	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y 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): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): ANDREA JACKELINE APELLIDOS: ARIAS ALVAREZ

FACULTAD: INGENIERA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): LEIDY KATHERINE _____ APELLIDOS: PEÑALOZA ISIDRO

CODIRECTOR:

NOMBRE(S): JORGE _____ APELLIDOS: SANCHEZ MOLINA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CASCARRILLA DE ARROZ PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

Uno de los mayores problemas que se ha venido presentando en los países en desarrollo, está relacionado con el manejo y tratamiento de las elevadas cantidades de residuos sólidos que se generan en las industrias y agricultura, siendo en gran parte biomasa, las cuales, con el tratamiento y manejo adecuados, podrían ser empleados como combustibles renovables o en la industria de los materiales de construcción.

Como resultado de la producción masiva de bienes con alta disponibilidad y bajo costo, soportada por una sociedad consumista, se generan grandes emisiones al medio ambiente y cantidades muy significativas de residuos sólidos. Además, debido al crecimiento de la población mundial y la expansión de los mercados, se prevé el aumento en la demanda de los recursos naturales, que no podrá ser satisfecha debido a que los recursos del planeta son limitados (Lieder & Rashid, 2016; European Commission, 2014).

Por tanto, se plantea la idea de cómo se podría elaborar un elemento estructural con base en los desechos orgánicos que genera el consumo humano, en base en esto se generó el desarrollo del uso de la cascarilla de arroz como agregado para la mezcla de arcilla para la realización de un bloque de construcción.

PALABRAS CLAVES: ARCILLA-BLOQUE-CASCARRILLA DE ARROZ- RESIDUOS- MEDIO AMBIENTE

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 103 PLANOS: ____ ILUSTRACIONES: ____ CD ROOM: ____

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CASCARILLA DE ARROZ
PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

ANDREA JACKELINE ARIAS ALVAREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CASCARRILLA DE ARROZ
PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

ANDREA JACKELINE ARIAS ALVAREZ

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniería civil

Director

LEIDY KATHERINE PEÑALOZA ISIDRO

Magister en Ingeniería Industrial

Codirector:

JORGE SANCHEZ MOLINA

PhD. en Avances en Ingeniería de los Materiales y Energías

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 22 DE OCTUBRE DE 2021 HORA: 8:00 a. m.

LUGAR: VIDEOCONFERENCIA – GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

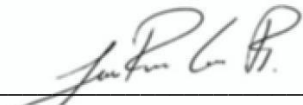
TITULO DE LA TESIS: “EVALUACION DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CASCARILLA DE ARROZ PARA LA FABRICACION DE BLOQUES DE CONSTRUCCION “

JURADOS: ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO
ING. CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ

DIRECTOR: MSc. LEIDY KATHERINE PEÑALOZA ISIDRO
CODIRECTOR: MSc. JORGE SANCHEZ MOLINA

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION NUMERO LETRA
ANDREA JACKELINE ARIAS ALVAREZ	1112933	4,7 CUATRO, SIETE


MERITORIA



ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO
CHAUSTRE SANCHEZ



ING. CLAUDIA PATRICIA


Vo. Bo. _____
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular Betty M.



Vigilada Mineducación



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores

BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS

Ciudad

Cordial saludo:

Andrea Jackeline Arias Alvarez, identificado(s) con la C.C. N° 1090517349, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Evaluación de mezclas de arcilla adicionado cascarillas de arroz para la fabricación de bloques de construcción presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de ingeniería civil ; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que “**los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores**”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

C.C. 1090517349

FIRMA Y CEDULA

Agradecimientos

Quiero darle gracias primeramente a Dios por permitirme cumplir una meta más en mi vida, sé que sus planes para mí son grandiosos. A mi Familia, por estar siempre presente en los momentos más difíciles, a mis Padres por sus valiosos consejos, por confiar siempre en mis capacidades, no tendré como pagarles por todo lo que han hecho por mí. A todas aquellas personas que de una u otra manera estuvieron presentes en este camino, a la gestión de mi director, la ingeniera Leidy Peñaloza y mi codirector, el ingeniero Jorge Sánchez, para poder realizar los laboratorios en el centro de investigación de materiales cerámicos (CIMAC) y así mismo al ingeniero Javier Cárdenas por su dedicación y sus valiosas recomendaciones, y por último quiero agradecer a todos aquellos profesores que dedican su tiempo a enseñar sus conocimientos en la universidad.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	14
1. Problema	17
1.1. Título	17
1.2. Planteamiento de Problema	17
1.3. Formulación del Problema	18
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivos específicos	19
1.5. Justificación	19
1.6. Alcances y Limitaciones	20
1.6.1. Alcances	20
1.6.2. Limitaciones	20
1.7. Delimitaciones	21
1.7.1. Delimitación Espacial	21
1.7.2. Delimitación Temporal	21
1.7.3. Delimitación Conceptual	21
2. Marco Referencial	22
2.1 Antecedentes y Estado del Arte	22

2.1.1.Antecedentes Regionales	22
2.1.2.Antecedentes Nacionales	24
2.1.3.Antecedentes Internacionales	26
2.2 Marco Teórico	28
2.3 Marco Conceptual	30
2.4 Marco Contextual	33
2.5 Marco Legal	33
3. Diseño Metodológico	35
3.1 Tipo de Investigación	35
3.2 Población y Muestra	36
3.2.1 Población	36
3.2.2Muestra	37
3.3 Instrumentos Para la Recolección de Datos	37
3.3.1 Fuentes Primarias	37
3.3.2.Fuentes Secundarias	39
3.4. Fases y Actividades Específicas del Proyecto	39
4. Metodología	41
4.1. Materias Primas Empleadas	41
4.2. Proceso de Conformado	52

4.3. Ensayos Realizados	55
4.3.1. Análisis Físico-cerámico	55
4.3.2. Determinación de la absorción de agua en unidades de mampostería	57
4.3.3. Determinación de la resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería	60
4.4. Normas Aplicadas	62
5. Desarrollo de los Objetivos	64
5.1. Diagnóstico del Sector de Cascarilla de Arroz	64
5.2. Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes de Cascarilla de Arroz a Nivel de Laboratorio	67
5.3. Evaluación del Bloque H-10 Desarrollado a Nivel de Laboratorio	82
5.4. Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado Con Cascarilla de Arroz	86
5.4.1. Determinación de las relaciones entre costo y actividad	89
6. Conclusiones	94
7. Recomendaciones	95
8. Referencias Bibliográficas	96

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Formato de ensayo de absorción de agua en unidades de mampostería del CIMAC</i>	38
<i>Tabla 2. Formato de ensayo de resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería del CIMAC</i>	38
<i>Tabla 3. Formato de ensayo de análisis físico-cerámico por extruido en unidades de mampostería del CIMAC</i>	39
<i>Tabla 4. Composición estructural del material arcilloso</i>	45
<i>Tabla 5. Resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X de la muestra identificada</i>	46
<i>Tabla 6. Parámetros de tipos de arroz en diferentes países</i>	49
<i>Tabla 7. Propiedades y características físicas de la cascarilla de arroz</i>	50
<i>Tabla 8. Composición química de la cascarilla de arroz</i>	51
<i>Tabla 9. Composición estructural de la cascarilla de arroz (% peso)</i>	52
<i>Tabla 10. Resultados análisis N, C, H, S</i>	52
<i>Tabla 11. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural</i>	63
<i>Tabla 12. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural</i>	63
<i>Tabla 13. Producción de arroz paddy en los últimos 20 años según la federación nacional de arroceros (Fedearroz)</i>	64
<i>Tabla 14. Porcentaje de Cascarilla de arroz usado en cada mezcla de arcilla ensayada</i>	72
<i>Tabla 15. Resultados de Análisis Físico cerámico a 100% Arcilla</i>	72
<i>Tabla 16. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 100% Arcilla</i>	73
<i>Tabla 17. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 100% Arcilla</i>	73
<i>Tabla 18. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 100% Arcilla</i>	73
<i>Tabla 19. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 con 100% Arcilla</i>	

	74
Tabla 20. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de 100% Arcilla	74
Tabla 21. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de 100% Arcilla	74
Tabla 22. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 2,5% de cascarilla de arroz	75
Tabla 23. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 2,5% de cascarilla de arroz	75
Tabla 24. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 2,5% de cascarilla de arroz	76
Tabla 25. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 2,5% de cascarilla de arroz	76
Tabla 26. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 2,5% de cascarilla de arroz	76
Tabla 27. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 2,5% de cascarilla de arroz	77
Tabla 28. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 2,5% de cascarilla de arroz	77
Tabla 29. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 5% de cascarilla de arroz	77
Tabla 30. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 5% de cascarilla de arroz	78
Tabla 31. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 5% de cascarilla de arroz	78
Tabla 32. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 5% de cascarilla de arroz	78
Tabla 33. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 5% de cascarilla de arroz	79

Tabla 34. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 5% de cascarilla de arroz	79
Tabla 35. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 5% de cascarilla de arroz	79
Tabla 36. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 7,5% de cascarilla de arroz	80
Tabla 37. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 7,5% de cascarilla de arroz	80
Tabla 38. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 7,5% de cascarilla de arroz	80
Tabla 39. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 7,5% de cascarilla de arroz	81
Tabla 40. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 7,5% de cascarilla de arroz	81
Tabla 41. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 7,5% de cascarilla de arroz	81
Tabla 42. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 7,5% de cascarilla de arroz	82
Tabla 43. Valores promedio de propiedades físicas de mezcla de arcilla con diferentes porcentajes de cascarilla de arroz en ensayo de absorción de agua	83
Tabla 44. Análisis comparativo de resultados	86
Tabla 45. Descripción de actividades en proceso productivo de elaboración de bloque H-10	86
Tabla 46. Componente del costo vs actividad	90
Tabla 47. Consolidado de los costos de las actividades de producción en el periodo analizado	91
Tabla 48. Costo del Bloque utilizando cascarilla de arroz	92

LISTA DE GRÁFICAS

<i>Gráfica 1. Distribución de los costos de producción de arroz</i>	67
<i>Gráfica 2. Porcentaje promedio de absorción de agua en mezcla de arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de Cascarilla de Arroz</i>	82
<i>Gráfica 3. Datos promedio de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% de cascarilla de arroz en la mezcla de arcilla</i>	84
<i>Gráfica 4. Valores en kgf/cm² de resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de cascarilla de arroz</i>	84
<i>Gráfica 5. Valores promedio de resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de mezcla de arcilla con adición de 2,5%, 5% y 7,5% de cascarilla de arroz</i>	85

Introducción

La industria manufacturera dedicada a la fabricación de materiales de construcción, ha venido mostrando interés acerca de la protección del medio ambiente, por consiguiente, existe la preocupación sobre el calentamiento global y los residuos industriales generados en los procesos productivos. Debido a lo anterior, nacen temas relacionados con el desarrollo sostenible y la economía circular con el fin de realizar una producción más limpia, es decir, obtener ventajas que se vean reflejadas e implementadas en los materiales, buscando incentivar alternativas para el desarrollo de productos utilizando subproductos agroindustriales y de esta manera contribuir con la economía circular dando un valor agregado y ofertar nuevos productos que beneficien a la sociedad.

Uno de los mayores problemas que se ha venido presentando en los países en desarrollo, está relacionado con el manejo y tratamiento de las elevadas cantidades de residuos sólidos que se generan en las industrias y agricultura, siendo en gran parte biomasa, las cuales, con el tratamiento y manejo adecuados, podrían ser empleados como combustibles renovables o en la industria de los materiales de construcción.

Como resultado de la producción masiva de bienes con alta disponibilidad y bajo costo, soportada por una sociedad consumista, se generan grandes emisiones al medio ambiente y cantidades muy significativas de residuos sólidos. Además, debido al crecimiento de la población mundial y la expansión de los mercados, se prevé el aumento en la demanda de los recursos naturales, que no podrá ser satisfecha debido a que los recursos del planeta son limitados. (Izquierdo & Martínez, 2021)

Actualmente existe una tendencia creciente por utilizar materiales de construcción no convencionales, es por esta razón que la cascarilla de arroz es una gran opción a utilizar como

material constitutivo de mezclas de arcilla en la fabricación de bloques además de ofrecer características diferentes debido al poco peso y la manejabilidad de esta.

El sector cerámico consume gran cantidad de energía en la fabricación de sus productos de construcción, generando alto contenido de material particulado en el proceso de cocción, debido al combustible utilizado. Por tal motivo no ha participado apoyando el desarrollo sostenible y la economía circular. Debido a esto, en la literatura existen proyectos desarrollados en donde se utilizan los residuos orgánicos e inorgánicos en la etapa de cocción adicionando biomasa como fuente de energía para la producción de productos estructurales.

Estos residuos también se usan como sustitutos en las mezclas de arcilla para la fabricación de productos de construcción. Un residuo industrial como lo es la cascarilla de arroz ha sido usado como un nutriente tecnológico para el proceso productivo de los materiales de construcción.

En el siguiente proyecto de investigación se realiza la evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado para la mezcla de arcilla en la fabricación de bloques de construcción, disminuyendo la cantidad de arcilla que se utiliza en dicho producto y a su vez, reduciendo costos directos en la elaboración del mismo, teniendo en cuenta lo estipulado en la Norma Técnica Colombiana NTC 4205:2000 con una mezcla patrón de arcilla al 100% y tres porcentajes diferentes de cascarilla (2,5%, 5%, y 7,5%), realizando ensayos físico-cerámicos para conocer sus propiedades físicas (contracción en estado seco y húmedo, pérdida de masa y temperatura aplicada); ensayo de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión para conocer las propiedades mecánicas de los bloques y finalmente poder determinar si es un producto de calidad, económico y amigable con el medio ambiente.

Para iniciar, se presentan los objetivos propuestos para el desarrollo de la investigación. Así mismo, se presenta el estado del arte y marco referencial, el cual permite entender con mayor

claridad el entorno en que se realizó la investigación. Temas relevantes como el planteamiento del problema, la justificación, la metodología utilizada para poder cumplir con los objetivos propuestos.

Los resultados se han mostrado de manera secuencial. Inicialmente, se hace un diagnóstico y caracterización química de la arcilla y del nutriente usado. Seguidamente, se muestran los resultados de caracterización físico-cerámica para la arcilla patrón y las tres mezclas formuladas. La resistencia a la compresión y la absorción de agua son las propiedades más importantes en relación con el análisis físico cerámico. La temperatura de cocción para la elaboración de los bloques de construcción a nivel de laboratorio se ha realizado en 1000 °C.

La mezcla que presentó el mejor comportamiento es la mezcla de 2,5% de cascarilla + 97,5% arcilla, mostrando que cumple con la NTC 4205, en cuanto a su resistencia a la compresión obteniendo un valor de 34 Kg/cm² y una absorción de agua de 11,65%.

1. Problema

1.1. Título

Evaluación de mezclas de arcilla adicionando cascarilla de arroz para la fabricación de bloques de construcción.

1.2. Planteamiento de Problema

En Cúcuta y su Área Metropolitana existen empresas cerámicas dedicadas a la fabricación de materiales de construcción, como lo son las ladrilleras y chircales, las cuales utilizan como materia prima la arcilla mezclada con algunos aditivos para mejorar la calidad de los productos.

Debido al estado del arte explorado se encontró investigaciones donde usan la cascarilla de arroz como mezcla para la producción de los materiales de construcción.

En Colombia se evidencia el desperdicio de cascarilla de arroz, es decir, no se le da ningún uso y estos terminan en botaderos, incinerados o en su efecto contaminando las fuentes de agua, ya que las plantas procesadoras de arroz generan un 20% de este desecho, y teniendo en cuenta que el muy bajo peso específico de este, incite que la evacuación y transporte represente un problema elevado por sus altos costos de manejo. (Gomez & Navarro, 2017)

Del mismo modo, la creación de viviendas, edificaciones entre otros, es de gran importancia en nuestro país principalmente cuando son construcciones de interés social, buscando el camino más económico y eficiente en la construcción de estas viviendas, pues bien, a lo largo de los años en Colombia se han buscado formas de reducir los costos y ahorrar el tiempo de ejecución de obra para de esta forma entregar proyectos de calidad y comodidad, pero ninguna de las dos formas han sido posibles en la construcción, en consecuencia los atrasos en obra, la mala calidad de los materiales o en el peor de los casos el desistimiento de estas obras de interés social han

marcado nuestro país, dejando a millones de personas sin un hogar que puedan vivir soberanamente.

