

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

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): ANDRÉS FELIPE APELLIDOS: RUIZ JIMÉNEZ

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JAVIER ALFONSO APELLIDOS: CÁRDENAS GUTIÉRREZ

CO-DIRECTOR:

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

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

RESUMEN

Este proyecto se basó en la evaluación de mezclas de arcilla adicionando hojas de árboles para la fabricación de bloques de construcción. Para ello, se implementó una investigación aplicada de tipo exploratoria y descriptiva. La información se obtuvo mediante una observación directa del nutriente. La población y muestra correspondió a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque. Se realizó un diagnóstico del sector de hojas de árbol donde se desarrolló el producto utilizando diferentes porcentajes a nivel de laboratorio. Posteriormente, se evaluó el producto desarrollado a nivel de laboratorio. Finalmente, se estableció una comparación entre los costos del producto normal y los costos del producto utilizando la mezcla con hojas de árbol.

PALABRAS CLAVE: evaluación de mezclas, arcilla, hojas de árboles, bloque, costos del producto.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 150 PLANOS: _____ ILUSTRACIONES: _____ CD ROOM: 1

Copia No Controlada

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO HOJAS DE ÁRBOL PARA
LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

ANDRÉS FELIPE RUIZ JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO HOJAS DE ÁRBOL PARA
LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

ANDRÉS FELIPE RUIZ JIMÉNEZ

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

Ingeniero Civil

Director:

JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ

Magister en Administración de Empresas

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 21 DE OCTUBRE DE 2021 HORA: 8:00 a. m.

LUGAR: VIDEOCONFERENCIA – GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO DE LA TESIS: "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO HOJAS DE ÁRBOL PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN".

JURADOS: ING. CARMEN TERESA MEDRANO LINDARTE
ING. MIGUEL ANGEL BARRERA MONSALVE

DIRECTOR: INGENIERO JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ.

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CÓDIGO	CALIFICACIÓN
	NÚMERO	LETRA
ANDRÉS FELIPE RUIZ JIMÉNEZ	1113743	4,4 CUATRO, CUATRO

A P R O B A D A


ING. CARMEN TERESA MEDRANO LINDARTE


ING. MIGUEL ANGEL BARRERA MONSALVE

Vo. Bo.


JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.



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

San José de Cúcuta, 18 de Noviembre de 2021

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

Andrés Felipe Ruiz Jiménez, identificado(s) con la C.C. N.º 1.090.491.079, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO HOJAS DE ÁRBOL PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de ingeniero 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.

ANDRÉS FELIPE RUIZ JIMÉNEZ
1.090.491.079

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, el ingeniero Javier Cárdenas y codirector, el ingeniero Jorge Sánchez, para poder realizar los laboratorios en el centro de investigación de materiales cerámicos (CIMAC) y así mismo a la Ing. Leidy Peñaloza por su dedicación y sus valiosas recomendaciones, y por ultimo quiero agradecer a todos aquellos profesores que dedican su tiempo a enseñar sus conocimientos en la universidad.

Contenido

	pág.
Introducción	20
1. Problema	22
1.1 Título	22
1.2 Planteamiento de Problema	22
1.3 Formulación del Problema	23
1.4 Objetivos	23
1.4.1 Objetivo general	23
1.4.2 Objetivos específicos	23
1.5 Justificación	24
1.6 Alcances y Limitaciones	25
1.6.1 Alcances.	25
1.6.2 Limitaciones	25
1.7 Delimitaciones	25
1.7.1 Delimitación espacial	25
1.7.2 Delimitación temporal	25
1.7.3 Delimitación conceptual	26
2. Marco Referencial	27
2.1 Antecedentes y Estado del Arte	27
2.1.1 Antecedentes internacionales	27
2.2 Marco Teórico	29
2.3 Marco Conceptual	32
2.4 Marco Contextual	36

2.5 Marco Legal	36
3. Diseño Metodológico	38
3.1 Tipo de Investigación	38
3.2 Población y Muestra	39
3.2.1 Población	40
3.2.2 Muestra	40
3.3 Instrumentos para la Recolección de Datos	40
3.3.1 Fuentes primarias	40
3.3.2 Fuentes secundarias	44
3.4 Fases y Actividades Específicas	44
4. Metodología	45
4.1 Materias Primas Empleadas	45
4.1.1 Arcilla	45
4.1.2 Nutriente tecnológico	51
4.2 Proceso de Conformado	59
4.3 Ensayos Realizados	64
4.3.1 Análisis físico-cerámico	64
4.3.2 Determinación de la absorción de agua en unidades de mampostería	65
4.3.3 Determinación de la resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería	69
4.4 Normas Aplicadas	71
5. Desarrollo de los Objetivos	74
5.1 Realizar un Diagnóstico del Sector de Hojas de Árbol	74
5.2 Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes del Nutriente a Nivel	

de Laboratorio	79
5.2.1 Dimensiones de los especímenes en los diferentes porcentajes de mezcla de arcilla	79
5.2.2 Textura y color	80
5.2.3 Número de especímenes a analizar	81
5.2.4 Análisis físico-cerámico por extruido a 100% de mezcla de arcilla	82
5.2.5 Absorción de agua a 100% mezcla de arcilla	87
5.2.6 Resistencia mecánica a la compresión a 100% mezcla de arcilla	89
5.2.7 Análisis físico-cerámico por extruido a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	92
5.2.8 Absorción de agua a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	95
5.2.9 Resistencia mecánica a la compresión a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	96
5.2.10 Análisis físico-cerámico por extruido a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	98
5.2.11 Absorción de agua a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol.	100
5.2.12 Resistencia mecánica a la compresión a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol.	101
5.2.13 Análisis físico-cerámico por extruido a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	103
5.2.14 Absorción de agua a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	105
5.2.15 Resistencia mecánica a la compresión a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	106
5.3 Evaluación del Bloque H-10 Desarrollado a Nivel de Laboratorio	107

5.3.1	Análisis de variables de ensayo físico-cerámico por extrusión	108
5.3.2	Análisis de resultados de ensayo de absorción de agua	110
5.3.3	Análisis de resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión	113
5.3.4	Análisis comparativo de resultados de ensayos de laboratorio a mezcla de arcilla con diferentes porcentajes de hojas de árbol	115
5.4	Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado Con Hojas de Árbol	116
5.4.1	Análisis de Actividades de la Empresa “X”. El centro de costo	116
5.4.2	Determinación de las relaciones entre costo y actividad	120
5.4.3	Cálculo del costo por actividades en la empresa “X”	123
5.4.4	Costo del centro de molienda y tamizado en el periodo analizado	124
5.4.5	Costos del centro de cocción	126
5.4.6	Costos del centro de selección y almacenamiento	127
5.4.7	Costos del centro administrativo	128
5.4.8	Costo del bloque H-10 usando 100% arcilla	129
5.4.9	Costo del bloque usando 2,5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla	131
6.	Conclusiones	132
7.	Recomendaciones	134
	Referencias Bibliográficas	135
	Anexos	149

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. Formato de ensayo de absorción de agua en unidades de mampostería del CIMAC	41
Figura 2. Formato de ensayo de resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería del CIMAC	42
Figura 3. Formato análisis físico-cerámico por extruido en unidades de mampostería del CIMAC	43
Figura 4. Diagrama de Procesos de fases y actividades específicas de la investigación	44
Figura 5. Mapa de localización de la mina Támesis 1	47
Figura 6. Frente de explotación de la arcilla	48
Figura 7. Análisis comparativo por difracción de rayos-x de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra	51
Figura 8. Árbol de neem (Azadirachta indica A Juss)	53
Figura 9. Composición química de las hojas de neem	54
Figura 10. Árbol de Guayacán Carrazo	55
Figura 11. Hojas del árbol Picus	57
Figura 12. Hojas del árbol Oití	58
Figura 13. Extrusora de laboratorio con vacío	61
Figura 14. Apisonador de la arcilla (tritador)	61
Figura 15. Molino de martillo (molienda vía seca)	62
Figura 16. Tamiz malla 10 (tamizado)	62
Figura 17. Estufa de 128 litros	63
Figura 18. Horno mufla	63
Figura 19. Pie de rey digital de 200 mm	64

Figura 20. Balanza digital de 20 kg	66
Figura 21. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión	67
Figura 22. Termohigrómetro EXTECH	67
Figura 23. Crometro (prensa de presión)	70
Figura 24. Recolección de hojas secas	76
Figura 25. Molino de martillos	77
Figura 26. Molino de bolas	77
Figura 27. Molienda de hojas secas en molino de bolas	78
Figura 28. Tamizado de molienda en tamiz No.30	78
Figura 29. Porcentaje promedio de absorción de agua en mezcla de arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol	110
Figura 30. Datos promedio de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla	112
Figura 31. Valores en kgf/cm ² de resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol	113
Figura 32. Valores promedio de resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de mezcla de arcilla con adición de 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol	114
Figura 33. Costos de energía eléctrica en los centros de costo durante el periodo analizado	125
Figura 34. Costo de la mano de obra directa en el centro de extrusión	125

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Composición estructural del material arcilloso	48
Tabla 2. Resultados obtenidos por fluorescencia de rayos-x de la muestra identificada	50
Tabla 3. Taxonomía del árbol de Neem	53
Tabla 4. Taxonomía del árbol Guayacán Carrapo	55
Tabla 5. Componentes principales del aceite extraído de las hojas del árbol guayacán carrapo	56
Tabla 6. Taxonomía del árbol Ficus	57
Tabla 7. Taxonomía del árbol Oití	59
Tabla 8. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural	73
Tabla 9. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural	73
Tabla 10. Dimensiones reales de unidades de mampostería vs dimensiones modulares de unidades a nivel de laboratorio en mm	80
Tabla 11. Plan de muestreo para ensayos de laboratorio en la elaboración de ladrillos y bloques estructurales	81
Tabla 12. Análisis físico-cerámico por extruido a 100% de mezcla de arcilla	84
Tabla 13. Porcentaje de absorción de agua del lote 1 a 100% de mezcla de arcilla	88
Tabla 14. Porcentaje de absorción de agua del lote 2 a 100% de mezcla de arcilla	88
Tabla 15. Porcentaje de absorción de agua del lote 3 a 100% de mezcla de arcilla	89
Tabla 16. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 1 con 100% de mezcla de arcilla	91
Tabla 17. Resistencia mecánica a la compresión en Kgf/cm ² de especímenes del lote 2 con 100% de mezcla de arcilla	91

Tabla 18. Resistencia mecánica a la compresión en Kgf/cm ² de especímenes del lote 3 con 100% de mezcla de arcilla	92
Tabla 19. Análisis físico-cerámico por extruido a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	94
Tabla 20. Porcentaje de absorción de agua del lote 1 a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	95
Tabla 21. Porcentaje de absorción de agua del lote 2 a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	96
Tabla 22. Porcentaje de absorción de agua del lote 3 a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	96
Tabla 23. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 1 con 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	97
Tabla 24. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 2 con 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	97
Tabla 25. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 3 con 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	98
Tabla 26. Análisis físico-cerámico por extruido a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	99
Tabla 27. Porcentaje de absorción de agua del lote 1 a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	100
Tabla 28. Porcentaje de absorción de agua del lote 2 a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	100
Tabla 29. Porcentaje de absorción de agua del lote 3 a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	101

Tabla 30. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 1 con 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	102
Tabla 31. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 2 con 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	102
Tabla 32. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 3 con 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	103
Tabla 33. Análisis físico-cerámico por extruido a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	104
Tabla 34. Porcentaje de absorción de agua del lote 1 a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	105
Tabla 35. Porcentaje de absorción de agua del lote 2 a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	105
Tabla 36. Porcentaje de absorción de agua del lote 3 a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	106
Tabla 37. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 1 con 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	106
Tabla 38. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 2 con 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	107
Tabla 39. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm ² de especímenes del lote 3 con 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol	107
Tabla 40. Variables de ensayo físico-cerámico en condición cocida	108
Tabla 41. Valores promedio de propiedades físicas de mezcla de arcilla con diferentes porcentajes en ensayo de absorción de agua	111
Tabla 42. Análisis comparativo de resultados	115

Tabla 43. Diferencia de densidades entre mezcla de arcilla pura y con hojas de árbol	115
Tabla 44. Descripción de actividades de la empresa "X"	117
Tabla 45. Componente del costo vs actividad	121
Tabla 46. Consolidado de costos del centro de explotación y preparación	123
Tabla 47. Costo de la mano de obra directa del centro de molienda y tamizado	124
Tabla 48. Consolidado de costos del centro de molienda y tamizado	125
Tabla 49. Consolidado de costos del centro de extrusión	126
Tabla 50. Consolidado de costos del centro de secado	126
Tabla 51. Consolidado de costos del centro de cocción	127
Tabla 52. Consolidado de costos del centro de selección y almacenamiento	128
Tabla 53. Consolidado de costos del centro administrativo	129
Tabla 54. Consolidado de los costos de las actividades de producción del bloque H-10 utilizando 100% arcilla en el periodo analizado	129
Tabla 55. Consolidado de los costos de las actividades de producción del bloque utilizando 2,5% de hojas de árbol en el periodo analizado	131

Lista de Anexos

	pág.
Anexo 1. Registro fotográfico	150

Resumen

Este proyecto se basó en la evaluación de mezclas de arcilla adicionando hojas de árboles para la fabricación de bloques de construcción. Para ello, se implementó una investigación aplicada a nivel exploratoria y descriptiva y según la estrategia es una investigación experimental. La información se obtuvo mediante una observación directa del nutriente, para el registro de datos y resultados obtenidos en cada ensayo se llevó a través de formatos establecidos por el CIMAC. La población y muestra correspondió a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, y las hojas de árboles como nutriente tecnológico. Se lograron evaluar las mezclas de arcilla adicionando hojas de árbol para la fabricación de bloques de construcción. Seguidamente, se realizó un diagnóstico del sector de hojas de árbol donde se desarrolló el producto utilizando diferentes porcentajes de hojas de árbol de forma experimental. Posteriormente, se evaluó el producto desarrollado a nivel de laboratorio. Finalmente, se estableció una comparación entre los costos del producto normal y los costos del producto utilizando la mezcla con hojas de árbol.

Abstract

This project was based on the evaluation of clay mixtures adding tree leaves for the manufacture of building blocks. For this, an applied research was implemented; according to the level in exploratory and descriptive and strategy in experimental research. The information was obtained through a direct observation of the nutrient, for the recording of data and results obtained in each trial, it was carried out through formats established by the CIMAC. The population and sample corresponded to the raw materials used to manufacture the block, including clay from the Guayabo formation in Norte de Santander, and tree leaves as a technological nutrient. The clay mixtures were evaluated by adding tree leaves for the manufacture of building blocks. Next, a diagnosis was made of the tree leaf sector where the product was developed using different percentages of tree leaves at the experimental level. Subsequently, the product developed at the laboratory level was evaluated. Finally, a comparison was made between the costs of the normal product and the costs of the product using the mixture with tree leaves.

Introducción

El siguiente proyecto presenta la evaluación del uso de hojas de árbol como agregado a la mezcla de arcilla para fabricación de bloques de construcción, determinando su comportamiento físico mecánico a nivel de laboratorio y la comparación de costos, para evaluar su viabilidad.

Es importante, ya que, aparte de conocer las propiedades de los bloques elaborados con este agregado, se tiene en cuenta el factor medio ambiental, que es donde se fundamenta la razón de este estudio. Los ensayos de laboratorio fueron llevados a cabo en el centro de investigación de materiales cerámicos (CIMAC) de la universidad Francisco de Paula Santander (Sede Cúcuta), con personal capacitado y con experiencia en el tema que aportó al correcto desarrollo de la investigación. Se trabajó según lo indicado en la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 con una mezcla patrón de arcilla al 100% y tres porcentajes diferentes del agregado (2,5%, 5% y 7,5%), realizando ensayos físico-cerámicos para conocer sus propiedades físicas (Contracción en estado seco y húmedo, Pérdida de Masa, temperatura aplicada, etc.), ensayo de Absorción de agua y ensayo de resistencia mecánica a la compresión para conocer las propiedades mecánicas de los bloques.

Se utilizó las hojas de árboles ubicados en el campus de la Universidad como residuo orgánico, teniendo en cuenta los antecedentes previamente investigados, donde se mencionan las mejoras que este agregado aporta a la mezcla de arcilla y así mismo contribuyendo con el medio ambiente para disminuir la huella de carbono y mejorar la optimización del proceso de fabricación de bloques cerámicos.

Todo esto para llegar a un análisis comparativo de calidad de los bloques con los diferentes porcentajes de hojas de árbol dispuestos para este estudio, también para hacer la respectiva

comparación con la norma y verificar el cumplimiento de la misma. Además, se incluye un diagnóstico completo del sector productivo de la industria cerámica en el departamento de Norte de Santander, principalmente en su capital, San José de Cúcuta y su área metropolitana. A lo anterior se le agrega que este estudio además aporta información sobre el costo de producción de los bloques de arcilla y el costo de producción del mismo con una adición de 5% de hojas de árbol.

Actualmente, se puede ver cómo los residuos se están aprovechando como recursos para fabricar nuevos productos, este sistema se conoce como “economía circular”, el cual parte de la idea de producción con conciencia ambiental, reconociendo la responsabilidad que tiene la industria de la cerámica en el deterioro medio ambiental y, generando alternativas de producción limpia con aprovechamiento de residuos, sin alterar la calidad de los nuevos productos, realizando los respectivos estudios y ensayos a nivel de laboratorio.

1. Problema

1.1 Título

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO HOJAS DE ÁRBOLES PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN.

1.2 Planteamiento de Problema

La actividad minera es una de las que genera mayores ingresos económicos en Colombia, gracias a la diversidad de minerales que están presentes en el territorio nacional (Güiza, 2013), no obstante, en la actualidad se vienen desarrollando en la región una serie de conflictos socio-ambientales por causa de la explotación de los recursos naturales. Esto se debe en concreto a las prácticas de extracción ilegal de los minerales o al incumplimiento de las obligaciones ambientales y sociales derivadas de la legislación y de los instrumentos ambientales (Montenegro, 2016). Dicho sector ha concentrado su demanda de productos en tres grupos: productos minerales no metálicos (vidrio, productos de hormigón, cemento y yeso, artículos de cerámica no estructural, ladrillo, losas y adoquines), productos metalúrgicos básicos (laminados de hierro o acero y productos metálicos estructurales) y minerales no metálicos (piedra común, mármol, granito, arenas de peña y río, grava, gravilla) (Procolombia, s,f). Sin embargo, hasta el momento se ha visto como diferentes residuos de materias orgánicas han sido estudiados para reemplazar cantidades de arcilla en la producción de ladrillos para la construcción.

La industria de la construcción para la obtención de materiales genera impactos ambientales por la extracción excesiva de materias primas a través de canteras, por lo que siempre se ha buscado en innovar y disminuir la cantidad de extracción de estas materias primas (Enshassi,

Kochendoerfer & Rizq, 2014).

Los bloques son uno de los elementos de mampostería más utilizados en la construcción así que el mejoramiento en la calidad, utilidad y el costo de estos, beneficiaría notablemente a toda la industria y al medio ambiente al usar residuos que ya terminaron su uso inicial, a estos se les conoce como nutrientes tecnológicos que ayudaran también en el aumento de reciclaje y en el mayor aprovechamiento a los residuos que generan contaminación.

1.3 Formulación del Problema

¿Cuál es la influencia que tiene la adición de hojas de árbol en las propiedades mecánicas de bloques de arcilla para la construcción?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general. Evaluar Mezclas de Arcilla adicionando Hojas de árbol para la Fabricación de Bloques de Construcción.

1.4.2 Objetivos específicos. Los objetivos se muestran a continuación:

Realizar un diagnóstico del sector de hojas de árbol.

Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes de hojas de árbol 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 hojas de árbol.

