaron por vía seca en el molino de martillos (figura 9).



Figura 9. Molino de martillos (molienda vía seca)

Fuente: CIMAC. (2022).

Finalmente, el material molido se le realizó un proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (figura 10) para obtener una distribución granulométrica uniforme.



Figura 10. Tamiz malla 10 (tamizado)

Fuente: CIMAC. (2022).

Después se obtuvo las diferentes mezclas para fabricar el bloque H-10, adicionando 2,5%; 5% y 7,5% de ceniza de cascarilla de arroz. Cada mezcla elaborada se humectó manualmente y se mantuvo por 12 horas para conseguir una buena homogenización, posteriormente se realizó el

proceso de extrusión de las pastas cerámicas obtenidas y se obtuvo bloque cerámico H-10 por cada mezcla.

Los bloques conformados de las mezclas se secaron en una estufa de secado de 128 litros (figura 11) de resistencia eléctrica comenzando a temperatura ambiente (30°C), durante las primeras 5 horas del proceso, se realizaron incrementos de temperatura de $10^{\circ}\text{C}/\text{hora}$, finalmente se llevó a la temperatura de 110°C hasta completar 24 horas de secado. Una vez alcanzaron la temperatura ambiente, los bloques se pesaron y se midieron.



Figura 11. Estufa de 128 litros

Fuente: CIMAC. (2022).

Los bloques secos se llevaron a un horno mufla de laboratorio (figura 12) con calentamiento eléctrico, sometiendo cada bloque a temperaturas de cocción de 1000°C .



Figura 12. Horno mufla

Fuente: CIMAC. (2022).

Después del ciclo de cocción, cada bloque se pesó y se midió, una vez alcanzaron la temperatura ambiente, para mejor manipulación. Finalmente se realizó la prueba de absorción de agua por inmersión y resistencia mecánica a la compresión, utilizando la metodología establecida en la norma Técnica Colombia NTC 4017.

4.3 Ensayos Realizados

4.3.1 Análisis físico-cerámico. El análisis físico-cerámico se evidencia a continuación:

Objeto. Establecer el método de ensayo para realizar el análisis físico cerámico de productos estructurales, con el fin de obtener las especificaciones de producto.

Equipos:

Extrusora. Se utilizó la extrusora de laboratorio para conformar los bloques cerámicos mezclados con ceniza de cascarilla de arroz y se obtuvo bloque cerámico H-10 por cada mezcla.

Estufa de secado. Elimina la humedad de los bloques, debido a que se programa su secado a una temperatura de 110 °C, durante 24 horas.

Pie de Rey. Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.

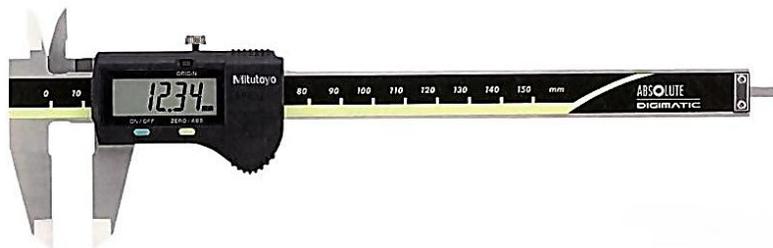


Figura 13. Pie de Rey digital de 200 mm

Fuente: CIMAC. (2022).

Reactivos y/o Materiales:

- ACPM
- Paño de limpieza.
- Cortador de bloques.
- Marcador para rotular.

Procedimiento. Se inicia con el proceso de conformado por extrusión para elaborar los bloques en condiciones húmedas, los cuales se deben medir con calibrador pie de rey y pesar con balanza digital obteniendo dimensiones de longitud entre 80 y 100 mm y masa entre 150 y 190 g.

Posteriormente los bloques se secan en la estufa de secado iniciando a temperatura ambiente de 30°C hasta llegar a temperatura de 110 °C durante 24 horas, luego se dejan secar a temperatura ambiente para ser manipulados, con el fin de tomar de nuevo medias en condiciones secas, finalmente se queman en el horno mufla a temperatura de 1000 °C, se deja enfrían cada

bloque para obtener las medidas finales de en condiciones cocidas. Después de tener todos los datos mencionados en las 3 condiciones, se calcula la contracción seca y cocida, las pérdidas de masa seca y cocida de cada mezcla.

4.3.2 Determinación de la absorción de agua en unidades de mampostería. A

continuación, se presentan la determinación de la absorción de agua en unidades de mampostería:

Objeto. Establecer el método de ensayo para determinar la absorción de agua en bloques cerámicos, con el fin de obtener las especificaciones de producto.

Equipos:

- Estufa de secado.

Se secan los bloques a una temperatura entre 105 °C y 115 °C, en un secadero durante no menos de 24 horas, hasta que, en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 horas, no se presente un cambio superior al 0,2% del último peso del bloque determinado previamente.

- Balanza.

Balanza, con precisión 0,1 g.



Figura 14. Balanza digital de 20 kg

Fuente: CIMAC. (2022).

- Tanque de absorción.

Equipo para determinar la absorción de agua por inmersión, está fabricado en plástico, con apoyos inferiores que permiten la libre circulación del agua por todas las caras, evitando que cualquiera de sus caras quede apoyada directamente sobre el fondo del recipiente. Por ende, el tanque tiene canastillas o rejillas con capacidad de soportar los especímenes por debajo del agua.



Figura 15. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión

Fuente: CIMAC. (2022).

- Termo higrómetro

Registrador de datos de temperatura (°C) y humedad relativa (%) de Extech.



Figura 16. Termohigrómetro EXTECH

Fuente: CIMAC. (2022).

Reactivos y/o Materiales:

- Agua destilada o des ionizada.
- Paño absorbente.
- Paño de limpieza.
- Brocha o cepillo duro.
- Marcador para rotular.

Procedimiento:

- Preparación de los especímenes de ensayo.

Se retira cualquier partícula que éste mal adherida o suelta de cada espécimen de ensayo con un cepillo duro, una brocha o un trapo de limpieza. Se rotula cada espécimen con el código interno dado a la muestra y el respectivo número de espécimen.

- Secado de los especímenes.

Se pesa cada espécimen de ensayo y se registra la masa inicial como m_1 en la hoja de ensayo, posteriormente se introducen en la estufa de secado, la cual se mantiene a una temperatura entre $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $115\text{ }^{\circ}\text{C}$; después de 24 horas de secado, se sacan los especímenes de la estufa de secado, se dejan enfriar a temperatura ambiente, y se pesan registrando la masa como m_2 .

Seguidamente se introducen los especímenes a la estufa de secado y se mantiene durante 2 horas más, se retiran y se dejan enfriar a temperatura ambiente; se pesan nuevamente y se registra la masa como m_3 . Se verifica si los especímenes han alcanzado una masa constante, es decir, cuando la diferencia entre dos pesajes m_2 y m_3 , sea menor que 0,2 %; de lo contrario se repite el procedimiento de secado.

- Aplicación del ensayo.

Cuando los especímenes se han enfriado en el cuarto hasta mantener la temperatura de $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una humedad relativa entre 30 y 70%, se colocan verticalmente, sin contacto entre ellos, en el tanque de absorción, de forma que exista una altura de 5 cm de agua destilada por encima y por debajo de las piezas a través de todo el ensayo.

Seguidamente se sumergen completamente los especímenes en agua destilada a una temperatura entre $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 24 h (sin inmersión parcial preliminar). Mantener el nivel de agua 5 cm por encima de los especímenes que se están ensayando.

Finalmente se prepara el paño absorbente humectándolo y exprimiéndolo a mano, se coloca sobre una superficie plana y suavemente se seca cada lado de los especímenes uno a la vez, inmediatamente después de este procedimiento, se pesa cada espécimen m_4 y se registra los resultados, en la hoja de ensayo.

El valor de m_4 se registra como masa húmeda del espécimen en el reporte interno.

4.3.3 Determinación de la resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería. A continuación, se evidencia la determinación de la resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería.

Objeto. Establecer el método de ensayo para determinar la resistencia mecánica a la compresión en bloques cerámicos, con el fin de obtener las especificaciones de producto.

Equipos:

- Pie de Rey.

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.

- Prensa de Flexión.

La máquina de ensayo debe tener suficiente capacidad para fallar todos los especímenes de ensayo, pero la escala o capacidad de la misma debe ser tal que la carga de rotura aplicada sea mayor de un quinto de la lectura de la escala completa.



Figura 17. Prensa de flexión

Fuente: CIMAC. (2022).

Materiales:

- Paño de limpieza
- Brocha o cepillo duro para limpiar el cronometro
- Marcador para rotular

Procedimiento:

- Se ensayan los bloques en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección en que van a estar puestos en servicio.

- Centre los bloques bajo el soporte esférico superior con una tolerancia de 1,6 mm.
- Limpie los platos de la máquina de ensayo con un trapo, elimine todas las impurezas sueltas que existan en las caras de apoyo del bloque.
- Alinee cuidadosamente el bloque con el centro del plato, de manera que queda asentado uniformemente. Las piezas que tengan una sola hendidura deben colocarse con ésta hacia arriba. En el caso en que la pieza tenga hendiduras en ambas caras, la cara que tenga la hendidura de mayor tamaño debe colocarse hacia arriba.
- Se debe aplicar la carga con una velocidad adecuada hasta la mitad de la máxima esperada de acuerdo con el estimativo previsto para el producto o en su defecto con base en el requisito de resistencia propio de él acorde a la norma respectiva.
- Luego de aplicada esta carga inicial se deben ajustar los controles de la máquina de tal forma que la carga faltante se aplique a una velocidad uniforme en no menos de 60 segundos ni más de 120 segundos.