A partir de esto, se crea la necesidad de elaborar uno de los productos más usados y vendidos en el mercado, como le es, el bloque H-10, utilizando diferentes mezclas para mostrar su comportamiento a nivel de laboratorio. En la cual se utiliza como nutriente tecnológico la cascarilla de arroz, debido a que es un producto fácil de adquirir, ya que se encuentra en los botaderos, es decir, solo se debe pagar el transporte para la planta productora y finalmente se está apoyando el medio ambiente.

Los resultados obtenidos se analizan mediante la normatividad vigente, la cual clasifica el producto; los ingenieros civiles están obligados a utilizar materiales para la construcción que cumplan con los parámetros o requisitos de las Normas Técnicas Colombianas NTC, por ende, se hace necesario determinar la calidad de los productos que se utilizan en la ejecución de proyectos para así cumplir satisfactoriamente las necesidades que los mismos demandan.

1.3. Formulación del Problema

¿El bloque H-10 para construcción elaborado con cascarilla de arroz cumple con los requisitos exigidos en la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 “Unidades de mampostería de arcilla cocida, ¿ladrillos y bloques cerámicos”?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar mezclas de arcilla adicionando cascarilla de arroz para la fabricación de bloques de construcción.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico del sector de la cascarilla de arroz.
- Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes de cascarilla de arroz a nivel de laboratorio.
- Evaluar el producto desarrollado a nivel de laboratorio.
- Establecer una comparación entre los costos del producto normal y los costos del producto utilizando la mezcla con cascarilla de arroz.

1.5. Justificación

La arcilla es una de las materias primas en la construcción de las obras civiles en todo el mundo, pero su producción es considerada uno de los procesos más contaminantes que existen en nuestro planeta (Rendón, Ospina, & Gutiérrez, 2009), de allí nace la idea de encontrar nuevos materiales que puedan reemplazar las propiedades mecánicas que este aporta particularmente al concreto hidráulico en los pavimentos rígidos. (Chang, 2017)

En la actualidad la investigación, la transferencia de tecnologías, los nuevos materiales de ingeniería y la utilización de los residuos agroindustriales generados tienen un papel importante para el desarrollo, al generar innovación y mejora que fortalecen la producción de productos y la prestación de servicios amigables con el medio ambiente. (Molina, Tarifa, & Mendoza, 2015)

Se han realizado investigaciones en diferentes países con residuos agroindustriales como sustituto parcial del cemento para la fabricación de mampuestos no estructurales (Molina, Tarifa, & Mendoza, 2015) morteros (Águila & Sosa, 2008) y bloques con resultados prometedores para la ingeniería de materiales.

La cascarilla de arroz es un desecho agroindustrial que se produce en altos volúmenes donde se siembra y se procesa la planta de arroz, por lo tanto, este subproducto se lo puede utilizar

como fuente de silicio ya que es imprescindible en el ámbito de construcción (Vásquez & Bach, 2000). El alto consumo de recursos naturales y energéticos entre otros contaminantes están dejando evidenciado que los materiales de construcción comprometan las futuras posibilidades de utilizar estos recursos por lo tanto se trabaja en disminuir su impacto ambiental y por ende económico. (Arcos, Pinto, & Páez, 2007)

Conforme a lo expuesto en lo anterior, esta investigación propone la elaboración de bloques H-10 para construcción con agregados de residuos de arroz, ya que su baja degradación natural genera grandes acumulaciones en el medio ambiente, aprovechar la cascarilla de arroz como agregado es el objetivo de este proyecto ya que se considera una propuesta valiosa para la construcción, en el ámbito social y ambiental.

1.6. Alcances y Limitaciones

1.6.1. Alcances

Con esta investigación lo que se buscó fue analizar la adición de cascarilla de arroz en la mezcla de arcilla para la fabricación de bloques de construcción, con la comprobación a partir de ensayos de laboratorio, demostrar la viabilidad de la cascarilla de arroz como nutriente tecnológico en el compuesto y examinar los parámetros que arrojaron los ensayos para dar las respectivas conclusiones.

1.6.2. Limitaciones

La limitante principal del proyecto fue la situación que ocurrió con la pandemia que hay a nivel mundial del virus covid-19, que afectó todos los sectores, entre estos y principalmente, el de la educación. Pues debido a esta, se suspendieron actividades en universidades y muchos lugares más cerraron su atención al público, lo que afectó eventualmente el normal desarrollo de la investigación. Además, de que se dificultó participar en el proceso de los ensayos de

laboratorio y se atrasó la entrega de resultados de estos.

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.

1.7.2. Delimitación Temporal

El proyecto se ejecutó a partir de la fecha de aprobación del mismo por parte del comité curricular de ingeniería civil de la universidad Francisco de Paula Santander, 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 y Estado del Arte

2.1.1. *Antecedentes Regionales*

— Sarabia Guarín, Alejandra; Sánchez Molina, Jorge y Leyva Diaz Juan Carlos

“Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular”

Artículo de Investigación, Revista Respuestas, Universidad Francisco de Paula Santander, Vol. 22 Núm. 1 (2017)

El sector de la construcción es uno de los sectores económicos en Colombia con mayor crecimiento, generando grandes cantidades de residuos como producto del proceso de construcción, y/o demolición, o en su defecto en la fabricación de los materiales de construcción.

El objetivo de esta investigación fue facilitar el acceso a información académico-científica actualizada sobre reciclaje de residuos industriales y su aplicación en la fabricación de materiales de construcción. Así mismo se emplea el término de economía circular, el cual hace referencia a la integración de las actividades de reducción (consumo de energía y residuos), reutilización y recuperación durante la producción, el intercambio y consumo.

Como conclusión, además de reducir la contaminación generada por los residuos de los sectores productivos, con el aprovechamiento de los subproductos ha sido posible mejorar ciertas propiedades tecnológicas de estos materiales de construcción. (Guarin, Molina, & Diaz, 2017)

Esta investigación aportó valiosa información a este proyecto acerca de las propiedades físico-mecánicas que aporta la cascarilla de arroz a los bloques de arcilla elaborados con ella, se encontró que es posible usarla con o sin pretratamientos como aditivo en la fabricación de morteros ligeros de elevada porosidad, lo que la convierte en candidata para elaborar materiales

de construcción para aislamiento térmico y acústico, pero debido a su baja resistencia mecánica en comparación a los morteros y hormigones tradicionales, no son aptos para fabricar elementos portantes.

— Ramón Ramón, Sergio Andrés; Cárdenas Gutiérrez, Javier Alfonso y Rojas Suárez Jhan Piero

“Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible en hornos de secado”

Artículo de investigación, Revista Mundo FESC, Fundación de Estudios Superiores (FESC); Vol. 8, Núm. 16 (2018)

La cascarilla de arroz se usa como combustible en aplicaciones, tanto domésticas como industriales. Algunos estudios han demostrado que sus propiedades térmicas sustentan su uso como fuente de energía para la combustión en hornos, incluso a un nivel industrial, como sucede en empresas del sector arrocero de Cúcuta.

El objetivo de esta investigación, puntualmente, en este caso, fue determinar el poder calorífico de la cascarilla de arroz que se usa como combustible en los hornos de secado en una de las arroceras de la región nortesantandereana y evaluar así, su eficiencia como fuente de energía térmica.

Para determinar la propiedad térmica en mención, se prepararon muestras de cascarilla pulverizada pasando por el proceso de cuarteo, molienda y tamizado; muestras llevadas al calorímetro.

Como resultados, se encontró que el poder calorífico de esta cascarilla de arroz supera los 3700 cal/gr con un 0,15% de azufre y como conclusión se puede afirmar que es totalmente válido el uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía para el proceso de secado del grano en arroceras regionales pues su poder calorífico, está incluso por encima de otras muestras estudiadas a nivel mundial.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

— Castaño Gomez, Iván Mateo y Trigos Navarro, Diana Carolina

“Diseño estructural participativo con desechos orgánicos, una alternativa panameña para Colombia”

Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C. (2017)

Uno de los mayores problemas que se ha venido presentando en los países en desarrollo, está relacionado con el manejo y tratamiento de las elevadas cantidades de residuos sólidos que se generan en las industrias y la agricultura, siendo en gran parte biomasa, las cuales, con el tratamiento y manejo adecuados, podrían ser empleados como combustible renovable y/o en la industria de los materiales de construcción.

Por tanto, se plantea y genera la inquietud de cómo se podría elaborar un elemento estructural con base en los desechos orgánicos que genera la permanente actividad humana, de este modo, se analizó y desarrollo el uso de la cascarilla de arroz como agregado cementante, teniendo como elementos de referencia los parámetros de la norma ASTM C270 y NSR-10 título D.

Se analizan las propiedades que puede ofrecer la adición de cascarilla de arroz sustituyendo un 10% de agregado fino, en distintas mezclas de mortero y mampostería; las cuales pueden ser “el aumento de la resistencia, a compresión, reduciendo el agrietamiento y la susceptibilidad de estos materiales. (Gomez & Navarro, 2017)

A pesar de que se trabajo con cemento como ingrediente principal, en vez de arcilla, esta investigación aportó valioso conocimiento sobre la composición química de la cascarilla de arroz, encontrándose que al tener altos índices de silicato pueden servir como catalizador o activador en los efectos de cocción de bloques de arcilla, los cuales pueden mejorar las condiciones del medio ambiente alrededor de las industrias.

— Restrepo Ramos, Yennifer Tatiana y Aya Rodríguez, Jose Ruben

“Propuesta para la fabricación de adoquines en mortero mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción en la ciudad de Girardot en el departamento de Cundinamarca”

Tesis de Grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Girardot, Cundinamarca (2018)

La investigación actual se ha centrado en desarrollar técnicas y procesos novedosos de construcción, con biomateriales no convencionales como lo es la cascarilla de arroz, que ayude a rebajar costos y cumpla con las normas técnicas colombianas que ya han sido establecidas.

Actualmente los procesos agroindustriales y la producción de cemento generan una serie de contaminación en la atmosfera con las emisiones de CO₂ y residuos que pueden ser aprovechados para aportar a una solución del manejo de las basuras y disminuir dichos gases contaminantes. En el caso de la cascarilla de arroz es un deshecho que se genera en grandes cantidades en toda la región Andina debido a los cientos de cultivos de arroz existentes. Este deshecho contiene propiedades químicas y mecánicas muy particulares como lo es el SiO₂ (Sílice) el cual es un compuesto que pertenece también al cemento, por lo tanto, la cascarilla de arroz podría ser usada para sustituir en ciertos porcentajes la composición del cemento y así crear adoquines en mortero con dicha mezcla, con esto se estaría obteniendo un Eco-bloque que estaría contribuyendo al medio ambiente. (Ramos & Rodríguez, 2018)

El aporte de esta investigación a mi proyecto fue conocer un poco más acerca de los porcentajes que se utilizaron para reemplazar en la mezcla para realizar los adoquines en mortero, encontrándose que aun con porcentajes de 20% y 30% de cascarilla de arroz, no fue posible obtener resultados favorables en cuando a las propiedades físico-mecánicas de los adoquines a los 28 días de curados.

2.1.3. Antecedentes Internacionales

— Rodríguez Cortéz, Edy Napoleón y Salazar Zuta, Gabriela

“Diseño de ladrillo de arcilla artesanal con adición de ceniza de cascarilla de arroz para viviendas unifamiliares, Rioja – 2020”

Tesis de Grado, Universidad César Vallejo, Perú (2020)

La presente tesis titulada: “Diseño de ladrillo de arcilla artesanal con adición de ceniza de cascarilla de arroz para viviendas unifamiliares, Rioja – 2020”, siendo el objetivo determinar en qué medida influyó la adición de ceniza de cascarilla de arroz en el ladrillo de arcilla artesanal.

La Metodología de esta investigación fue de tipo aplicada, de diseño experimental con un enfoque cuantitativo. La Muestra fue de 21 ladrillos distribuidos en un grupo de control y dos grupos experimentales. Los Instrumentos aplicados fue las fichas técnicas normalizadas. La Metodología consistió en preparar la mezcla para el ladrillo de arcilla, adicionando porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz (0%, 10% y 20%), para posteriormente evaluarlos a los 7, 14 y 28 días. Los resultados del ensayo de absorción a los 28 días en ladrillos con adición del 20% de ceniza de cascarilla de arroz fue de 16.87%. Asimismo, la resistencia a la compresión máxima se dio a los 28 días en los ladrillos con 20% de ceniza de cascarilla de arroz con 21.37 kg/cm². Por consiguiente, se alcanzó mayor variación dimensional a los 28 días, en los ladrillos con 20% de ceniza de cascarilla de arroz con 2.92%. Así también se identificó la mayor deformación en el ensayo de alabeo a los 28 días, en ladrillos con 20% de ceniza de cascarilla de arroz, con una concavidad de 1.50 mm. Y finalmente se determinó una mayor succión a los 28 días en ladrillos con 20% de ceniza de cascarilla de arroz con 17.44 gr/200cm² -min de succión.

Concluyendo que los resultados obtenidos nos indican que los ladrillos de arcilla artesanal adicionado con 20% de ceniza de cascarilla de arroz presentan una resistencia mayor con

mejores propiedades físicas y mecánicas que los ladrillos con 10% o sin ningún porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz. (Cortéz & Zuta, 2020)

— Tanguila Vargas, Edith Noemí

“Aprovechamiento de la cascarilla de arroz en elaboración de bloques de alivianamiento, cantón joya de los sachas, orellana”

Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Perú (2019)

La presente investigación tuvo como objetivo aprovechar la cascarilla de arroz en elaboración de bloques de alivianamiento, cantón Joya de los Sachas, Orellana, que serán utilizados en el campo de la construcción, destacando algunas características de los bloques convencionales en resistencia y peso. Se realizaron análisis físico químicos para conocer su composición, los análisis físicos mostraron un contenido de humedad de 7,17%, capacidad de absorción 54% y peso específico de 4.903 N/m³. Los análisis químicos como pH 6,76, Carbono 1,79%, Nitrógeno total 0,15 y silicio 78,27%. Determinadas las características de la cascarilla de arroz se formularon cuatro tipos de tratamiento para la fabricación de los bloques, el primer tratamiento con 44 % de cascarilla arroz, el segundo tratamiento 53% de cascarilla de arroz, el tercer tratamiento 65% cascarilla de arroz y el cuarto tratamiento 50% de cascarilla de arroz. Se sometió a pruebas físicas y mecánicas los bloques a pruebas de compresión, absorción y peso. Obteniendo resultado que en el tratamiento 1 tiene una resistencia 15,77 Kg/cm², 13,13 % de absorción y 3,62 kg de peso, tratamiento 2: 20Kg/cm², 13,37 % de absorción y 3,5857 kg de peso, tratamiento 3: 10,07 Kg/cm², 13,66 % de absorción y 3,57 de peso, tratamiento 4: 19,42 Kg/cm², 13,94 % de absorción y 3,70 de peso. Concluyendo según los resultados que el tratamiento 2 es el más adecuado con resistencia de 20kg/cm² y un peso de 3,58 kg,

comprobandose que el uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de los bloques es posible ya que mejora las propiedades físicas y mecánicas de los bloques convencionales, además de reducir el impacto negativo al ambiente y se reduce el costo de producción. Se recomienda a futuras investigaciones a este tipo de investigación realizar pruebas para conocer su capacidad como aislante acústico a nivel laboratorio.