1.5 Justificación

Los bloques cerámicos para construcción se han producido desde hace décadas principalmente de arcilla pura, sin embargo, los grandes recursos minerales y el consumo intensivo de energía, debido a las altas temperaturas que se requieren para hacer reaccionar la mezcla, han hecho que ambos parámetros se confronten directamente con la idea de la conservación del medio ambiente y el empleo masivo de combustibles fósiles para su procesamiento a escala industrializada, ejes básicos de la economía circular (Castell, 2015). De esta manera, se deduce que una materia prima “natural” como lo es la arcilla, es un conjunto de minerales de arcilla mezclados con un porcentaje muy elevado de minerales no activos, cerámicamente hablando, o impropios. De ahí se deduce la posibilidad de introducir nutrientes tecnológicos para reducir el consumo de recursos naturales y, normalmente, ahorrar energía (Colominas, Payán, Bruno, Bruno, Rojas & Lucas, 2009).

Por tanto, este proyecto se realizó con el objetivo de evaluar la posibilidad de aumentar la resistencia de bloques de arcilla para la construcción mediante el uso de nutrientes tecnológicos como hojas de árboles, disminuyendo así la extracción de materia prima como lo es la arcilla, minimizando los impactos geológicos que esta extracción ocasiona y fomentando la economía circular para reducir la cantidad de desechos que son arrojados al medio ambiente y que no tienen ninguna función una vez cumplido su ciclo de vida útil.

1.6 Alcances y Limitaciones

1.6.1 Alcances. Con este proyecto se aspiró a mejorar las propiedades mecánicas de bloques de arcilla para la construcción mediante el uso de hojas de árboles como nutriente tecnológico, así mismo minimizar costos de producción de los bloques y disminución de la extracción de la arcilla como materia prima para minimizar los impactos negativos que esta actividad produce al medio ambiente.

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 Barrio 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 del 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 internacionales. Obregón (2018), elaboró un trabajo titulado “Resistencia a la Compresión de Ladrillo de Concreto, Sustituyendo un 15% al Cemento, por Arcilla en un 10% y Cenizas de Hoja de Schinus (MOLLE) en un 5%”. El trabajo de investigación tuvo como propósito principal determinar la resistencia del ladrillo patrón y el ladrillo experimental; de tal modo el ladrillo experimental se realizó, por la sustitución del 15% del cemento, por arcilla en un 10% y ceniza de hoja de schinus en un 5%, buscando superar la resistencia al ladrillo patrón.

En la investigación se aplicó el método experimental que consiste en el empleo de la sustitución de un 15% del cemento, por un 10% de arcilla y 5% de ceniza de hoja de schinus como material cementante en la elaboración de ladrillos de alto desempeño, por ello el interés que tuvo este trabajo, fue investigar altas resistencias a la compresión de los mismos.

Los resultados obtenidos en la elaboración de los ladrillos no fueron favorables, puesto que los ladrillos experimentales elaborados por la sustitución del cemento en un 15%, por un 10% de arcilla y ceniza de hoja de schinus (molle) en un 5%, alcanzo una resistencia promedio de 125.50 kg/cm² a la edad de 28 días, con un porcentaje de 96.54%, por lo cual no supero al ladrillo patrón ya que su resistencia promedio a los 28 días es de 131.63 kg/cm² con un porcentaje de 101.25% de tal manera se destaca que esta investigación no agota ni frena el tema, solo da una importante apertura al desarrollo de materiales alternativos de construcción (Obregón, 2018).

A pesar de que la investigación se realizó para fabricar ladrillos de concreto para construcción, los porcentajes utilizados para sustituir en la mezcla de su elaboración sirvieron de referencia para conocer aproximadamente la cantidad apropiada del nutriente tecnológico usado en esta investigación para sustituir en la mezcla de elaboración de bloques de arcilla para construcción, tomando como base que los porcentajes utilizados no cumplieron con los requisitos mínimos de resistencia exigidos para su uso.

Terrones (2020), en su trabajo titulado “Propiedades físico mecánicas del adobe compactado con la adición de agujas de pino en diferentes porcentajes”. En esta investigación se realizó un estudio sobre las propiedades físico mecánicas del adobe compactado con la adición de agujas de pino en diferentes porcentajes (0.25%, 0.50% y 0.75%) con relación al adobe patrón (sin adición de agujas de pino), para realizar este trabajo se utilizó material de 3 canteras (Cruz blanca, Shudal, Shaullo) con el fin de concluir cual era el material más apto para la elaboración de los especímenes de estudio, para esto se realizó los ensayos de laboratorio necesarios (contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de atterberg, Proctor modificado).

Una vez determinadas las propiedades del material se procedió a elegir la cantera más adecuada para la elaboración de los especímenes esta fue la cantera denominada “Cruz blanca” debido a que sus propiedades cumplían con lo establecido por normativas, una vez definido el material se procedió a obtener la fibra, en este caso las hojas del árbol *pinus radiata* las cuales se denominan comúnmente como agujas de pino para procesarlas y obtener un largo de fibra de 25 mm, después con la ayuda de la máquina CINVA RAM se procedió a elaborar 18 adobes por cada porcentaje obteniendo un total de 72 adobes los cuales se ensayaron en el laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

La resistencia a la compresión cumple parcialmente con la hipótesis planteada del aumento de 20%, esto se debe a que el 0.50% de adición aumenta solo en un 16.61% en contraste al adobe patrón mientras que el 0.25% y 0.75% aumentan 25.76% y 24.76% respectivamente, con respecto a la resistencia a la flexión la hipótesis se cumple totalmente debido a que todas las concentraciones aumentan su resistencia a la flexión el 0.25%, 0.50% y 0.75% aumentan en 51.65%, 62.15%, 54.36% con respecto al patrón. Finalmente, la absorción no se cumplió debido a que los especímenes se desintegraron al estar sumergidos por 24 horas (Terrones, 2020).

Esta investigación aportó valiosa información acerca de las propiedades mecánicas de los bloques de adobe fabricados con hojas del árbol *Pinus Radiata*, la cual por su forma se utilizó como fibra vegetal para adicionarse en la mezcla de elaboración de estos, se evidenció que después de elaborar los bloques utilizando porcentajes muy bajos de 0,25%, 0,50% y 0,75% se cumplió con la resistencia mecánica a la compresión esperada.

2.2 Marco Teórico

La arcilla es uno de los materiales de construcción más antiguos. El ser humano comenzó a usar la arcilla para la construcción desde hace miles de años. Hay innumerables edificios de bloques de arcilla que se construyeron hace miles de años y que han durado hasta el siglo XXI (Liu, Hu, Ke & Fu, 2018).

Los bloques de arcilla son uno de los materiales de construcción más antiguos, pero el advenimiento de nuevos materiales pavimentó el declive en su uso como material de construcción, principalmente debido a que su proceso de fabricación demanda alta energía y da como resultado la liberación de dióxido de carbono y otros contaminantes dañinos como el óxido de azufre, el monóxido de carbono, el óxido de nitrógeno y las partículas, que contaminan el

medio ambiente. Las emisiones contaminan el suelo, el agua y el aire y afectan adversamente el medio ambiente biótico y la salud humana (Ramani & Preenta, 2018).

Teniendo en cuenta que la explotación de materia prima es uno de los procesos que genera mayor impacto ambiental, la extracción y preparación de arcillas utilizadas principalmente para la elaboración de productos cerámicos utilizados en la industria de la construcción, son uno de los mayores detonantes. Pues la fabricación de ladrillos, tejas, tubos, baldosas, entre otros, son grandes generadores de residuos los cuales no son reutilizados en su totalidad e incrementan los índices de contaminación ambiental ocasionados por la industria (Fonseca, Sanchez & Guacaneme, 2018).

Es por esta razón que, los conceptos de construcción sostenible y el desarrollo de materiales reciclables se vienen incorporando a los procesos constructivos en el país desde hace relativamente poco tiempo, dado que se deben optimizar los recursos naturales que plantean innovadoras formas de construcción; cabe señalar que se tiende a cambiar la forma en que manejamos los residuos de procesos industriales, de modo que contribuya con el desarrollo sostenible del país que lleva consigo al mejoramiento del medio ambiente y por ende tiene como propósito de mejoramiento la calidad de vida de las personas y el desarrollo urbanístico.

Es preciso afirmar que el concepto de desarrollo debe incluir todos los aspectos de la vida humana y social, y no estar limitado al crecimiento económico (Pulido, 2015), es por esta razón que el desarrollo va de la mano con la investigación y la tecnología, en este caso la implementación de nuevas tecnologías en materiales constructivos, utilizando hojas de arboles en la mezcla de fabricación de bloques de construcción con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y mitigar el daño al medio ambiente.

Es importante señalar que la resistencia a la compresión de los ladrillos, así como su porcentaje de absorción depende directamente del tipo de arcilla, así como de la temperatura de cocción a la que ésta fue expuesta (Amado, Villafrades & Tuta, 2011) Es decir, de acuerdo con los datos anteriores, a mayor índice plástico y menor contenido de arena, los resultados serán más favorables, independientemente de los residuos orgánicos que se agreguen a la mezcla (García, Jaime & Durán, 2013).

En ese sentido, Demir (2008), evaluó el efecto de la adición de residuos orgánicos a la mezcla durante la producción de ladrillos, a través de las propiedades físicas y mecánicas. Para ello, utilizó residuos de tabaco, aserrín y pasto en proporciones de hasta 10% en peso. La temperatura de cocción fue de 900°C durante 60 minutos en un horno eléctrico y los resultados de la resistencia a la compresión alcanzan hasta 9.85 Mpa y por otro lado, Chiang, Chou, Hua, Chien & Cheeseman (2009) analizaron ladrillos fabricados con arcilla extraída de lodos residuales y cenizas de la cascarilla de arroz, en proporción de hasta 20% en peso y una temperatura de cocción de 900 a 1,100°C, manteniéndolo durante 180 minutos. Los resultados que superaron los parámetros especificados en los códigos de requerimientos para ladrillos, fueron aquellos en donde se utilizaron menos del 15 % de cenizas de cáscara de arroz y temperaturas arriba de los 1,000°C.

En conclusión, la arcilla es un componente muy importante para la fabricación de unidades de ladrillos utilizados en procesos constructivos por sus propiedades aglomerantes, ya que mejoran su resistencia inicial y facilita su manejo; es por esto que los suelos arcillosos con propiedades diferentes provocan fisuras luego del secado de la materia prima, causando deficiencias en el material fabricado, debido a esto se hace necesaria la presente investigación con el fin de evaluar el comportamiento de bloques de arcilla para construcción con adición de hojas de árboles

teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas y los posibles beneficios que se podrían obtener con estas.

2.3 Marco Conceptual

Para entrar en contexto con la información suministrada en este proyecto se tomaron a consideración algunos conceptos claves como:

Arcilla: La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,0039 mm (Kodama, 2013).

Contaminación ambiental: Es la introducción en el medio natural de agentes de tipo físico, químico y biológico, que alteran las condiciones ambientales, provocando efectos dañinos para la salud, el bienestar y la habitabilidad de la vida animal y vegetal en general (Significados, 2020).

Economía circular: El modelo de producción predominante en la economía mundial se basa en tomar recursos naturales y emplearlos para fabricar productos que luego se venden y tras un corto tiempo de uso o bien son desechados o bien, en una pequeña parte, son reciclados. Este modelo “lineal” de la economía presenta muchos inconvenientes, entre los que destaca el hecho de que no es un sistema eficiente. En cambio, una economía circular es aquella que es restaurativa y regenerativa a propósito, y que trata de que los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valor máximos en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y

biológicos (CEVAGRAF, 2017).

Extracción de arcilla: La actividad minera es una de las que genera mayores ingresos económicos en Colombia, gracias a la diversidad de minerales que están presentes en el territorio nacional, no obstante, en la actualidad se vienen desarrollando en la región una serie de conflictos socio- ambientales por causa de la explotación de los recursos naturales. Esto se debe en concreto a las prácticas de extracción ilegal de los minerales o al incumplimiento de las obligaciones ambientales y sociales derivadas de la legislación y de los instrumentos ambientales. En efecto, no es posible garantizar el equilibrio entre desarrollo económico y gasto de oferta ambiental, si no existe un adecuado control estatal. La minería ilegal y/o artesanal, principalmente la dedicada a la extracción de arcilla en Colombia, ha venido creciendo en la última década, acarreando múltiples problemas ambientales, como la devastación de importantes ecosistemas, al no efectuarse ningún tipo de control y/o actividad encaminada a prevenir, mitigar, corregir o compensar algún efecto negativo que esta actividad le genere al medio ambiente (Güiza, 2013).

Hojas de árbol: Las hojas son expansiones laminares que como órganos fundamentales de las plantas tienen por misión llevar a cabo la fijación del dióxido de carbono durante la fotosíntesis y la elaboración de los productos fotosintéticos, transportándolos por una rica red vascular (nerviación), estando su estructura y color normalmente adaptadas a estas funciones. Además de ello, cumplen una misión de intercambio gaseoso por medio de las estomas (Bar, 2014).

Ladrillo: Un ladrillo es un material de construcción, normalmente cerámico y con forma ortoédrica, cuyas dimensiones permiten que se pueda colocar con una sola mano por parte de un operario. Se emplea en albañilería para la construcción en general (Bellido, 2008).

Tipos de ladrillo. Según su forma, los ladrillos se clasifican en:

Ladrillo tejar o manual: Simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.

Ladrillo macizo: Aquellos con menos de un 10 % de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.

Ladrillo perforado: Son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10 % de la superficie de la misma. Se utilizan en la ejecución de fachadas de ladrillo.

Ladrillo hueco: Son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa que reducen el peso y el volumen del material empleado en ellos, facilitando su corte y manejo. Aquellos que poseen orificios horizontales son utilizados para tabiquería que no vaya a soportar grandes cargas. Pueden ser de varios tipos:

Rasilla: Su soga y tizón son mucho mayores que su grueso. En España, sus dimensiones más habituales son $24 \times 11,5 \times 2,5$ cm.

Ladrillo hueco simple: Posee una hilera de perforaciones en la testa.

Ladrillo hueco doble: Con dos hileras de perforaciones en la testa.

Ladrillo hueco triple: Posee tres hileras de perforaciones en la testa.

Ladrillo aplantillado: Aquel que tiene un perfil curvo, de forma que, al colocar una hilada de ladrillo, generalmente a sardinel, conforman una moldura corrida. El nombre proviene de las plantillas que utilizaban los canteros para labrar las piedras, y que se utilizan para dar la citada forma al ladrillo.

Ladrillo caravista: Son aquellos que se utilizan en exteriores con un acabado especial.

Ladrillo refractario: Se coloca en lugares donde debe soportar altas temperaturas, como hornos o chimeneas.

Material cerámico: Un material cerámico es aquel constituido por sólidos inorgánicos metálicos o no metálicos que ha sido fabricado mediante tratamiento térmico. Las cerámicas tradicionales están compuestas de arcilla, sin embargo, en la actualidad existen numerosos materiales cerámicos de diferente composición que tienen muchas aplicaciones, por ejemplo, en la industria aeronáutica y en medicina. La pasta cerámica más básica es el barro común, o barro rojo que está formado por silicatos de aluminio procedentes de la descomposición de otras rocas primarias y puede tener diferentes impurezas como óxido de hierro que le da el tono rojizo (Black & Kohser, 2012)

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 (Tejedor, 2018).

Reciclaje: El reciclaje es un proceso cuyo objetivo es convertir residuos en nuevos productos o en materia prima para su posterior utilización.

Gracias al reciclaje se previene el desuso de materiales potencialmente útiles, se reduce el consumo de nueva materia prima, además de reducir el uso de energía, la contaminación del aire y del agua, así como también disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de plásticos (Ackerman, 1997).

Sostenibilidad: Es promover el desarrollo social buscando la cohesión entre comunidades y culturas para alcanzar niveles satisfactorios en la calidad de vida, sanidad y educación (Martínez, 2010).

2.4 Marco Contextual

Con el fin de conocer las propiedades que tuvo el bloque de arcilla con la adición de hojas de árboles se realizaron los ensayos a las probetas en el CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander ubicada en el municipio de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

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

2.5 Marco Legal

Algunas de las normas que se utilizaron para realizar los ensayos de laboratorio de esta investigación pertenecen al instituto de normas técnicas colombianas (NTC) y fueron:

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 bloques. En esta norma se incluyen los ensayos de: módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, resistencia al congelamiento y descongelamiento, eflorescencias, tasa inicial de absorción, determinación del peso, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones, análisis térmico-diferencial, térmico-dilatométrico y expansión por humedad, aunque no todos los ensayos son aplicables necesariamente a todos los tipos de

unidades o están referidos a otras normas complementarias. Todas las especificaciones que contengan las respectivas normas de productos relacionadas con métodos de muestreo y ensayos priman sobre lo establecido en esta norma.

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

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

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 utilizadas para muros en ladrillo a la vista interiores o exteriores (fachadas). Las unidades para fachadas pueden ser fabricadas tanto para usos en muros divisorios o de cierre, no estructurales.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El proyecto “Evaluación de Mezclas de Arcilla adicionando hojas de árbol 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 arroje 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 (Murillo, 2008).

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 ecológicamente sostenibles.

“Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes” (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p.95)

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 del nutriente tecnológico en las muestras. Así mismo, la investigación en el laboratorio permitió obtener la información necesaria para la fabricación del mismo y el desarrollo de los objetivos propuestos.

“Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Hernández et al., 2014, p.97).

Los diseños experimentales nacen del término experimento que se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias (Hernández et al., 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 si estos cumplen o no con lo requerido por estas.

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 a ser estudiado y sobre el cual se pretende generalizar los resultados. Las poblaciones deben situarse claramente por sus características de contenido, lugar y tiempo. (Hernández et al., 2014, p.171)

“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” (Hernández et al., 2014, p 172).



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 las hojas de árboles 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 requerida para los ensayos de laboratorio fue de 15.000 g de hojas secas provenientes de los árboles que se encuentran dentro del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, las cuales pasaron por un proceso de molienda a través de molinos de cuchillas y de bolas para finalmente obtener 3.000 g de polvillo de estas que fue llevado al CIMAC para su respectiva utilización en la mezcla de elaboración de los bloques de arcilla.


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, para el registro de datos y resultados obtenidos en cada ensayo se llevó a través de formatos establecidos por el CIMAC.