4.4 Normas Aplicadas

4.4.1 NTC 4017:2018 Norma Técnica Colombiana NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla 2008-05-23 ICONTEC.

4.4.2 NTC 4205:2000. Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos 200-10-

Propiedades físicas:

- Absorción de agua.

Las unidades de mampostería de arcilla cocida, ensayadas según el procedimiento descrito en la NTC 4017 (ASTM C67), deben cumplir con los requisitos de absorción de agua en 24 h de inmersión (promedio y máximo individual).

En general, no se pueden tener absorciones inferiores al 5% en promedio, ni superficies vidriadas o esmaltadas en las caras en que se asientan o en las que se vayan a pañetar.

Si en razón de la materia prima utilizada, las unidades de mampostería de uso exterior (fachada) resultan con absorción mayor a la especificada, se puede acudir al análisis termo diferencial conjunto de la arcilla y el producto cocido, para demostrar si la temperatura de cocción es suficiente o no, y para evitar la rehidratación de la arcilla cuando las piezas estén expuesta a la intemperie. También se puede tomar como criterio de estabilidad a ala intemperie, la relación de módulos de rotura, establecida entre una pieza saturada de agua durante 24 horas a temperatura ambiente y el de una pieza seca. Dicha relación no puede ser inferior a 0,8. Este ensayo se efectúa sobre cinco muestras para cada estado, según el método descrito en la NTC 4017.

- Resistencia mecánica a la compresión

Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se especifica en la Tabla 2 y 3, cuando se ensayan según el promedio descrito en la NTC 4017.

Tabla 4. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Pa (Kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid
PH	5,0 (50)	3,5 (35)	13	16	13,5	14
PV	18,0 (180)	15,0 (150)	13	16	13,5	14
M	20,0 (200)	25,0 (150)	13	16	13,5	14

PH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque).

PV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque).

M = unidad de mampostería maciza (ladrillo).

Tabla 5. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Pa (Kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid
PH	3,0 (30)	2,0 (20)	17	20	13,5	14
PV	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	13,5	14
M	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	13,5	14

PH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque).

PV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque).

M = unidad de mampostería maciza (ladrillo).

5. Desarrollo del Proyecto

La metodología que se desarrolló en el trabajo investigativo se describe a continuación:

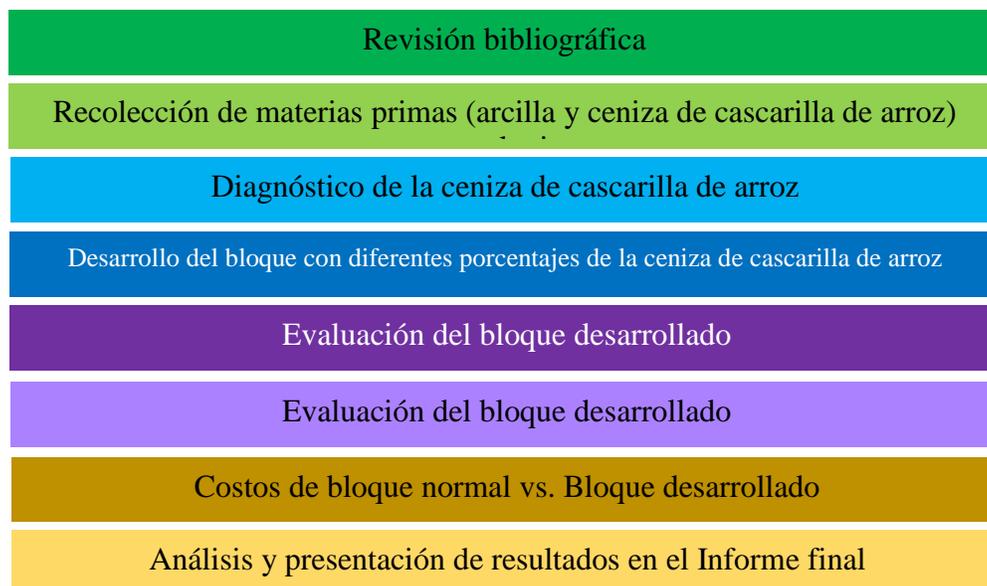


Figura 18. Metodología desarrollada en el proyecto

5.1 Diagnóstico del Sector de la Ceniza de Cascarilla de Arroz

Para empezar a hablar de la ceniza de cascarilla de arroz primero debemos hablar de la cascarilla de arroz, esta se desprende del secado de este popular alimento, convirtiéndose en un insumo alternativo para la industria de la construcción. Un ejemplo claro de esto lo propone la Universidad del Valle (UNIVALLE) que logró determinar que la vaina del cereal se convierta, mediante procesos químicos y térmicos, en una arcilla más resistente y menos porosa que las tradicionales.

Actualmente la producción de arroz en Colombia es una de las más importante en la agroindustria ya que en 2020 conto con una producción de 2.910.501 toneladas, del mismo modo la zona de los Santanderes obtuvo una producción de 192.312 toneladas en 2020, siendo una de

las regiones que tiene más producción de arroz a nivel nacional.

Enfocándonos en la ceniza de cascarilla de arroz como el nutriente tecnológico principal utilizado en este proyecto, se recolectó información de importancia como la obtenida en una investigación llevada a cabo desde el Departamento de Física y Química de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) Sede Manizales, revela la posibilidad de utilizar la cáscara de arroz en el sector de la construcción.

Entre los beneficios de aplicar la sílice contenida en la cascarilla en tratamientos especiales del material de construcción se encuentran la alta impermeabilidad, mayor resistencia y ahorro de costos.

El investigador de la universidad, Daniel Hincapié Rojas, señala que, aunque la cascarilla se comercializa para uso en establos, caballerizas, avicultura y para labores de jardinería, este mercado no posee la capacidad de consumir toda la biomasa disponible, lo que hace que más del 70 % de este producto termine en fuentes hídricas o se quemé infructuosamente. De hecho, se estima que en Colombia los residuos asociados con el cultivo de arroz alcanzan las 400.000 t al año. Por tanto, esta sería una manera de aprovechar esos residuos a la vez que se le da un uso útil y sostenible.

La ceniza de cascarilla de arroz aumenta considerablemente la resistencia mecánica hasta un 120% dada su composición de nanos materiales como la sílice en tratamientos especiales para prevenir grietas, resultados favorables y menos nocivos, según indica la Universidad.

5.2 Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes de Ceniza de Cascarilla de Arroz a Nivel del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC

La investigación fue desarrollada en el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Para la realización de este proyecto se estableció 3 mezclas representadas en los siguientes porcentajes:

Tabla 6. Mezclas elaboradas y ensayadas

Mezcla	Ceniza Cascarilla de Arroz	Arcilla
M1	2,5%	97,50%
M2	5%	95%
M3	7,5%	92,50%

- Elaboración de bloques.

Inicialmente se realizó el análisis físico cerámico para la Arcilla 100% utilizada como patrón, se determinó el porcentaje de absorción de agua y su resistencia mecánica a la compresión, para poder comparar los resultados con las mezclas desarrolladas.

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron de la Arcilla Patrón.

Tabla 7. Resultados de análisis físico cerámico

	Ensayo		Incertidumbre
Análisis Físico cerámico por Extruido	% C.C.	3.00	± 0,01
	% P.M.C.	3.97	± 0,02
	Peso Cocido (g)	122.36	± 0,05

Obtenidos a partir de los siguientes datos:

Tabla 8. Resultados de la condición húmeda del material (arcilla)

Probeta	Temperatura ° C	Condición Húmeda		
		Longitud mm	Masa g	Empuje g
1	1000	80.48	152.47	NA
2		80.12	154.78	
3		80.32	151.32	
4		79.93	148.57	
5		78.58	148.43	
6		82.61	155.44	
7		81.09	147.64	
8		78.37	154.19	
9		83.69	155.48	
10		99.54	184.84	

Tabla 9. Resultados de la condición seca del material (arcilla)

Condición Seca	
Longitud mm	Masa g
77.83	124.99
78.35	126.72
78.69	124.38
73.97	122.11
76.55	121.58
77.31	127.48
79.76	127.84
73.82	121.36
77.23	126.52
91.02	151.16

Tabla 10. Resultados de la condición cocida del material (arcilla)

Condición Cocida				
Longitud	Masa	Empuje	Masa de Absorción de Agua	
mm	g	g	g	
74.84	119.90	NA	133.02	
75.65	121.69		134.46	
74.92	119.44		132.16	
72.74	117.24		129.89	
73.49	116.70		129.29	
76.51	122.47		135.72	
75.48	122.79		136.00	
72.90	116.51		128.65	
75.73	121.57		134.76	
88.58	145.25		161.00	
	122.36		± 0,05	

Tabla 11. Resultados de la contracción del material (arcilla)

Contracción	
Seca	Cocida
%	%
4.771	3.001

Tabla 12. Resultados de la Pérdida de Masa (Arcilla)

Perdidas de Masa	
Seca	Cocida
%	%
17.939	3.971

Posteriormente se realizó el ensayo de absorción de agua por triplicado basado en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017, obteniendo así los siguientes resultados en las tablas 7, 8 y 9 de la siguiente manera:

Para cada bloque, la absorción de agua (AA), expresado como porcentaje de la masa seca, se calcula empleando la ecuación:

$$\%AA = \frac{P_h - P_c}{P_c} * 100$$

Dónde:

%AA = absorción de agua (%).