2.2 Marco Teórico

La cascarilla de arroz es un material de desecho agrícola que constituye alrededor del 20% de la producción mundial de arroz, que se aproximó a los 700 millones de toneladas en el año 2011. Según estudios recientes, en el país se producen cerca de 2'100.000 toneladas de arroz al año, y como consecuencia de esta producción cerca de 400.000 toneladas de cascarilla de arroz como residuo, las cuales mediante un proceso de quema controlada dan origen a cerca de 100.000 toneladas de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) con un alto contenido de sílice, convirtiéndose así, en una alternativa potencial para su uso en la industria de la construcción gracias a sus características puzolanas y su alta disponibilidad alrededor del mundo. La CCA obtenida de la cascarilla de arroz bajo condiciones de combustión controladas se ha empleado como material para obtener sílice de característica amorfa y poder ser utilizada como puzolana. (Cruz, Bernabeu, Rosado, Martínez, & Balbuena, 2015)

La sílice de la CCA reacciona con la cal, dando lugar esta reacción a la formación de cristales de silicato de calcio hidratado (CSH), que contribuyen a la generación de resistencias mecánicas en los concretos adicionados , es por esta razón que este material es considerado como una opción viable para la sustitución parcial del cemento en elementos constructivos como los bloques de concreto, tanto desde el punto de vista mecánico como económico, debido a que este residuo no representa ningún valor comercial hasta el momento distinto a su uso en el proceso de

secado del grano de arroz por medio del aprovechamiento del calor generado durante su proceso de combustión. (Gomez & Navarro, 2017)

Hoy en día, los elementos de concreto moldeado tienen una cantidad infinita de usos, formas, texturas y colores, muy distintos a los materiales tradicionales de construcción. Gracias a su alta versatilidad, la arcilla es usada para la mampostería estructural, todos estos productos se logran actualmente con una muy buena calidad y con unos costos significativamente bajos comparados con otros materiales usados comúnmente en la industria de la construcción. El objetivo de esta investigación es utilizar materiales de desecho, como la cascarilla de arroz, como sustituyente en proporciones determinadas de la arcilla; para que de esta manera los costos de producción por bloque sean más económicos y con esto accesibles para la población en general, sin comprometer ninguna de las características físicas y mecánicas del bloque habitual. (Cruz, Bernabeu, Rosado, Martínez, & Balbuena, 2015)

Por ejemplo, algunos estudios realizados por las universidades de Canadá, California, RP China y de Colombia, se basó en realizar análisis comparativo entre las principales propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz, con el fin de compararlas en diferentes países. Obteniendo como resultado que existe igualdad en las características fisicoquímicas para regiones tan distantes como estas. (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2007)

De modo similar la Universidad Central de Venezuela, en la Facultad de Arquitectura y urbanismo, realizó un estudio para evaluar la propiedad fisicoquímica de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz, su influencia en mezclas de mortero, y evaluar su posibilidad para ser utilizados como material puzolánico, mediante caracterización fisicoquímica y ensayos de resistencia a compresión y durabilidad de muestras de mortero con cemento Pórtland, desarrollando 14 muestras que incluían, en primer lugar una muestra sin adición de

ceniza de cascarilla de arroz únicamente cemento Portland, en segundo lugar una serie de muestras con un contenido entre el 10% y 30% de cada uno de los materiales, finalmente obteniendo como resultado de los ensayos, particularmente la cascarilla de arroz se puede utilizar como sustituto parcial del cemento Portland ordinario. Uno de los elementos importantes para una buena calidad de puzolana es el porcentaje de sílice, demostrando un 80% de sílice en la composición de la cascarilla de arroz, en la hoja de maíz un 48% de sílice y el bagazo de caña un 36% de sílice, concluyendo que la cascarilla de arroz presenta una buena calidad puzolánica.

(Águila M. S., 2008)

2.3 Marco Conceptual

— **Arcilla:** Se conoce como arcilla al material que surge a partir de la agregación de silicatos de aluminio derivados del proceso de descomposición de distintos minerales. Estos silicatos se encuentran hidratados y, de acuerdo a la presencia de impurezas, pueden exhibir diferentes colores.

La arcilla es un aluminosilicatos ya que contiene óxido de aluminio y sílice desde el punto de vista químico, y un coloide desde una perspectiva física. Cada partícula que compone la arcilla tiene un diámetro que no supera los 0,002 milímetros.

La simpleza de su uso y de su obtención, junto a su bajo costo, hace que la arcilla todavía sea usada para elaborar ladrillos, vasijas, platos, cuencos y otros recipientes, además de múltiples obras de arte. La técnica que se pone en práctica para la elaboración de productos con arcilla o barro recibe el nombre de alfarería. (Porto & Merino, 2015)

— **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. Esta se encuentra en la parte exterior del grano de arroz maduro compuesta por dos glumas denominadas *palea* y *lemma*. Por

ejemplo, la semolina y la puntilla de arroz, cada una de estas también representa un determinado porcentaje en la composición de la granza de arroz y deben ser consideradas, pues también son desechos agroindustriales. (Villada & Gutiérrez, 2010) La semolina está formado principalmente por las capas aleurónicas del grano, es decir, por la película externa o pericarpio, localizada entre la cascara y el endosperma, y representa todos los pulimentos que se desprenden del grano después de eliminar la cascara externa. (Villada & Gutiérrez, 2010)

— **Ladrillo:** Se conoce como ladrillo a un elemento de construcción, generalmente hecho con masa de barro cocida, que tiene forma de paralelepípedo rectangular y que permite levantar muros y otras estructuras. Gracias a sus dimensiones, un albañil puede colocar un ladrillo utilizando sólo una mano, lo que facilita las tareas constructivas.

Hoy los ladrillos suelen construirse con arcilla, que combina silicatos hidratados de alúmina, illita, caolín y otros minerales. Gracias a la cocción a altas temperaturas, la arcilla es más resistente que el adobe. (Porto & Gardey, 2011)

— **Reciclaje:** El tratamiento de reciclaje puede llevarse a cabo de manera total o parcial, según cada caso. Con algunos materiales, es posible obtener una materia prima, mientras que otros permiten generar un nuevo producto.

La base del reciclaje se encuentra en la obtención de una materia prima o producto a partir de un desecho. Un bien ya utilizado (como una botella de plástico vacía) puede destinarse a la basura o reciclarse y adquirir un nuevo ciclo de vida (al derretir el plástico y utilizarlo en la fabricación de una nueva botella, por ejemplo).

Esto quiere decir que el reciclaje contribuye a luchar contra el agotamiento de los recursos naturales y también ayuda a eliminar los desechos de forma eficaz. Al separar los residuos según

sus características, es posible aprovechar algunos para el reciclaje y eliminar el resto de manera adecuada. (Porto & Gardey, 2010)

— **Nutriente Tecnológico:** Compuestos químicos característicos de materiales que se encuentran en el medio ambiente, se usan como materias primas para la industria. Con tal fin son empleados de ciertas maneras innovadoras para cumplir con diversas funciones, produciendo mayor rendimiento y calidad, ya sea porque se usan diversas materias recicladas y reutilizadas. (Ordóñez, 2014)

— **Materia Prima:** Estas actividades extractivas, ocasionan pérdida de cobertura vegetal; modificación radical de la morfología; condiciones de inestabilidad; sedimentación de cauces por arrastre de materiales y escorrentía; contaminación de cauces por arrastre de grasas y de combustibles desde los patios de mantenimiento y talleres; intervención de áreas de recarga de acuíferos; modificación y alteración de las condiciones dinámicas naturales de ríos y quebradas; contaminación por ruido, vibraciones y circulación de la maquinaria utilizada; emisión de partículas y gases a la atmósfera y deterioro de la infraestructura vial por tráfico de vehículos de carga pesada. (Tovar, 2013)

— **Economía Circular:** Tomando como ejemplo el modelo cíclico de la naturaleza, la economía circular se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción de los elementos: minimizar la producción al mínimo indispensable, y cuando sea necesario hacer uso del producto, apostar por la reutilización de los elementos que por sus propiedades no pueden volver al medio ambiente.

La economía circular aboga por utilizar la mayor parte de materiales biodegradables posibles en la fabricación de bienes de consumo –nutrientes biológicos– para que éstos puedan volver a la naturaleza sin causar daños medioambientales al agotar su vida útil. (Cerdá & Khalilova1, 2016)

2.4 Marco Contextual

El proyecto de investigación se realizó en el municipio de San José de Cúcuta, específicamente en el CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS), este centro se encarga de centralizar todo tipo de información relacionada con el sector cerámico de la ciudad. Esta información se refiere básicamente a: estudios e investigaciones realizadas por instituciones públicas y privadas a nivel regional, nacional e internacional, tesis, normas técnicas de calidad nacionales e internacionales, revistas científicas, boletines de novedades, recopilación de artículos y catálogos, entre otras.

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-dilato métrico 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. Parte 1: 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 de mampostería.

— **NTC 4205:2009 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques**

cerámicos. Parte 2: 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. Parte 3: Mampostería de Fachada: Reúne los requisitos de las unidades de arcilla cocida utilizada 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.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El proyecto “Evaluación de Mezclas de Arcilla adicionando Cascarilla de Arroz para la Fabricación de Bloques de Construcción”, se enmarcó según el propósito en una investigación aplicada; según el nivel en exploratoria y descriptiva y finalmente según la estrategia en investigación experimental.

Es Investigación Aplicada porque se utilizaron los conocimientos que se tienen y se llevaron a la práctica, aplicándolos en los diferentes procedimientos del proceso productivo de la fabricación del bloque, para finalmente enriquecer el conocimiento según el comportamiento que arrojó el material de construcción con la adición del nutriente utilizado.

La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. (Trejo, Cruz, & Novoa, 2018)

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” (Castrillón, 2015)

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 cascarilla de arroz 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” (Sampieri, 2014)

Los diseños experimentales nacen del término experimento que se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias. (Sampieri, 2014). Con la elaboración del proyecto se mostraron los datos obtenidos de la realización de los ensayos requeridos, para así efectuar la acción de analizar los resultados y evaluar según los criterios establecidos en las normas indicadas anteriormente.

3.2 Población y Muestra

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones, es decir, lo que va ser estudiado y sobre el cual se pretende generalizar los resultados. Las poblaciones deben situarse claramente por sus características de contenido, lugar y tiempo. (Sampieri, 2014)

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población, es decir, un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población. (Sampieri, 2014)

3.2.1 Población

La población que se tuvo en cuenta para la realización del proyecto involucró 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 cascarilla de arroz como nutriente tecnológico.

También se tuvo en cuenta las empresas de producción de bloques o ladrillos de construcción fabricados en la ciudad de Cúcuta, entre las cuales se encuentran: Ladrillera Norsan Ltda., Cerámicas Américas S.A., Tejar Cerámica Babilonia, Ladrillera Merkagres de Colombia Ltda., Ladrillera Zulia S.A., Expogres, Arcillas del Oriente Ltda., Tejar San Gerardo, etc. y de las cuales se obtiene una producción promedio de 2.429.000 unidades por mes. (*Unidad de Planeación Minero Energética, 2014*)

3.2.2 Muestra

El tamaño de la muestra se seleccionó a convenir de la empresa Cerámica Támesis S.A., la cual es una 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 de 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 el nutriente tecnológico se tomó del Centro De Arroces S.A.S Cúcuta, donde se extrajo la cantidad necesaria de cascarilla de arroz para el proyecto, para posteriormente ser transportada y utilizada en los ensayos de laboratorio en el CIMAC.

3.3 Instrumentos Para la Recolección de Datos

3.3.1 Fuentes Primarias


Para este estudio, se llevó a cabo inicialmente la observación directa del nutriente (cascarilla de arroz), para el registro de datos y resultados obtenidos en cada ensayo se llevó a través de formatos establecidos por el CIMAC.

Tabla 1. Formato de ensayo de absorción de agua en unidades de mampostería del CIMAC

 Universidad Francisco de Paula Santander <small>Vigilada Mineducación</small>	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS - CIMAC		
Ensayo No.		Oferta de Servicio No.	
Fecha:			
ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA EN UNIDADES DE MAMPOSTERIA			
Norma NTC 4017:2005			
Tipo de Bloque:		Características:	
Medidas:		Tipo de Ensayo:	
REGISTRO DE DATOS			
NÚMERO DE LA MUESTRA:			
MASA DE LA MUESTRA SECA (g):			
MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (g):			
ABSORCIÓN (%):			
ABSORCIÓN PROMEDIO (%):			
OBSERVACIONES: _____			

ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:	

Tabla 2. Formato de ensayo de resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería del CIMAC

 Universidad Francisco de Paula Santander <small>Vigilada Mineducación</small>	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS - CIMAC		
Ensayo No.		Oferta de Servicio No.	
Fecha:			
ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERIA			
Norma NTC 4017:2005			
Tipo de Bloque:		Características:	
Medidas:		Tipo de Ensayo:	
REGISTRO DE DATOS			
NÚMERO DE LA MUESTRA:			
DIMENSIONES DE LA MUESTRA (mm):			
ÁREA NETA DE LA MUESTRA (cm ²):			
CARGA DE ROTURA POR COMPRESIÓN (Kg \bar{f}):			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg \bar{f} /cm ²):			
OBSERVACIONES: _____			

ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:	

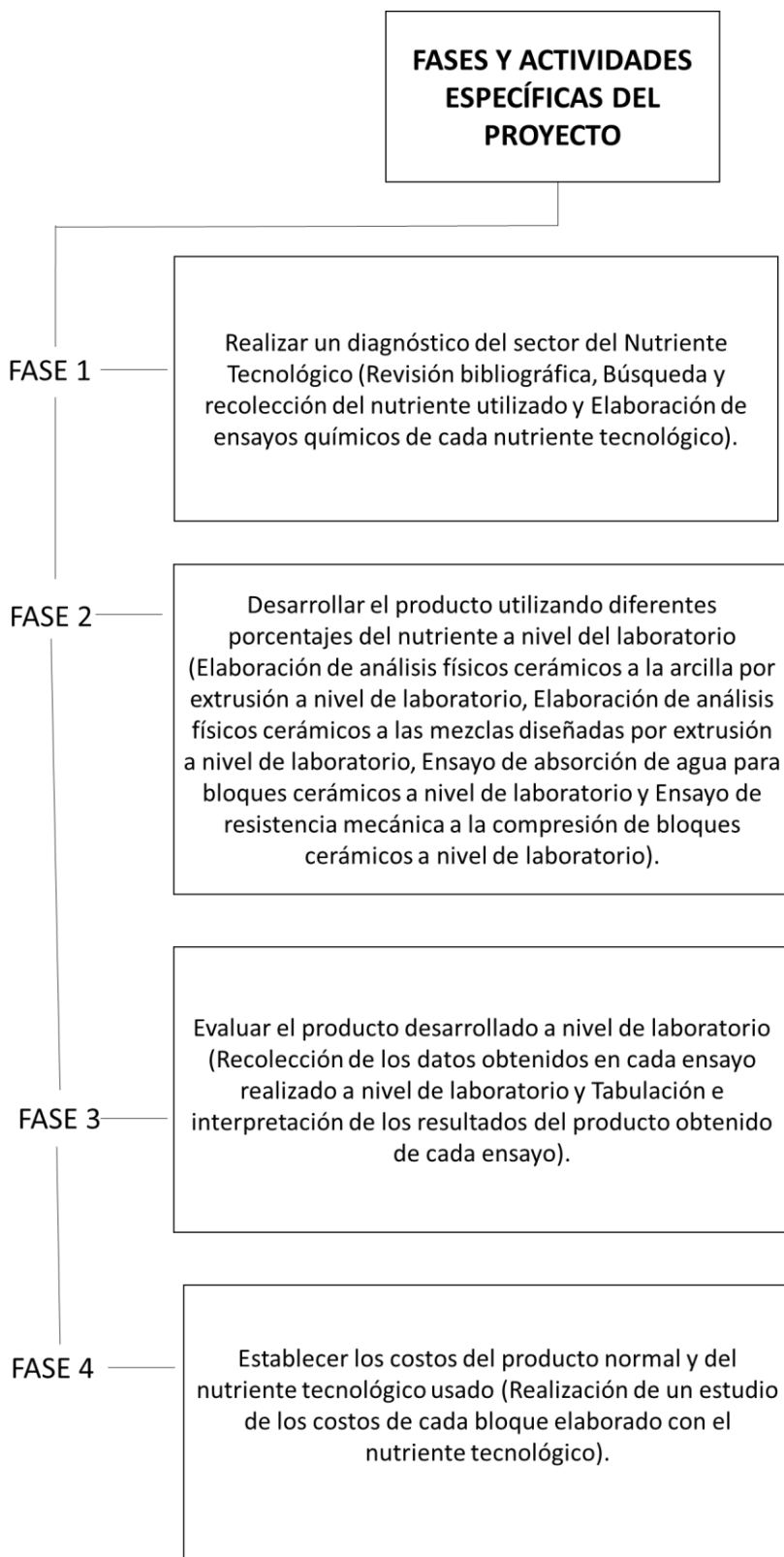


Figura 1. Diagrama de actividades y específicas del proyecto

4. Metodología

La investigación que se llevó a cabo en este proyecto fue de tipo aplicada, descriptiva y de campo. El estudio se enfocó en la evaluación de mezclas de arcilla del Área Metropolitana de Cúcuta con los diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de nutriente tecnológico utilizado en cada mezcla.