 Universidad Francisco de Paula Santander <small>Vigilancia 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 MAMPOSTERÍA																																					
Norma NTC 4017:2005																																						
Tipo de Bloque:	Características:																																					
Medidas:	Tipo de Ensayo:																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">REGISTRO DE DATOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NÚMERO DE LA MUESTRA:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MASA DE LA MUESTRA SECA (g):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (g):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ABSORCIÓN (%):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">ABSORCIÓN PROMEDIO (%):</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			REGISTRO DE DATOS						NÚMERO DE LA MUESTRA:						MASA DE LA MUESTRA SECA (g):						MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (g):						ABSORCIÓN (%):						ABSORCIÓN PROMEDIO (%):					
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:																																				

Figura 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 RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA																																						
Norma NTC 4017:2005																																						
Tipo de Bloque:	Características:																																					
Medidas:	Tipo de Ensayo:																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">REGISTRO DE DATOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NÚMERO DE LA MUESTRA:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIMENSIONES DE LA MUESTRA (mm):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ÁREA NETA DE LA MUESTRA (cm²):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CARGA DE ROTURA POR COMPRESIÓN (Kgf):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm²):</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			REGISTRO DE DATOS						NÚMERO DE LA MUESTRA:						DIMENSIONES DE LA MUESTRA (mm):						ÁREA NETA DE LA MUESTRA (cm ²):						CARGA DE ROTURA POR COMPRESIÓN (Kgf):						RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²):					
REGISTRO DE DATOS																																						
NÚMERO DE LA MUESTRA:																																						
DIMENSIONES DE LA MUESTRA (mm):																																						
ÁREA NETA DE LA MUESTRA (cm ²):																																						
CARGA DE ROTURA POR COMPRESIÓN (Kgf):																																						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²):																																						
OBSERVACIONES: _____																																						

ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:																																				

Figura 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: _____										ANÁLISIS FÍSICO-CERÁMICO POR EXTRUIDO EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA						
Norma NTC 4017:2005																
Tipo de Bloque:					Características:											
Medidas:					Tipo de ensayo:											
PROBETA	TEMPERATURA	CONDICIÓN HUMEDA			CONDICIÓN SECA		CONDICIÓN COCIDA				CONTRACCIÓN		PÉRDIDAS DE MASA		ABSORCIÓN DE AGUA	
		LONGITUD	MASA	EMPUJE	LONGITUD	MASA	LONGITUD	MASA	EMPUJE	MASA DE ABSORCIÓN DE AGUA	SECA	COCIDA	SECA	COCIDA		
	[° C]	[mm]	[g]	[g]	[mm]	[g]	[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
OBSERVACIONES: _____																

ENSAYÓ:					CALCULÓ:					VERIFICÓ:						

Figura 3. Formato análisis físico-cerámico por extruido en unidades de mampostería del CIMAC

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

3.4 Fases y Actividades Específicas

Los datos que se obtuvieron según los resultados arrojados por el laboratorio de la caracterización físico-cerámica de las diferentes formulaciones, fueron tabulados y presentados en cuadros comparativos con el fin de evaluar las muestras a nivel de laboratorio, obteniendo la muestra apropiada para fabricar un prototipo de bloque de construcción.

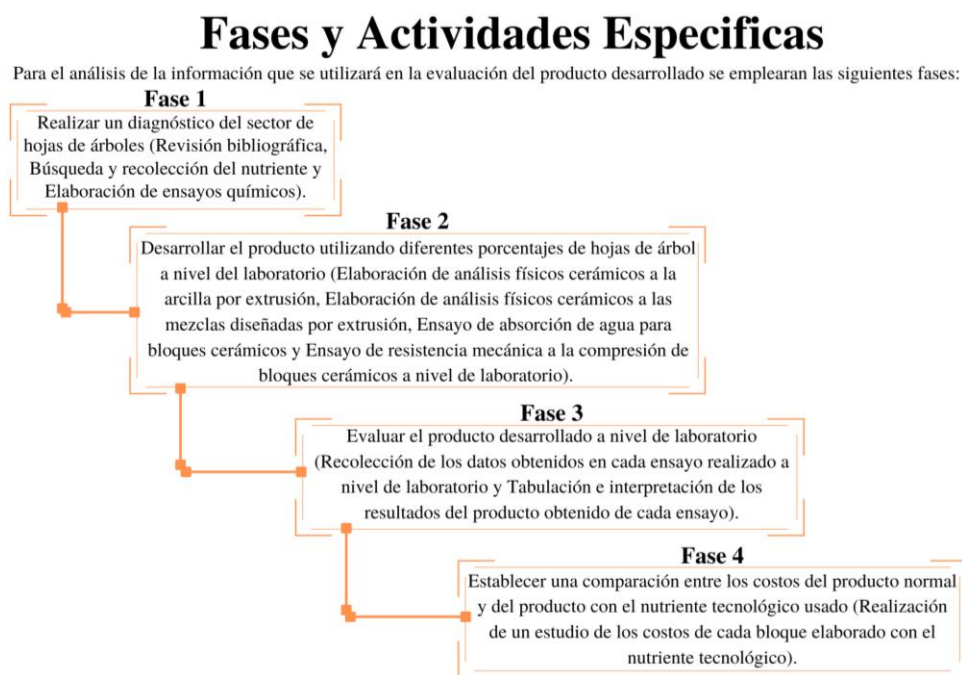


Figura 4. Diagrama de Procesos de fases y actividades específicas de la investigación

4. Metodología

4.1 Materias Primas Empleadas

4.1.1 Arcilla. Las arcillas son minerales naturales que están compuestas de múltiples silicoaluminatos hidratados que contienen iones tales como K, Fe, Mg y Na, y otros minerales como feldespatos, cuarzo, anatasa, rutilo, hematita, carbonatos, entre otros; se encuentran en la naturaleza generalmente acompañadas por materia orgánica (Díaz, 2002; Muñoz, 2007). En Colombia las arcillas se usan principalmente para la fabricación de materiales de construcción y alfarería (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2003).

Cúcuta y su Área Metropolitana se encuentra privilegiada por poseer formaciones arcillosas de excelente calidad Gelves (2013) lo que ha permitido dar origen a uno de los sectores más significativos de la región: la industria cerámica, conformado por 49 empresas legalmente establecidas, todas ellas dedicadas a la fabricación de productos a base de arcilla, de los que se destacan los materiales de la construcción, tales como: cerámica, tableta vitrificada, tableta esmaltada, tejas, ladrillos, productos artesanales (decorados y enchapes), entre otros Díaz (2016) convirtiéndose en una de las principales alternativas de desarrollo para la región, es por ello que es de gran importancia mejorar constantemente la calidad de los productos ofertados con el fin de alcanzar la competitividad necesaria para mantenerse en los mercados actuales e incursionar en otros a nivel internacional (Sánchez, 2013).

El área metropolitana de Cúcuta se encuentra emplazada en medio de las distintas fuentes hídricas que componen la cuenca del Catatumbo, nombre que recibe en referencia a la principal arteria fluvial por donde confluye todas las aguas de la zona hacia el lago de Maracaibo (Venezuela), particularidad que ha distinguido a Cúcuta frente a las demás poblaciones

fronterizas, desarrollando su capacidad comercial al punto de ser considerada una de las fronteras más activa de Latinoamérica, y uno de los puertos terrestres más importantes del país (Jiménez, 2008).

La cuenca del Catatumbo se compone de diversas microcuencas, entre las que se destacan la subcuenca del río Pamplonita y la del río Zulia, cuya evolución geológica originó la aparición de formaciones sedimentarias litológicamente diversas, cabe señalar aquellas que se formaron en la edad del oligoceno y el mioceno llegando a extenderse hasta el plioceno, ya que en estos periodos se formaron capas de material arcilloso asociadas a lutitas, lodolitas, areniscas, entre otros, estos materiales son agrupados en la formación León durante la primera edad, y el grupo Guayabo en los dos siguientes, según Van der (citado por Instituto Colombiano de Geología y Minería, 1998).

Así pues, el suelo se forma no solo con los productos de erosión de las rocas, sino con los productos de descomposición de los restos y residuos orgánicos. Hay en su formación un conjunto de procesos petrogénicos y un conjunto de procesos biogénicos. Como resultado de esa erosión y descomposición nos encontramos con las fracciones coloidales inorgánica y orgánica, la arcilla y el humus (Herrera, 2008). El desarrollo de esta tesis confirma e intensifica la importancia que arcilla y humus tienen como elementos esenciales y caracterizadores del suelo.

De esta manera, mediante un estudio sistemático se caracterizaron los materiales arcillosos provenientes de la formación Guayabo, más específicamente los provenientes de la Mina Támesis, localizada entre el límite central de los municipios de Los Patios y Villa del Rosario, en el departamento de Norte de Santander (figura 5) en el flanco oriental de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos en donde esta se bifurca y se prolonga al Noreste formando la serranía del Perijá y al nororiente formando los Andes de Mérida en Venezuela, el cual permitió

identificar la composición química y mineralógica de la cantidad de material arcilloso necesario que se requirió de muestra para realizar los ensayos de laboratorio de esta investigación.

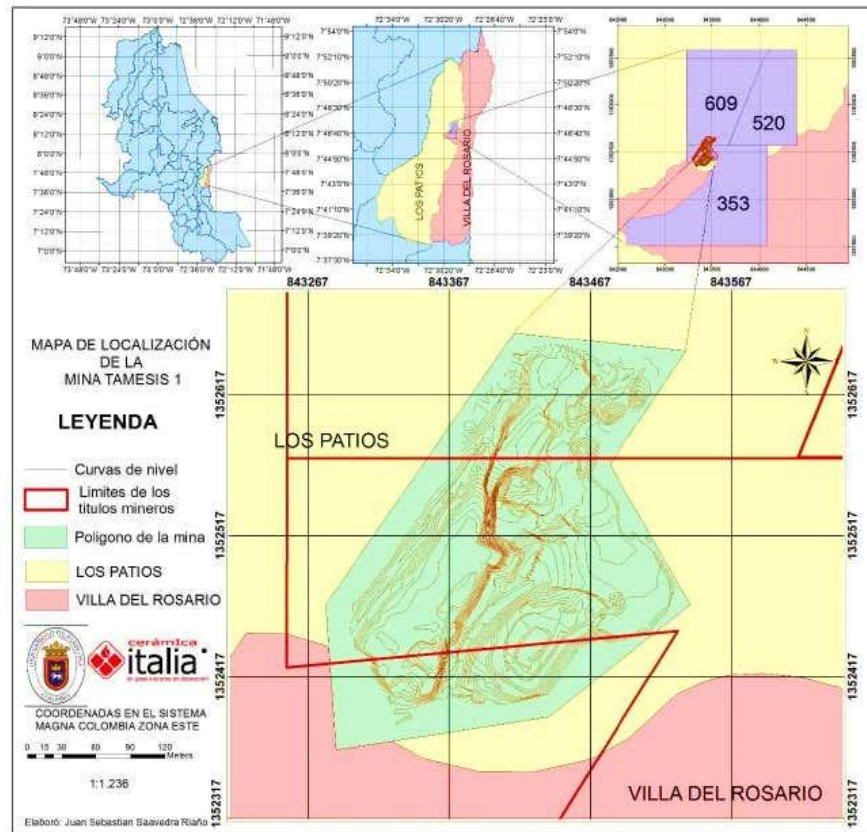


Figura 5. Mapa de localización de la mina Tamesis 1

Fuente: Corponor, 2011.



Figura 6. Frente de explotación de la arcilla

Tabla 1. Composición estructural del material arcilloso

FASE	No, TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO (en % peso)
	000-85-0796	Cuarzo	34,8
	000-84-1302	Moscovita	11,7
	000-71-1166	Anatasa	0,8
Cristalino	000-89-6538	Caolinita	23,2
	000-85-0599	Hematita	0,9
	000-87-1787	Microclina	1,8
	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 inglés), 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 2. 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	8,12%
<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 7 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.

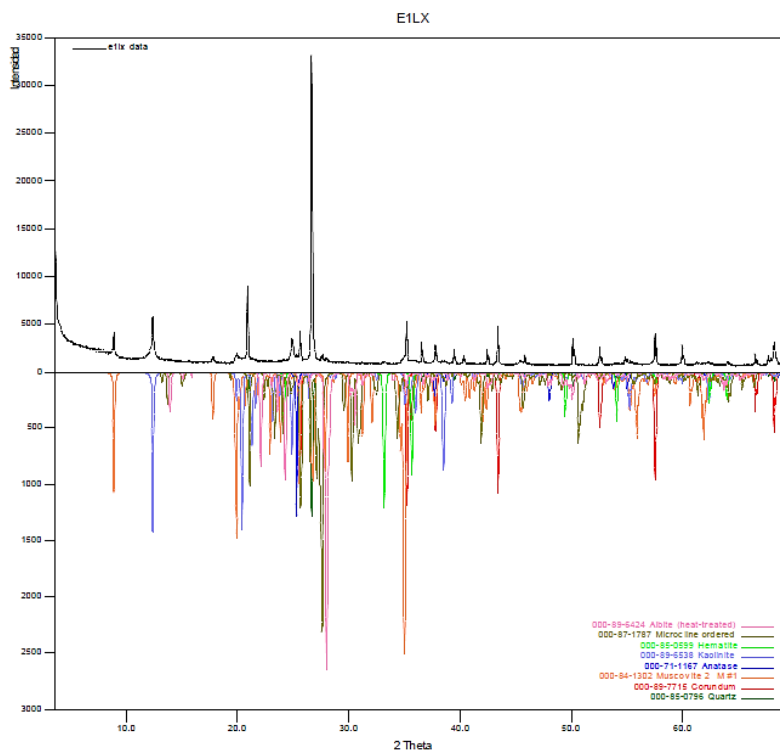


Figura 7. Análisis comparativo por difracción de rayos-x de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra

4.1.2 Nutriente tecnológico. En la actualidad se ha venido probando el uso de materiales denominados residuos industriales, para el mejoramiento de las propiedades de la arcilla. En el caso de los materiales del sector agrícola se tiene la cascarilla del arroz, bagazo de la caña de azúcar, médula de coco, gránulos de corcho, y cenizas volantes obtenidas de la incineración de residuos sólidos, entre muchos otros residuos que han sido usados para la elaboración de ladrillos tal como se comentó anteriormente (Kan, 2009).

La escogencia de las hojas de árbol para ser evaluada como nutriente tecnológico en esta investigación no fue al azar, para ésta se tomaron como base estudios previos realizados por Sempertegui (2018) sobre el uso de la ceniza de biomasa arbórea en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado, Pariona & Saenz (2019) estudiaron la posibilidad

de usar ladrillos fabricados con ceniza del árbol de Guayacán para construir viviendas unifamiliares en el distrito San Juan de Peregancho perteneciente a la provincia de Lima, Perú. Y finalmente investigaciones como la de Garcia (2020) en la cual se analizó de qué manera la adición del carrizo prensado influyó en el reforzamiento del adobe.

Sin embargo, las cenizas procedentes de la biomasa forestal provienen de los minerales presentes en la estructura de los árboles y arbustos. Así pues, las propiedades de las cenizas dependen de una variedad de factores, incluyendo el tipo de árbol o arbusto, la parte del árbol o arbusto (corteza, madera, hojas), el tipo de residuo (madera, pasta de papel, o residuos de papel), la combinación con otras fuentes de combustible, el tipo de suelo y clima y las condiciones de combustión (Melissari, 2012).

El tamaño de la muestra requerida del nutriente tecnológico para realizar los ensayos de laboratorio de esta investigación provenía en su mayoría de las hojas de los árboles ubicados dentro del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, entre los cuales se encuentran: árbol de neem, árbol de guayacán, árbol de ficus y árbol de Oithi, para comprender mejor la influencia que estas hojas tienen en la mezcla de elaboración de bloques de construcción, se muestra a continuación las propiedades de cada árbol:

Árbol de Neem: El árbol neem es conocido como la "farmacia o botica del pueblo", "margosa", "cinamomo", "árbol milagroso", llamado así por sus usos terapéuticos. Tiene un tamaño de mediano a grande, mide de 20 a 25 metros de altura, pero en ocasiones ha alcanzado hasta 30 metros, con un diámetro de tronco que alcanza de 60 a 90 cm. Tiene una copa redonda y densa, es un árbol que siempre es verde, nunca tira la hoja; sus frutos se dan de 3 a 5 años y se vuelve completamente productivo a partir de los 10 a 12 años, produciendo de 45 a 50 kilos de

semillas (Figura 8).



Figura 8. Árbol de neem (*Azadirachta indica* A Juss)

Fuente: Revista Medio Ambiente, 2021.

Tabla 3. Taxonomía del árbol de Neem

NEEM	
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Sipindales
Familia:	Meliaceae
Género:	Azadirachta
Especie:	Azadirachta Indica A Juss
N. Común:	Neem

En cuanto a la composición química de la hoja de neem, los trabajos pioneros referentes al aislamiento e identificación de los constituyentes de este se iniciaron en la india en 1942 y se han continuado en varias partes del mundo, para la mayoría de las evaluaciones biológicas, se han

usado extractos con solventes de diferentes partes del árbol para demostrar la actividad. Sin embargo, entre los diferentes compuestos químicos aislados a la fecha, la *azadirachtina* es el compuesto más activo (Jr, Stokes & Kozempel, 2006).

Fibra	20%
Carbohidratos	50%
Proteínas	15%
Grasas	5%
Cenizas	8%
Calcio	2%

Figura 9. Composición química de las hojas de neem

Fuente: Etcheverry, 2003.

Árbol de Guayacán: El guayacán de bola, guayacán garrapo, ibiocaí, palo sano o vera (*Bulnesia arborea*) es un árbol de gran parte del norte de Sudamérica, en la región de las Guayanas, de Venezuela, Colombia, Guyana. A veces en el mercado internacional se lo nombra como Paraguay lignum vitae ya que sus propiedades y usos son similares al guayacán, árbol del género *Guaiacum*. Crece en bordes de carreteras, caminos y ríos, y en el interior de bosques secos, subxerofíticos y espinosos (Cardenas & Salinas, 2007).

Muy usado en construcciones civiles y en navales, tornería, elaboración de durmientes de ferrocarril. Es planta ornamental en jardinería. La madera debe utilizarse recién cortada, puesto que al secarse se pone extremadamente dura y ya no es aprovechable. Es apreciado por sus propiedades protectoras de la piel humana con su esencia. Da un buen carbón y vigas de alta calidad. Igniciona fácilmente, y produce un humo fragante (Colmeiro, 2009).

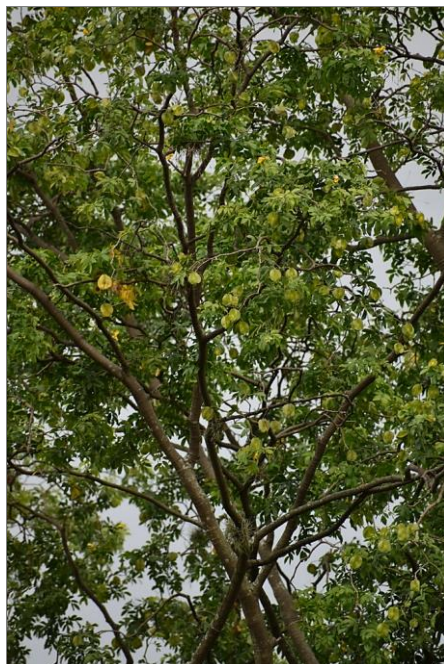


Figura 10. Árbol de Guayacán Carrazo

Fuente: Revista Naturalista, 2021.

Tabla 4. Taxonomía del árbol Guayacán Carrapo

GUAYACÁN CARRAPO	
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Sipindales
Familia:	Zygophyllaceae
Género:	Bulnesia
Especie:	Bulnesia Carrapo K et. Dugand
N. Común:	Guayacán Carrapo

En cuanto a la composición química de las hojas del árbol de guayacán Carrapo, se ha encontrado que estas contienen elementos químicos que se utilizan para sintetizar aceites esenciales, los cuales contienen a su vez, alcoholes de estructura sesquiterpénica como el

bulnesol, guaiol y elemol (Enríquez & Orrabalis, 2019).

Los resultados de la composición química del aceite extraído de las hojas del árbol de guayacán Carrapo se presentan a continuación:

Tabla 5. Componentes principales del aceite extraído de las hojas del árbol guayacán carrapo

Componente	Identificación	% Relativo
Bulnesol	Fórmula:C15H26O CAS:22451-73-6	58,18
Guaiol	Fórmula:C15H26O CAS:489-86-1	28,71
Elemol	Fórmula:C15H26O CAS:639-99-6	10,17
α -Gurjenene	Fórmula:C15H24 CAS:489-40-7	1,08
α -Guaiene	Fórmula:C15H26O CAS:13822-35-0	0,67
β -Cariofileno	Fórmula:C15H24 CAS:110823-68-2	0,58

Árbol de Ficus: Ficus benjamina, llamado vulgarmente de igual manera, boj o laurel de la india en Costa Rica, amate en México, y en América del Sur se le conoce como caucho benjamina o matapalo. Es una higuera nativa del sur y sureste de Asia, y sur y norte de Australia (Berendsohn, Gruber & Salomón, 2012).