Pc = masa del bloque cocido (g).

Pc = masa del bloque húmedo (g).

Tabla 13. Resultado muestra A1

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	119,90	133,02	10,9
2	121,69	134,46	10,5
3	119,44	132,16	10,6
4	117,24	129,89	10,8
5	116,70	129,29	10,8
Promedio de la muestra	119,0	131,8	10,7%

Tabla 14. Resultado muestra A2

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	118,28	131,6	11,3
2	119,92	133,5	11,3
3	120,74	134,5	11,4
4	114,86	127,8	11,2
5	146,14	162,5	11,2
Promedio de la muestra	124,0	138,0	11,3%

Tabla 15. Resultado muestra A3

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	118,42	131,5	11,0
2	119,85	133,4	11,3
3	121,25	134,5	10,9
4	116,49	129,7	11,4
5	118,44	131,4	10,9
Promedio de la muestra	118,9	132,1	11,1%

El promedio de todos los resultados obtenidos de absorción de agua de cada espécimen se realiza mediante la ecuación:

$$\bar{X}E_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

Obteniendo como resultado:

Tabla 16. Resultado absorción de agua muestras A1, A2 y A3

Datos de Absorción de Agua	
A1	10.7 %
A2	11.3 %
A3	11.1 %
Promedio	11.0 %

Identificándose mediante la gráfica:

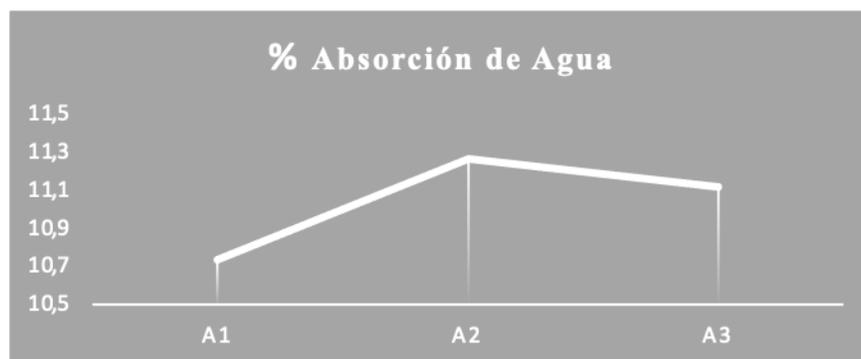


Figura 19. Porcentaje de absorción de agua

Tabla 17. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión con 100% arcilla

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	74.84	26.53	46.62	1985.5	19.86	681.48	34.32
2	75.65	26.47	47.21	2002.5	20.02	631.50	31.54
3	74.92	26.65	45.37	1996.6	19.97	509.52	25.52
4	72.74	26.69	46.02	1941.4	19.41	595.02	30.65
5	73.49	26.53	47.17	1949.7	19.50	739.58	37.93
Promedio	74.33	26.57	46.48	1,975.14	19.75	631.42	31.99

Tabla 18. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión con 100% arcilla

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	73.85	25.83	47.39	1907.5	19.08	510.87	26.78
2	75.16	26.26	47.45	1973.7	19.74	602.16	30.51
3	75.58	26.23	47.44	1982.5	19.82	716.42	36.14
4	74.31	26.73	46.68	1986.3	19.86	583.63	29.38
5	73.40	26.51	47.34	1945.8	19.46	719.12	36.96
Promedio	74.46	26.31	47.26	1,959.17	19.59	626.44	31.95

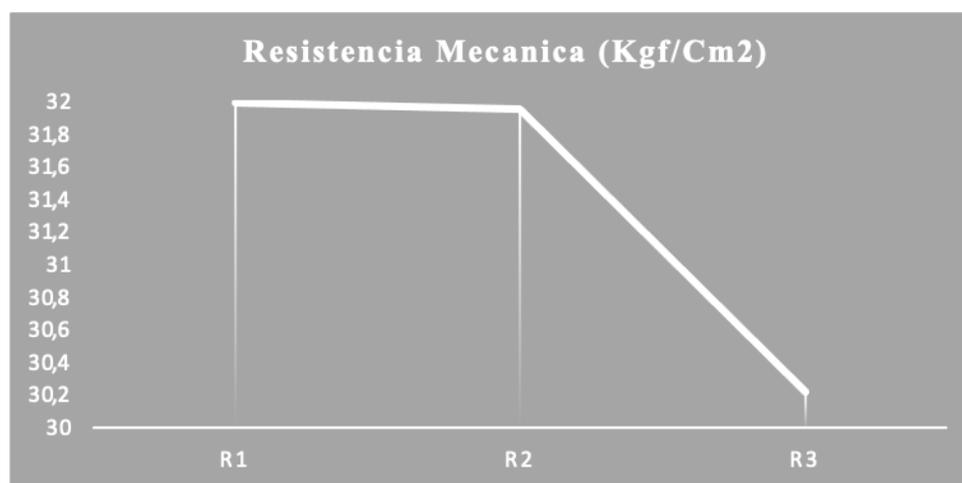
Tabla 19. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión con 100% arcilla

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	75.29	26.32	46.85	1981.6	19.82	692.68	34.95
2	73.84	26.98	47.00	1992.2	19.92	467.83	23.48
3	74.77	26.31	46.52	1967.2	19.67	748.26	38.04
4	70.31	26.49	47.62	1862.5	18.63	581.90	31.24
5	93.74	26.17	46.81	2453.2	24.53	573.40	23.37
Promedio	77.59	26.45	46.96	2,051.34	20.51	612.81	30.22

Tabla 20. Resultados de ensayo resistencia mecánica a la compresión

Datos De Resistencia Mecánica a la Compresión	
R1	31.99
R2	31.95
R3	30.22
Promedio	31.39

Identificándose mediante las gráficas:

**Figura 20. Resistencia mecánica 100% arcilla**

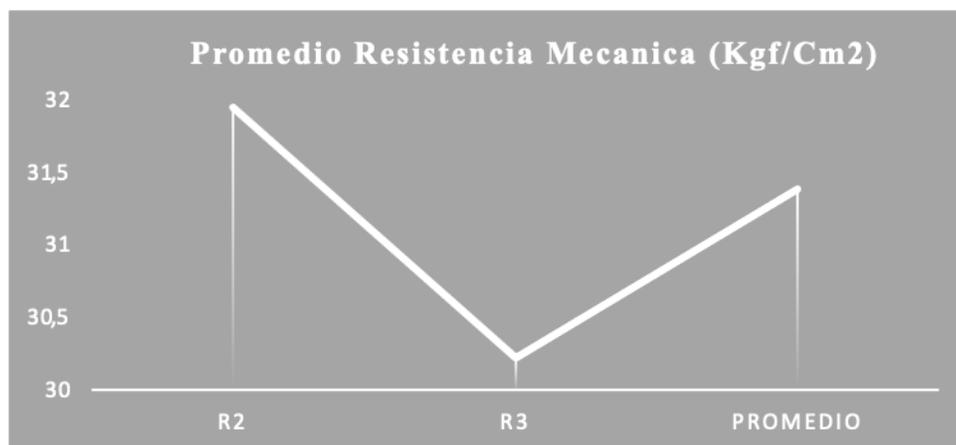


Figura 21. Promedio resistencia mecánica 100% arcilla

Para el análisis físico cerámico para las muestras Arcilla con ceniza de cascarilla de arroz se determinaron los datos en porcentajes de 2.5%, 5% y 7.5% determinando para estos porcentajes la absorción de agua y la resistencia mecánica para los mismos comparando los resultados entre las mezclas desarrolladas.

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron de la mezcla de arcilla con ceniza de cascarilla de arroz a el 2.5%.

Tabla 21. Resultados de la condición húmeda del material (2.5%)

Probeta	Temperatura ° C	Condición Húmeda		
		Longitud mm	Masa g	Empuje g
1	1000	81.86	154.90	Na
2		83.41	158.14	
3		81.47	154.62	
4		81.25	154.03	
5		83.17	154.46	
6		83.52	158.54	
7		83.01	157.63	
8		81.02	153.82	
9		81.94	155.15	
10		80.69	153.49	

Tabla 22. Resultados de la condición seca del material (2.5%)

Condición Seca	
Longitud	Masa
mm	g
77.89	127.33
79.85	130.40
76.72	127.17
77.53	126.55
79.37	127.23
80.17	130.82
79.00	129.55
76.74	126.67
78.62	127.89
77.03	126.88

Tabla 23. Resultados de la condición cocida del material (2.5%)

Condición Cocida			
Longitud	Masa	Empuje	Masa De Absorción De Agua
mm	g	g	g
76.98	121.10	Na	135.34
78.27	123.98		138.29
75.91	120.92		134.78
76.64	120.29		134.33
78.58	120.90		134.82
79.20	124.34		138.46
78.14	123.17		137.26
75.92	120.43		134.33
77.75	121.62		135.81
76.74	120.65		134.84

Tabla 24. Resultados de la contracción del material (2.5%)

Contracción	
Seca	Cocida
%	%
4.681	1.120

Tabla 25. Resultados de la pérdida de masa (2.5%)