El área de estudio donde se realiza el proyecto, es una arcilla de la mina de Cerámica Tamices S.A. y el nutriente tecnológico utilizado fue cascarilla de arroz.

La recolección de información se realizó en dos fases:

En la primera se tuvo en cuenta los estudios químicos de la arcilla y del nutriente utilizado, complementando la información con la observación de reconocimiento en el área de estudio y con asesorías técnicas de profesionales con conocimiento en el tema (tomado de tesis de grado, proyectos realizados en el CIMAC, artículos de investigación).

Durante la segunda fase se hizo la recolección de información de los resultados de los análisis de laboratorio realizados por el CIMAC, la cual se encuentra relacionada en el desarrollo de los objetivos planteados.

Las técnicas de análisis que se contemplaron son los ensayos requeridos según la norma técnica colombiana NTC 4205:2000, para clasificación del bloque, según sus requisitos técnicos.

Finalmente, se presenta un estudio de costos del bloque normal H-10, comparado con la mejor mezcla de las tres que se realizaron utilizando el nutriente tecnológico en porcentajes de 2,5%, 5% y 7,5%.

4.1. Materias Primas Empleadas

Las principales minas de arcilla explotadas en el departamento de Norte de Santander se encuentran en el área metropolitana de Cúcuta, la cual cuenta con una superficie de 2.196 km²,

que ocupa el 10,1% de la extensión departamental. De todo el departamento, la zona metropolitana de Cúcuta es el área donde mayoritariamente se encuentran yacimientos arcillosos, además de ser el lugar donde se concentra casi la totalidad de la industria dedicada a la explotación y transformación de este material. “En vecindades de la ciudad de Cúcuta se explotan las arcillas estratificadas de la parte superior del Grupo Guayabo y la Formación León, de edad Neógena, de origen continental (Ngc) y de excelente calidad como un gres típico” (Vargas, Molina, & Meneses, 2018)

Estas arcillas se encuentran formando parte de la litología de las formaciones terciarias de León y Guayabo. En algunos sectores de Cúcuta los estudios sobre la composición mineralógica y química de las arcillas de Cúcuta las muestran como materiales de primera calidad, desde el punto de vista cerámico. (Vargas, Molina, & Meneses, 2018)

➤ **Arcilla**

El término “arcilla” encierra en sí mismo un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión (tamaño de partícula, mineralogía, petrografía, propiedades físicas, etc.). 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 ($< 1 \mu\text{m}$ según los químicos que estudian los coloides, $< 2 \mu\text{m}$ según los mineralogistas e investigadores del suelo, y $< 4 \mu\text{m}$, según los sedimentólogos), constituidas por variados minerales arcillosos (silicatos alumínicos hidratados, con iones principalmente de Mg, Fe, K y Na) 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. (Riaño, 2016)

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. (Riaño, 2016)

Los principales minerales que componen la arcilla son:

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

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

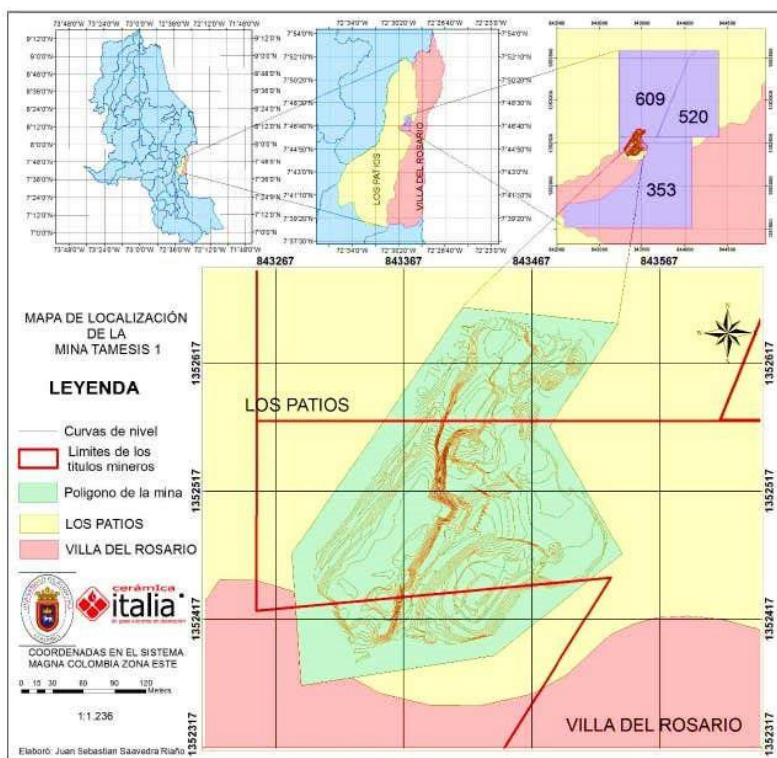


Figura 2. Mapa de localización de la mina Támesis 1

Fuente: Corponor, 2011.



Figura 3. Frente de explotación de la Arcilla (Cerámica Támesis S.A.)

➤ **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).

Tabla 4. Composición estructural del material arcilloso

FASE	No, TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO (en % peso)	
	SiO ₂	000-85-0796	Cuarzo	34,8
	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	000-84-1302	Moscovita	11,7
	TiO ₂	000-71-1166	Anatasa	0,8
Cristalino	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	000-89-6538	Caolinita	23,2
	Fe ₂ O ₃	000-85-0599	Hematita	0,9
	K(AlSi ₃ O ₈)	000-87-1787	Microclina	1,8
	Na(AlSi ₃ O ₈)	000-89-6424	Albita	1,5
Total Cristalino			74,7	
Amorfos y Otro			25,3	

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 conjuntamente 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)

Al exponer un material a rayos X de longitudes de onda cortas o a rayos gamma, pueden ionizarse los átomos que constituyen el material. La ionización consiste en eyección de uno o más electrones desde el átomo. Puede ocurrir si a este se le expone a radiación cuya energía exceda la del potencial de ionización. (Bertin, 1970)

Tanto los rayos X como los gamma pueden ser suficientemente energéticos para desprender electrones fuertemente ligados en los orbitales internos del átomo. Tal remoción electrónica deja

en condición inestable a la estructura electrónica del átomo, y los electrones de orbitales más elevados «caen» hacia el orbital más bajo, que luego ocupan los huecos de los electrones internos desprendidos. (Buhrke, 1998)

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 5. Resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X de la muestra identificada

Elemento	Nombre	Número Atómico (Z)	Concentración	Óxido	Concentración
Si	Silicio	14	27,89%	SiO ₂	59,67%
Al	Aluminio	13	11,50%	Al ₂ O ₃	21,72%
Fe	Hierro	26	3,70%	Fe ₂ O ₃	5,29%
K	Potasio	19	1,64%	K ₂ O	1,98%
Ti	Titanio	22	0,57%	TiO ₂	0,95%
Mg	Magnesio	12	0,41%	MgO	0,67%
Ca	Calcio	20	0,27%	P ₂ O ₅	0,57%
Na	Sodio	11	0,26%	CaO	0,38%
P	Fosforo	15	0,25%	Na ₂ O	0,35%
Ba	Bario	56	0,05%	BaO	0,06%
Zr	Circonio	40	0,03%	SO ₃	0,04%
V	Vanadio	23	0,02%	V ₂ O ₅	0,04%
Mn	Manganeso	25	0,02%	ZrO ₂	0,03%
S	Azufre	16	0,02%	MnO	0,03%
Zn	Zinc	30	0,01%	ZnO	0,02%
Cl	Cloro	17	0,01%	Cr ₂ O ₃	0,01%
Sr	Estroncio	38	0,01%	CuO	0,01%
Cu	Cobre	29	0,01%	SrO	0,01%
Cr	Cromo	24	0,01%	Cl	0,01%
Rb	Rubidio	37	0,01%	Rb ₂ O	0,01%
					*L.O.I
<i>Elementos Minoritarios</i>					
Elemento	Nombre	Número Atómico (Z)	Concentración	Óxido	Concentración
Ni	Niquel	28	41 mg/Kg	NiO	52 mg/Kg
Pb	Plomo	82	25 mg/Kg	Y ₂ O ₃	30 mg/Kg
Y	Itrio	39	23 mg/Kg	Ga ₂ O ₃	29 mg/Kg
Ga	Galio	31	22 mg/Kg	PbO	26 mg/Kg
Nb	Niobio	41	16 mg/Kg	Nb ₂ O ₅	23 mg/Kg

**L.O. I: Loss on ignition (Pérdida por ignición)*

Por otra parte, la radiación fluorescente se puede clasificar mediante análisis de las energías de los fotones (análisis dispersivo de energía) o por separación de las longitudes de onda de la radiación (análisis dispersivo de longitud de onda). (Jenkins, 1999) En la figura 4 se muestra la forma típica de las agudas líneas espectrales fluorescentes obtenidas mediante el método dispersivo de energía para el espécimen seleccionado de la muestra.

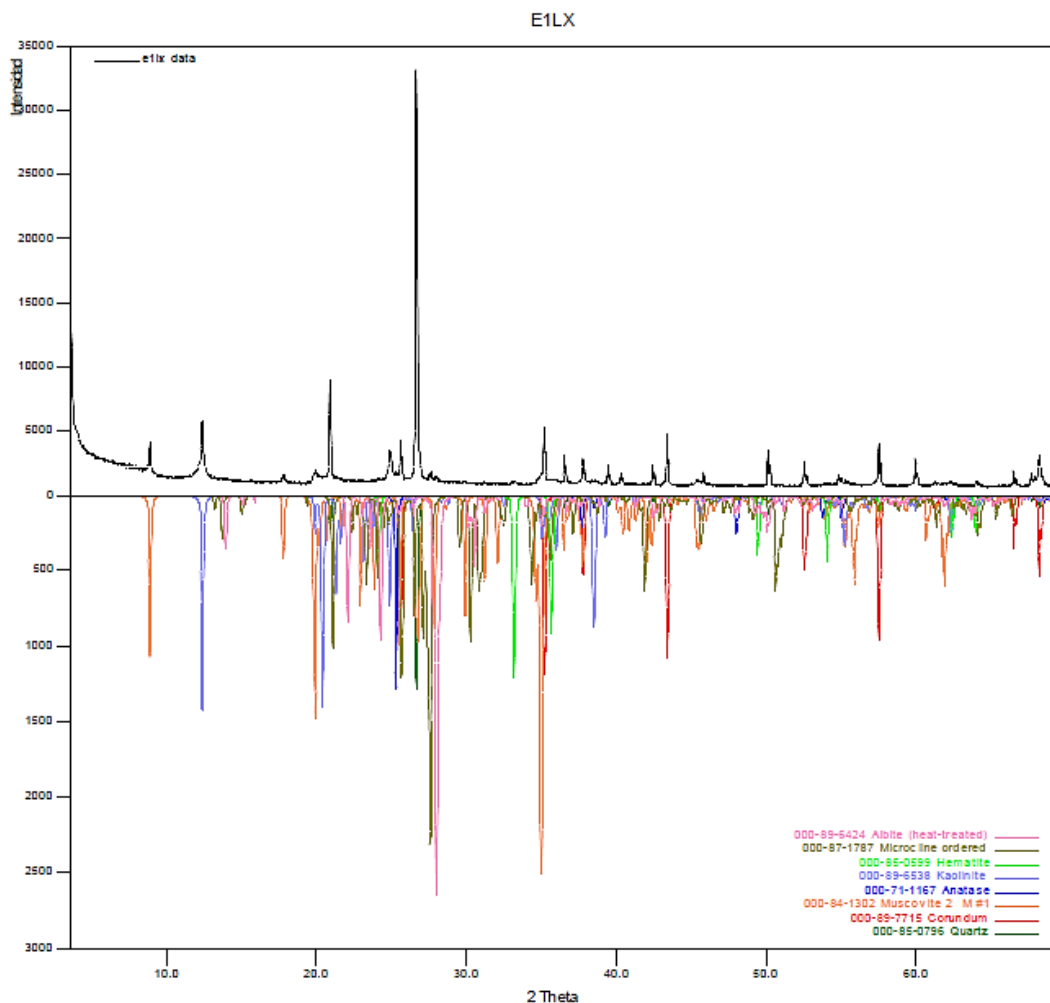


Figura 4. Análisis comparativo por difracción de rayos-x de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra

➤ Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz tiene forma de canoa y superficie rugosa, y presenta un color amarillento. Su longitud depende de la variedad, y está entre 8 a 10 mm de largo por 1 a 2 mm de

ancho, que corresponde del 30 al 40 % de su longitud. De acuerdo con su tamaño, una cascarilla pesa entre 2,5 y 4,8 mg (Villada & Gutiérrez, 2010). La cascarilla y la cutícula o polvillo de arroz son dos desechos agroindustriales subproductos del procesamiento de arroz, de los cuales la primera representa aproximadamente el 20% (Rojas, 2020). La cascarilla de arroz tiene diversos usos a nivel industrial, tales como: producción de ácido acético y acetona por destilación, producción de butanol, acetona y etanol por hidrólisis, combustible alternativo, adición en mezclas para materiales de construcción, ladrillos refractarios, abono, plásticos linóleos, producción de materiales abrasivos y silicatos alcalinos.

— *Caracterización física de la cascarilla de arroz*

Sus características físicas más significativas son las siguientes: peso específico $0,78 \text{ g/cm}^3$; densidad aparente sin compactar $0,108 \text{ g/cm}^3$; densidad aparente compactado $0,143 \text{ g/cm}^3$. (Serrano, Borrachero, Monzó, & Payá, 2012)

Según (Plaza Canchingre & Posligua Chica, 2006) la cascarilla de arroz representa un desecho ya que no presenta propiedades nutritivas. Este contiene un alto contenido de Dióxido de Silicio (SiO_2), lo cual lo hace imposible de ingerir como alimento, además de contener un bajo contenido de celulosa (40% aproximadamente), presenta un valor nulo por ser desecho y no se le ha dado un uso adecuado para conferirle un valor agregado. El peso y volumen de la cáscara de arroz como lo refiere (Pérez, 2010) ocasionan elevados costos de almacenamiento y transporte para la industria, además por ser poco digestible su uso en la elaboración de alimentos concentrados para animales es restringido. Donde esté a su vez agrega que el contenido de humedad de la cáscara de arroz cuando sale del descascarado tiende a variar entre el 5% al 40% después de haber estado a la intemperie (en época no lluviosa por sus características químicas presenta un 10% de humedad).

La cascarilla de arroz es de consistencia quebradiza, abrasiva y su color varía del pardo rojizo al púrpura oscuro. Su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/m^3 , es decir, 1 tonelada ocupa un espacio de 8 m^3 a granel. (Camargo, 2005)

La principal característica de la cascarilla de arroz es que esta toma la forma del grano cariósido, es decir, que posee una sola semilla y que al madurar no se libera de ella, en este grupo se puede incluir los granos de maíz, trigo, cebada, sorgo, centeno, avena, entre otros.

Existen numerosas variedades de cascarilla de arroz por lo que su dimensión oscila en longitud de 4 a 14 mm, en ancho de 1,5 a 5 mm y en su espesor existe un promedio de $50 \mu\text{m}$. La apariencia de la cascarilla de arroz según (Chang, 2017): A simple vista, es uniforme en la superficie exterior, pero al observarse al microscopio se aprecia una superficie rugosa con crestas a diferencia de la interior que es lisa. Esto influye para que el aire quede atrapado en los intersticios exteriores e influya en la humedad de la cáscara. Para lograr una completa descripción de la cascarilla de arroz, es necesario determinar su peso. La medición del peso de las muestras se realiza con la cascarilla, unida por su extremo, en una balanza analítica.