Alcanza 15 metros de altura en condiciones naturales, con gráciles ramas péndulas y hojas de 6 a 13 cm de largo, ovals con punta acuminada. En Colombia, esta especie está vetada para siembra en espacios urbanos, debido al gran desarrollo de su sistema radicular que afecta gravemente a las tuberías de alcantarillado, causando el taponamiento y el consiguiente gasto en cambio y reparación de los sistemas de drenaje (Linares, 2005).



Figura 11. Hojas del árbol Picus

Fuente: Guía Verde, 2021.

Tabla 6. Taxonomía del árbol Ficus

FICUS	
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliophyta
Subclase:	Hamamelidae
Orden:	Urticales
Familia:	Moraceae
Género:	Ficus
Especie:	Ficus Benjamina L
N. Común:	Ficus

Las especies de Ficus contienen glucósidos flavonoides, alcaloides, ácidos fenólicos, esteroides, saponinas, cumarinas, taninos, triterpinoides - ácido oleanólico, ácido rusólico, ácido α hidroxil ursólico, ácido protocatechico, maslínico ácido. Los constituyentes no enzimáticos incluyen fenólicos compuestos, flavonoides, vitamina C. El enzimático los constituyentes

presentes son ascorbato oxidasa, ascorbato peroxidar, catalasa, peroxidar. El fenólico los compuestos presentes son el ácido gálico y el ácido elágico (Warrier, 2002).

Árbol de Oití: El oití u oiti, *Licania tomentosa*, es una especie de árbol de la familia Chrysobalanaceae. Es originaria del este y sur de Brasil. Es el árbol oficial de la ciudad de Cúcuta, en Colombia (Govaerts, 2019).

Es un espécimen típico de la vegetación brasileña, también llamado "*oiticica*", este árbol es muy popular en el noreste brasileño, en especial en las áreas ocupadas para Mata atlántica. Aunque Brasil es su país de origen, también es muy popular en la ciudad colombiana de Cúcuta en el departamento de Norte de Santander pues al ser de gran tamaño sus ramas crecen bastante hacia los lados y así sofocan un poco el calor de esta urbe que normalmente es de 28°C a 32°C en días normales y de 32°C hasta 36 o 37°C en días extremadamente cálidos (Victoria, 2013).



Figura 12. Hojas del árbol Oití

Fuente: Alamy, 2021.

Tabla 7. Taxonomía del árbol Oití

OITÍ	
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Rosales
Familia:	Chrysobalanaceae
Género:	Licania
Especie:	Licania Tomentosa (Benth.) Fritsch.
N. Común:	Oithi

A esta planta se le atribuyen propiedades medicinales, en su uso popular se utiliza como tratamiento empírico para la diabetes Agra, Freitas & Barbosa (2007), otros estudios mostraron que compuestos aislados de sus hojas y frutos sirvieron para combatir al cáncer (Fernandes, Castilho, Costa, Wagner, Kaplan & Gattass, 2003). La acción terapéutica puede estar relacionada, en parte, con los componentes químicos y la acción antioxidante presente en esta especie. De hecho, un estudio realizado por (Almeida, Lopes, Sousa, Pessoa, Vieira, Medeiros & Carvalho 2017), destacó la presencia de ácido gálico, catequina, ácido clorogénico, ácido cafeico, epicatequina, ácido elágico, rutina, quercetina, quercitrina y campferol en extractos de etanol de *Licania Tomentosa* y sus fracciones (metanólica, acetato, cloroformo y acuosa).

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 13).

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (Figura 14), seguidamente se molturaron

por vía seca en el molino de martillos (Figura 15), y finalmente al material molido se le realizó un proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (Figura 16), para obtener una distribución granulométrica uniforme. Después se obtuvieron las diferentes mezclas para fabricar el bloque H-10, adicionando 2,5%; 5% y 7,5% de hojas de árbol. 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 17) 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 una 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 18) con calentamiento eléctrico, sometiendo cada bloque a temperaturas de cocción de 1000°C.

Después del ciclo de cocción, cada bloque se pesó y se midió, una vez alcanzaron la temperatura ambiente, para mejor manipulación. Por último, 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.



Figura 13. Extrusora de laboratorio con vacío

Fuente: CIMAC, 2020.



Figura 14. Apisonador de la arcilla (triturator)

Fuente: CIMAC, 2020.



Figura 15. Molino de martillo (molienda vía seca)

Fuente: CIMAC, 2020.



Figura 16. Tamiz malla 10 (tamizado)

Fuente: CIMAC, 2020.



Figura 17. Estufa de 128 litros

Fuente: CIMAC, 2020.



Figura 18. Horno mufla

Fuente: CIMAC, 2020.

4.3 Ensayos Realizados

4.3.1 Análisis físico-cerámico. Como se muestra a continuación:

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

Equipos:

Extrusora (figura 13). Se utilizó la extrusora de laboratorio para conformar los bloques cerámicos mezclados con ceniza de hojas de árboles y se obtuvo bloque cerámico H-10 por cada mezcla.

Estufa de secado (figura 17). 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 19). Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.

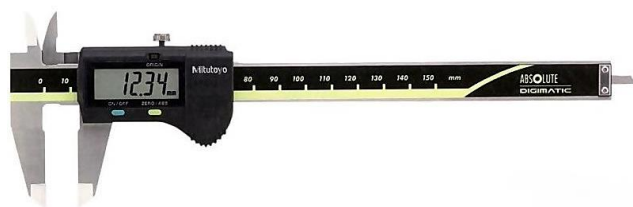


Figura 19. Pie de rey digital de 200 mm

Fuente: CIMAC, 2020.

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 midieron con calibrador pie de rey (figura 19), y pesaron con balanza digital (figura 16), obteniendo dimensiones de longitud entre 80 y 100 mm y masa entre 150 y 190 g. Posteriormente los bloques se secaron en la estufa de secado (figura 17) iniciando a temperatura ambiente de 30°C hasta llegar a temperatura de 110 °C durante 24 horas. Luego se dejaron secar a temperatura ambiente para ser manipulados, con el fin de tomar de nuevo medidas en condiciones secas. Finalmente se quemaron en el horno mufla (figura 18) a una temperatura de 1000 °C, se dejó enfriar cada bloque para obtener las medidas finales en condiciones cocidas. Después de tener todos los datos mencionados en las 3 condiciones anteriores, se calculó 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. La determinación de la absorción se muestra a continuación:

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

Balanza. Balanza, con precisión 0,1 g.



Figura 20. Balanza digital de 20 kg

Fuente: CIMAC, 2020.

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



Figura 21. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión

Fuente: CIMAC, 2020.

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



Figura 22. Termohigrómetro EXTECH

Fuente: CIMAC, 2020.

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 retiró 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 rotuló cada espécimen con el código interno dado a la muestra y el respectivo número de espécimen.

Secado de los especímenes. Se pesó cada espécimen de ensayo y se registró la masa inicial como m^1 en la hoja de ensayo, posteriormente se introdujeron en la estufa de secado, la cual se mantuvo a una temperatura entre 105 °C y 115°C; después de 24 horas de secado, se sacaron los especímenes de la estufa de secado, se dejaron enfriar a temperatura ambiente, y se pesaron registrando la masa como m^2 .

Seguidamente se introdujeron los especímenes 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 especímenes alcanzaron una masa constante, es decir, cuando la diferencia entre dos pesajes en 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 enfriaron en el cuarto hasta mantener la temperatura de $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una humedad relativa entre 30 y 70%; se 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 $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 24 h (sin inmersión parcial preliminar), manteniendo el nivel de agua 5 cm por encima de los especímenes que se ensayaron.

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 registraron los resultados, en la hoja de ensayo.

El valor de **m4** 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. La determinación de la resistencia mecánica se evidencia de la siguiente manera:

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 19). Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.

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



Figura 23. Crometro (prensa de presión)

Fuente: CIMAC, 2020.

Materiales:

Paño de limpieza

Brocha o cepillo duro para limpiar el Crometro

Marcador para rotular

Procedimiento:

Se ensayaron los bloques en una posición tal que la carga fue aplicada en la dirección en que van a estar puestos en servicio. Se ubicaron los bloques en el centro, bajo el soporte esférico superior con una tolerancia de 1,6 mm.

Se limpiaron los platos de la máquina de ensayo con un trapo, se eliminaron todas las impurezas sueltas que existían en las caras de apoyo del bloque, se alineó cuidadosamente el bloque con el centro del plato, de manera que quedó asentado uniformemente. Las piezas que tuvieron una sola hendidura se colocaron con ésta hacia arriba. En el caso en que la pieza tuviese hendiduras en ambas caras, la cara que tenga la hendidura de mayor tamaño se colocó hacia arriba.

Se aplicó 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 ajustaron los controles de la máquina de tal forma que la carga faltante se aplicó a una velocidad uniforme en no menos de 60 segundos ni más de 120 segundos.

4.4 Normas Aplicadas

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

NTC 4205:2000. 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 da en la tabla 5 y 6.

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 8 y 9, cuando se ensayan según el promedio descrito en la NTC 4017.

Tabla 8. 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

Fuente: Norma NTC 4017:2018

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 9. 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

Fuente: Norma NTC 4017:2018

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 Realizar un Diagnóstico del Sector de Hojas de Árbol

Las ciudades, cada vez más habitadas, necesitan más árboles para mejorar el medio ambiente, la economía y la salud de sus habitantes, los árboles y otras plantas fabrican su propio alimento del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, el agua, la luz solar y en una pequeña cantidad de elementos del suelo. En ese proceso los árboles liberan el oxígeno (O₂) para nosotros respirar. Ayudan a eliminar, atrapar y sostener partículas de contaminantes (polvo, cenizas, polen y humo) que pueden causar daños a los pulmones humanos. Producen cada día, en cada acre, oxígeno suficiente para 18 personas. Absorben en cada acre, por el período de un año, el CO₂ suficiente para igualar la cantidad que se produce al conducir un auto 26,000 millas (Wildghem, 2017).

Los estudios de las arborizaciones urbanas en las ciudades de clima cálido en Colombia, o en cualquier ciudad de clima cálido que se ubique en el trópico americano, arrojan un muestreo de especies de árboles ornamentales oriundas de prácticamente toda la zona intertropical del planeta (Borrero, 1975). La arborización de la Cúcuta actual, es en gran medida efecto del terremoto que devastó, el 18 de mayo de 1875, no sólo a San José de Cúcuta, sino a San Antonio del Táchira. El nuevo trazado urbano de Cúcuta, dirigido por el ingeniero Francisco de Paula Andrade Troconis, le aportó a esta ciudad calles y avenidas espaciosas —muchas con amplio separador vial—, donde los árboles tienen espacio para crecer en todo su esplendor, brindando a los espacios urbanos la sombra que los hace confortables (Chacón, 1999).

Cúcuta es una de las ciudades más arborizadas del país y su fama llegó hace 30 años, cuando el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA) le otorgó el premio al mérito forestal “Roble de Oro” y la eligió como “Ciudad

Verde”. Con chiminangos, matarratones, oitíes, almendrones, acacias, urapos, samanes, neem, ceibas, ficus, nísperos y totumos, entre otros, se puede decir que la ciudad cuenta con una población cercana al millón de árboles (Diario la Opinion, 2019), si bien estas especies producen sombra y reducen el impacto de la contaminación, ninguna de ellas presenta una oferta alimenticia interesante para la fauna nativa, y en consecuencia, aunque presentan altas poblaciones, no colaboran con el fortalecimiento de la Estructura Ecológica Principal de la ciudad, especialmente, en su componente fauna.

En la actualidad existen una serie de productos como plantas de azúcar, cactus, tuna, maíz, arroz, trigo, pino, eucalipto, etc. que, al ser usados sólo el fruto, madera y semilla de la planta, quedan una serie de residuos, que muchas veces son arrojados en cualquier lugar y pueden producir la contaminación del suelo y entorno. Estos residuos como cascarillas, tallos, hojas, raíces, etc., puede ser aprovechados en usos alternativos, diversos estudios avalan la inclusión de estos productos como cenizas con propiedades puzolánicas, en sustitución de arcilla para la fabricación de bloques de construcción (Gamboa, 2018).

El aprovechamiento de los subproductos y desechos del sector industrial y agrícola están generando a nivel mundial un interés cada vez mayor; el reto es el de reutilizar materiales y productos que permitan reducir el impacto ambiental, a través de buenas prácticas de reciclaje y separación en la fuente, permitiendo el aprovechamiento de éstos para la generación de nuevos materiales. Muchos de estos subproductos tienen un alto contenido de sílice y/o de alúmina, aportando mejoras significativas a la mezcla de arcilla como mayor resistencia, durabilidad, bajos costos de producción y menores desechos contaminantes con el medio ambiente (Castro, 2013).

En este trabajo de grado se emplearon las hojas de árboles como nutriente tecnológico, para su uso se requirió de una preparación inicial que consistió en recolectar hojas secas de los árboles ubicados en las instalaciones de la universidad Francisco de Paula Santander, posterior a eso se llevaron a un proceso de molienda a través de un molino de martillos y un molino de bolas para finalmente clasificar este residuo por tamaño de partículas en un tamiz No. 30.



Figura 24. Recolección de hojas secas



Figura 25. Molino de martillos



Figura 26. Molino de bolas



Figura 27. Molienda de hojas secas en molino de bolas



Figura 28. Tamizado de molienda en tamiz No.30

5.2 Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes del Nutriente a Nivel de Laboratorio

Este objetivo comprende los resultados obtenidos de la elaboración del bloque H-10 utilizando porcentajes de 100% en la mezcla de arcilla y del 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol como sustitución en esta, realizando análisis físico cerámicos a la arcilla por extrusión a nivel de laboratorio, análisis físicos cerámicos a las mezclas diseñadas por extrusión a nivel de laboratorio, ensayo de absorción de agua para bloques cerámicos a nivel de laboratorio y ensayo de resistencia mecánica a la compresión de bloques cerámicos a nivel de laboratorio, teniendo en cuenta la establecido en la norma NTC 4017:2018 del instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), como los procedimientos de muestreo y ensayo, para todo tipo de ladrillos de arcilla cocida, incluidas las tejas, los adoquines y los bloquelones.

5.2.1 Dimensiones de los especímenes en los diferentes porcentajes de mezcla de arcilla.

Para determinar las dimensiones de los especímenes se aplica la norma NTC 296:2000, donde se especifica que las unidades de mampostería deben estar diseñadas para que sus medidas reales, más las juntas de pega, se adapten a sistemas de coordinación modular en la construcción. Sin embargo, en este caso, al ser una evaluación a nivel de laboratorio los especímenes tenían unas dimensiones modulares promedio de 74,33 mm de largo, 26,57 mm de ancho y 46,48 mm de alto.

Ordinariamente, las unidades de mampostería de arcilla cocida no tienen que cumplir con medidas modulares, pero cuando el fabricante lo especifique se debe considerar un requisito adicional del producto y se deben ajustar a las medidas, holguras y tolerancias que para dicho efecto se establecen en la norma anteriormente mencionada.

Las dimensiones exteriores de las unidades de cualquier tipo o clase pueden variar en un 2% por encima o por debajo de las medidas nominales especificadas, para todas las formas y tamaños que se fabriquen, en la Tabla 10 se presenta a manera de comparación las dimensiones reales de las unidades de mampostería tradicional vs las tomadas para elaborar los especímenes evaluados.

Tabla 10. Dimensiones reales de unidades de mampostería vs dimensiones modulares de unidades a nivel de laboratorio en mm

Dimensiones Reales (mm)			Dimensiones a Nivel de Laboratorio (mm)		
Longitud	Ancho	Altura	Longitud	Ancho	Altura
230	110	50	74,84	26,53	46,62
250	120	55	75,65	26,47	47,21
290	140	65	74,92	26,65	45,37
390	190	90	72,74	26,69	46,02

5.2.2 Textura y color. Comúnmente, el color varía dentro de una gama, según el tipo de arcilla y el proceso de fabricación, y no puede usarse como parámetro de evaluación de calidad, sin que antes se realicen los ensayos de resistencia y absorción correspondientes. En la parte de las texturas, éstas se basarán en los moldes que se usan en su fabricación. Por lo tanto, tiene mayor variedad: punteadas, rayadas, con detalles decorativos, entre otras, también pueden tener dibujos en una sola de sus caras como pueden estar en todas.

Todo cambio a la textura lisa de la superficie de las unidades, tales como estrías, grabados, escarificaciones, etc., se debe realizar preferiblemente sobre el producto crudo o por cualquier método que no produzca fisuras o debilitamiento de las paredes. Las estrías, además de cubrir por lo menos el 50% de la superficie de colocación, no pueden disminuir el espesor de la pared en más de 5 mm, su profundidad mínima debe ser de 1,5 mm y el ancho menor que 10 mm.

5.2.3 Número de especímenes a analizar. Según lo establecido en la NTC 4017:2018 las muestras de ladrillos y bloques para muros de mampostería se deben escoger aleatoriamente de cada lote de producción, no puede haber lotes mayores a los máximos establecidos por esta norma, ni cantidades de muestras inferiores mínimas establecidas en las normas de origen de cada producto, cuando existan.

En este caso se analizaron tres (3) lotes independientes de cada muestra de material para asegurar un óptimo resultado de los ensayos.

En la Tabla 11 se indica el número de especímenes que se debe tomar de cada lote de unidades para realizar los ensayos de laboratorio:

Tabla 11. Plan de muestreo para ensayos de laboratorio en la elaboración de ladrillos y bloques estructurales

Producto	Ensayos	Número de Especímenes	Norma de Referencia
Ladrillos y Bloques Estructurales	Resistencia a la Compresión(a)	6(b)	NTC 4205-1
	Absorción de agua por inmersión 24 h	5	
	Absorción de agua por ebullición 1 h	5	
	Tasa inicial de absorción	5	
	Tolerancia dimensional	10	
	Análisis térmico-diferencial (o térmico dilatométrico) (c)	100 g de materia prima y tres fragmentos de más de 50 g de ladrillo	
	Alabeo	10	

Fuente: Norma NTC 4017:2018

(a): Los ensayos de resistencia a la compresión referidos en esta tabla corresponden a los que se aplican a las unidades sueltas y no a los muretes de mampostería, cuya construcción y ensayo se rigen por lo establecido en la NSR-10 o el reglamento colombiano de construcción sismo

resistente vigente.

(b): Seis unidades, incluido el espécimen de calibración.

(c): El análisis térmico-diferencial y el térmico-dilatométrico son ensayos alternativos que reemplazan los ensayos directos de absorción de agua y se practican cuando se superan los límites de absorción o en reemplazo del ensayo de absorción (NTC 4025, todas las partes). El resultado de estos ensayos es absoluto y prima sobre cualquier resultado de absorción.

5.2.4 Análisis fisico-ceramico por extruido a 100% de mezcla de arcilla. La arcilla es una materia prima que presenta múltiples aplicaciones tecnológicas. Se utiliza tanto para la elaboración de cerámica tradicional como para nuevos materiales útiles en la actualidad (Romero & Barrios, 2005) Es un mineral complejo constituido por aluminosilicatos hidratados, comúnmente acompañados de otros minerales tales como hierro, calcio, magnesio y titanio. Estructuralmente están constituidos por láminas de tetraedros SiO_4 y octaedros AlO_6 . La combinación de estas láminas forma diferentes tipos de estructuras arcillosas que a su vez dan origen a paquetes, que al combinarse generan las placas de mineral arcilloso (Bernal, 2003).