Perdidas De Masa	
Seca	Cocida
%	%
17.642	4.927

Tabla 26. Resultado absorción de agua muestra A1 (2.5%)

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	124.34	138.46	11.4
2	123.17	137.26	11.4
3	120.43	134.33	11.5
4	121.62	135.81	11.7
5	120.65	134.84	11.8
Promedio de la muestra	122.0	136.1	11.6

Tabla 27. Resultado absorción de agua muestra A2 (2.5%)

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	126.77	141.17	11.4
2	124.92	138.48	10.9
3	123.76	138.11	11.6
4	122.86	136.52	11.1
5	123.22	137.52	11.6
Promedio de la muestra	124.3	138.4	11.3

Tabla 28. Resultado absorción de agua muestra A3 (2.5%)

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	121.29	134.89	11.2
2	123.08	136.12	10.6
3	122.51	136.30	11.3
4	125.34	139.11	11.0
5	122.16	135.20	10.7
Promedio de la muestra	122.9	136.3	10.9

Tabla 29. Resultado absorción de agua muestras A1, A2 y A3

Datos De Absorción De Agua	
A1	11.6
A2	11.3
A3	10.9
Promedio	11.3

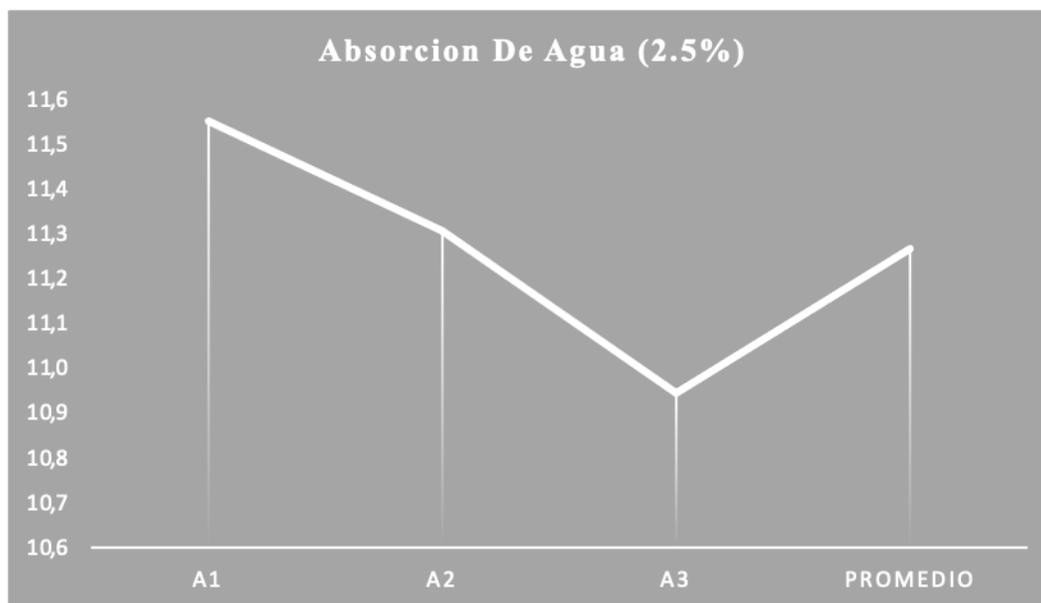


Figura 22. Absorción de agua (2.5%)

Tabla 30. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 con 2.5% ceniza de cascarilla de arroz (R1)

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	79.20	26.78	47.87	2121.0	21.21	1,184.25	55.84
2	78.14	26.90	47.80	2102.0	21.02	993.95	47.29
3	75.92	26.94	47.34	2045.3	20.45	886.06	43.32
4	77.75	26.49	47.58	2059.6	20.60	1,519.68	73.79
5	76.74	26.49	47.96	2032.8	20.33	987.20	48.56
Promedio	77.55	26.72	47.71	2,072.13	20.72	1,114.23	53.76

Tabla 31. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 con 2.5% ceniza de cascarilla de arroz (R2)

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	78.62	26.39	47.78	2074.8	20.75	1,160.51	55.93
2	78.27	26.33	47.97	2060.8	20.61	1,121.33	54.41
3	79.04	26.58	48.19	2100.9	21.01	1,021.94	48.64
4	78.38	26.94	47.27	2111.6	21.12	1,418.94	67.20
5	78.19	27.89	47.24	2180.7	21.81	1,225.36	56.19
Promedio	78.50	26.83	47.69	2,105.76	21.06	1,189.61	56.48

Tabla 32. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 con 2.5% ceniza de cascarilla de arroz (R3)

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	76.27	26.40	48.07	2013.5	20.14	1,367.60	67.92
2	77.71	26.26	47.79	2040.7	20.41	1,644.55	80.59
3	76.65	26.50	47.96	2031.2	20.31	888.77	43.76
4	78.51	26.44	47.62	2075.8	20.76	1,459.66	70.32
5	76.74	26.78	47.38	2055.1	20.55	1,053.20	51.25
Promedio	77.18	26.48	47.76	2,043.26	20.43	1,282.76	62.77

Tabla 33. Resultados de ensayo resistencia mecánica a la compresión para muestra con 2.5% de ceniza de cascarilla de arroz (R1, R2 y R3)

Resistencia Mecánica a la Compresión 2,5%	
R1	53.76
R2	56.48
R3	62.77
Promedio	57.67

Identificándose mediante las gráficas:

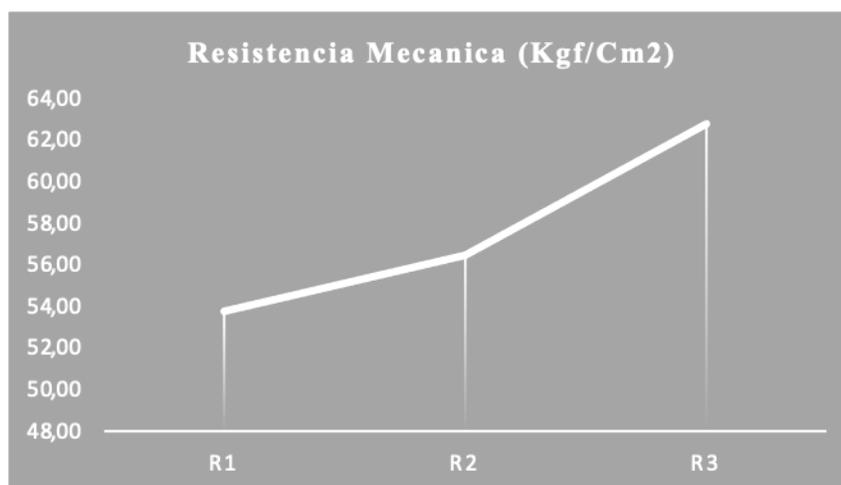


Figura 23. Resistencia mecánica (2.5%)

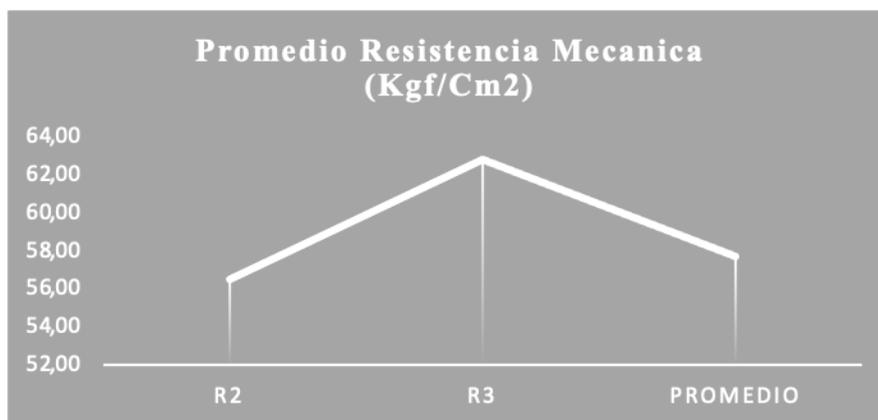


Figura 24. Promedio resistencia mecánica (2.5%)

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron de la mezcla de arcilla con ceniza de cascarilla de arroz al 5%.