Una de las dificultades para la medición de su peso es la cantidad de pequeñas porosidades que posee lo que influye en el contenido de humedad. La medición en una balanza electrónica extractora de humedad es necesaria.

Tabla 6. *Parámetros de tipos de arroz en diferentes países*

Parámetros (%)	Tipos de Arroz			
	Canadá	California, USA	China	Colombia
Material Volátil	66,4	63,5	52,0	65,6
Carbono Fijo	13,2	16,2	25,1	17,9
Ceniza	20,0	20,3	16,9	16,7

Fuente: (Pérez, 2010)

Tabla 7. Propiedades y características físicas de la cascarilla de arroz

Propiedades y Características Físicas	
Estado Físico	Sólido Granulado
Color	Beige
Olor	Olor Característico
Longitud (mm)	4-14
Ancho (mm)	2-14
Espesor Promedio (μm)	50
Peso Específico (mg)	2,944-3,564
Solubilidad en el agua	Insoluble
Granulometría sobre malla #4 (%)	0
Granulometría sobre malla #8 (%)	4
Granulometría sobre malla #10 (%)	18,6
Granulometría sobre malla #20 (%)	74,6
Densidad Verdadera (g/cm^3)	1,42
Densidad Aparente (g/cm^3)	0,65
Densidad a granel (g/cm^3)	0,1
Porosidad del Combustible (%)	54
Fracción de Espacios Libres (%)	85
Fase Gaseosa Teórica (%)	93

Fuente: (Pérez, 2010)

— *Composición orgánica*

La composición orgánica de la cáscara de arroz es similar a la de la mayoría de las fibras orgánicas, conteniendo hemicelulosa, lignina, compuestos nitrogenados, celulosa, ácidos orgánicos y lípidos (Ordóñez, 2014). La celulosa y la hemicelulosa constituyen la mayor parte de los carbohidratos presentes en la cascarilla de arroz. El contenido de celulosa en la cascarilla de arroz oscila entre el 28% y el 49%, y la de hemicelulosa entre el 16% y el 22%. Además de celulosa, se puede encontrar en la cascarilla de arroz más polisacáridos como: galactosa, arabinosa y xilosa. La lignina le da rigidez a la estructura de la cáscara y se concentra en sus paredes celulares. Su proporción varía entre el 19% y el 25%. (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2007)

— *Composición Inorgánica*

Los componentes inorgánicos habitualmente son determinados en la ceniza de cascarilla de arroz. La composición inorgánica de la ceniza es diferente de las cenizas de otras fibras orgánicas, ya que posee un contenido elevado en sílice, pudiéndose encontrar en la ceniza resultante, un porcentaje superior al 90%, lo que la convierte en una fuente potencial de sílice (Gomez & Navarro, 2017). De acuerdo a otros autores, el porcentaje de SiO₂ en la ceniza puede alcanzar hasta principalmente K₂O (Ospina, Gutierrez, Delvasto, & Monzó, 2009).

— *Composición Química*

Tabla 8. *Composición química de la cascarilla de arroz*

Elemento	Número atómico (Z)	Concentración (% peso)	Óxido	Concentración (% peso)
Si	14	7,27%	SiO ₂	15,56
K	19	0,23%	K ₂ O	0,28
Al	13	0,11%	Al ₂ O ₃	0,20
P	15	0,07%	P ₂ O ₅	0,15
Ca	20	0,06%	MgO	0,09
Mg	12	0,05%	CaO	0,09
Fe	26	0,04%	Fe ₂ O ₃	0,06
Mn	25	0,01%	SO ₃	0,03
S	16	0,01%	MnO	0,02
---			*L.O.I	83,50

**L.O. I: Loss on ignition (Pérdida por ignición)*

Fuente: (Molina J. S., 2018)

— *Composición Mineralógica*

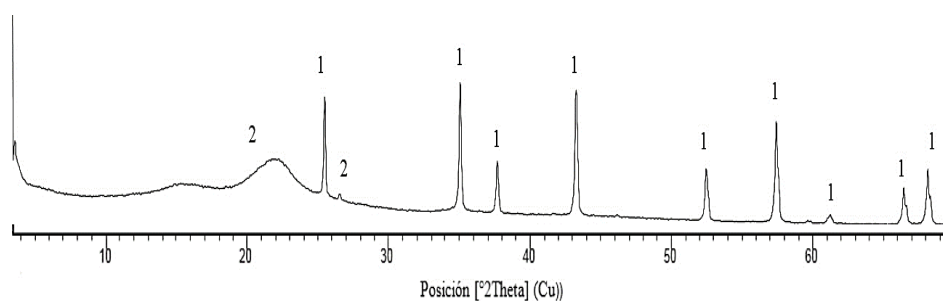


Figura 5. *Patrón de difracción de rayos X de la cascarilla de arroz (1: Corindón, 2: Cuarzo)*

Fuente: (Molina J. S., 2018)

Tabla 9. Composición estructural de la cascarilla de arroz (% peso)

FASE	NO. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO (%)	
Cristalino	SiO ₂	000-85-0796	Cuarzo	0,2
Total cristalino				0,2
Amorfos y otros				99,8

Fuente: (Molina J. S., 2018)

— Caracterización morfológica

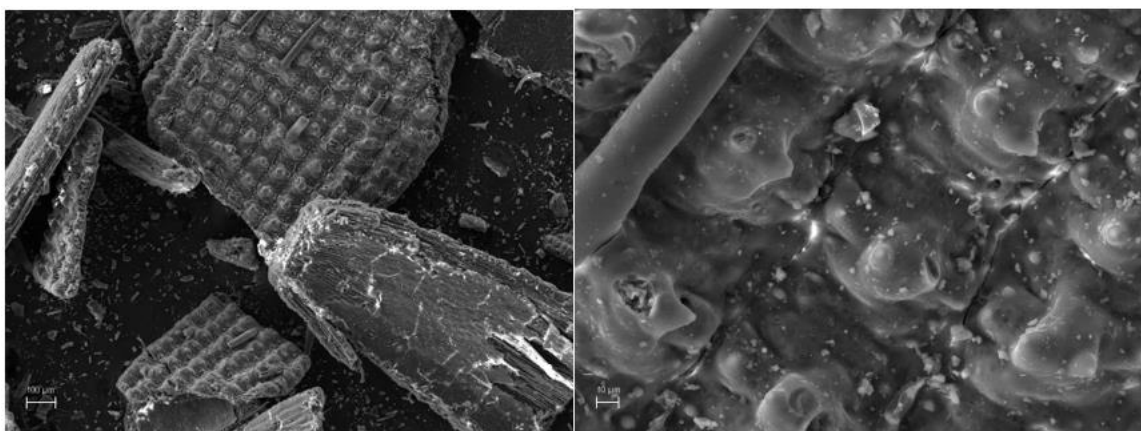


Figura 6. Microfotografías (MEB) de la cascarilla de arroz

Fuente: (Molina J. S., 2018)

— Análisis elemental N, C, H, S

Tabla 10. Resultados análisis N, C, H, S

Muestra	Nitrogen %	Carbon %	Hydrogen %	Sulphur %
1	0,4947	37,2732	5,2691	0,0506
2	0,4437	37,5581	5,2069	0,0170

Fuente: (Molina J. S., 2018)

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).

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (Figura 8), seguidamente se molturaron por vía seca en el molino de martillos (Figura 9), y finalmente el material molido se le realizó un

proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (Figura 10), para obtener una distribución granulométrica uniforme. Después se obtuvo las diferentes mezclas para fabricar el bloque H-10, adicionando 2,5%; 5% y 7,5% 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 °C/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.

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

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 4017:2005.



Figura 7. Extrusora de laboratorio con vacío



Figura 8. Apisonador de la Arcilla (Trituración)



Figura 9. Molino de martillos (Molienda vía seca)



Figura 10. Tamiz malla 10 (Tamizado)



Figura 11. Estufa de secado de 128 litros.



Figura 12. Horno mufla.

4.3. Ensayos Realizados

4.3.1. Análisis Físico-cerámico

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 (Figura 7)**

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

- **Estufa de secado (Figura 11)**

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 (Figura 13)**

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.



Figura 13. Pie de Rey digital de 200 mm.

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 digital (Figura 13), y pesar con balanza digital (Figura 14), 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

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 (Figura 11)**

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 Digital (Figura 14)**

Balanza, con precisión 0,1 g.



Figura 14. Balanza digital de 20 kg

- **Tanque de absorción (Figura 15)**

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.

- **Termohigrómetro (Figura 16)**

Registrador de datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) de Extech.



Figura 16. Termohigrómetro EXTECH

REACTIVOS Y/O MATERIALES

- Agua destilada o desionizada
- 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 °C y 115°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 °C \pm 8 °C, con una humedad relativa entre 30 y 70%., se colocaron 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 sumergieron completamente los especímenes en agua destilada a una temperatura entre 15,5 °C y 30 °C, durante 24 h (sin inmersión parcial preliminar). Manteniendo el nivel de agua 5 cm por encima de los especímenes que se están ensayando.

Finalmente se preparó el paño absorbente humectándolo y exprimiéndolo a mano, se colocó sobre una superficie plana y suavemente se secó cada lado de los especímenes uno a la vez.

Inmediatamente después de este procedimiento, se pesó cada espécimen m^4 y se registró los resultados en el formato de recolección de información manejado por el CIMAC para este ensayo.

El valor de m^4 se registró como masa húmeda del espécimen en el reporte interno.

4.3.3. 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 (Figura 13)**

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.

- **Cronómetro o Prensa de Flexión (Figura 17)**

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. Crometro (Prensa de presión).

MATERIALES

- Paño de limpieza
- Brocha o cepillo duro para limpiar el Crometro
- 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

- Norma Técnica Colombiana NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla 2008-05-23 ICONTEC.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos 200-10-25.

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) que se dan en la tabla 1 y 2 y de esta norma.

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 la 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 11 y 12, cuando se ensayan según el promedio descrito en la NTC 4017.

Tabla 11. 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 12. 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 de los Objetivos

5.1. Diagnóstico del Sector de Cascarilla de Arroz

La cascarilla del arroz que se desprende del secado de este popular alimento, podría convertirse en un insumo alternativo para la industria de la construcción. Una docena de investigadores de la Universidad del Valle (Univalle) logró que la vaina del cereal se convierta, mediante procesos químicos y térmicos, en una arcilla más resistente y menos porosa que las tradicionales. Estos ingenieros de materiales, que están haciendo pruebas desde hace más de una década, son pioneros en el país en obtener bloques de arcilla a partir de la cascarilla de arroz. (Bohórquez, 2005)

Tabla 13. Producción de arroz paddy en los últimos 20 años según la federación nacional de arroceros (Fedearroz)

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

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, según la tabla 13 esta zona es una de las regiones que tiene más producción de arroz a nivel nacional.

En el año 2008, el arroz en Colombia se cultivó en un área de 275.984 hectáreas (ha), que produjeron 2.480.875 toneladas métricas (Tm) de indica, esta variedad de arroz cuando es utilizada en los molinos se le conoce con el nombre de paddy verde, siendo esta la variedad cultivada por los agricultores por recomendación del CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). De estas toneladas de paddy verde se producen 793.880 toneladas métricas (Tm) de cascarilla de arroz. (DANE, 2009)

— *Consumo de arroz en Colombia*

El consumo de arroz se mide a partir del consumo per cápita en kilogramos de los habitantes de un país al año según cálculos del Observatorio Agrocadenas sobre información de la FAO para el año 2002, el consumo per cápita de arroz blanco en Colombia fue de 35,1 Kg/Hab. Este consumo es bajo si se considera que en el mundo el promedio es de 60 Kg/Hab. y se les compara con grandes productores y exportadores como Vietnam y Tailandia, quienes registran consumos de más de 250 Kg/Hab. al año.

En comparación con algunos países de América Latina, Colombia reporta niveles inferiores al consumo de países como Uruguay (156 Kg/Hab.) Ecuador (65 Kg/Hab.), Perú (51 Kg/Hab.) y Brasil (40 Kg/Hab.) (Food And Agriculture Organization of the United Nations, 2005)

En los últimos 15 años el consumo per cápita ha aumentado debido al crecimiento poblacional y a las condiciones propias del mercado, aunque en la actualidad el precio del cereal es un factor predominante para el consumidor final, el cual decide si consume el arroz de primera o segunda calidad (porcentaje de grano partido).

— *Costos de la producción de arroz en Colombia*

Los costos de producción del arroz en Colombia varían por las características agroecológicas de cada región y por el tipo de tecnología. Esta puede ser mecanizada, por la cual, una o varias operaciones del proceso son realizadas por una máquina y por un manual o chuzo, que es la que emplea únicamente mano de obra. Esta última es utilizada por pequeños sembradores y se caracteriza por su baja producción, ya que es usualmente utilizada para el sustento de la familia.

El tipo de riego es otro factor que influye notablemente en el costo. Este puede ser arroz de riego, donde el agua es provista por el hombre en cualquier momento, durante los 12 meses del año. Este tipo de riego es utilizado en su mayoría por los departamentos de Huila y Tolima, este tipo de riego requiere una alta inversión en los costos de arrendamiento. El segundo es el arroz seco, en donde el agua proviene de las lluvias, se caracteriza por tener canales de riego, es muy utilizada en los llanos orientales. Este tipo de arroz requiere una inversión mucho menor comparado con la de tipo riego en el costo de arrendamiento, aunque en otros costos el valor de la inversión es mayor; en promedio la inversión para ambos tipos de arroz es muy similar.

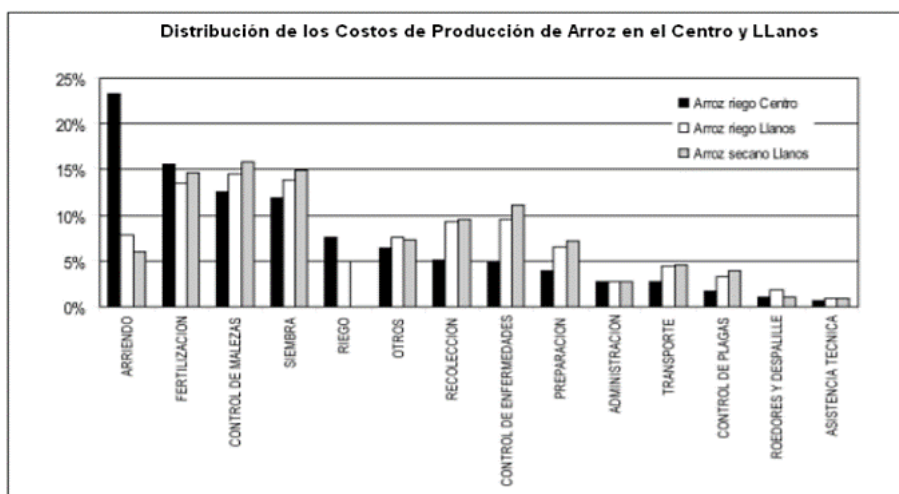
Los datos estadísticos del costo de la producción del arroz en Colombia son calculados por Fedearroz (Castilla, 2009). Esta federación ha dividido el país en dos zonas productivas:

- **Zona Centro**, donde se encuentran Huila, Tolima, Caquetá, Cundinamarca, Boyacá, Valle del Cauca y, Cauca. En esta zona se encuentra la mejor tecnología de sistema de riego del país.
- **Zona Llanos**, los departamentos con mayor producción que se encuentran en esta zona son Meta, Casanare y Arauca. Los dos primeros utilizan el sistema de arroz de riego y seco, mientras que Arauca utiliza el arroz seco.

En la gráfica 1, se encuentra la distribución en porcentaje de los costos de la producción de arroz,

por zonas y sistema de riego.

Gráfica 1. Distribución de los costos de producción de arroz



Fuente: (Espinal & Covaleda, 2007)

5.2. Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes de Cascarilla de Arroz a Nivel de Laboratorio

Este punto muestra el desarrollo de las mezclas de arcillas con la adición de los diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de cascarilla de arroz empleados para la elaboración de los ensayos de laboratorio, se caracterizaron mediante la realización de análisis físicos-cerámicos, con el fin de observar el comportamiento individual de cada una de ellas. Los ensayos se realizaron en el CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander y se mencionan a continuación:

- Contracción (seco y cocido).
- Perdidas de masa cocida.
- Pesos (húmedo, seco y cocido).
- Absorción de Agua.