El proceso utilizado para la elaboración de un producto cerámico involucra las siguientes etapas básicas: preparación de la pasta cerámica, conformado de la pieza, secado y cocción de la misma; en algunas ocasiones se incluyen otras etapas de acuerdo con las características que se busquen en el material acabado (Galán & Aparicio, 2006). En general, al material arcilloso extraído de las minas se le adiciona agua, fundentes y defloculantes para modificar su composición y plasticidad. La mezcla de estos compuestos debe permitir la obtención de una pasta cerámica homogénea que se conforma normalmente por presión o extrusión para obtener la pieza “en verde”. Esta pieza se somete a una etapa de secado tal que las partículas de arcilla que

están virtualmente rodeadas por una película muy fina de agua pierden la misma a medida que avanza el proceso, ocasionando que la distancia entre partículas disminuya, generando contracción del material (Sánchez & Askeland, 1998).

A continuación, en la Tabla 12, se presentan los resultados del análisis físico-cerámico por extrusión realizado al 100% de la mezcla de arcilla, donde se muestra la cantidad de probetas analizadas en el ensayo, la temperatura a la que se sometieron y las diferentes condiciones que se obtuvieron, así como los porcentajes de contracción, de pérdida de masa y de absorción de agua en sus distintos estados.

Tabla 12. Análisis físico-cerámico por extruido a 100% de mezcla de arcilla

PROBETA	TEMPERATURA	CONDICIÓN HUMEDA			CONDICIÓN SECA		CONDICIÓN COCIDA			CONTRACCIÓN PERDIDAS DE MASA				ABSORCIÓN DE AGUA	
		LONGITUD	MASA	EMPUJE	LONGITUD	MASA	LONGITUD	MASA	EMPUJE	MASA DE ABSORCIÓN DE AGUA	SECA	COCIDA	SECA		COCIDA
	[° C]	[mm]	[g]	[g]	[mm]	[g]	[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1		80,48	152,47		77,83	124,99	74,84	119,90		133,02					
2		80,12	154,78		78,35	126,72	75,65	121,69		134,46					
3		80,32	151,32		78,69	124,38	74,92	119,44		132,16					
4		79,93	148,57		73,97	122,11	72,74	117,24		129,89					
5	1000	78,58	148,43	NA	76,55	121,58	73,49	116,70	NA	129,29	4,771	3,001	17,939	3,971	10,735
6		82,61	155,44		77,31	127,48	76,51	122,47		135,72					
7		81,09	147,64		79,76	127,84	75,48	122,79		136,00					
8		78,37	154,19		73,82	121,36	72,90	116,51		128,65					
9		83,69	155,48		77,23	126,52	75,73	121,57		134,76					
10		99,54	184,84		91,02	151,16	88,58	145,25		161,00					

Temperatura: En general, según los estudios experimentales desarrollados, las arcillas tienen una temperatura de fusión entre los 1.000°C y 1.500°C, correspondiendo las temperaturas de fusión más bajas a aquellos materiales ricos en hierro, alcalinos y alcalinotérreos; las más altas están en relación con los minerales que carecen de estos elementos, ejemplo típico son las arcillas caoliníticas. El grado de vitrificación se encuentra, por tanto, modificado por la composición mineralógica y la gradación de tamaño de grano existente (Linares & Huertas, 2013).

Condición húmeda: El comportamiento de la arcilla se puede comparar con el de una esponja por su capacidad para retener agua dentro de su estructura y cuya cantidad depende de las características de sus partículas (textura y estructura). La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. En este caso, se determinó el peso de agua eliminada para cada una de las probetas ensayadas, secando la arcilla húmeda hasta un peso constante en un horno controlado a 1000° C. El peso de la muestra que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua (Patiño, 2001).

Condición seca: La condición seca de la muestra hace referencia a un estado de humedad en el cual ningún poro del agua se encuentra con agua. Después de haber sido sometida a altas temperaturas, las probetas adquieren una masa menor a la obtenida en condiciones húmedas. En este sentido, se puede decir que el grado de saturación de las probetas en este estado es inexistente (Cardona & Cristancho, 2008).

Condición cocida: Los minerales de la arcilla al ser sometidos a un proceso de calentamiento sufren una serie de transformaciones que van desde la deshidratación, paso inicial del cambio,

hasta la aparición de una fase vítrea que constituye el fin del proceso. Desde que se produce la pérdida de agua existente en la estructura hasta la aparición de la mencionada fase vítrea, se desarrollan unos cambios intermedios tales como: deshidroxilación, destrucción de la estructura cristalina y formación de nuevas fases cristalinas. En esta fase, se calculó la masa de cada probeta en condición cocida, así como su masa de absorción de agua (Aparicio, 2013).

Contracción: Cuando mezclamos la arcilla en polvo con el agua, esta hace que las partículas se hinchen y, por lo tanto, la arcilla en su totalidad aumenta de tamaño. Pero al contacto continuo con el aire, la arcilla pierde agua y se seca, con lo cual pierde volumen. A este proceso lo conocemos como contracción, encogimiento o merma. Por lo tanto, entre más agua tenga una arcilla, más encoge. Es decir, las arcillas y pastas muy plásticas encogen más que las muy magras. Aunque una arcilla no se considera completamente seca sino hasta cuando alcanza los 100° C. Es decir, cuando pierde el agua física. De acuerdo a esto, se procedió a calcular los porcentajes arcilla contraída en estado seco y cocida (Torres, 2021).

Pérdidas de masa: La pérdida de masa tras sinterización se determinó pesando la muestra conformada después de la etapa de secado y cocción, en este caso la pérdida de masa tras sinterización de la arcilla a 1000°C fue del 17,93% en estado seco y del 3,97% en estado cocida, la pérdida de masa se puede atribuir principalmente a la materia orgánica de la arcilla, a la eliminación del agua estructural de los minerales de la arcilla, debido a reacciones de deshidroxilación, y a la descomposición del carbonato de calcio (Chaves, Menese, Mancill & Páez, 2007).

Absorción de agua: La porosidad de las piezas cocidas puede ser de dos tipos, abierta o cerrada. La porosidad abierta se puede determinar a partir de valores de absorción de agua.

Cuanto menor es la absorción de agua, se espera que estos tengan una mayor durabilidad y más resistencia al medio. 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 vaya a pañetar (Rodríguez, 2010).

5.2.5 Absorción de agua a 100% mezcla de arcilla. Según lo establecido en la NTC 4017:2018, los especímenes para realizar el ensayo de absorción de agua deben estar compuestos por cinco (5) unidades o tres (3) piezas o fragmentos representativos de cada una de ellas. Los bordes de los especímenes deben estar libres de partículas sueltas. Si se han tomado de especímenes que se han sometido a ensayos de resistencia a la compresión, éstos deben estar libres de grietas debidas a fallas durante la compresión.

Para calcular el porcentaje de absorción de agua se utilizó el método de ensayo de inmersión durante 24 horas, se realizaron dos medidas del peso de las muestras. La primera tras ser secadas en la estufa, y la segunda tras 24 horas sumergidas en agua limpia con una temperatura entre 15° c y 30° c durante 24 h. Se retiraron los especímenes, se secó el exceso de agua con un paño húmedo y posteriormente se procedió a pesarlos, sin que pararan 5 minutos después de haberlos retirado del agua, y por último se determinó el porcentaje de absorción de agua como sigue:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100 \times (W_{sss} - W_s)}{W_s} \quad \text{Ec. (1)}$$

En donde

W_s = peso seco del espécimen antes de inmersión, en g.

W_{sss} = peso del espécimen saturado superficialmente seco, en g.

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de absorción de agua realizado por triplicado (3 lotes) basado en la norma NTC 4017:2018 al 100% de la mezcla de arcilla:

Tabla 13. Porcentaje de absorción de agua del lote 1 a 100% de mezcla de 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 14. Porcentaje de absorción de agua del lote 2 a 100% de mezcla de 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 15. Porcentaje de absorción de agua del lote 3 a 100% de mezcla de 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

5.2.6 Resistencia mecánica a la compresión a 100% mezcla de arcilla. La resistencia a la compresión de los ladrillos, es la carga unitaria aparente a la rotura, bajo un esfuerzo axial de compresión. Es una de las pruebas más importantes, ya que indica el esfuerzo de compresión que es capaz de soportar, valor muy útil cuando lo que se persigue es un uso estructural.

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó bajo la norma NTC 4017:2018, la cual se establece que para unidades de mampostería o ladrillos que sean macizos, semimacizos o adoquines, los especímenes de ensayo deben ser unidades secas y a temperatura ambiente que contengan la altura y el ancho completos de la unidad, como se usa en el muro o en el enladrillado y a la mitad de la longitud de la pieza completa ± 25 mm.

La muestra para este ensayo estuvo compuesta por cinco (5) especímenes previamente secados y enfriados, sometiéndolos a un esfuerzo normal progresivamente creciente, aplicando la carga centrada en la cara superior de estos. La velocidad de aplicación de la carga se calculó con base en la carga de rotura del ensayo de calibración previamente realizado y en un tiempo de no menos de 60 segundos ni más de 120 segundos, el resultado de estos ensayos con la velocidad así calculada, garantizó que estos fueran validos independientemente del tiempo total que se

hubieran tardado en realizarse.

Se calculó la resistencia a la compresión de cada espécimen redondeándolos a la décima de MPa más cercana, como se indica a continuación:

$$\text{Resistencia a la compresión, } C = \frac{W}{A} \quad \text{Ec. (2)}$$

En donde:

C = resistencia del espécimen a la compresión, en MPa.

W = carga máxima de rotura, en N, indicada por la máquina de ensayo.

A = área neta del espécimen en cm^2

Así mismo, se llevó el ensayo hasta la carga máxima que cada espécimen sometido a prueba fue capaz de soportar. Las tablas 16, 17 y 18 contienen la información los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, donde además se muestra el largo, ancho, alto, área y carga de rotura por compresión de los diferentes especimenes elaborados en el laboratorio para cada lote:

Tabla 16. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 1 con 100% de mezcla de 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 17. Resistencia mecánica a la compresión en Kgf/cm² de especímenes del lote 2 con 100% de mezcla de 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 18. Resistencia mecánica a la compresión en Kg/cm² de especímenes del lote 3 con 100% de mezcla de 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

Carga de rotura por compresión: El módulo de rotura (ensayo de flexión) es una propiedad importante como criterio de durabilidad y para entender el mecanismo de falla de la mampostería cuando se solicitan esfuerzos de compresión y flexión, casos muy comunes en la mampostería (García, 2012). El ladrillo fue sometido a una carga puntual en el centro de la pieza a una velocidad entre 100 N/s y 150 N/s y registrando la carga de falla en Kgf.

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión de ladrillo de arcilla, se usa como control de calidad en la elaboración (dosificación de los materiales, temperatura y tiempo de horneado), para conocer la calidad de los materiales y su materia prima utilizados en la fabricación de ladrillo y para encontrar la resistencia a la compresión de la mampostería, a partir de fórmulas que relacionan las propiedades de la unidad y los morteros (Takeuchi, 2010).

5.2.7 Análisis físico-cerámico por extruido a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. A continuación, se presentan los resultados del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla de arcilla adicionando 2,5% de hojas de árbol, donde se muestra la cantidad de probetas analizadas en el ensayo, la temperatura a la que se sometieron y las diferentes

condiciones que se obtuvieron, así como los porcentajes de contracción, de pérdida de masa y de absorción de agua en sus distintos estados.

Tabla 19. Análisis físico-cerámico por extruido a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

PROBETA	TEMPERATURA [° C]	CONDICIÓN HUMEDA			CONDICIÓN SECA		CONDICIÓN COCIDA			CONTRACCIÓN PERDIDAS DE MASA				ABSORCIÓN DE AGUA [%]	
		LONGITUD [mm]	MASA [g]	EMPUJE [g]	LONGITUD [mm]	MASA [g]	LONGITUD [mm]	MASA [g]	EMPUJE [g]	MASA DE ABSORCIÓN DE AGUA [g]	SECA [%]	COCIDA [%]	SECA [%]		COCIDA [%]
1		83,23	155,01		79,86	127,67	78,75	118,77		132,11					
2		83,61	157,66		78,45	129,32	77,55	120,27		133,95					
3		84,70	158,34		81,11	129,96	79,06	120,89		134,87					
4		82,82	156,80		78,65	129,06	77,81	120,10		133,91					
5	1000	85,90	160,13	NA	81,30	131,34	80,25	122,43	NA	136,76	4,801	1,361	17,869	6,909	11,586
6		82,74	155,49		79,18	127,73	78,41	119,05		133,31					
7		85,14	156,44		81,83	128,46	80,81	119,50		133,82					
8		85,46	160,55		81,97	131,74	81,20	122,67		136,73					
9		85,64	159,13		81,05	130,54	79,60	121,60		135,53					
10		82,30	154,15		77,75	126,66	76,79	117,91		131,60					

5.2.8 Absorción de agua a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. Para este cálculo se siguió el procedimiento descrito en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017, que equivale al procedimiento de la American Society for Testing and Materials ASTM C67. Corresponde al volumen de agua recogida por una unidad, durante la inmersión a las condiciones prescritas en relación con el peso seco inicial de la misma. El resultado de la absorción es la diferencia entre la absorción fría y la caliente. Dicha relación no puede ser inferior a 0,8.

A continuación, se presentan los resultados de los porcentajes de absorción de agua en los tres (3) lotes fabricados para este ensayo con el 2,5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla, teniendo en cuenta la masa seca y húmeda de estos.

Tabla 20. Porcentaje de absorción de agua del lote 1 a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	119,05	133,31	12,0
2	119,50	133,82	12,0
3	122,67	136,73	11,5
4	121,60	135,53	11,5
5	117,91	131,60	11,6
Promedio de la muestra	120,15	134,20	11,70

Tabla 21. Porcentaje de absorción de agua del lote 2 a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	116,98	131,42	12,3
2	117,32	132,04	12,5
3	118,17	132,52	12,1
4	120,44	133,88	11,2
5	121,50	134,85	11,0
Promedio de la muestra	118,88	132,94	11,84

Tabla 22. Porcentaje de absorción de agua del lote 3 a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	116,07	129,09	11,2
2	121,90	136,04	11,6
3	121,88	135,77	11,4
4	120,60	134,70	11,7
5	119,65	132,97	11,1
Promedio de la muestra	120,02	133,71	11,41

5.2.9 Resistencia mecánica a la compresión a 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. Para la realización de este ensayo se utilizaron unidades secas y limpias. A estas se les colocó, tanto en la parte superior como inferior un capping de azufre, para uniformizar las superficies de contacto con el cabezal por donde se transmite la carga y la base donde se apoya el ladrillo.

A continuación, se presenta en las siguientes tablas, la información los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los bloques fabricados con el 2,5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla, donde además se muestra el largo, ancho, alto, área y carga de rotura por compresión de los diferentes especímenes elaborados en el laboratorio para cada lote:

Tabla 23. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 1 con 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Largo del especimen [mm]	Ancho del especimen [mm]	Alto del especimen [mm]	Área neta del especimen [mm²]	Área neta del especimen [cm²]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm²]
1	78,41	26,54	47,88	2081,0	20,81	877,76	42,18
2	80,81	26,38	48,14	2131,8	21,32	401,44	18,83
3	81,20	26,37	48,19	2141,2	21,41	618,57	28,89
4	79,60	26,62	48,03	2119,0	21,19	707,35	33,38
5	76,79	26,53	47,92	2037,2	20,37	887,80	43,58
Promedio	79,36	26,49	48,03	2.102,04	21,02	698,58	33,37

Tabla 24. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 2 con 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Largo del especimen [mm]	Ancho del especimen [mm]	Alto del especimen [mm]	Área neta del especimen [mm²]	Área neta del especimen [cm²]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm²]
1	79,82	26,66	47,93	2128,0	21,28	763,32	35,87
2	78,38	26,70	48,14	2092,7	20,93	528,63	25,26
3	78,47	26,36	47,96	2068,5	20,68	606,99	29,34
4	79,38	26,17	48,06	2077,4	20,77	664,50	31,99
5	81,44	26,53	47,78	2160,6	21,61	764,28	35,37
Promedio	79,50	26,48	47,97	2.105,44	21,05	665,54	31,57

Tabla 25. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 3 con 2,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm²]	Área neta del espécimen [cm²]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm²]
1	77,93	26,53	47,75	2067,5	20,67	617,79	29,88
2	81,79	26,59	47,86	2174,8	21,75	830,87	38,20
3	81,92	26,39	47,80	2161,9	21,62	670,10	31,00
4	80,04	26,48	48,33	2119,5	21,19	607,56	28,67
5	79,01	26,39	47,77	2085,1	20,85	632,19	30,32
Promedio	80,14	26,48	47,90	2.121,74	21,22	671,70	31,61

5.2.10 Análisis físico-cerámico por extruido a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. El objetivo de este ensayo es obtener las especificaciones de los especímenes elaborados en el laboratorio, tales como su longitud, masa y empuje en condición húmeda, seca y cocida, la contracción que estos obtienen al ser sometidos a una temperatura determinada, su pérdida de masa y la cantidad de absorción de agua.

A continuación, se presentan los resultados, de las especificaciones anteriormente mencionadas, del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla de arcilla adicionando 5% de hojas de árbol:

Tabla 26. Análisis físico-cerámico por extruido a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

PROBETA	TEMPERATURA [° C]	CONDICIÓN HUMEDA			CONDICIÓN SECA			CONDICIÓN COCIDA			CONTRACCIÓN PERDIDAS DE MASA				ABSORCIÓN DE AGUA [%]
		LONGITUD [mm]	MASA [g]	EMPUJE [g]	LONGITUD [mm]	MASA [g]	LONGITUD [mm]	MASA [g]	EMPUJE [g]	MASA DE ABSORCIÓN DE AGUA [g]	SECA [%]	COCIDA [%]	SECA [%]	COCIDA [%]	
1		80,76	146,85		76,72	117,80	75,51	107,37		122,58					
2		82,30	147,44		78,94	118,40	78,31	107,96		123,49					
3		82,04	148,02		78,36	119,07	77,10	108,60		124,18					
4		80,98	147,43		76,82	118,18	76,07	107,72		123,08					
5	1000	82,85	145,55	NA	79,83	116,97	78,87	106,59	NA	122,25	4,614	1,211	19,740	8,826	14,395
6		82,78	147,84		79,43	118,64	78,48	108,25		124,14					
7		82,33	147,19		78,93	118,40	78,02	107,86		123,64					
8		82,83	149,45		78,38	119,79	77,45	109,05		124,75					
9		81,28	147,26		77,14	117,97	76,24	107,63		123,11					
10		82,75	151,34		78,49	121,31	77,51	110,78		126,30					

5.2.11 Absorción de agua a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. A continuación, se muestran los resultados de los porcentajes de absorción de agua en los tres (3) lotes fabricados para este ensayo con el 5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla, teniendo en cuenta la masa seca y húmeda de estos.

Tabla 27. Porcentaje de absorción de agua del lote 1 a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	108,25	124,14	14,7
2	107,86	123,64	14,6
3	109,05	124,75	14,4
4	107,63	123,11	14,4
5	110,78	126,30	14,0
Promedio de la muestra	108,71	124,39	14,42

Tabla 28. Porcentaje de absorción de agua del lote 2 a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	109,40	125,31	14,5
2	110,26	126,34	14,6
3	105,58	121,01	14,6
4	106,58	122,13	14,6
5	108,18	123,03	13,7
Promedio de la muestra	108,00	123,56	14,41

Tabla 29. Porcentaje de absorción de agua del lote 3 a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	108,18	123,65	14,3
2	108,30	123,76	14,3
3	105,61	120,79	14,4
4	107,80	123,11	14,2
5	106,20	121,15	14,1
Promedio de la muestra	107,22	122,49	14,25

5.2.12 Resistencia mecánica a la compresión a 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. Las resistencias a compresión y tracción uniaxiales son las propiedades que normalmente se utilizan para caracterizar la resistencia mecánica de los bloques de arcilla. Los materiales cerámicos tienen, en general, una elevada resistencia a compresión uniaxial por lo que se utilizan principalmente bajo cargas de compresión. Este comportamiento es consecuencia de la dificultad de movimiento de las dislocaciones por las estructuras cerámicas, incluso a elevadas temperaturas (Hare, 1964).