Tabla 34. Resultados de la condición húmeda del material (5%)

Probeta	Temperatura ° C	Condición Húmeda		
		Longitud mm	Masa g	Empuje g
1	1000	81.81	152.98	NA
2		85.00	155.91	
3		83.22	152.89	
4		81.20	154.41	
5		81.69	153.89	
6		83.27	153.97	
7		81.64	151.53	
8		83.65	157.80	
9		83.18	154.21	
10		83.95	155.50	

Tabla 35. Resultados de la condición seca del material (5%)

Condición Seca	
Longitud	Masa
mm	g
78.49	123.87
80.49	126.25
79.52	123.58
77.40	125.06
77.96	124.79
79.26	124.72
77.54	122.98
79.83	127.77
78.86	124.88
80.16	126.48

Tabla 36. Resultados de la condición cocida del material (5%)

Condición Cocida			
Longitud	Masa	Empuje	Masa De Absorción De Agua
mm	g	g	g
77.79	117.49		132.77
79.48	119.81		135.30
78.39	117.27		132.19
76.47	118.65		134.03
77.25	118.41	Na	133.68
78.26	118.39		133.69
76.55	116.65		131.68
78.97	121.21		136.85
78.01	118.49		134.00
79.33	120.06		135.90

Tabla 37. Resultados de la contracción del material (5%)

Contracción	
Seca	Cocida
%	%
4.717	1.141

Tabla 38. Resultados de la pérdida de masa (5%)

Perdidas De Masa	
Seca	Cocida
%	%
18.969	5.115

Tabla 39. Resultado absorción de agua muestra A1 (5%)

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	118.39	133.69	12.9
2	116.65	131.68	12.9
3	121.21	136.85	12.9
4	118.49	134.00	13.1
5	120.06	135.90	13.2
Promedio de la muestra	119.0	134.4	13.0

Tabla 40. Resultado absorción de agua muestra A2 (5%)

Espécimen N°	Masa Seca Del Especimen (g)	Masa Húmeda Del Especimen (g)	Absorción De Agua (E) (%)
1	118.97	134.32	12.9
2	115.69	130.46	12.8
3	118.66	133.59	12.6
4	119.25	134.63	12.9
5	117.76	132.57	12.6
Promedio De La Muestra	118.1	133.1	12.7

Tabla 41. Resultado absorción de agua muestra A3 (5%)

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	118.66	133.80	12.8
2	119.76	135.00	12.7
3	120.32	136.16	13.2
4	121.00	136.20	12.6
5	117.85	133.37	13.2
Promedio de la muestra	119.5	134.9	12.9

Tabla 42. Resultado absorción de agua muestras A1, A2 y A3 (5%)

Datos De Absorción De Agua	
A1	13.0
A2	12.7
A3	12.9
Promedio	12.9

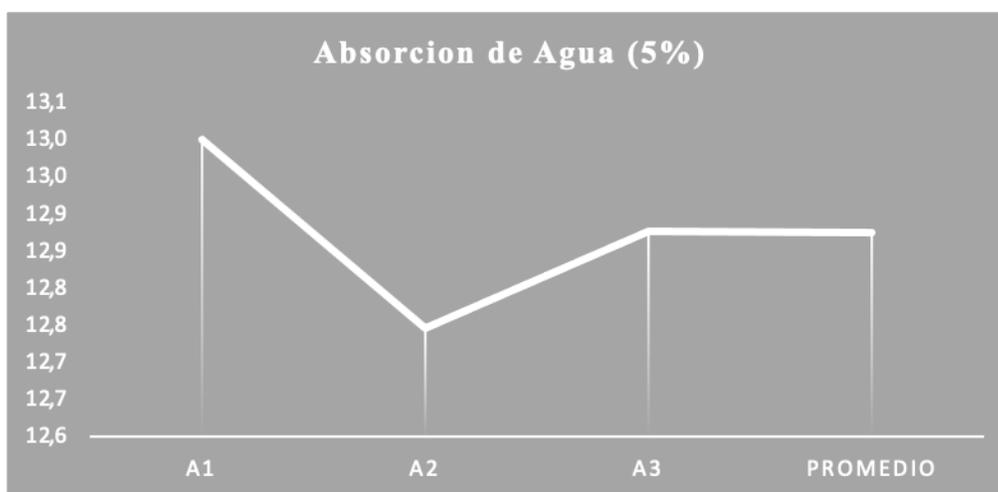


Figura 25. Absorción de agua (5%)

Tabla 43. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 con 5%**ceniza de cascarilla de arroz (R1)**

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm²)	Área neta del espécimen (cm²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm²)
1	78.26	26.90	47.74	2105.2	21.05	728.38	34.60
2	76.55	26.31	47.60	2014.0	20.14	945.31	46.94
3	78.97	26.32	47.57	2078.5	20.78	870.24	41.87
4	78.01	26.89	47.40	2097.7	20.98	866.96	41.33
5	79.33	26.52	47.82	2103.8	21.04	873.33	41.51
Promedio	78.22	26.59	47.63	2,079.85	20.80	856.84	41.25

Tabla 44. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 con 5%**ceniza de cascarilla de arroz (R2)**

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm²)	Área neta del espécimen (cm²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm²)
1	78.23	27.02	47.82	2113.8	21.14	571.28	27.03
2	76.21	26.35	47.65	2008.1	20.08	1,112.45	55.40
3	80.00	26.98	47.99	2158.4	21.58	933.54	43.25
4	79.41	26.44	47.73	2099.6	21.00	667.20	31.78
5	78.84	26.32	48.50	2075.1	20.75	874.10	42.12
Promedio	78.54	26.62	47.94	2,091.00	20.91	831.71	39.92

Tabla 45. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 con 5% ceniza de cascarilla de arroz (R3)

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77.89	26.85	48.62	2091.3	20.91	1,023.87	48.96
2	80.65	26.67	47.82	2150.9	21.51	625.32	29.07
3	80.34	26.56	47.98	2133.8	21.34	952.84	44.65
4	79.30	26.46	48.20	2098.3	20.98	873.71	41.64
5	79.38	26.69	48.28	2118.7	21.19	1,011.51	47.74
Promedio	79.51	26.65	48.18	2,118.61	21.19	897.45	42.41

Tabla 46. Resultados de ensayo resistencia mecánica a la compresión para muestra con 5% de ceniza de cascarilla de arroz (R1, R2 y R3)

Datos De Resistencia Mecánica A La Compresión 5%	
R1	41.25
R2	39.92
R3	42.41
Promedio	41.19

Identificándose mediante las gráficas:

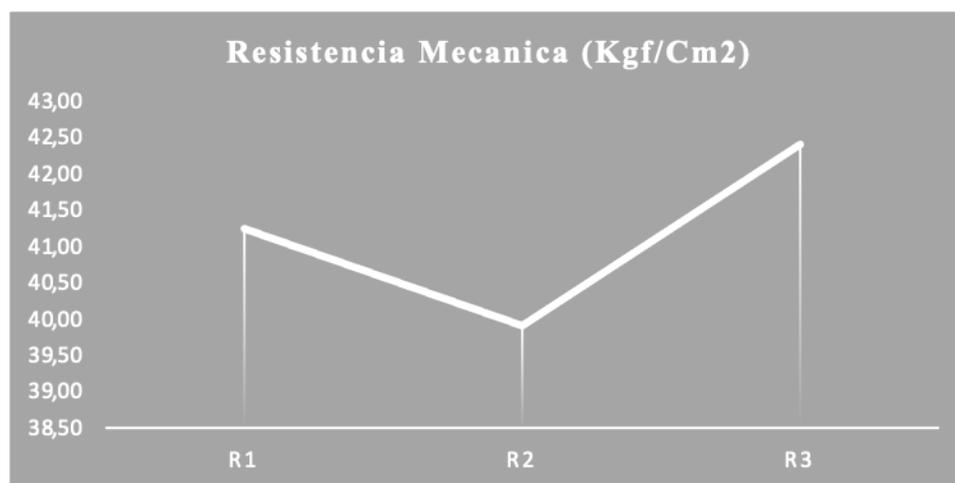


Figura 26. Resistencia mecánica (5%)

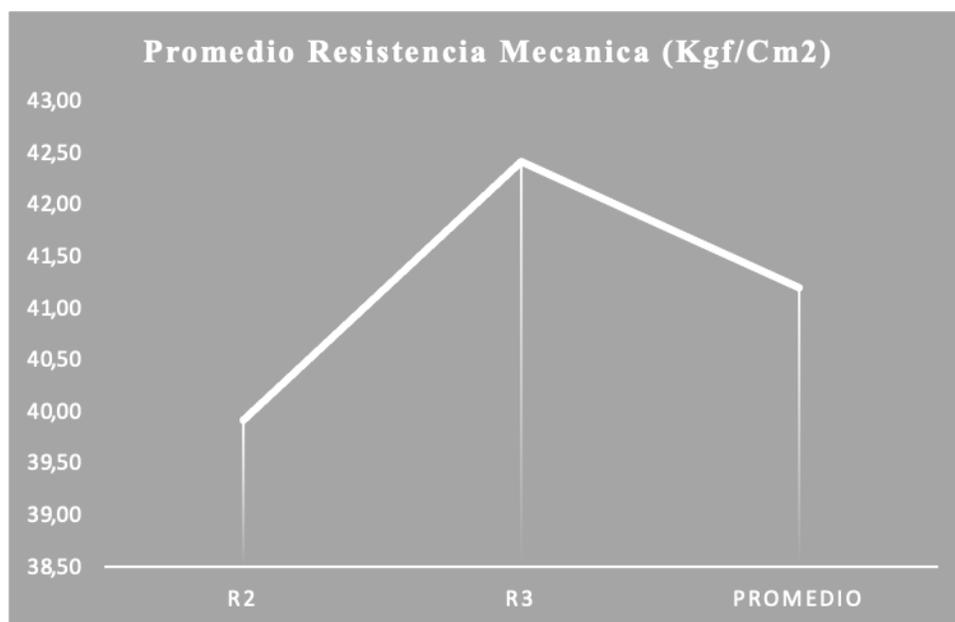


Figura 27. Promedio resistencia mecánica (5%)

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron de la mezcla de arcilla con ceniza de cascarilla de arroz al 7.5%.