➤ Procedimiento de Ensayos de Laboratorio realizados a las Muestras de Arcilla

Algunos de los ensayos considerados claves para establecer el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas fueron realizados siguiendo métodos internos de los laboratorios del CIMAC como se observa a continuación:

— *Contracción en Cocido*

Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados

- Calibrador pie de rey (+/- 0,01 mm)
- Recipiente
- Estufa de secado (± 5 °C)
- Horno Mufla
- Pinzas
- Guantes Industriales

Procedimiento

Los bloques a nivel de laboratorio se secaron completamente en una estufa a 110 °C, una vez secos, se midió la longitud de cada uno y se registró este valor (LS), posteriormente, se sometieron al ciclo de cocción correspondiente.

Finalmente, se volvió a medir la longitud de las probetas y se registró este valor (LC), la contracción se calculó a partir de la expresión:

$$\%CC = \frac{LS - LC}{LS} * 100$$

Dónde:

CC = contracción cocida (%)

LS = longitud del bloque seco (mm)

LC = longitud del bloque cocido (mm)

— ***Pérdida de masa en cocido***

Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados

- Balanza de precisión ($\pm 0,001$ g)
- Estufa de secado (± 5 °C)
- Horno Mufla
- Guantes industriales
- Pinzas
- Recipientes

Procedimiento

Los bloques a nivel de laboratorio se pesaron registrando el valor de dicha magnitud (masa en cocido, MC), y se realizó el siguiente cálculo para determinar el porcentaje de pérdida de masa.

Las pérdidas por calcinación se calculan a partir de la expresión:

$$PMC = \frac{ms - mc}{ms} * 100$$

Dónde:

PMC = perdidas de masa (%)

MS = masa de la pieza seca (g)

MC = masa de pieza cocida (g)

— ***Absorción de Agua***

Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados

- Balanza de precisión (+/- 0,01)
- Recipiente metálico
- Estufa eléctrica
- Paño absorbente
- Bandeja metálica
- Pinzas
- Agua desionizada o destilada
- Guantes industriales

Procedimiento

Se pesó cada bloque y se registró la masa inicial como m_1 , posteriormente se introducen en la estufa de secado, después de 24 h, se retiraron y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para posteriormente registrar esta masa como m_2 .

Se introdujeron los bloques a la estufa de secado y se mantuvieron durante 2 horas más, se retiraron y se dejaron enfriar a temperatura ambiente; se pesaron nuevamente y se registró la masa como m_3 . Se verificó si los bloques alcanzaron una masa constante, es decir, cuando la diferencia entre dos pesajes m_2 y m_3 , fuera menor que 0,2 %; de lo contrario se repetiría el procedimiento.

Cuando los bloques se enfriaron, se colocaron verticalmente, sin contacto entre ellos, en el tanque de absorción, de forma que existiera una altura de 5 cm de agua destilada por encima y por debajo de las piezas a través de todo el ensayo.

Seguidamente se sumergieron completamente los especímenes en agua destilada durante 24 h (sin inmersión parcial preliminar).

Finalmente se preparó el paño absorbente humectándolo y exprimiéndolo a mano, se colocó sobre una superficie plana y suavemente se secó cada lado de los especímenes uno a la vez.

Inmediatamente después de este procedimiento, se pesó cada bloque m_4 y se registraron los resultados.

- *Método de Ebullición:* Se colocan los bloques verticalmente, sin contacto entre ellos, en el recipiente metálico de forma que exista una altura de 5 cm de agua por encima y por debajo de las piezas a través de todo el ensayo. Se lleva el recipiente a la estufa y se calienta el agua hasta que ebulle y se continua con la ebullición durante 2 h. Se mantiene el nivel de agua 5 cm de las probetas que se están ensayando. Luego se retiran los bloques de la fuente de calor y se llevan a enfriamiento a temperatura ambiente, manteniéndolas completamente inmersa, durante 4 horas ± 15 min. Se prepara el paño absorbente humectándolo y exprimiéndolo. Se coloca sobre una superficie plana y suavemente se seca cada lado de la probeta una a la vez. Se golpean suavemente las superficies en relieve con el paño absorbente.

Inmediatamente después de este procedimiento, se pesa cada bloque (P2b) y se registran los resultados con la misma precisión que para el seco.

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)

Ph = masa del bloque húmedo (g)

Para la realización de los ensayos de laboratorio se establecieron 3 mezclas representadas en los siguientes porcentajes:

Tabla 14. Porcentaje de Cascarilla de arroz usado en cada mezcla de arcilla ensayada

MEZCLA	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 muestra de arcilla al 100%, utilizada como patrón, se determinó el porcentaje de absorción de agua y su resistencia mecánica a la compresión, con el fin de comparar los resultados con las mezclas elaboradas con cascarilla de arroz.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la arcilla al 100%:

Tabla 15. Resultados de Análisis Físico cerámico a 100% Arcilla

ENSAYO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	4,77% ± 0,01
	Contracción en Cocido (%CC)	3,00% ± 0,02
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	3,97% ± 0,04
	Peso Húmedo (g)	155,32 ± 0,05
	Peso Seco (g)	127,41 ± 0,05
	Peso Cocido (g)	122,36 ± 0,05

Para tener repetibilidad y reproducibilidad en los resultados se realizaron por triplicado según la Norma Técnica Colombia NTC 4017, obteniendo los siguientes resultados presentados en las

tablas 16, 17, 18, 19, 20 y 21, mostrando los ensayos de absorción de agua en las tablas (16, 17 y 18) y resistencia mecánica a la compresión en las tablas (19, 20 y 21).

Tabla 16. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 100% Arcilla

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	118,99	131,76	10,73

Tabla 17. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 100% Arcilla

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	118,28	131,60	11,3
2	119,92	133,45	11,3
3	120,74	134,45	11,4
4	114,86	127,76	11,2
5	146,14	162,49	11,2
Promedio de la muestra	123,99	137,95	11,26

Tabla 18. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 100% Arcilla

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	118,42	131,49	11,0
2	119,85	133,42	11,3
3	121,25	134,50	10,9
4	116,49	129,74	11,4
5	118,44	131,38	10,9
Promedio de la muestra	118,89	132,11	11,12

Tabla 19. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 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 20. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de 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 21. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de 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

Una vez obtenidos los resultados con la muestra de arcilla patrón al 100%, se procedió a añadirle los diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de cascarilla de arroz para evaluar su comportamiento físico-mecánico realizando al igual que con la mezcla patrón, los ensayos de

análisis físico-cerámico, absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión para cada porcentaje.

• **Resultados Obtenidos con 2,5% de Cascarilla de Arroz en Mezcla de Arcilla:**

A continuación, se presentan los resultados de los porcentajes de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión en los tres (3) lotes fabricados para esta investigación con el 2,5% de cascarilla de arroz en la mezcla de arcilla.

Tabla 22. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 2,5% de cascarilla de arroz

ENSAYO		RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	4,34%	± 0,01
	Contracción en Cocido (%CC)	1,11%	± 0,01
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	6,46%	± 0,02
	Peso Húmedo (g)	150,95	± 0,02
	Peso Seco (g)	123,59	± 0,02
	Peso Cocido (g)	115,60	± 0,02

Tabla 23. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 2,5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	117,26	130,84	11,6
2	113,52	126,39	11,3
3	115,21	128,26	11,3
4	115,20	128,69	11,7
5	117,76	131,16	11,4
Promedio de la muestra	115,79	129,07	11,47

Tabla 24. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 2,5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	116,59	130,12	11,6
2	113,65	126,69	11,5
3	116,51	130,18	11,7
4	114,78	127,88	11,4
5	113,47	127,29	12,2
Promedio de la muestra	115,00	128,43	11,68

Tabla 25. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 2,5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	115,29	129,04	11,9
2	115,55	128,40	11,1
3	114,57	127,79	11,5
4	115,70	130,73	13,0
5	113,84	126,90	11,5
Promedio de la muestra	114,99	128,57	11,81

Tabla 26. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 2,5% de cascarilla de arroz

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	78,05	26,25	47,62	2048,8	20,49	566,46	27,65
2	75,02	27,01	47,43	2026,3	20,26	717,00	35,38
3	75,82	26,70	47,27	2024,4	20,24	696,15	34,39
4	76,46	26,16	47,37	2000,2	20,00	877,19	43,86
5	78,56	26,27	47,11	2063,8	20,64	935,66	45,34
Promedio	76,78	26,48	47,36	2.032,69	20,33	758,49	37,32

Tabla 27. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 2,5% de cascarilla de arroz

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	78,46	27,00	47,33	2118,4	21,18	1.029,46	48,60
2	76,66	27,01	47,33	2070,6	20,71	482,50	23,30
3	78,28	26,21	47,46	2051,7	20,52	419,39	20,44
4	75,82	26,60	47,59	2016,8	20,17	600,23	29,76
5	75,29	27,07	47,47	2038,1	20,38	856,53	42,03
Promedio	76,90	26,78	47,44	2.059,13	20,59	677,62	32,83

Tabla 28. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 2,5% de cascarilla de arroz

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	74,53	26,57	47,46	1980,3	19,80	708,70	35,79
2	76,60	26,66	47,35	2042,2	20,42	644,04	31,54
3	75,76	26,54	47,46	2010,7	20,11	722,40	35,93
4	77,63	27,23	47,50	2113,9	21,14	583,63	27,61
5	75,22	26,56	47,44	1997,8	19,98	595,41	29,80
Promedio	75,95	26,71	47,44	2.028,96	20,29	650,83	32,13

• **Resultados Obtenidos con 5% de Cascarilla de Arroz en Mezcla de Arcilla:**

Tabla 29. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 5% de cascarilla de arroz

	ENSAYO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	3,08%	± 0,02
	Contracción en Cocido (%CC)	1,35%	± 0,02
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	8,41%	± 0,01
	Peso Húmedo (g)	147,51	± 0,05
	Peso Seco (g)	120,72	± 0,05
	Peso Cocido (g)	110,56	± 0,05

Tabla 30. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	110,08	125,19	13,7
2	113,03	128,40	13,6
3	112,70	128,27	13,8
4	106,60	121,14	13,6
5	108,91	123,70	13,6
Promedio de la muestra	110,26	125,34	13,67

Tabla 31. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	109,70	124,61	13,6
2	111,71	127,70	14,3
3	108,81	124,85	14,7
4	112,74	128,48	14,0
5	109,66	125,46	14,4
Promedio de la muestra	110,52	126,22	14,20

Tabla 32. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	108,52	124,39	14,6
2	112,74	129,09	14,5
3	107,49	122,37	13,8
4	106,62	121,87	14,3
5	108,37	123,53	14,0
Promedio de la muestra	108,75	124,25	14,25

Tabla 33. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 5% de cascarilla de arroz

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	74,75	26,32	47,96	1967,4	19,67	418,04	21,25
2	79,99	27,47	47,36	2197,3	21,97	589,04	26,81
3	79,69	26,52	47,75	2113,4	21,13	576,30	27,27
4	76,89	27,23	47,52	2093,7	20,94	652,73	31,18
5	75,59	26,34	47,73	1991,0	19,91	519,36	26,09
Promedio	77,38	26,78	47,66	2.072,58	20,73	551,09	26,52

Tabla 34. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 5% de cascarilla de arroz

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	73,91	26,46	47,82	1955,7	19,56	844,70	43,19
2	78,52	26,87	47,62	2109,8	21,10	642,30	30,44
3	74,01	26,79	47,82	1982,7	19,83	720,08	36,32
4	78,09	26,30	47,90	2053,8	20,54	438,30	21,34
5	76,15	26,23	47,80	1997,4	19,97	568,58	28,47
Promedio	76,14	26,53	47,79	2.019,88	20,20	642,79	31,95

Tabla 35. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 5% de cascarilla de arroz

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	108,52	27,78	48,17	3014,7	30,15	530,17	17,59
2	112,74	27,03	47,96	3047,4	30,47	741,12	24,32
3	107,49	26,76	47,69	2876,4	28,76	649,06	22,56
4	106,62	26,50	47,23	2825,4	28,25	537,31	19,02
5	108,37	26,45	47,50	2866,4	28,66	803,27	28,02
Promedio	108,75	26,90	47,71	2.926,06	29,26	652,19	22,30

• **Resultados Obtenidos con 7,5% de Cascarilla de Arroz en Mezcla de Arcilla:**

Tabla 36. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 7,5% de cascarilla de arroz

ENSAYO		RESULTADO INCERTIDUMBRE	
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	4,04%	± 0,01
	Contracción en Cocido (%CC)	1,55%	± 0,01
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	10,33%	± 0,02
	Peso Húmedo (g)	142,97	± 0,02
	Peso Seco (g)	115,15	± 0,02
	Peso Cocido (g)	103,25	± 0,02

Tabla 37. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 7,5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	104,83	123,79	18,1
2	108,73	127,77	17,5
3	101,13	118,95	17,6
4	101,66	118,97	17,0
5	100,62	118,40	17,7
Promedio de la muestra	103,39	121,58	17,58

Tabla 38. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 7,5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	103,63	121,42	17,2
2	100,36	117,67	17,2
3	103,45	121,26	17,2
4	101,74	119,80	17,8
5	104,15	121,28	16,4
Promedio de la muestra	102,67	120,29	17,17

Tabla 39. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 7,5% de cascarilla de arroz

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	104,60	121,88	16,5
2	101,31	121,48	19,9
3	106,70	123,96	16,2
4	104,37	123,30	18,1
5	103,95	123,29	18,6
Promedio de la muestra	104,19	122,78	17,87

Tabla 40. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 7,5% de cascarilla de arroz

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	75,27	26,22	47,53	1973,6	19,74	660,45	33,46
2	80,24	26,38	47,54	2116,7	21,17	455,67	21,53
3	73,46	26,31	47,95	1932,7	19,33	458,18	23,71
4	74,17	26,24	47,60	1946,2	19,46	463,39	23,81
5	73,35	26,10	47,78	1914,4	19,14	370,17	19,34
Promedio	75,30	26,25	47,68	1.976,74	19,77	481,57	24,37

Tabla 41. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 7,5% de cascarilla de arroz

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	74,51	26,14	47,73	1947,7	19,48	518,21	26,61
2	72,75	26,08	47,47	1897,3	18,97	396,62	20,90
3	75,99	26,08	47,68	1981,8	19,82	466,48	23,54
4	75,90	26,11	47,51	1981,7	19,82	429,43	21,67
5	74,90	26,11	47,89	1955,6	19,56	378,86	19,37
Promedio	74,81	26,10	47,66	1.952,84	19,53	437,92	22,42

Tabla 42. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 7,5% de cascarilla de arroz

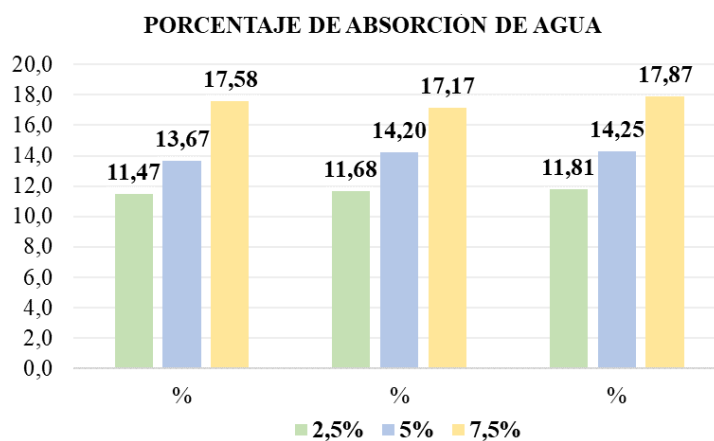
Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm ²]	Área neta del espécimen [cm ²]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm ²]
1	76,18	26,35	47,90	2007,3	20,07	373,65	18,61
2	74,71	26,24	47,56	1960,4	19,60	365,35	18,64
3	79,79	26,30	47,68	2098,5	20,98	317,10	15,11
4	71,99	26,37	47,70	1898,4	18,98	349,91	18,43
5	79,25	27,07	47,94	2145,3	21,45	413,21	19,26
Promedio	76,38	26,47	47,76	2.021,98	20,22	363,84	18,01

5.3. Evaluación del Bloque H-10 Desarrollado a Nivel de Laboratorio

El objetivo principal de este capítulo es realizar un análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio teniendo en cuenta lo estipulado en el capítulo 5.1 de la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 que especifica las propiedades físicas que deben cumplir los bloques de arcilla para construcción, apoyándose en las tablas de promedios de cantidad de absorción de agua y de resistencia mecánica a la compresión de los especímenes fabricados con el 100% de arcilla y con 2,5%, 5% y 7,5% de adición de cascarilla de arroz, así como las gráficas pertinentes de cada una.