Las tablas 30, 31 y 32 recogen los valores de resistencia a la compresión en kgf/cm^2 de los bloques fabricados con el 5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla, donde además se muestra el largo, ancho, alto, área y carga de rotura por compresión en Kgf de los diferentes especímenes elaborados en el laboratorio para cada lote:

Tabla 30. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 1 con 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen Nº	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	78,48	26,50	47,89	2079,7	20,80	579,77	27,88
2	78,02	26,34	47,74	2055,0	20,55	408,58	19,88
3	77,45	26,61	47,76	2060,9	20,61	605,63	29,39
4	76,24	26,67	47,54	2033,3	20,33	519,56	25,55
5	77,51	26,93	47,60	2087,3	20,87	618,76	29,64
Promedio	77,54	26,61	47,71	2.063,28	20,63	546,46	26,47

Tabla 31. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 2 con 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen Nº	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm ²]	Área neta del espécimen [cm ²]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm ²]
1	79,92	26,56	47,90	2122,7	21,23	577,84	27,22
2	80,33	26,50	47,83	2128,7	21,29	547,16	25,70
3	76,48	26,52	47,68	2028,2	20,28	526,89	25,98
4	77,45	26,73	47,83	2070,2	20,70	622,04	30,05
5	78,66	26,66	47,69	2097,1	20,97	616,25	29,39
Promedio	78,57	26,59	47,79	2.089,40	20,89	578,04	27,67

Tabla 32. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 3 con 5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm²]	Área neta del espécimen [cm²]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm²]
1	76,42	26,90	47,04	2055,7	20,56	415,14	20,19
2	80,43	26,08	47,80	2097,6	20,98	414,56	19,76
3	77,32	26,14	47,84	2021,1	20,21	573,79	28,39
4	75,94	26,67	47,84	2025,3	20,25	486,36	24,01
5	78,48	26,14	47,83	2051,5	20,51	737,07	35,93
Promedio	77,72	26,39	47,67	2.050,25	20,50	525,38	25,66

5.2.13 Análisis físico-cerámico por extruido a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. A continuación, se presentan los resultados del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla de arcilla adicionando 7,5% de hojas de árbol, donde se muestra la cantidad de probetas analizadas en el ensayo, la temperatura a la que se sometieron y las diferentes condiciones que se obtuvieron, así como los porcentajes de contracción, de pérdida de masa y de absorción de agua en sus distintos estados.

Tabla 33. Análisis físico-cerámico por extruido a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

PROBETA	TEMPERATURA [° C]	CONDICIÓN HUMEDA			CONDICIÓN SECA			CONDICIÓN COCIDA			CONTRACCIÓN PERDIDAS DE MASA				ABSORCIÓN DE AGUA [%]
		LONGITUD [mm]	MASA [g]	EMPUJE [g]	LONGITUD [mm]	MASA [g]	LONGITUD [mm]	MASA [g]	EMPUJE [g]	MASA DE ABSORCIÓN DE AGUA [g]	SECA [%]	COCIDA [%]	SECA [%]	COCIDA [%]	
1		84,27	148,26		79,81	115,73	78,43	103,95		120,98					
2		80,96	142,37		77,08	111,11	76,13	99,81		116,11					
3		83,11	147,80		78,96	115,75	77,99	104,03		120,81					
4		80,64	142,95		77,11	111,76	75,88	100,43		116,95					
5	1000	79,76	142,27	NA	75,81	111,03	74,86	99,76	NA	116,28	4,748	1,107	21,844	10,131	16,386
6		83,06	147,67		79,10	115,69	77,83	103,91		121,56					
7		81,19	144,21		77,55	112,55	76,54	101,13		117,50					
8		80,18	139,83		76,75	109,28	75,55	98,22		114,19					
9		81,69	144,19		77,51	112,55	76,44	101,23		117,75					
10		81,29	143,62		77,69	112,48	76,77	101,19		117,64					

5.2.14 Absorción de agua a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. Las tablas 34, 35 y 36 muestran los resultados de los porcentajes de absorción de agua en los tres (3) lotes fabricados para este ensayo con el 7,5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla, teniendo en cuenta la cantidad en gramos de masa seca y húmeda de estos.

Tabla 34. Porcentaje de absorción de agua del lote 1 a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	103,91	121,56	17,0
2	101,13	117,50	16,2
3	98,22	114,19	16,3
4	101,23	117,75	16,3
5	101,19	117,64	16,3
Promedio de la muestra	101,14	117,73	16,40

Tabla 35. Porcentaje de absorción de agua del lote 2 a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	102,61	118,72	15,7
2	100,67	117,58	16,8
3	103,55	120,20	16,1
4	101,99	118,30	16,0
5	101,38	117,87	16,3
Promedio de la muestra	102,04	118,53	16,17

Tabla 36. Porcentaje de absorción de agua del lote 3 a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	101,83	117,70	15,6
2	103,66	120,10	15,9
3	101,75	117,88	15,9
4	103,14	120,17	16,5
5	101,94	118,56	16,3
Promedio de la muestra	102,46	118,88	16,02

5.2.15 Resistencia mecánica a la compresión a 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol. De la misma manera que en el capítulo anterior, las tablas 37, 38 y 39 recogen los valores de resistencia a la compresión en kgf/cm^2 de los bloques fabricados con el 7,5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla:

Tabla 37. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm^2 de especímenes del lote 1 con 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm^2]	Área neta del espécimen [cm^2]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm^2]
1	77,83	26,02	47,19	2025,1	20,25	412,25	20,36
2	76,54	25,98	46,96	1988,5	19,89	355,31	17,87
3	75,55	26,26	47,27	1983,9	19,84	499,48	25,18
4	76,44	25,99	47,50	1986,7	19,87	491,57	24,74
5	76,77	25,97	47,20	1993,7	19,94	415,72	20,85
Promedio	76,63	26,04	47,22	1.995,60	19,96	434,87	21,80

Tabla 38. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 2 con 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm ²]	Área neta del espécimen [cm ²]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm ²]
1	77,38	26,55	47,05	2054,4	20,54	422,86	20,58
2	76,17	25,69	46,47	1956,8	19,57	438,11	22,39
3	78,76	25,81	47,42	2032,8	20,33	400,09	19,68
4	77,54	25,75	47,16	1996,7	19,97	432,13	21,64
5	76,42	25,90	47,57	1979,3	19,79	419,00	21,17
Promedio	77,25	25,94	47,13	2.003,99	20,04	422,44	21,09

Tabla 39. Resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de especímenes del lote 3 con 7,5% de mezcla de arcilla con hojas de árbol

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm ²]	Área neta del espécimen [cm ²]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm ²]
1	77,33	25,97	47,23	2008,3	20,08	386,00	19,22
2	77,54	25,83	47,43	2002,9	20,03	412,06	20,57
3	76,83	25,79	46,71	1981,4	19,81	399,32	20,15
4	78,07	27,67	47,16	2160,2	21,60	385,81	17,86
5	77,86	25,78	47,39	2007,2	20,07	377,51	18,81
Promedio	77,53	26,21	47,18	2.032,00	20,32	392,14	19,32

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 hojas de árbol, así como las gráficas pertinentes de cada una.

Asimismo, el análisis de variables de los resultados de los ensayos físico-cerámico de cada porcentaje, evaluando principalmente el cambio de porcentaje de contracción, pérdida de masa y porcentaje de absorción de agua de los especímenes en su condición cocida y la manera en cómo la temperatura aplicada en este ensayo influyó en estos.

5.3.1 Análisis de variables de ensayo físico-cerámico por extrusión. Algunas de las variables más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar un ensayo físico-cerámico por extrusión a una mezcla de arcilla son la masa, contracción y pérdida de masa en su condición cocida. A continuación, en la tabla 40 se resumen los resultados obtenidos de estas variables en el ensayo físico-cerámico realizado a todos los porcentajes de mezclas utilizados en esta investigación:

Tabla 40. Variables de ensayo físico-cerámico en condición cocida

Variable	Temperatura	100% Arcilla	2,5% Hojas de Árbol	5,0% Hojas de Árbol	7,5% Hojas de Árbol
Masa		122,36 g	120,32 g	108,18 g	101,37 g
Contracción	1000 °C	3,00%	1,36%	1,21%	1,11%
Pérdida de Masa		3,97%	6,91%	8,83%	10,13%
Absorción de Agua		10,73%	11,59%	14,40%	16,39%

Masa en condición cocida: Después de secados los especímenes en el laboratorio se sometieron a un proceso de cocción, sinterización, a una temperatura de 1000 °C, durante esta etapa ocurrió la disminución de la porosidad del material, ocasionando que la densidad aumentara y se mejorara la resistencia mecánica del mismo (Callister, 1996). En este caso se evidencia una disminución progresiva de masa en condición cocida de los especímenes con adición de hojas de

árbol con respecto a la mezcla patrón en sus diferentes porcentajes, lo cual indica que el nutriente utilizado incrementa el tamaño de los poros presentes en los especímenes ensayados.

Contracción: A medida que un cuerpo cerámico de arcilla se seca, también experimenta contracción. En las primeras etapas de secado las partículas de arcilla están virtualmente rodeadas por una película muy fina de agua. A medida que el secado progresa y se elimina agua, la distancia entre partículas disminuye, lo cual se pone de manifiesto en forma de contracción (Callister, 1996). Al igual que con la masa en condición cocida, se observa una pérdida gradual de porcentajes de contracción de los especímenes con adición de hojas de árbol, demostrando que el nutriente ocasiona un mayor porcentaje de secado en su condición cocida con respecto a la mezcla patrón.

Pérdida de masa: La pérdida de masa tras sinterización se determinó pesando la muestra conformada después de la etapa de secado y cocción, en este caso la pérdida de masa en condición cocida de los especímenes ensayados con adición de hojas de árbol aumentó con respecto a los especímenes sin ella. La pérdida de masa se puede atribuir principalmente a la materia orgánica de la arcilla, a la eliminación del agua estructural de los minerales de la arcilla, debido a reacciones de deshidroxilación, y a la descomposición del carbonato de calcio (Chaves, Menese, Mancill & Páez, 2007).

Absorción de agua: La porosidad de las piezas cocidas puede ser de dos tipos, abierta o cerrada. La porosidad abierta se puede determinar a partir de valores de absorción de agua. Cuanto menor es la absorción de agua, se espera que estos tengan una mayor durabilidad y más resistencia al medio (Rodríguez, 2010). Se evidencia que el porcentaje de absorción de agua alcanzado a una temperatura de 1000°C en el ensayo físico cerámico por extruido presenta un

aumento escalonado en los especímenes con adición de hojas de árbol indicando que la cantidad de agua que penetra por los poros durante la inmersión en el tanque está intrínsecamente relacionada con la pérdida de masa.

5.3.2 Análisis de resultados de ensayo de absorción de agua. Los análisis de resultados de del ensayo se muestran a continuación:

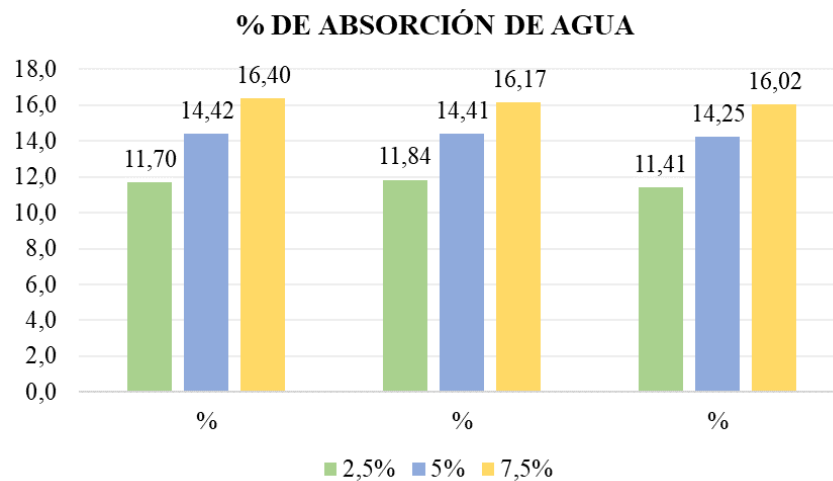


Figura 29. Porcentaje promedio de absorción de agua en mezcla de arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol

En la figura 29 se observa el porcentaje promedio de absorción de agua en la mezcla de arcilla con los tres porcentajes utilizados en la elaboración de los ensayos de laboratorio, se puede evidenciar que la mezcla con 2,5% de adición de hojas de árbol da menor porcentaje a la mezcla con 7,5%, lo cual indica que a mayor cantidad de nutriente aumenta la absorción de esta.

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 hojas de árbol a la mezcla de arcilla.

Los resultados de la tabla 41 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 41. Valores promedio de propiedades físicas de mezcla de arcilla con diferentes porcentajes en ensayo de absorción de agua

Porcentaje	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
2,5%	119,68	133,62	11,65
5,0%	107,98	123,48	14,36
7,5%	101,88	118,38	16,02

Se empleó los promedios de absorción de agua de los tres porcentajes en la figura 30, donde se evidencia una línea con tendencia creciente, lo cual indica que a medida que se agrega mayor porcentaje de hojas de árbol a la mezcla de arcilla para fabricar bloques de construcción, mayor será el porcentaje de absorción de agua obtenido. En general, no se pueden tener absorciones inferiores al 5 % en promedio, ni superficies vidriadas o esmaltadas en las caras en que se asientan o en las que se vayan a pañetar.

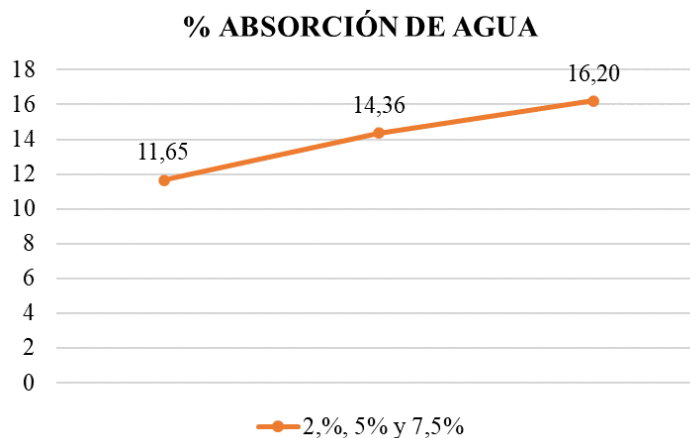


Figura 30. Datos promedio de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla

Según el capítulo 3 de la norma técnica colombiana NTC 4205:2000, se denominan unidades de mampostería de uso interior aquéllas que sólo son aptas para usarse en muros que no estén expuestos a la intemperie, como muros divisorios interiores que puedan estar o no a la vista, o en muros exteriores que tengan un acabado de protección de revoque o pañete, enchape u otra mampostería que impida la exposición a la intemperie, las unidades de mampostería estructural son aquéllas que se diseñan y fabrican para ser utilizadas en construcciones de tipo estructural, además de su propio peso, dichas unidades pueden soportar otras cargas verticales y horizontales, y de la misma manera, las unidades para mampostería no estructural son aquéllas que se utilizan para muros divisorios o de cierre que únicamente atienden las cargas debidas a su propio peso.

De acuerdo con la tabla 2 del capítulo 5.1 de la norma técnica colombiana *NTC 4205:2000 ingeniería civil y arquitectura. unidades de mampostería de arcilla cocida. ladrillos y bloques cerámicos* y según los resultados obtenidos en este ensayo, los porcentajes promedio (5 unidades) de absorción de agua obtenidos con los tres porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) cumplen para

clasificar a los bloques como unidades de mampostería no estructural para uso interior y exterior, debido a que el porcentaje promedio mínimo de absorción de agua que exige esta norma para este tipo de bloques es de 17% y 13,5% respectivamente.

5.3.3 Análisis de resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión. Como se evidencia a continuación:

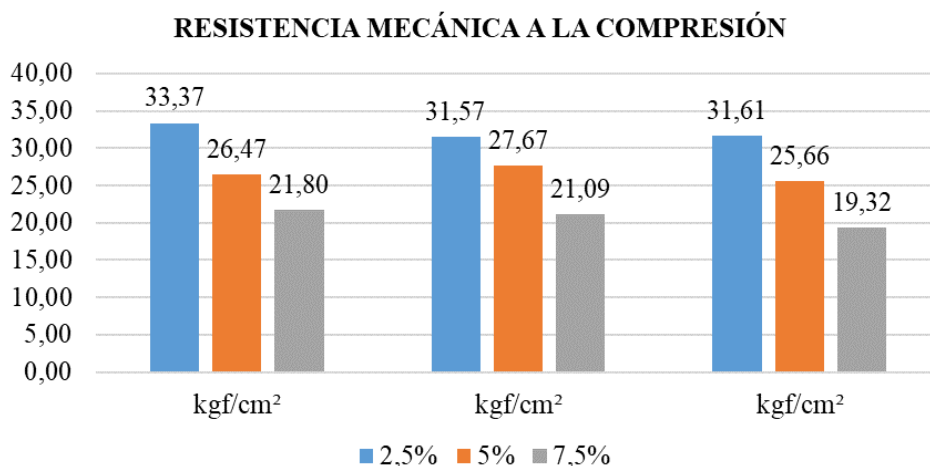


Figura 31. Valores en kgf/cm² de resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol

En la figura 31 podemos ver los valores en porcentaje de resistencia mecánica a la compresión en cada una de las mezclas con su respectiva cantidad de hojas de árbol, los valores de resistencia mecánica muestran una tendencia a disminuir con mayor porcentaje utilizado.

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 anteriormente mencionada, son de tipo no estructural, debido a que la resistencia mínima que deben soportar estos bloques como mínimo en promedio

(5 unidades) es de 30 Kgf/Cm² y 3,5 kgf/Cm² para una unidad.

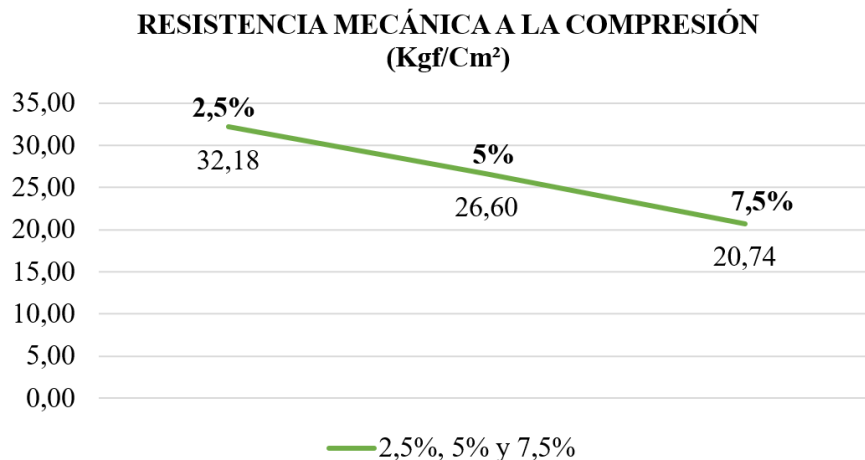


Figura 32. Valores promedio de resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm² de mezcla de arcilla con adición de 2,5%, 5% y 7,5% de hojas de árbol

En la figura 32 se puede observar una línea con tendencia decreciente de los valores promedio en kgf/cm² de resistencia mecánica a la compresión en los tres porcentajes utilizados en el ensayo de laboratorio, se evidencia que la mezcla de arcilla que cumple con lo que exige la norma es la elaborada con 2,5% de hojas de árbol, con un valor de resistencia mecánica a la compresión promedio (5 unidades) de 32,18 kgf/cm² y de 6,43 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 26,60 kgf/cm² y 20,74 kgf/cm² respectivamente.