Tabla 47. Resultados de la condición húmeda del material (7.5%)

Probeta	Temperatura ° C	Condición Húmeda		
		Longitud mm	Masa g	Empuje g
1	1000	79.57	147.35	Na
2		82.43	150.00	
3		82.06	150.24	
4		81.27	148.65	
5		82.35	150.70	
6		82.19	148.20	
7		81.87	147.86	
8		83.26	153.30	
9		83.16	151.59	
10		82.64	151.17	

Tabla 48. Resultados de la condición seca del material (7.5%)

Condición Seca	
Longitud	Masa
mm	g
76.69	118.43
79.42	120.38
78.02	120.47
78.16	118.71
79.11	120.27
79.22	119.03
78.84	118.70
79.49	122.41
80.13	121.15
79.53	121.91

Tabla 49. Resultados de la condición cocida del material (7.5%)

Condición Cocida			
Longitud	Masa	Empuje	Masa De Absorción De Agua
mm	g	g	g
75.82	112.24	Na	127.77
78.34	114.00		129.53
77.57	114.24		130.69
76.77	112.54		128.46
78.11	113.94		130.29
78.33	112.81		129.24
77.87	112.58		128.74
78.61	116.10		132.84
79.24	114.86		131.48
78.55	115.60		132.44

Tabla 50. Resultados de la contracción del material (7.5%)

Contracción	
Seca	Cocida
%	%
3.920	1.192

Tabla 51. Resultados de la pérdida de masa (7.5%)

Perdidas De Masa	
Seca	Cocida
%	%
19.851	5.206

Tabla 52. Resultado absorción de agua muestra A1 (7.5%)

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	112.81	129.24	14.6
2	112.58	128.74	14.4
3	116.10	132.84	14.4
4	114.86	131.48	14.5
5	115.60	132.44	14.6
Promedio de la muestra	114.4	130.9	14.5

Tabla 53. Resultado absorción de agua muestra A2 (7.5%)

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	113.56	129.09	13.7
2	112.07	127.44	13.7
3	116.78	132.99	13.9
4	115.87	132.13	14.0
5	110.41	125.64	13.8
Promedio de la muestra	113.7	129.5	13.8

Tabla 54. Resultado absorción de agua muestra A3 (7.5%)

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	114.59	130.78	14.1
2	111.41	127.30	14.3
3	118.29	134.82	14.0
4	110.96	126.82	14.3
5	112.71	128.41	13.9
Promedio de la muestra	113.6	129.6	14.1

Tabla 55. Resultado absorción de agua muestras A1, A2 y A3 (7.5%)

Datos De Absorción De Agua	
A1	14.5
A2	13.8
A3	14.1
Promedio	14.1

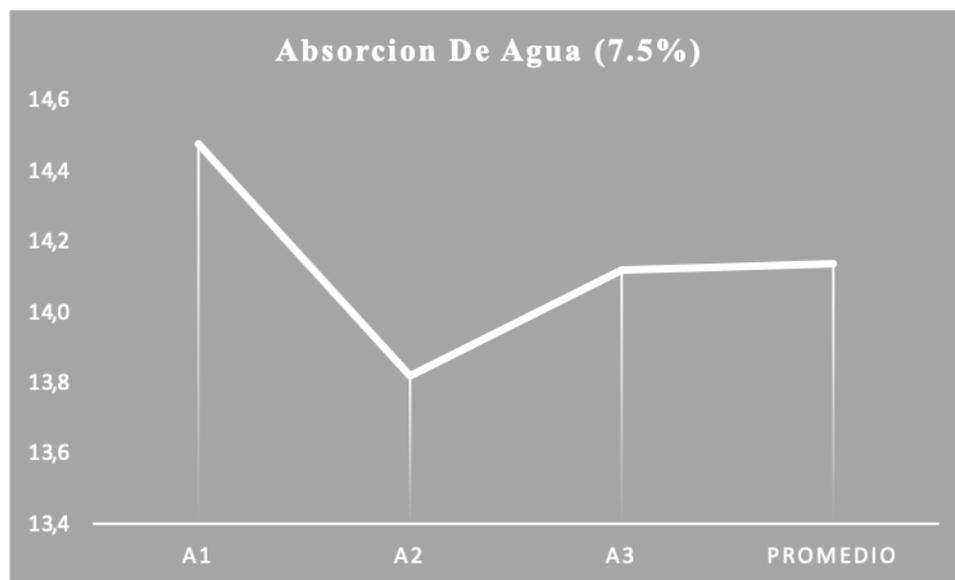


Figura 28. Absorción de agua (7.5%)

Tabla 56. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 con 7.5% ceniza de cascarilla de arroz (R1)

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	78.33	26.55	47.11	2079.7	20.80	844.76	40.62
2	77.87	26.64	46.88	2074.5	20.74	632.46	30.49
3	78.61	26.47	47.56	2080.8	20.81	698.47	33.57
4	79.24	26.55	47.31	2103.8	21.04	836.85	39.78
5	78.55	27.37	47.59	2149.9	21.50	682.64	31.75
Promedio	78.52	26.72	47.29	2,097.73	20.98	739.04	35.24

Tabla 57. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 con 7.5% ceniza de cascarilla de arroz (R2)

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77.89	27.41	47.79	2135.0	21.35	872.94	40.89
2	77.81	26.64	47.81	2072.9	20.73	779.91	37.63
3	79.95	26.54	48.31	2121.9	21.22	768.72	36.23
4	77.22	27.38	48.15	2114.3	21.14	1,025.22	48.49
5	77.23	26.49	47.41	2045.8	20.46	650.60	31.80
Promedio	78.02	26.89	47.89	2,097.96	20.98	819.48	39.01

Tabla 58. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 con 7.5% ceniza de cascarilla de arroz (R3)

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77.63	26.14	48.21	2029.2	20.29	680.52	33.54
2	77.31	27.55	47.31	2129.9	21.30	568.77	26.70
3	82.60	26.40	48.09	2180.6	21.81	410.13	18.81
4	78.75	26.45	47.96	2082.9	20.83	721.24	34.63
5	77.09	26.49	46.06	2042.1	20.42	862.52	42.24
Promedio	78.68	26.61	47.53	2,092.97	20.93	648.63	31.18

Tabla 59. Resultados de ensayo resistencia mecánica a la compresión para muestra con 7.5% de ceniza de cascarilla de arroz (R1, R2 y R3)

Datos De Resistencia Mecánica A La Compresión 7,5%	
R1	35.24
R2	39.01
R3	31.18
Promedio	35.14

Identificándose mediante las gráficas:

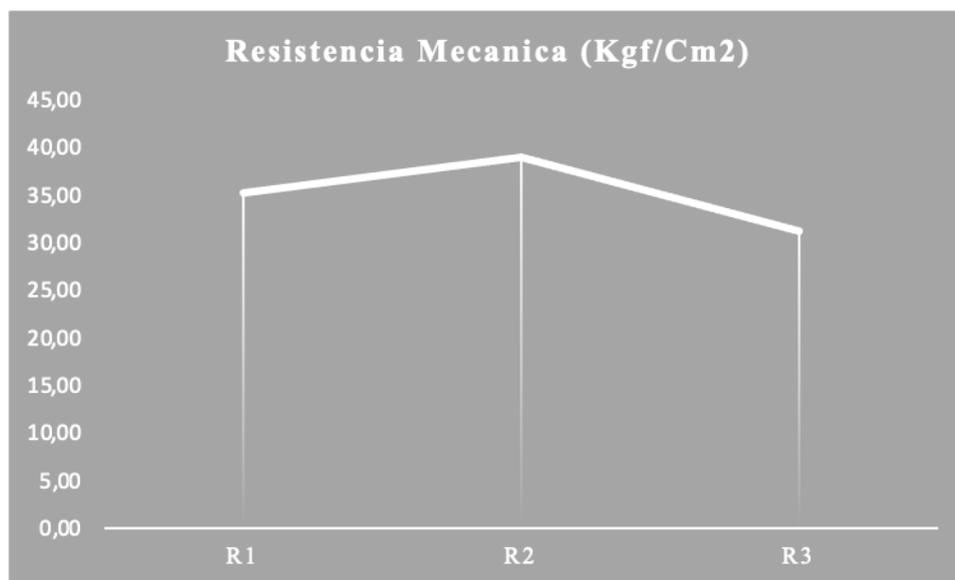


Figura 29. Resistencia mecánica (7.5%)

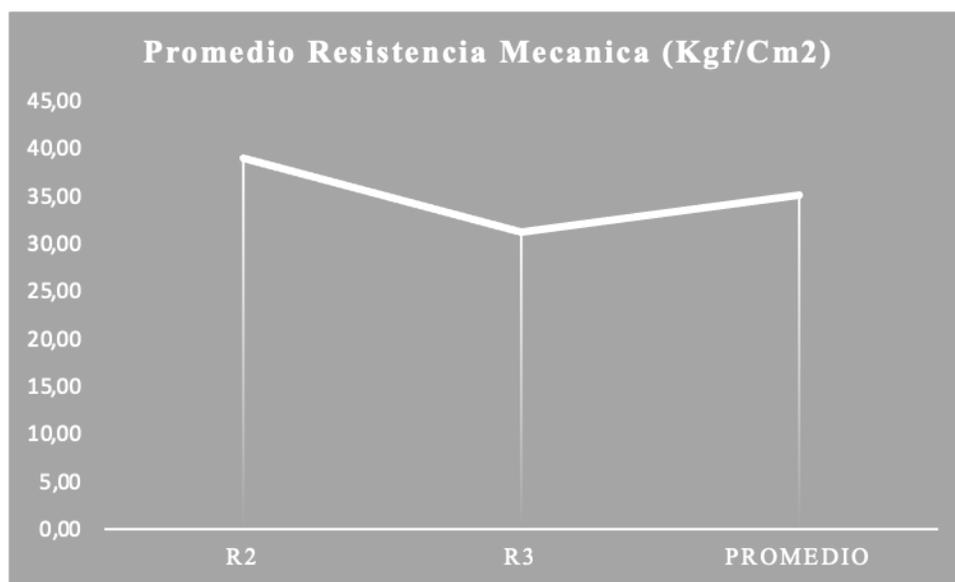


Figura 30. Promedio resistencia mecánica (7.5%)

En la gráfica 13 se observa el porcentaje promedio de absorción de agua en la mezcla de arcilla con los tres porcentajes de ceniza cascarilla de arroz utilizados en la elaboración de los ensayos de laboratorio, se puede evidenciar que la mezcla con 2,5% de adición de ceniza de

cascarilla da menor porcentaje a la mezcla con 7,5%, lo cual indica que a mayor cantidad de nutriente aumentan los poros presentes en los bloques y por ende la humedad que estos adquieren al momento de ser ensayados.