• Análisis de resultados de ensayo de absorción de agua

Gráfica 2. Porcentaje promedio de absorción de agua en mezcla de arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de Cascarilla de Arroz



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

Así mismo, podemos ver que con todos los porcentajes utilizados se presenta un comportamiento estable, el cual aumenta progresivamente a medida que se agrega una mayor cantidad de cascarilla de arroz a la mezcla de arcilla.

Los resultados de la tabla 43 muestran las propiedades físicas de acuerdo al comportamiento individual de cada mezcla. El ensayo de absorción de agua se realizó por triplicado empleando el procedimiento indicado anteriormente con el fin de obtener resultados confiables que permitieron analizar de una manera más exacta los porcentajes obtenidos.

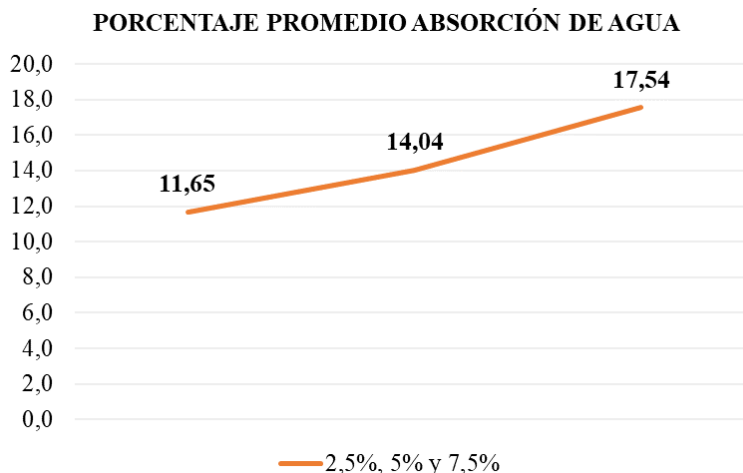
Tabla 43. Valores promedio de propiedades físicas de mezcla de arcilla con diferentes porcentajes de cascarilla de arroz en ensayo de absorción de agua

Porcentaje de Cascarilla de Arroz	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
2,5%	115,26	128,69	11,65
5,0%	109,85	125,27	14,04
7,5%	103,42	121,55	17,54

Se empleo los promedios de absorción de agua de los tres porcentajes en la gráfica 3, donde se evidencia una línea con tendencia creciente, lo cual indica que a medida que se agrega mayor porcentaje de 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

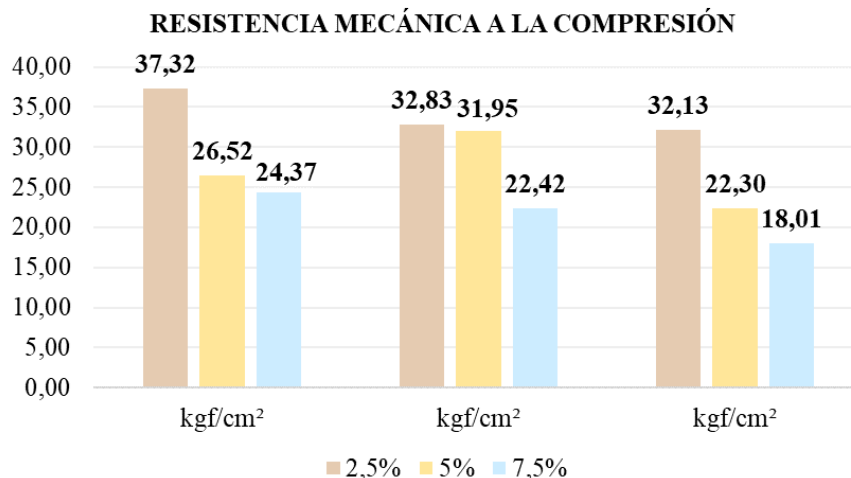
que se asientan o en las que se vayan a pañetar.

Gráfica 3. Datos promedio de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% de cascarilla de arroz en la mezcla de arcilla



• **Análisis de resultados de resistencia mecánica a la compresión**

Gráfica 4. Valores en kgf/cm² de resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de cascarilla de arroz

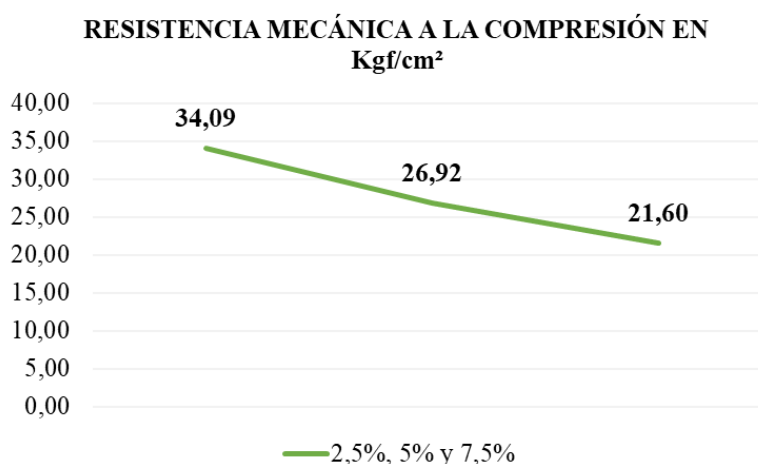


En la gráfica 4 podemos ver los valores en porcentaje de resistencia mecánica a la compresión en cada una de las mezclas con su respectiva cantidad de cascarilla de arroz, los valores de resistencia mecánica muestran una tendencia a disminuir cada vez que se utiliza un porcentaje mayor.

De acuerdo a lo anterior y según los resultados obtenidos, los especímenes elaborados en el laboratorio clasifican bajo la definición de bloques de perforación horizontal (PH) y según la tabla 2 del capítulo 5.1.2 de la norma técnica colombiana NTC 4205:2000, son de tipo no estructural, debido a que la resistencia mínima que deben soportar estos bloques en promedio (5 unidades) es de 30 Kgf/Cm² y 3,5 kgf/Cm² para una unidad.

Se empleo los promedios de resistencia mecánica a la compresión de los tres porcentajes en la gráfica 5, donde se evidencia una línea con tendencia decreciente, lo cual indica que a medida que se agrega mayor porcentaje de cascarilla de arroz a la mezcla de arcilla para fabricar bloques de construcción, menor será el porcentaje de resistencia mecánica a la compresión obtenido.

Gráfica 5. Valores promedio de resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de mezcla de arcilla con adición de 2,5%, 5% y 7,5% de cascarilla de arroz



En la gráfica 5 se evidencia que la mezcla de arcilla que cumple con lo que exige la norma es la elaborada con 2,5% de cascarilla de arroz, con un valor de resistencia mecánica a la compresión promedio (5 unidades) de 34,09 kgf/cm² y de 6,89 kgf/cm² por unidad, por el contrario, las mezclas elaboradas con 5% y 7,5% no alcanzaron a cumplir la resistencia mínima, obteniéndose valores promedio de 26,92 kgf/cm² y 21,60 kgf/cm² respectivamente.

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

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

Los parámetros de defectos superficiales y tolerancia dimensional se consideran satisfechos si al menos el 95 % del despacho o del lote cumple enteramente con los requisitos.

Tabla 44. Análisis comparativo de resultados

Ensayo	100% Arcilla	2,5% Cascarilla de Arroz	5% Cascarilla de Arroz	7,5% Cascarilla de Arroz	NTC 4205:2000 (Bloques No Estructurales)	
					Para uso Interior	Para uso Exterior
Absorción de Agua	11%	11,7%	14,0%	17,5%	17,0%	13,50%
Resistencia Mecánica a la Compresión	31,39 kgf/cm ²	34,09 kgf/cm ²	26,92 kgf/cm ²	21,60 kgf/cm ²	30 kgf/cm ²	30 kgf/cm ²
Contracción en Seco	4,77%	4,34%	3,09%	4,05%	-	-
Contracción en Cocido	3,00%	1,11%	1,36%	1,56%	-	-
Pérdida de Masa en Seco	17,93%	18,12%	18,16%	19,46%	-	-
Pérdida de Masa en Cocido	3,97%	6,46%	8,42%	10,33%	-	-

5.4. Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado Con Cascarilla de Arroz

A continuación, en la tabla 45 se detalla cada etapa del proceso productivo del bloque cerámico de una empresa que fabrica bloque H-10 para construcción.

Tabla 45. Descripción de actividades en proceso productivo de elaboración de bloque H-10

CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN		
N°	Actividad	Descripción
1	Arranque o corte de materia prima	Extracción de arcilla de la mina de la empresa, con maquinaria pesada tipo retroexcavadora.
2	Cargue de volquetas	A través de la retro se deposita la arcilla en las volquetas.
3	Transporte de materia prima a planta	Uso de volquetas que llevan la arcilla hasta el patio de la planta.
4	Supervisión del proceso de explotación	Verificación del proceso en mina y del tiempo de trabajo de la maquinaria.

CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN		
N°	Actividad	Descripción
5	Acomodo de materia prima en zona de molienda	Disposición de la arcilla de forma adecuada, uso de cargador para el proceso.
6	Supervisión operaciones del centro; vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
CENTRO DE COSTO DE MOLIENDA Y ALMACENAMIENTO		
1	Transporte de arcilla a cajón alimentador	Acercar la arcilla de forma manual hasta el cajón alimentador.
2	Llenado de cajón alimentador	Alimentar el cajón mediante el trabajo de operarios con palas.
3	Molienda de la arcilla	El sistema de molienda, conformado por el funcionamiento del cajón alimentador, banda transportadora y molino de martillos, permiten reducir el tamaño de grano de la arcilla. Funcionamiento con energía eléctrica.
4	Tamizado de la arcilla	El sistema de tamizado, lo conforma el elevador de cangilones, banda transportadora y tamiz, funcionamiento automático, movido por energía eléctrica.
5	Transporte y almacenamiento de materia prima molida	La arcilla que pasa el tamiz es llevada a los silos de almacenamiento mediante una banda movida con energía eléctrica, este material se almacena hasta ser requerido.
6	Lubricación y mantenimiento de maquinas	Mantener en disponibilidad el equipamiento, cambio de martillos, aplicación de grasa en rodamientos, reparación de malla del tamiz.
7	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
CENTRO DE COSTO DE EXTRUSIÓN		
1	Preparación de maquinas	Limpieza de residuos del día anterior, cambios de boquilla, alambres y lubricación de mesas de corte.
2	Transporte de arcilla a amasador	Una banda transportadora impulsada con energía eléctrica lleva la arcilla desde el silo hasta la amasadora.
3	Humectación de la arcilla	Mediante un equipo que funciona con energía eléctrica, la arcilla se mezcla con el agua hasta alcanzar un grado de homogenización.

CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN		
N°	Actividad	Descripción
4	Extrusión de la arcilla	En el equipo de extrusión se coloca la boquilla de bloque o teja española, que da la forma parcial al producto.
5	Corte de material	En el caso de la teja española se requiere la manipulación de un operario de la máquina de corte.
6	Acomodo de las pieza en carretas o estibas	Las piezas cortadas son acomodadas por los operarios en carretas para su posterior transporte.
7	Lubricación y mantenimiento de maquinas	Mantener en disponibilidad los equipos, lubricación, cambio de hélice y dados.
8	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
CENTRO DE COSTO DE SECADO		
1	Transporte de material a patios de secado	Las carretas cargadas por los operarios de extrusión son llevadas a los patios de secado, ya sea cargadas con bloque o con tejas en estibas.
2	Endague del bloque o de estibas	El material una vez en patio de secado, es acomodado para que las condiciones ambientales actúen y la pieza pueda secarse.
1	Caracoleo del bloque/asoleado de las tejas	El secado natural no es homogéneo, por tanto se requiere cambiar de posición las piezas, las tejas son puestas al sol para acelerar el proceso.
2	Almacenamiento de tejas secas y de estibas	Las tejas una vez secas se retiran de las estibas y se almacenan de forma temporal para ser llevadas al horno, las estibas se llevan a la zona de extrusión.
3	Limpieza de material de rotura	El material no conforme, es llevado hacia la zona de molienda, para su reproceso.
4	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
CENTRO DE COSTO DE COCCIÓN		
1	Llenado de carretas y transporte a los hornos	El material seco se carga en las carretas y se lleva a los hornos, para su posterior acomodo
2	Endague del material en el horno	El material llevado al horno se acomoda, de forma especial para cada tipo de producto elaborado, al final de la etapa se cierran las puertas del horno con bloques o ladrillos macizos y se recubren con barro para no dejar agujeros.

CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN		
N°	Actividad	Descripción
3	Quema	Comprende el cargue del carbón hacia el horno, llenar las hornillas y encender el carbón, revisión y control de la temperatura.
4	Enfriamiento	Abertura controlada de las puertas del horno, encendido y ubicación de ventiladores.
5	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
CENTRO DE DESCARGUE, SELECCIÓN Y ALMACENAMIENTO		
1	Cargue de carretas y transporte a patio	Ubicación del material en carretas para ser llevado al patio de almacenamiento, el horno debe dejarse limpio para una próxima quema
2	Clasificación de material	Selección del material que se lleva a patio de acuerdo a los criterios de calidad de la empresa.
3	Almacenamiento	Ubicación del material en módulos o secciones de acuerdo a los criterios de calidad.
4	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
CENTRO ADMINISTRATIVO		
1	Dirección de la planta	Ubicación del material en carretas para ser llevado al patio de almacenamiento, el horno debe dejarse limpio para una próxima quema
2	Procesos contables	Selección del material que se lleva a patio de acuerdo a los criterios de calidad de la empresa.
3	Supervisión de ventas	Ubicación del material en módulos o secciones de acuerdo a los criterios de calidad.
4	Procesos de compra y logística	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
5	Seguridad y vigilancia de las instalaciones	Resguardo de las instalaciones de la empresa y de los inventarios de producto terminado.

5.4.1. Determinación de las relaciones entre costo y actividad

Una vez establecido las diferentes actividades del proceso productivo y los componentes del costo, se determinó la relación existente entre sí mostrada en la tabla 46.