En los resultados de los ensayos de absorción y resistencia, 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.

5.3.4 Análisis comparativo de resultados de ensayos de laboratorio a mezcla de arcilla con diferentes porcentajes de hojas de árbol. Como se muestran a continuación:

Tabla 42. Análisis comparativo de resultados

Ensayo	100% Arcilla	2,5% Hojas de Árbol	5% Hojas de Árbol	7,5% Hojas de Árbol	NTC 4205:2000 (1)
Absorción de Agua	11%	11,6%	14,4%	16,2%	13,5%
Resistencia Mecánica a la Compresión	31,39 kgf/cm ²	32,18 kgf/cm ²	26,60 kgf/cm ²	20,74 kgf/cm ²	30 kgf/cm ²
Contracción en Seco	4,77%	4,80%	4,61%	4,74%	-
Contracción en Cocido	3,00%	1,36%	1,21%	1,10%	-
Pérdida de Masa en Seco	17,93%	17,86%	19,74%	21,84%	-
Pérdida de Masa en Cocido	3,97%	6,90%	8,82%	10,13%	-

(1): Estos valores de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión corresponden a los especificados en la tabla 2 del punto 5.1.2 de la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 para unidades de mampostería no estructural para uso exterior.

Tabla 43. Diferencia de densidades entre mezcla de arcilla pura y con hojas de árbol

Variable	Unidad	100% Arcilla	2,5% Hojas de Árbol	5,0% Hojas de Árbol	7,5% Hojas de Árbol
Masa Cocida	[g]	122,36	120,32	108,18	101,37
Volumen	[Cm ³]	91,35	100,97	98,43	94,24
Densidad	[g/Cm ³]	1,34	1,19	1,10	1,08

5.4 Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado Con Hojas de Árbol

5.4.1 Análisis de Actividades de la Empresa “X”. El centro de costo es una entidad a la que se asignan determinados gastos cuya gestión depende directamente de su responsable, de modo que se puede calcular el coste de funcionamiento del citado centro durante un determinado periodo escogido como base de referencia. Estos centros de costes se dividen en centros de costos principales y auxiliares. La división por tanto de los costes indirectos de producción a través de centros de coste permite un mejor control de los diferentes costes en los que se incurre en el proceso productivo, proporcionando más información a la dirección en la toma de sus decisiones.

Una vez definidos los centros y componentes de costo de la empresa, se procedió a identificar las actividades que componen dichos centros, es decir aquellas partes del proceso que tienen una entrada, una salida y que consumen recursos, ya sea de mano de obra, maquinas, infraestructura, conocimientos, entre otros.

Tabla 44. Descripción de actividades de la empresa "X"

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.
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.

CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN		
N°	Actividad	Descripción
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.
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.

CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN		
N°	Actividad	Descripción
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. Las tejas una vez secas se retiran de las estibas
2	Almacenamiento de tejas secas y de 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.
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 DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN		
CENTRO ADMINISTRATIVO		
N°	Actividad	Descripción
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.

5.4.2 Determinación de las relaciones entre costo y actividad. Una vez establecido las diferentes actividades y los componentes del costo, se procedió a determinar la relación existente entre sí.

Tabla 45. Componente del costo vs actividad

Componente de Costo	Actividad
Energía eléctrica	Molienda y tamizado de arcilla
	Transporte a silos
	Transporte a amasador
	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
Repuestos	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Secado

Componente de Costo	Actividad
	Quema
Repuestos	Mobiliario oficina Adecuaciones planta
Arriendo	Molienda de arcilla Tamizado de arcilla Extrusión -Galpón planta distribuido a todas las actividades menos explotación -Carretas en transporte a secado -Carretas transporte horno -Carretas transporte a almacenamiento
Depreciación	-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 Molienda de arcilla Humectación
Implementos de seguridad	Quema Explotación Supervisión Arranque de materia prima Molienda de Arcilla Tamizado de arcilla
Impuestos	Extrusión Secado Quema Almacenamiento
Mantenimiento	Todos los centros
Palas	Molienda Quema
Alambre de corte	Corte de Material Extruido
Dados Boquilla	Extrusión
Martillos	Molienda de Arcilla Supervisión Explotación Molienda de arcilla Extrusión de la arcilla
Mano de Obra Indirecta	Secado de productos Quema Selección Lubricación equipos Administrativos

Componente de Costo	Actividad
Papelería	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

5.4.3 Cálculo del costo por actividades en la empresa “X”. Consiste en calcular el costo por cada una de las actividades asociadas a cada etapa del proceso, a continuación, en la tabla 46, se muestra la información recolectada durante el mes de marzo de 2021, para la mano de obra directa, los costos indirectos de fabricación y, los materiales producidos por cada una de las actividades y en cada centro de costo de la empresa “X”.

Tabla 46. Consolidado de costos del centro de explotación y preparación

Mes	Elemento de Costo	Arranque de materia prima y cargue de volquetas (\$)	Transporte de materia prima a planta (\$)	Acomodo de materia prima en la zona de molienda (\$)	Total (\$)
Marzo	Transporte Cama Baja	\$ 300.000	\$ 0	\$ 0	\$ 300.000
	Retroexcavadora	\$ 2.400.000	\$ 0	\$ 0	\$ 2.400.000
	Transporte de Arcilla	\$ 0	\$ 1.650.000	\$ 0	\$ 1.650.000
	Preparación de Arcilla	\$ 0	\$ 0	\$ 200.000	\$ 200.000
	Mano de Obra Directa	\$ 200.000	\$ 0	\$ 0	\$ 200.000
	Mano de Obra Indirecta	\$ 150.367	\$ 150.367	\$ 150.367	\$ 451.100
	Impuestos	\$ 911.534	\$ 0	\$ 18.603	\$ 930.137
	Tapabocas	\$ 2.310	\$ 0	\$ 2.310	\$ 4.620
	Materia Prima	\$ 1.100.000	\$ 0	\$ 0	\$ 1.100.000
	Total Mes	\$ 5.064.211	\$ 1.800.367	\$ 371.279	\$ 7.235.857

5.4.4 Costo del centro de molienda y tamizado en el periodo analizado. Para este centro se ha establecido como actividades fundamentales el llenado del cajón alimentador (se realiza de forma manual) y el proceso de molienda-tamizado-almacenamiento. Los elementos de costo que intervienen en el centro son: Mano de obra directa e indirecta, energía eléctrica, arriendo equipos, depreciación infraestructura propia, impuestos, grupo de elementos de consumo rápido, repuestos, mantenimiento interno y externo.

Tabla 47. Costo de la mano de obra directa del centro de molienda y tamizado

Mes	Unidades Producidas	Costo producción (\$)	Costo Molienda (\$)
Marzo	149.600	\$ 5.535.748	\$ 2.214.299

El valor de la mano de obra directa solo se ha cargado a la actividad de llenado del cajón alimentador, puesto que es en ella donde consume prácticamente todas las horas-hombre trabajadas en este centro.

Las operaciones de molienda y tamizado, así como el movimiento de la arcilla requieren del apoyo de maquinaria para llevar a buen término el proceso, este equipamiento requiere del suministro de energía eléctrica para su funcionamiento. En la actualidad la empresa no cuenta con instrumentos de medición de consumo en cada centro de costo, por lo tanto, se realizó una recopilación de información de la potencia y tiempo de uso de los equipos que trabajan en cada sección con miras de establecer las proporciones o representatividad del consumo en cada centro.

Mes	Valor pagado (\$)	Explotación(\$)	Molienda(\$)	Extrusión (\$)	Secado (\$)	Cocción (\$)	Clasificación (\$)	Aditivo. (\$)
Marzo	\$ 5.451.580	\$ 0	\$ 2.021.614	\$ 3.143.948	\$ 13.246	\$ 251.046	\$ 4.127	\$ 17.600

Figura 33. Costos de energía eléctrica en los centros de costo durante el periodo analizado

Tabla 48. Consolidado de costos del centro de molienda y tamizado

Mes	Elemento de Costo	Llenado del cajón alimentador (\$)	Molienda, Tamizado y Almacenamiento (\$)	Total (\$)
	Mano de obra directa	\$ 2.214.299	\$ 0	\$ 2.214.299
	Mano de obra indirecta	\$ 258.801	\$ 258.801	\$ 517.602
	Energía Eléctrica	\$ 0	\$ 2.021.614	\$ 2.021.614
	Arriendo Equipos	\$ 0	\$ 3.605.000	\$ 3.605.000
	Depreciación infraestructura	\$ 164.940	\$ 164.940	\$ 329.880
Marzo	Impuestos	\$ 23.797	\$ 23.797	\$ 47.594
	Elementos de consumo rápido	\$ 146.300	\$ 90.000	\$ 236.300
	Mantenimiento interno	\$ 4.403	\$ 39.630	\$ 44.033
	Mantenimiento Externo	\$ 16.000	\$ 144.000	\$ 160.000
	Repuestos	\$ 59.702	\$ 537.318	\$ 597.020
	Total Mes	\$ 2.888.242	\$ 6.885.100	\$ 9.773.342

Mes	Unidades Producidas	Costo producción (\$)	Extrusión (\$)
Marzo	149.600	\$ 5.535.748	\$ 2.767.874

Figura 34. Costo de la mano de obra directa en el centro de extrusión

Tabla 49. Consolidado de costos del centro de extrusión

Mes	Elemento de Costo	Humectación- Extrusión (\$)	Corte y acomodo de piezas (\$)	Total (\$)
Marzo	Mano de obra directa	\$ 922.625	\$ 1.845.249	\$ 2.767.874
	Mano de obra indirecta	\$ 286.302	\$ 429.453	\$ 715.755
	Energía Eléctrica	\$ 3.081.069	\$ 62.879	\$ 3.143.948
	Arriendo Equipos	\$ 2.551.950	\$ 283.550	\$ 2.835.500
	Depreciación infraes.	\$ 110.700	\$ 110.700	\$ 221.400
	Impuestos	\$ 22.298	\$ 22.298	\$ 44.595
	Elementos de consumo rápido	\$ 237.405	\$ 41.895	\$ 279.300
	Mantenimiento interno	\$ 59.446	\$ 6.605	\$ 66.051
	Mantenimiento Externo	\$ 144.000	\$ 16.000	\$ 160.000
	Repuestos	\$ 371.973	\$ 19.578	\$ 391.550
	Insumos	\$ 280.000	\$ 120.000	\$ 400.000
Total Mes	\$ 8.067.767	\$ 2.958.207	\$ 11.025.973	

Tabla 50. Consolidado de costos del centro de secado

Mes	Elemento de Costo	Transporte- Acomodo (\$)	Caracoleo (\$)	Total (\$)
Marzo	Mano de obra directa	\$ 387.502	\$ 166.072	\$ 553.575
	Mano de obra indirecta	\$ 291.827	\$ 291.827	\$ 583.653
	Energía Eléctrica	\$ 6.623	\$ 6.623	\$ 13.246
	Arriendo Equipos	\$ 0	\$ 0	\$ 0
	Depreciación infraes.	\$ 1.213.746	\$ 165.511	\$ 1.379.257
	Impuestos	\$ 34.298	\$ 34.298	\$ 68.595
	Mantenimiento interno	\$ 10.275	\$ 4.403	\$ 14.678
	Mantenimiento Externo	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 20.000
	Repuestos	\$ 160.000	\$ 40.000	\$ 200.000
	Total Mes	\$ 2.114.270	\$ 718.734	\$ 2.833.004

5.4.5 Costos del centro de cocción. Para este centro se ha establecido como actividades fundamentales el transporte-acomodo en horno, y la actividad de quema. Los elementos de costo que intervienen en el centro son: Mano de obra directa e indirecta, energía eléctrica, depreciación

infraestructura propia, impuestos, grupo de elementos de consumo rápido, repuestos, análisis isocinéticos, insumos, mantenimiento interno y externo.

El valor de la mano de obra directa del centro, está en función de las unidades cargadas a los hornos durante el mes, también por el número de quemas realizada en cada periodo. El valor de mano de obra directa para el centro de cocción se presenta a continuación en la tabla 51. Cada ítem corresponde a la mano de obra en cada una de las actividades propuestas como primordiales para llevar a cabo la cocción del bloque.

Tabla 51. Consolidado de costos del centro de cocción

Mes	Elemento de Costo	Transporte- acomodo en Horno (\$)	Quema (\$)	Total (\$)
Marzo	Mano de obra directa	\$ 1.733.609	\$ 2.500.000	\$ 4.233.609
	Mano de obra indirecta	\$ 291.827	\$ 291.827	\$ 583.653
	Energía Eléctrica	\$ 25.105	\$ 225.941	\$ 251.046
	Arriendo Equipos	\$ 0	\$ 0	\$ 0
	Depreciación infraes.	\$ 254.833	\$ 4.841.821	\$ 5.096.653
	Impuestos	\$ 35.263	\$ 669.999	\$ 705.262
	Elementos de consumo rápido	\$ 0	\$ 95.200	\$ 95.200
	Mantenimiento interno	\$ 10.275	\$ 4.403	\$ 14.678
	Mantenimiento Externo	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 20.000
	Repuestos	\$ 8.335	\$ 158.365	\$ 166.700
	Análisis Isocinéticos	\$ 0	\$ 166.667	\$ 166.667
	Insumos	\$ 0	\$ 10.955.000	\$ 10.955.000
	Total Mes	\$ 2.369.246	\$ 19.919.223	\$ 22.288.468

5.4.6 Costos del centro de selección y almacenamiento. Para este centro se ha establecido como actividades fundamentales el Descargue-transporte, y la actividad de clasificación y almacenamiento. Los elementos de costo que intervienen en el centro son: Mano de obra directa e indirecta, energía eléctrica, depreciación infraestructura propia, impuestos, repuestos, mantenimiento interno y externo.

El valor de la mano de obra directa del centro, está en función de las unidades descargadas de los hornos durante el mes analizado.

Tabla 52. Consolidado de costos del centro de selección y almacenamiento

Mes	Elemento de Costo	Descargue y Transporte (\$)	Clasificación y Almacenamiento (\$)	Total (\$)
	Mano de obra directa	\$ 866.805	\$ 866.805	\$ 1.733.609
	Mano de obra indirecta	\$ 357.878	\$ 357.878	\$ 715.755
	Energía Eléctrica	\$ 2.063	\$ 2.063	\$ 4.127
	Depreciación infraes.	\$ 37.930	\$ 37.930	\$ 75.860
Marzo	Impuestos	\$ 0	\$ 53.595	\$ 53.595
	Mantenimiento interno	\$ 7.339	\$ 0	\$ 7.339
	Mantenimiento Externo	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 20.000
	Repuestos	\$ 30.000	\$ 0	\$ 30.000
	Total Mes	\$ 1.312.014	\$ 1.328.270	\$ 2.640.285

5.4.7 Costos del centro administrativo. Para este centro se ha establecido como actividades fundamentales la actividad gerencial de planta, y las actividades de apoyo. Los elementos de costo que intervienen en el centro son:

Mano de obra directa e indirecta, energía eléctrica, depreciación infraestructura propia, impuestos, elementos de consumo rápido, planes de telefonía móvil, papelería, repuestos y mantenimiento externo.

Tabla 53. Consolidado de costos del centro administrativo

Mes	Elemento de Costo	Actividades Gerenciales (\$)	Actividades contables, comercial y de apoyo (\$)	Total (\$)
	Mano de obra directa	\$ 1.200.000	\$ 933.051	\$ 2.133.051
	Mano de obra indirecta	\$ 0	\$ 87.000	\$ 87.000
	Energía Eléctrica	\$ 8.800	\$ 8.800	\$ 17.600
	Depreciación infraes.	\$ 71.807	\$ 71.807	\$ 143.614
	Impuestos	\$ 19.298	\$ 19.298	\$ 38.595
Marzo	Elementos de consumo rápido	\$ 924	\$ 2.156	\$ 3.080
	Mantenimiento Externo	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 20.000
	Repuestos	\$ 15.000	\$ 15.000	\$ 30.000
	Telefonía	\$ 277.700	\$ 277.700	\$ 555.400
	Papelería	\$ 0	\$ 40.000	\$ 40.000
	Total Mes	\$ 1.603.529	\$ 1.464.812	\$ 3.068.340

5.4.8 Costo del bloque H-10 usando 100% arcilla. Como se muestran a continuación:**Tabla 54. Consolidado de los costos de las actividades de producción del bloque H-10 utilizando 100% arcilla en el periodo analizado**

Actividad	Código	Precio Marzo 2021 (\$)
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
Humectación -extrusión	F	\$ 8.067.766,7
Corte y acomodo de piezas	G	\$ 2.958.206,0

Actividad	Código	Precio Marzo 2021 (\$)
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

El costo del bloque H-10 convencional para construcción es:

Costo - Producción \$ 58'865.272,7

Producción de Bloque 180.000 Unidades

Costo Bloque \$ 327,02

5.4.9 Costo del bloque usando 2,5% de hojas de árbol en la mezcla de arcilla

Tabla 55. Consolidado de los costos de las actividades de producción del bloque utilizando 2,5% de hojas de árbol en el periodo analizado

Actividad	Código	Precio Marzo 2021 (\$)
Arranque de materia prima y cargue	A	\$ 5.064.210,7
Almacenamiento de Hojas de Árboles	A1	\$ 1.500.000,0
Transporte a planta	B	\$ 1.800.366,5
Transporte de Hojas de Árboles	B1	\$ 500.000,0
Acomodo de materia prima en galpón	C	\$ 371.279,2
Molienda y trituración de las Hojas de Arboles	C1	\$ 2.000.000,0
Llenado cajón alimentador	D	\$ 2.888.244,0
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
Actividad	Código	Precio Marzo 2021 (\$)
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		\$ 62.865.272,7

El costo del bloque H-10 para construcción con 2,5% de hojas de árbol es de:

Costo - Producción	\$ 62'865.272,7
Producción de Bloque	180.000 Unidades
Costo Bloque	\$ 349,25

6. Conclusiones

Después de analizados los resultados de los laboratorios y comparados con la norma técnica colombiana NTC 4205:2000, se pudo evidenciar que la mezcla de arcilla elaborada con 2,5% de hojas de árbol fue la que presentó un mejor comportamiento en sus propiedades físico-mecánicas, con un porcentaje de absorción de agua promedio de 11,6% y una resistencia mecánica a la compresión promedio de 32,18 kgf/cm² cumple con lo estipulado en esta norma para clasificar el bloque como no estructural de uso tanto para interiores como exteriores.

Hacer el bloque con 2,5% de hojas de árbol tiene un aumento en costos con respecto al bloque convencional de \$22 por bloque, es decir un incremento de \$4.000.000 mensuales para una producción de 180.000 bloques, lo cual resulta viable desde el punto de vista de conservación del medio ambiente ya que se reduce la extracción de arcilla y toda la contaminación que esta actividad genera, por otra parte, el transporte de estos para ser utilizados en una obra de construcción resultaría más económico si se tiene en cuenta que pesan 121,22 gr menos que los bloques sin hojas de árbol, lo cual supondría un peso de 363,67 kg en una volqueta común con capacidad de 8 M³ o 1.330 bloques aproximadamente.

De acuerdo a los antecedentes consultados, se pueden deducir que se podrían obtener mejores resultados en las propiedades físico mecánicas de los bloques de arcilla elaborados con hojas de árbol si se trabajara con la ceniza de estas en vez de molidas, ya que se ha demostrado que la ceniza contiene altos porcentajes de óxidos de calcio y silicio, componentes que mejoran considerablemente la resistencia mecánica a la compresión de estos.

Se concluye que la adición de hojas de árbol a la mezcla de arcilla para fabricación de bloques de construcción resulta viable con porcentajes entre 2,5% y 3% como máximo ya que

con porcentaje mayores a estos no se conseguiría cumplir con lo estipulado por la norma.