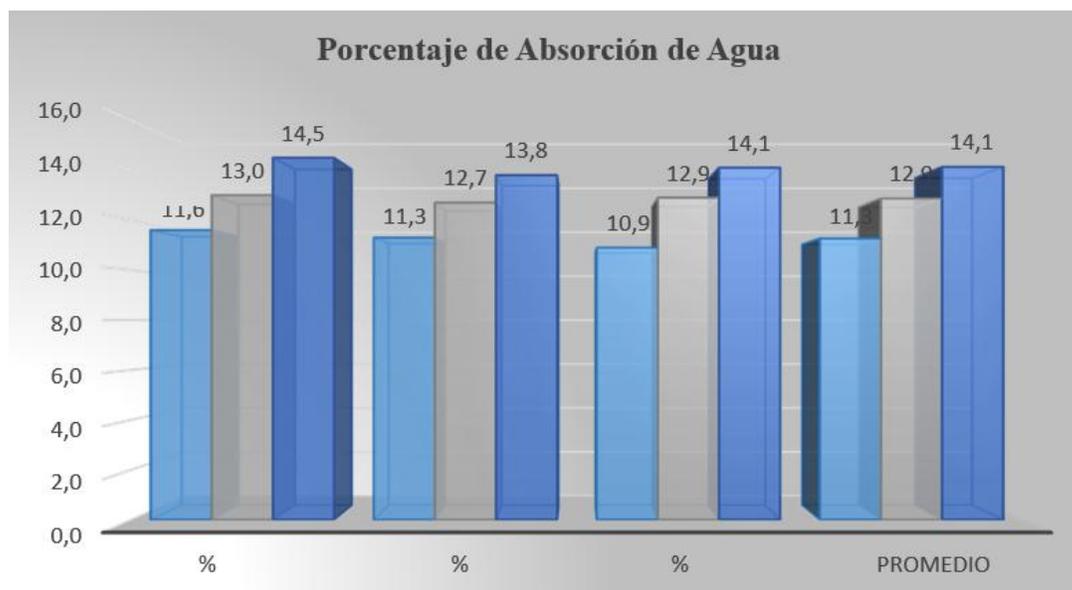


Figura 31. Porcentaje promedio de absorción de agua en mezcla de arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de ceniza de cascarilla de arroz

Así mismo, se pudo observar que con todos los porcentajes utilizados se presenta un comportamiento estable, aumentando progresivamente a medida que se agrega una mayor cantidad de ceniza de cascarilla de arroz a la mezcla de arcilla.

Tabla 60. Valores promedio de propiedades físicas de mezcla de arcilla con diferentes porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz en ensayo de absorción de agua

Porcentaje de Ceniza de Cascarilla de Arroz	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
2.5%	123.06	136.9	11.3
5%	118.86	134.13	12.9
7.5%	113.9	130	14.1

Se emplearon los promedios de absorción de agua de los tres porcentajes en la gráfica 14, donde se evidencia una línea con tendencia creciente, lo cual indica que a medida que se agrega mayor porcentaje de ceniza cascarilla de arroz a la mezcla de arcilla para fabricar bloques de construcción, mayor será el porcentaje de absorción de agua obtenido. En general, no se pueden tener absorciones inferiores al 5 % en promedio, ni superficies vidriadas o esmaltadas en las caras en que se asientan o en las que se vayan a pañetar.

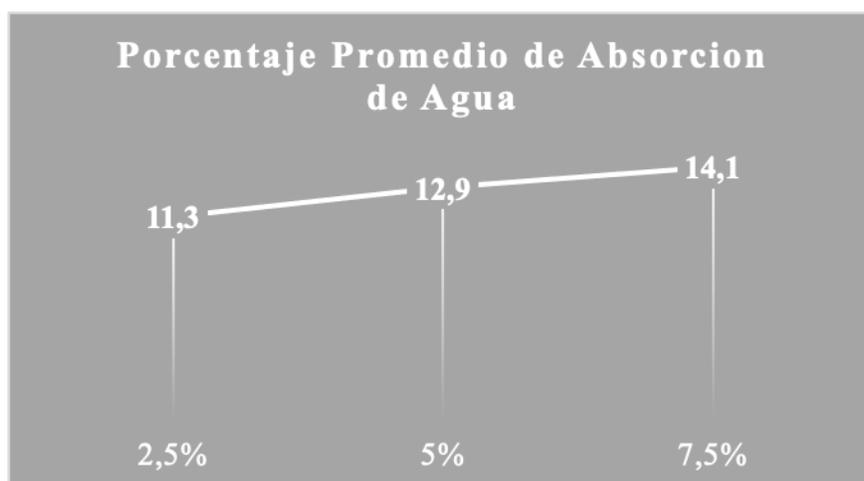


Figura 32. Datos promedio de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% de ceniza de cascarilla de arroz en la mezcla de arcilla

En los resultados de los ensayos de absorción y resistencia, según la norma técnica

Colombiana NTC 4205:2000, se admite que una de las muestras ensayadas supere o no logre el límite individual en un 10 %, siempre y cuando se cumpla para el valor promedio mencionado anteriormente.

Tabla 61. Análisis comparativo de resultados

Ensayo	Arcilla 100%	Ceniza Cascarilla arroz (2.5%)	Ceniza Cascarilla arroz (5%)	Ceniza Cascarilla arroz (7.5%)
Absorción de Agua	10.73%	11.30%	12.90%	14.10%
Resistencia Mecánica a la Compresión	31.39 kgf/cm ²	57.67 kgf/cm ²	41.19 kgf/cm ²	35.14 kgf/cm ²
Contracción en Seco	4.77 mm	4.68 mm	4.72 mm	3.92 mm
Contracción en Cocido	3.00 mm	1.12 mm	1.14 mm	1.19 mm
Pérdida de Masa en Seco	17.93 g	17.64 g	18.97 g	19.85 g
Pérdida de Masa en Cocido	3.97 g	4.93 g	5.12 g	5.21 g

En el evento de no cumplir con la exigencia, se debe hacer un nuevo muestreo del lote y se deben repetir los ensayos que, de resultar nuevamente negativos, dará lugar a que se rechace definitivamente el lote.

De acuerdo con la norma NTC 4205:2000, los análisis mostrados en la tabla 61 se observa el cumplimiento de la siguiente manera, se puede clasificar como unidades de mampostería estructural para interior, como para exterior las mezclas de 2,5% y 5%. Y la mezcla de 7,5% como unidad de mampostería no estructural para interior.

Y en cuanto al ensayo de resistencia mínima a la compresión, se puede clasificar la mezcla de 2,5% de ceniza de cascarilla de arroz como unidad de mampostería estructural y las mezclas de 5% y 7,5% como unidades de mampostería no estructural.

5.3 Evaluación de Costos de Bloque H-10 para construcción 100% Arcilla y Bloque H-10 con Mezcla de Ceniza de cascarilla de Arroz

Como objetivo específico del presente proyecto se planteó la evaluación de costos de la producción de bloque con 100% arcilla y bloque con adición de ceniza de cascarilla de Arroz, en

la tabla 62 se detalla cada etapa del proceso productivo del bloque cerámico de una empresa que fabrica bloque H-10 para construcción.