Tabla 46. Componente del costo vs actividad

Componente de Costo	Actividad
	Molienda y tamizado de arcilla
	Transporte a silos
	Transporte a amasador
Energía eléctrica	Extrusión de la arcilla
	Corte de material bloque
	Enfriamiento del horno
	Iluminación y confort
Agua	Humectación de la Arcilla
	Acueducto
Telefonía	Compra de materiales, atención al cliente, Contacto interno
ACPM	Lubricación durante extrusión
	Quema
Lubricante	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Molienda de arcilla
Repuestos	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Secado
	Quema
Repuestos	Mobiliario oficina
	Adecuaciones planta
	Molienda de arcilla
Arriendo	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	-Galpón planta distribuido a todas las actividades menos explotación
	-Carretas en transporte a secado
	-Carretas transporte horno
Depreciación	-Carretas transporte a almacenamiento
	-Estibas en transporte a secado
	-Hornos durante la Quema
	-Equipo de taller a todas las actividades menos explotación
	-Equipo oficina en actividades administrativas
Carbón	Quema

Componente de Costo	Actividad
Implementos de seguridad	Molienda de arcilla
	Humectación
	Quema
	Explotación
	Supervisión
Impuestos	Arranque de materia prima
	Molienda de Arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Secado
Mantenimiento	Quema
	Almacenamiento
	Todos los centros
Palas	Molienda
Alambre de corte	Quema
Dados Boquilla	Corte de Material Extruido
Mano de Obra Indirecta	Extrusión
	Molienda de Arcilla
	Supervisión Explotación
	Molienda de arcilla
	Extrusión de la arcilla
	Secado de productos
	Quema
	Selección
	Lubricación equipos
	Administrativos
Papelera	Actividades Contables y Comerciales
Análisis Isocinéticos	Quema
Materia Prima	Arranque de materia prima
Servicio Retroexcavadora	Arranque de materia prima
Servicio de Volquetas	Transporte a Planta
Alquiler Cargador	Acomodo de materia prima en Galpón

Tabla 47. Consolidado de los costos de las actividades de producción en el periodo analizado

Actividades	Código	Marzo (\$)
Arranque de materia prima y cargue	A	\$ 5,064,210.7
Transporte a planta	B	\$ 1,800,366.5
Acomodo de materia prima en galpón	C	\$ 371,279.2
Llenado cajón alimentador	D	\$ 2,888,244.0
Molienda y tamizado	E	\$ 6,885,102.8

Actividades	Código	Marzo (\$)
Humectación -extrusión	F	\$ 8,067,766.7
Corte y acomodo de piezas	G	\$ 2,958,206.0
Transporte a patio de secado	H	\$ 2,114,270.1
Caracoleo	I	\$ 718,733.7
Transporte y acomodo en horno	J	\$ 2,369,245.5
Quema	K	\$ 19,919,222.9
Descargue y transporte	L	\$ 1,312,014.3
Clasificación y almacenamiento	M	\$ 1,328,270.3
Actividades gerenciales	N	\$ 1,603,528.5
Actividades contables. comerciales y de apoyo	O	\$ 1,464,811.5
Total		\$ 58,865,272.7

Costo del bloque

Costo - Producción \$ 58.865.272,7

Producción de Bloque 180.000 Unidades

Costo Bloque \$ 327,02

Tabla 48. Costo del Bloque utilizando cascarilla de arroz

Actividad	Código	Precio Marzo 2021 (\$)
Arranque de materia prima y cargue	A	\$ 4.500.000,0
Almacenamiento de Cascarilla de Arroz	A1	\$ 1.000.000,0
Transporte a planta	B	\$ 1.500.000,0
Transporte de Cascarilla de Arroz	B1	\$ 800.000,0
Acomodo de materia prima en galpón	C	\$ 400.000,0
Molienda y trituración de la Cascarilla de Arroz	C1	\$ 2.000.000,0
Llenado cajón alimentador	D	\$ 288.244,0
Molienda y tamizado	E	\$ 6.885.102,8
Humectación -extrusión	F	\$ 8.067.766,7
Corte y acomodo de piezas	G	\$ 2.958.206,0
Transporte a patio de secado	H	\$ 2.114.270,1
Caracoleo	I	\$ 718.733,7
Transporte y acomodo en horno	J	\$ 2.369.245,5
Quema	K	\$ 19.919.222,9
Descargue y transporte	L	\$ 1.312.014,3
Clasificación y almacenamiento	M	\$ 1.328.270,3
Actividades gerenciales	N	\$ 1.603.528,5
Actividades contables. comerciales y de apoyo	O	\$ 1.464.811,5
Total		\$ 59.229.416,3

Costo del Bloque Usando Cascarilla de Arroz

Costo - Producción	\$ 59.229.416,3
Producción de Bloque	180.000 Unidades
Costo Bloque	\$ 329,05

6. Conclusiones

— Se determinó mediante los principios mecánicos y físicos que la cascarilla de arroz puede constituirse en un sustituto de los agregados en la elaboración de bloques H-10 para construcción, dando oportunidad a un producto menos contaminante para el medio ambiente y al mismo tiempo innovador.

— Después de analizados los resultados de los ensayos de laboratorio elaborados a los tres porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de cascarilla de arroz utilizados en la mezcla de arcilla, se determinó que la mezcla que mejor comportamiento físico-mecánico tuvo fue la realizada con 2,5% de cascarilla, con un porcentaje de absorción de agua promedio (5 unidades) de 11,7% y una resistencia mecánica a la compresión promedio de 34,09% kgf/cm^2 cumple con lo estipulado en la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 para clasificar el bloque como no estructural de uso tanto para interiores como exteriores.

— Se concluye también que hacer el bloque con 2,5% de cascarilla de arroz tiene un incremento en costos muy mínimo de \$2.03 por bloque, es decir un costo de \$364.144 mensuales para una producción de 180.000 bloques, lo cual resulta viable desde el punto de vista económico y de protección del medio ambiente, teniendo en cuenta que estos bloques requieren de 6.76 g menos de arcilla 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 realizó las pruebas mecánicas de resistencia y se eligió como apto y calificado para construcción al bloque con 2,5% de cascarilla de arroz, por obtener mayor resistencia que los otros dos porcentajes analizados, y un peso de 1.18 grs/cm^3 más liviano que los bloques con 100% de arcilla cuyo peso es de 1.34 grs/cm^3 , superándolos notablemente.

7. Recomendaciones

- La investigación realizada da una solución a la problemática de los centros de acopio que no tienen establecida una disposición final de la cascarilla del arroz y generarle un valor agregado a esta, adicionalmente se estaría produciendo un material innovador que sería complemento de la arcilla y de esta forma reducir en algún grado el alto impacto ambiental que provoca extraerla.
- Se recomienda que se debería impulsar otros proyectos investigativos de residuos que contaminen el ambiente, como el bagazo de caña de azúcar y que puedan ser reutilizados en diferentes aspectos relacionados con construcciones sostenibles.
- Se debería continuar realizando pruebas físicas con otros porcentajes no mayores al 3% a los bloques ecológicos elaborados con cascarilla de arroz para conocer su capacidad como aislantes acústicos y térmicos.

8. Referencias Bibliográficas

Águila, I., & Sosa, M. (Diciembre de 2008). *Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos*. Obtenido de Revista Scielo:

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000400006

Águila, M. S. (2008). *Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos*.

Obtenido de Repositorio Universidad Central de Venezuela:

http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/5078

Arcos, C. A., Pinto, D. M., & Páez, J. E. (Septiembre de 2007). *La cascarilla de arroz como fuente de SiO₂*. Obtenido de Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia:

<https://www.redalyc.org/pdf/430/43004102.pdf>

Beckhoff, B. K. (2006). *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Obtenido de

https://books.google.com.co/books?id=c6d8EPYHn1EC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Bertin, E. P. (1970). *Principles and Practice of X-ray Spectrometric Analysis*. Springer.

Obtenido de <https://www.springer.com/gp/book/9781461344186>

Bohórquez, C. (2005). *Científicos que convierten cáscara de arroz en concreto*. Obtenido de Periódico El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1627010>

Buhrke, V. E. (1998). *A Practical Guide for the Preparation of Specimens for XRF and XRD*

Analysis. Wiley. Obtenido de <https://www.wiley.com/en->

[ao/A+Practical+Guide+for+the+Preparation+of+Specimens+for+X+Ray+Fluorescence+and+X+Ray+Diffraction+Analysis-p-9780471194583](https://www.wiley.com/en-ao/A+Practical+Guide+for+the+Preparation+of+Specimens+for+X+Ray+Fluorescence+and+X+Ray+Diffraction+Analysis-p-9780471194583)

Camargo, J. V. (2005). *Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz*. Obtenido de Revista El Hombre y La Maquina: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47802513>

Castells, X. E. (2000). *Reciclaje de Residuos Industriales*. Obtenido de books google: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oA7ndthNMYQC&oi=fnd&pg=PA242&dq=La+fabricaci%C3%B3n+de+ladrillos+de+arcilla+son+unos+de+los+causantes+de+esmog+siendo+uno+de+los+graves+problemas+de+contaminaci%C3%B3n+para+la+grandes+ciudades,+esto+se+debe+al+m%>

Castilla, A. (2009). *Induarroz*. Obtenido de Entrevista.

Cerdá, E., & Khalilova1, A. (2016). *Economía Circular*. Obtenido de mincotur: <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>

Chang, X. F. (07 de Diciembre de 2017). *Modelo predictivo del proceso de combustión de la cascarilla de arroz*. Obtenido de Repositorio Dspace: <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41779>

Construmática . (2019). *Densidad Aparente*. Obtenido de Construmática: https://www.construmatica.com/construpedia/Densidad_Aparente

Cortéz, E. N., & Zuta, G. S. (2020). *Diseño de ladrillo de arcilla artesanal con adición de ceniza de cascarilla de arroz para viviendas unifamiliares, Rioja - 2020*. Obtenido de Repositorio Universidad César Vallejo, Perú: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55302>

Cruz, A. E., Bernabeu, J. P., Rosado, M. V., Martínez, L. S., & Balbuena, J. M. (2015).

ESTUDIO DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND CON CENIZA DE RASTROJO

- DE MAÍZ: POSIBILIDADES DE USO EN CONSTRUCCIONES RURALES* . Obtenido de Repositorio de Universitat Politècnica de València :
<https://www.redalyc.org/pdf/911/91142868006.pdf>
- DANE. (Enero de 2009). *MUESTRA NACIONAL DE ARROZ MECANIZADO*. Obtenido de Boletín DANE:
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_IIsem08.pdf
- Díaz, L. A., & Torrecillas, R. (septiembre de 2002). *Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones*. Obtenido de digital csic:
<https://digital.csic.es/handle/10261/4676>
- Espinal, C., & Covaleda, H. (Marzo de 2007). . *La cadena de arroz en Colombia, una mirada global de su estructura dinámica 1991-2005*. Obtenido de Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18804>
- Food And Agriculture Organization of the United Nations. (2005). *Producción de arroz*. Obtenido de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2005/7538-es.html>
- Gomez, I. M., & Navarro, D. C. (2017). *DISEÑO ESTRUCTURAL PARTICIPATIVO CON DESECHOS ORGÁNICOS, UNA ALTERNATIVA PANAMEÑA PARA COLOMBIA*. Obtenido de Repositorio Universidad Catolica de Colombia, Facultad de Ingenieria, Bogotá D.C.:
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14492/4/tesis%20Rv1.pdf>
- Gonzalez, L. V., Gómez, S. P., & Abad, P. A. (2017). *Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales en Colombia*. Obtenido de dialnet:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285350>
- Guarin, A. S., Molina, J. S., & Diaz, J. C. (2017). Uso de nutrientes tecnológicos como materia

- prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular. *Respuestas*, 22(1), 6-16. doi:<https://doi.org/10.22463/0122820X.815>
- Guggenheim, S., & Martín, R. T. (1995). *DEFINITION OF CLAY AND CLAY MINERAL: JOINT REPORT OF THE AIPEA NOMENCLATURE AND CMS NOMENCLATURE COMITEES*. Obtenido de siteseerx:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1018.2128&rep=rep1&type=pdf>
- Izquierdo, E. F., & Martínez, G. L. (2021). *Economía Circular: fundamentos y aplicaciones*. Aranzadi S.A.U.
- Jenkins, R. (1999). *X-ray Fluorescence Spectrometry*. Wiley. Obtenido de <https://www.wiley.com/en-gb/X+Ray+Fluorescence+Spectrometry%2C+2nd+Edition-p-9780471299424>
- Molina, J. S. (2018). *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Obtenido de Repositorio Universidad de Jaén, España: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=255298>
- Molina, N. F., Tarifa, O. I., & Mendoza, L. V. (2015). *Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural*. Obtenido de Ciencia e Ingeniería Neogranadina: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1434>
- Ordóñez, S. Q. (2014). *Sustancias químicas de uso cotidiano las cuales son tóxicas y dañan el medio ambiente*. Obtenido de uaeh edu: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n1/m13.html>
- Ospina, M., Gutierrez, R., Delvasto, S., & Monzó, J. P. (2009). Modificación de la morfología de

- la ceniza de cascarilla de arroz por molienda de altas energías y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento portland adicionadas. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 2, 577-584. Obtenido de <https://www.rlmm.org/archives.php?f=/archivos/S01/N2/RLMMArt-09S01N2-p577.pdf>
- Pérez, G. C. (Octubre de 2010). *EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGÁNICO EN MORTEROS DE MAMPOSTERÍA*. Obtenido de Repositorio Universidad de San Carlos de Guatemala: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3173_C.pdf
- Plaza Canchingre, E. L., & Posligua Chica, E. P. (Julio de 2006). *Obtención de furfural a partir de la cáscara de arroz*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/867>
- Porto, J. P., & Gardey, A. (2010). *Definición de Reciclaje*. Obtenido de definición de: <https://definicion.de/reciclaje/>
- Porto, J. P., & Gardey, A. (2011). *Definición de Ladrillo*. Obtenido de definición de: <https://definicion.de/ladrillo/>
- Porto, J. P., & Merino, M. (2015). *Definición de arcilla*. Obtenido de definición de : <https://definicion.de/arcilla/>
- Quintero, A. F., & Rico, J. C. (2014). *Diseños de mezclas de Hormigón por el metodo A.C.I y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión*. Obtenido de Repository: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quiroga, C. D. (2017). *ANÁLISIS FÍSICO Y MECÁNICO DEL LADRILLO MACIZO “TOLETE*

COMÚN” PRODUCIDO EN LOS CHIRCALES ALEDAÑOS A LA CIUDAD DE TUNJA.

Obtenido de Repositorio Universidad Santo Tomas, Facultad de Ingeniería Civil, Tunja:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33706/Trabajo%20principal..pdf?sequence=1>

Ramos, Y. T., & Rodríguez, J. R. (2018). *Propuesta para la fabricación de adoquines en*

mortero mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción en la ciudad de

Girardot en el departamento de Cundinamarca. Obtenido de Repositorio Corporación

Universitaria Minuto de Dios, Girardot, Cundinamarca:

https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/7195/T.IC_RestrepoRamosTenniferTatiana_.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rendón, D. M., Ospina, M. Á., & Gutiérrez, R. M. (10 de Julio de 2009). *Evaluación de la Silice*

obtenida de un subproducto industrial en pastas y morteros de cemento Portland.

Obtenido de Revista Informador Técnico, SENA:

http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/752

Riaño, J. S. (2016). *Modelamiento Geológico Minero y Cálculo de Reservas de la Mina Támesis*

I en las Veredas de Agualinda y Juan Frío, de los Municipios de Los Patios y Villa del

Rosario, Norte de Santander. Obtenido de cloudfront:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MINERO_TAMESIS_I-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1629515370&Signature=bNDAbLlwDumQTJcGpctLrsKba9wmUvHzWqvAEQAVPqVI~3kHUgebPQjCKcuFey0FvPnaL59K2siN9dk63Wzf90f-Za--YGU4f3JjUqKnvGAjm6IrXop0

Rojas, C. L. (2020). *Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (Oriza sativa) en Colombia*

- para el mejoramiento del sector productivo y la industria*. Obtenido de Repositorio Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD:
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33698/cllozanor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de Observatorio:
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Serrano, T., Borrachero, V., Monzó, J., & Payá, J. (07 de Julio de 2012). *Morteros ligeros de cáscara de arroz*. Obtenido de Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil – Universitat Politècnica de València:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34217/MORTEROS%20ALIGERADOS%20CON%20CASCARILLA%20DE%20ARROZ%20%20DISE%c3%91O%20DE%20MEZCLAS%20Y%20EVALUACI%c3%93N%20DE%20PROPIEDADES.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Tovar, N. G. (2013). *Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la vereda el mochuelo bajo, ciudad bolivar, Bogotá D.C.* Obtenido de repository:
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12467/GarzonTovarLigiaNathalya2013.pdf;sequence=1>
- Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. P. (Diciembre de 2007). *Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz*. Obtenido de Repositorio Universidad Tecnológica de Pereira :
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4055/2213>

- Vargas, A. O., Molina, J. S., & Meneses, D. S. (2018). *Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional*. Obtenido de Scielo:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372018000200133
- Vásquez, R., & Bach, P. (2000). *Las cenizas de cáscara de arroz; adición puzolánica en cemento y concreto*. Obtenido de Repositorio Universidad De Piura, Perú.
- Villada, D. Q., & Gutiérrez, M. Y. (2010). *Alternativas Tecnológicas para el Uso de la Cascarilla de Arroz Como Combustible*. Obtenido de Repositorio Universidad Autonoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Calí, Colombia:
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/1327/TME00462.p?sequence=1>
- Zapata, L. J., & Montoya, A. C. (2020). *Elaboración de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz y matrices termoplásticas*. Obtenido de dspace:
<https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/928>