Tabla 62. Costos de las actividades de producción en proceso de elaboración de bloque H-10 con arcilla 100%

Actividad De Producción	Código	Costos (03/2021)
Extracción De Materia Prima	A	\$ 4.400.000
Transporte De Material Extraído	B	\$ 1.350.000
Organización De Materia Prima En Galpón	C	\$ 300.000
Llenado De Cajón Alimentador	D	\$ 288.244
Molienda Y Tamizado	E	\$ 6.885.103
Humectación - Extrusión	F	\$ 8.067.767
Corte De Piezas	G	\$ 2.958.206
Transporte De Material Para Secado	H	\$ 2.114.270
Caracoleo	I	\$ 718.734
Acomodo En Horno Con Transporte Incluido	J	\$ 2.369.246
Quema Del Material	K	\$ 19.919.223
Descargue y Transporte	L	\$ 1.312.014
Almacenamiento y Clasificación	M	\$ 1.328.270
Actividades Administrativas (Gerencia, Contabilidad, Comercio Y De Apoyo)	N	\$ 3.068.340
TOTAL		\$ 55.079.416
Determinando:		
Costos de Producción \$ 55.079.416		
Cantidad de Bloque producido 180.000 unidades		
Costo de cada bloque \$306		

Tabla 63. Costos de las actividades de producción en proceso de elaboración de bloque H-10 con ceniza de cascarilla de arroz

Actividad De Producción	Código	Costos (03/2021)
Extracción De Materia Prima	A	\$ 4.400.000
Almacenamiento De Ceniza De Cascarilla De Arroz	A1	\$ 850.000
Transporte De Material Extraído	B	\$ 1.350.000
Transporte De Ceniza De Cascarilla De Arroz	B1	\$ 280.000
Organización De Materia Prima En Galpón	C	\$ 300.000
Organización De Ceniza De Cascarilla De Arroz	C1	\$ 1.500.000
Llenado De Cajón Alimentador	D	\$ 288.244
Molienda Y Tamizado	E	\$ 6.885.103
Humectación - Extrusión	F	\$ 8.067.767

Actividad De Producción	Código	Costos (03/2021)
Corte de Piezas	G	\$ 2.958.206
Transporte de Material Para Secado	H	\$ 2.114.270
Caracoleo	I	\$ 718.734
Acomodo en Horno con Transporte Incluido	J	\$ 2.369.246
Quema del Material	K	\$ 19.919.223
Descargue y Transporte	L	\$ 1.312.014
Almacenamiento y Clasificación	M	\$ 1.328.270
Actividades Administrativas (Gerencia, Contabilidad, Comercio y de Apoyo)	N	\$ 3.068.340
TOTAL		\$ 57.709.416
Determinando:		
	Costos de Producción	\$ 57,709,416
	Cantidad de Bloque producido	180.000 unidades
	Costo de cada bloque	\$320

6. Conclusiones

Se evaluó mediante los principios físico cerámico que la ceniza de cascarilla de arroz puede convertirse en un complemento de las mezclas para la elaboración de bloques H-10 para construcción, creando oportunidad de manejo de vida útil a un producto de gran producción en la región.

Después de analizada la información que comprende el sector de la ceniza de cascarilla de arroz se concluyó que es un sector en potencia en cuanto a su falta de aprovechamiento en el sector productivo y experimental, este producto es una potencia para el agro, la innovación y la investigación.

Los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio para las muestras con porcentajes de 2,5%, 5% y 7,5% de ceniza de cascarilla de arroz utilizados en la mezcla de arcilla, se determinó que la mezcla que mejor comportamiento físico cerámico tuvo, fue la realizada con 2,5% de ceniza de cascarilla, con un porcentaje de absorción de agua promedio (5 unidades) de 11,3% y una resistencia mecánica a la compresión promedio de 57.67% kgf/cm² cumpliendo así con lo estipulado en la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 para clasificar el bloque como unidad de mampostería estructural de uso tanto para interiores como exteriores.

Se establecieron costos de producción para bloques con 100% arcilla y con adición de ceniza de cascarilla de arroz donde, la producción de estos tiene un incremento en costos de \$14 por bloque lo que resulta viable desde el punto de vista productivo y de protección del medio ambiente, teniendo en cuenta que estos bloques requieren menos arcilla de lo convencional para su fabricación, al mismo tiempo que se aporta a la economía circular, al volver a introducir un residuo a la cadena de producción.

Se realizaron los ensayos físico cerámicos y se estableció que la mezcla de ceniza de cascarilla de arroz al 2,5% se clasifica como unidad de mampostería estructural tanto para interiores como para exteriores, la mezcla de 5% se clasifica como unidad de mampostería estructural para interiores y la mezcla de 7,5% se clasifica como unidad de mampostería no estructural para interiores. Siendo así la mezcla de 2,5% la más óptima para trabajar con la arcilla de la ladrillera Tamesis, ya que mejora las características físico cerámicos de la misma.

7. Recomendaciones

La investigación da una solución práctica a la falta de aprovechamiento de la ceniza de cascarilla de arroz de los centros de acopio presentes en el departamento que no presentan estándares de implementación aportando generarle un valor agregado al sector productor.

Se debe resaltar el uso de materiales como el que contempla el presente documento resaltando la investigación y el plus innovador de gran impacto ambiental.

El presente proyecto pretende impulsar más proyectos de investigación de residuos contaminantes, como el bagazo de caña de azúcar, vidrio, plástico reciclado, caucho con el fin de reutilizar la cadena productiva y focalizar a futuro los mismos en construcciones sostenibles.

Se recomienda seguir trabajando de la mano con el CIMAC con el fin de continuar realizando pruebas físico cerámicas con diferentes porcentajes de la ceniza de cascarilla de arroz comprendidos entre el 2.5% y el 5% para conocer la dosificación que nos permita la mayor resistencia a la compresión.

Referencias Bibliográficas

- Albarracín, M., Mendoza, I. & Monroy, R. (2019). *Modelo para la diversificación y sofisticación del sector arrocero en el Área metropolitana de Cúcuta*. Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.
- Alvarado, R. & Hernaíz, S. (2012). *Investigación. En Calidad Industrial del arroz*. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6220>
- Buitrago, M., & Meza, E. J. (2015). *Plan de Negocio para la creación de una ladrillera tipo refractarios en el municipio de San Andrés de Tumaco para el año 2015*. Tesis de grado. Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia.
- Centro de Investigación de Materiales Cerámicos. (2022). *Equipos de laboratorio*. Cúcuta: CIMAC.
- Cuevas, A. & Fedearroz. (2018). *El arroz, un gran alimento que debemos consumir más*. Bogotá: Fedearroz.
- Cuevas, A. (2016). *El clima y el cultivo del arroz en Norte de Santander*. Cúcuta: Fedearroz.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). *Investigaciones agropecuarias*. Recuperado de:
[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_a
br_2017.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_a_br_2017.pdf) 46
- Ellen Macarthur Foundation. (2019). *Hacia Una Economía Circular: Motivos Económicos Para Una Transición Acelerada*. Recuperado de:

https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf

Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M. & Ortega, M. (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.

Guerrero, G., Espinel, E., & Sánchez, H. (2017). Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos y sus propiedades finales. *Revista Tecnura*, 4(1), 1-15.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2015). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *Tipos de bloques y ladrillos de arcilla*. Recuperado de: <http://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf>

Isel, V., Sánchez, J. & Chaparro, A. (2017). *Evaluación de arcillas caoliniticas-illiticas provenientes de la formación guayabo del Área Metropolitana de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia*. *Revista ION*, 4(2), 117. 47.

Khan Academy. (2018). *Science physics thermodynamics specific heat and heat transfer what is thermal conductivity*. Recuperado de: <https://es.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/specific-heat-and-heat->

transfer/a/what-is-thermal-conductivity

Mattey, P., Robayo, R., Díaz, J., Delvasto, S. & Monzó, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2), 285-294. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000200015&lng=es&tlng=es.

Medina, J. & López, C. (2020). *Evaluación del comportamiento Físico-mecánico de la resistencia de un suelo arcilloso con adición de cal y cenizas de cascarilla de arroz*. Tesis de grado. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá, Colombia.

Medina, L. (2016). *Sector cerámico, arcilla y mármol*. Recuperado de: <https://www.radiosantafe.com/2016/09/29/sector-ceramica-arcilla-y-marmol-paraiso-de-colores/>

Paraíso de Colores. (2011). *Mejoramiento de la materia prima para la producción de ladrillos de calidad*. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/lodosdeperforacion/home/quimica-delas-arcillas/arcillas-industriales>

Parro. (2019). *Definición de bloque para construir paredes ladrillo*. Recuperado de: <https://www.parro.com.ar/definiciondebloque+para+construir+paredes#:~:text=ladrillo%20grueso%3A%20Pieza%20de%20mortero,subdividido%20en%20multitud%20de%20plantas>

Pino, J., Fienco, B., Álvarez, M., Cantos, G., Macias, A. & Ponce, F. (2018). *Materiales de la construcción. 3ciencias*. Recuperado de: https://issuu.com/3ciencias/docs/materiales_de_la_construccion/37

Piñeros, Y., Otálvaro, A., Campos, A., Cortés, W., Proaños, J. & Velasco, G. (2011). *Aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz*. Bogotá: ANDI - Cámara Induarroz.

Ramírez, A. (2017). *La construcción Sostenible*. Recuperado de:

https://www.academia.edu/7173813/La_construccion_sostenible

Rocas y Minerales.Net. (2017). *Ladrillo*. Recuperado de:

<https://www.rocasyminales.net/ladrillo/> 48

Sánchez, J., Corpas, F. & Álvarez, D. (2019). *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

Santos, J., Malagón, P. & Córdoba, E. (2009). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *Revistas UNAL*, 4(2), 50-58.

Universidad de Cartagena. (2016). *Arcillas*. Recuperado de:

http://caminos.udc.es/info/ asignaturas/grado_tecic/211/algloki/pdfs/ARCILLAS.pdf

Universidad del Valle. (2015). *Reciclaje de nuevos materiales*. Recuperado de:

<https://www.uesvalle.gov.co/publicaciones/1098/reciclaje/#:~:text=El%20recicla,e%20es%20un%20proceso,de%20nuevo%20en%20nuevos%20materiales.>

Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165.

Vásquez, J., Barbosa, M., García, J., & García, A. (2018). *Nuevos mercados y nuevos productos para los arcilleros de Norte de Santander*. Tesis de grado. Fundación de Estudios Superiores Comfanorte. Cúcuta, Colombia.