7. Recomendaciones

Se recomienda realizar otras investigaciones con diferentes porcentajes de hojas de árbol utilizándolas por separado, activar sus propiedades con diferentes grados de temperatura, conocer y evaluar sus componentes químicos mediante análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X, para determinar si es factible su utilización en la elaboración de bloques de arcilla para construcción.

Implementar y evaluar los efectos de las hojas de árbol en otro tipo de mezclas para fabricar otros productos como por ejemplo en la elaboración de bloques de concreto.

Finalmente se destaca que esta investigación no agota ni frena el tema, solo da una importante apertura al desarrollo de materiales alternativos de construcción, por lo que se invita a continuar profundizando la investigación, para lograr mayores avances en la construcción.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, H. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y ambiente*, 15(1), 105-117.
- Ackerman, F. (1997). *Why Do We Recycle?: Markets, Values, and Public Policy*. Recuperado de: https://www.goodreads.com/book/show/639692.Why_Do_We_Recycle_#:~:text=The%20author%20examines%20the%20arguments,most%20efficient%20level%20of%20recycling
- Agra, M., Freitas, P. & Barbosa, J. (2007). Synopsis of the plants known as medicinal and poisonous in Northeast of Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 17(1), 1-127.
Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/mK3xKRWQ5tK6WHBKJKGGpxD/?lang=en>
- Alamy. (2021). *Follaje de la planta sudamericana llamado oiti del Especie Licania tomentosa*. Recuperado de: <https://www.alamy.es/follaje-de-la-planta-sudamericana-llamado-oiti-del-especie-licania-tomentosa-image390672694.html>
- Almeida, S., Lopes, J., Sousa, M., Pessoa, P., Vieira, R., Medeiros, L. & Carvalho, F. (2017). Phenolic compounds of *Triplaris gardneriana* can protect cells against oxidative stress and restore oxidative balance. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2(12), 1261-1268. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0753332217318097>
- Amado, D., Villafrades, Y. & Tuta, M. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *Revista de la Facultad Nacional de Minas*, 4(78), 50-58. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25762>

- Aparicio, G. (2013). *Materias primas para la industria cerámica*. Recuperado de:
http://www.ehu.eus/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf
- Bar, O. (2014). Leaf development and morphogenesis. *Revista Development*, 141(22), 4219-4230. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/267873804_Leaf_development_and_morphogenesis
- Beckhoff, K. (2006). *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Recuperado de:
https://books.google.com.co/books?id=c6d8EPYHn1EC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Bellido, C. (2008). *Diccionario de términos cerámicos y de alfarería*. Recuperado de:
<https://talleresceramica.wordpress.com/category/99-glosario-de-terminos-ceramicos/>
- Berendsohn, G., Gruber, K. & Salomón, A. (2012). *Árboles nativos e introducidos de El Salvador. Parte 2: Angiospermae – Familias M a P y Pteridophyta*. Recuperado de:
<https://www.jstor.org/stable/24368335>
- Bernal, I., Cabezas, H., Espitia, C., Mojica, J. & Quintero, J. (2003). Análisis próximo de arcillas para cerámica. *Diagonal* 53(10), 34-53. Recuperado de:
https://www.accefyn.com/revista/Vol_27/105/7-ANALISIS.pdf
- Bertin, P. (1970). *Principles and Practice of X-ray Spectrometric Analysis*. Recuperado de:
<https://www.springer.com/gp/book/9781461344186>
- Black, T. & Kohser, A. (2012). *DeGarmo's materials and processes in manufacturing*.
Recuperado de:

https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=nh7zDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP14&dq=DeGarmo%27s+materials+and+processes+in+manufacturing&ots=qeWgN2dbpN&sig=WTP2PcjfYNYTfZXbYlATbxLwT_8#v=onepage&q=DeGarmo's%20materials%20and%20processes%20in%20manufacturing&f=fa

Borrero, C. (1975). *La flora ornamental tropical y el espacio urbano*. Recuperado de:

https://books.google.com.co/books/about/La_flora_ornamental_tropical_y_el_espaci.html?id=0BJjAAAAMAAJ&redir_esc=y

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

Analysis. Recuperado 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)

Callister, W. (1996). *Ciencia e ingeniería de los materiales. Una introducción*. Recuperado de:

https://www.u-cursos.cl/usuario/47b2fae07e5cdb9e6ab2fef0bf242390/mi_blog/r/CALLISTER_-_Ciencia_e_Ingenieria_de_los_Materiales.pdf

Cardenas, D. & Salinas, N. (2007). *Fichas de especies maderables amenazadas de Colombia*.

Sistema de Información sobre Biodiversidad. Bogota: SINCH.

Cardona, C. & Cristancho, F. (2008). *La Humedad en las Propiedades Físicas del Suelo*.

Recuperado de:

<http://gfnun.unal.edu.co/fileadmin/content/gruposdeinvestigacion/fisicanuclear/Tesis/JCZamoraTG08.pdf>

- Castell, E. (2015). *Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural*. Recuperado de: <http://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/718/1/9788484399971.pdf>
- Castro, F. (2013). *Caracterización de la ceniza de hojas de bambú y su influencia como material puzolánico en el concreto*. Tesis de grado. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- CEVAGRAF. (2017). *Economía circular del papel*. Recuperado de: <https://www.cevagraf.coop/blog/economia-circular-del-papel/>
- Chacón, E. (1999). *Cúcuta verde y exuberante*. Recuperado de: <https://vdocuments.mx/cucuta-verde-y-exuberante-nov2013.html>
- Chaves, A., Menese, A., Mancill, P. & Páez, E. (2007). Estudio del procesamiento cerámico de las arcillas de la vereda “La Codicia” (Guapi, Colombia) para potencializar su uso en la elaboración de piezas cerámicas. *Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia*, 42(4), 68-78. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n42/n42a05.pdf>
- Chiang, Y., Chou, H., Hua, R., Chien, L. & Cheeseman, C. (2009). Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. *ScienceDirect*, 14(4), 76-82. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389409008772>
- Colmeiro, M. (2009). *Diccionario de los diversos nombres vulgares de muchas plantas usuales ó notables del antiguo y nuevo mundo*. Recuperado de: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/32498>
- Colominas, A., Payán, M., Bruno, A., Bruno, J., Rojas, M. & Lucas, C. (2009). *Reciclaje de residuos industriales*. Barcelona, España: Díaz de Santos.

- Correa, A. (2002). Situación Actual de la Explotación de Canteras en El Distrito Capital. *Revista Ingeniería e Investigación*, 45(2), 45-55. Recuperado de:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/21326>
- Demir, I. (2008). Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks. *Science Direct*, 4(1), 622-627. Recuperado de:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X07001250>
- Diario la Opinion. (2019). *En Cúcuta peligra la vida de los árboles*. Recuperado de:
<https://www.laopinion.com.co/cucuta/en-cucuta-peligra-la-vida-de-los-arboles>
- Díaz, J. (2016). Energy Environmental Diagnosis of the Ceramic Sector Companies in the Metropolitan Area of Cucuta, Norte de Santander, Colombia. *Key Engineering Materials*, 663(2), 133-1339. Recuperado de: <https://www.scientific.net/KEM.663.133>
- Díaz, L. & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: Una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 41(5), 459-470. Recuperado de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/4676/1/arcillas.pdf>
- Enríquez, B. & Orrabalís, J. (2019). Caracterización química del aceite esencial obtenido de la madera de *Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb. (palo santo) recolectado del departamento Matacos, de la provincia de Formosa, Argentina. *Revista Multequina*, 2(28), 59-66.
Recuperado de: <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal//multequina/indice/pdf/28/05-NOTA-Enriquez.pdf>
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B. & Rizq, E. (1997). A study of the development of environmental management in Hong Kong construction industry. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29(3),

Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-50732014000300002&script=sci_arttext

- Enshassi, A., Kochendoerfer, B. & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3), 1-12. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>
- Etcheverry, M. (2003). *Medicina Tradicional de México y sus Plantas Medicinales*. *Revista Tlahui-Medica*, 4(3), 1-1. Recuperado de: <http://www.tlahui.com/medic/medic18/neem.htm>
- Fernandes, J., Castilho, O., Costa, R., Wagner, K., Kaplan, A. & Gattass, R. (2003). Pentacyclic triterpenes from Chrysobalanaceae species: cytotoxicity on multidrug resistant and sensitive leukemia cell lines. *Cancer Letters*, 2(4), 165-169. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12565171/>
- Fonseca, C. A., Sanchez, J. & Guacaneme, M. (2018). *Evaluación del Comportamiento Físico y Mecánico De Bloques de Arcilla Macizos con Adición de Ceniza Volante*. Tesis de grado. Universidad la Gran Colombia. Bogota, Colombia.
- Galán, E. & Aparicio, P. (2006). *Descripción del Proceso Cerámico*. Recuperado de: <http://www.acercar.org.co/industria/manuales/iceramica/02proceso.pdf>
- Gamboa, C. (2018). *Resistencia de un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ sustituyendo el 10% y 16% de cemento por una combinación de cascara de huevo y ceniza de hoja de eucalito*. Tesis grado. Universidad San Pedro. Chimbote, Perú.
- García, A. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 1-27. Recuperado de:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702012000100003

- García, A., Jaime, C. & Durán, A. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Épsilon*, 4(20), 101-119. Recuperado de: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep/vol1/iss20/6/>
- García, F. (2020). *Análisis comparativo del adobe reforzado con carrizo prensado y adobe convencional, Pueblo Nuevo – Ica 2019*. Tesis de grado. Universidad César Vallejo. Trujillo, Peru.
- Gelves, M. (2013). Estudio comparativo de las técnicas de extrusión y prensado como procesos de conformado de productos cerámicos de construcción en el Área Metropolitana de Cúcuta. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 52(1), 48-54.
- Govaerts, R. (2019). *World Checklist of Selected Plant Families in the Catalogue of Life*. Recuperado de: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QN2019001224258>
- Guía Verde. (2021). *Árbol de Picus*. Recuperado de: <https://www.guiaverde.com/guia-de-plantas/ficus-benjamina-677/>
- Güiza, L. (2013). La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña. *Repositorio Universidad Nacional de Colombia*, 80(181), 109-117. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49628728012.pdf>
- Guzenski, M. (2012). *Impacto ambiental del sector de la construcción: análisis comparativo de cerramientos externos aplicando el enfoque de ciclo de vida*. Recuperado de: <https://www.behance.net/gallery/3131177/Impactos-ambientales-del-sector-de-la-construccion>

Hakkila, P. (1989). *Utilization of Residual Forest Biomass*. Recuperado de:

<https://www.springer.com/gp/book/9783642740749>

Hare, M. (1964). *Processing of Crystalline Ceramics*. Recuperado de:

<https://www.springer.com/gp/book/9781468433807>

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

McGraw-Hill.

Herrera, M. (2008). *Constitución mineralógica de las arcilla*. Recuperado de:

<https://core.ac.uk/download/pdf/71822827.pdf>

Instituto Colombiano de Geología y Minería. (1998). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Zulia*. Recuperado de:

https://corponor.gov.co/publica_recursos/pomca/zulia/POMCH_COMPLETO-RIO_ZULIA.pdf

Jenkins, R. (1999). *X-ray Fluorescence Spectrometry*. Recuperado de:

<https://www.wiley.com/en-gb/X+Ray+Fluorescence+Spectrometry%2C+2nd+Edition-p-9780471299424>

Jiménez, C. (2008). La frontera colombo-venezolana: una sola región en una encrucijada entre dos estados. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe*, 4(2), 1-12. Recuperado de:

<http://www.redalyc.org/pdf/110/11002019.pdf>

Jones, L. (2002). *Arquitectura y entorno: el diseño de la construcción bioclimática*. Barcelona:

Hardcover.

- Kan, H. (2009). *Characteristics of municipal solid wastes incineration (MSWI) fly ash–cement matrices and effect of mineral admixtures on composite system*. Recuperado de:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061808003620>
- Kodama, H. (2013). *Clay Mineral*. *Encyclopedia Britannica*. Recuperado de:
<https://web.archive.org/web/20140421194347/http://global.britannica.com/EBchecked/topic/120723/clay-mineral>
- Linares, J. & Huertas, F. (2013). *La arcilla como material cerámico características y comportamiento*. Recuperado de:
<https://revistaseug.ugr.es/index.php/cpag/article/download/1224/1415>
- Linares, L. (2005). *Listado comentado de los árboles nativos y cultivados en la república de El Salvador*. Recuperado de:
<https://biblioteca.ufm.edu/library/index.php?lang=en&title=1063349&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@field1=clasificacion@value1=97@mode=advanced&recnum=9>
- Liu, X., Hu, M., Ke, S. & Fu, C. (2018). A novel rammed earthen material stabilized with steel slags. *Research Gate*, 4(2), 1134-1139. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.09.075
- Lumme, I. & Olavi, L. (1988). *Effects of domestic sewage sludge, conifer bark ash and wood fibre waste on soil characteristics and the growth of Salix Aquatica*. Recuperado de:
<https://oula.finna.fi/oamk/Record/oy.99877153906252?lng=en-gb>
- Manmeet, K. & Shakti, A. (2012). Environment impact assessment and environment management studies for an upcoming multiplex- a Case Study. *IOSR Journal of Mechanical*

and Civil Engineering, 1(4), 22-30. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/profile/Shakti_Arora3/publication/267978173_Environment_Impact_Assessment_and_Environment

Martínez, J. (2010). *Qué significa sostenibilidad para la escuela? Artículo de opinión. Centro Nacional de Educación Ambiental – CENEAM*. Recuperado de: <https://educrea.cl/que-significa-sostenibilidad-para-la-escuela/>

Melissari, F. (2012). *Resistencia a Compresión de Bloques de Tierra Comprimida Estabilizada con Materiales de Sílice de Diferente Tamaño De Partícula*. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Montenegro, M. (2016). *Multinacionales mineras en Colombia: extractivismo y conflicto armado en Cerro Matoso, 2000-2013. Criterios*, 9(2), 4-25. Recuperado de: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/criterios/article/view/3089>

Muñoz, M. (2007). *Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi-Costa Pacífica Caucana (Colombia)*. Recuperado de: <https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA184374464&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=03703908&p=IFME&sw=w>

Murillo, J. (2008). *Tipos de Investigación Aplicada*. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/noemicondehuamani/investigacion-aplicada/caracteristicas>

Obregón, A. (2018). *Resistencia a la Compresión de Ladrillo de Concreto, Sustituyendo un 15% al Cemento, por Arcilla en un 10% y Cenizas de Hoja de Schinus (MOLLE) en un 5%*. Tesis profesional. Universidad San Pedro. Chimbote, Perú.

Pariona, Y. & Saenz, P. (2019). *Diseño sismorresistente de vivienda de albañilería confinada con ladrillos de cenizas de Guayacán, bajo pedregal San Juan de Lurigancho*. Tesis de grado. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Lima, Peru.

Patiño, H. (2001). *Geotecnia: Diccionario Básico*. Recuperado de:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/relacionesgravimetricasyvolumetricasdelsuelo.pdf>

Procolombia. (s.f.). *El mundo invierte en Colombia: inversión en materiales de construcción*.

Recuperado de: <http://inviertaencolombia.com.co/sectores/manufacturas/materiales-de-construccion.html>

Pulido, R. (2015). *Fabricación y evaluación del desempeño de quince ladrillos refractarios elaborados con ceniza volante producto de la combustión del carbón en las calderas de la central Termozipa a diferentes temperaturas, de acuerdo a la norma ASTM C 113*. Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogota, Colombia.

Ramani, D. & Preenta, R. (2018). Reinforced soil blocks: Viable option for low cost.

Construction and Building Materials, 4(2), 1124-1133. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/311843751_A_COMPREHENSIVE_REVIEW_OF_LOW_COST_BUILDING_SYSTEMS

Ramirez, J. (2019). Resistencia a compresión de mortero f 'c 200 kg/cm² sustituyendo parcialmente el cemento por ceniza de hoja de molle. Tesis de grado. Universidad de San Pedro. Chimbote, Perú.

- Revista Medio Ambiente. (2021). *El árbol de neem y sus beneficios para la salud humana*. Recuperado de: <https://caretas.pe/medio-ambiente/el-arbol-de-neem-y-sus-beneficios-para-la-salud-humana/>
- Revista Naturalista. (2021). *Guayacán Carrazo*. Recuperado de: <https://www.naturalista.mx/taxa/189989-Bulnesia-carrapo>
- Rodríguez, J. (2010). *La porosidad como propiedad física: propiedades densidad y porosidad*. Recuperado de: http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/4887/mod_resource/content/1/T3b-DensidadPorosidad.pdf
- Romero, G. & Barrios, S. (2005). *Curso Ingeniería de Minas y Petróleos. Las arcillas: propiedades y usos*. Recuperado de: <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>
- Sánchez, G. & Askeland, R. (1998). *Ciencia e ingeniería de los Materiales*. México: Thomson.
- Sánchez, R. (2013). *El cluster de la cerámica del Área Metropolitana de Cúcuta*. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sempertegui, D. (2018). *Propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea*. Tesis de grado. Universidad Privada del Norte. Trujillo, Peru.
- Servicio Nacional de Aprendizaje. (2003). *Caracterización Ocupacional Industria de la Arcilla. Mesa Sectorial de Minería: Fabricación de productos de arcilla para la construcción*. Bogota: SENA.

Significados. (2020). *Contaminación Ambiental*. Recuperado de:

<https://www.significados.com/contaminacion-ambiental/>

Someshwar, V. (2007). Wood and combination wood-fired boiler ash characterization. *Journal of Environmental Quality*, 25(2), 1-17.

doi:<https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500050006x>

Stokes, J. & Kozempel, J. (2006). *Estimation of Azadirachtin Content in Neem Extracts and Formulations*. Recuperado de:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01483918408073988>

Takeuchi, P. (2010). *Comportamiento en la mampostería estructural*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Tejedor, S. (2018). *Materias primas: reservas, suministro de energía y productos básicos de la Industria Química Orgánica*. Recuperado de: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-01.php>

Terrones, M. (2020). *Propiedades físico mecánicas del adobe compactado con la adición de agujas de pino en diferentes porcentajes*. Tesis de grado. Universidad Privada del Norte. Trujillo, Peru.

Torres, L. (2021). *Plasticidad, encogimiento y densidad de las arcillas*. Recuperado de:

<http://www.ceramicatrespiedras.com/cursos/apuntes/plasticidad-encogimiento-y-densidad-de-las-arcillas/>

Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). *Repositorio de Documentos UPME*.

Recuperado de: <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/933/9/Cucuta.pdf>

United Nations Environment Programme. (2010). *Environmental contamination of groundwater in the Gaza Strip*. Recuperado de:

https://postconflict.unep.ch/publications/UNEP_Gaza_EA.pdf

Vega, H. (2018). *Efectos de las cenizas de hojas secas de bambú en la resistencia de ladrillos de concreto*. Tesis de grado. Universidad San Pedro. Chimbote, Peru.

Victoria, J. (2013). *Annalen des Kaiserlich-Königlichen Naturhistorischen Hofmuseums*.

Recuperado de: <http://legacy.tropicos.org/Name/50103394>

Waring, H. & Schlesinger, H. (1987). Forest ecosystems: Concepts and management. *Academic Press*, 1(2), 221-224. doi:<https://doi.org/10.1002/hyp.3360010209>

Warrier, K. (2002). *Indian Medicinal Plants: A Compendium of 500 Species*. Recuperado de:

https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=y3_vZIUVVj8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Compendium+of+Indian+Medicinal+Plants&ots=nsCpj5LZ1n&sig=WK686sr0Ahgb6ZHbEcyi5y-772E#v=onepage&q=Compendium%20of%20Indian%20Medicinal%20Plants&f=false

Wildghem, R. (2017). Los árboles y la importancia de los espacios verdes públicos. *Revista Arquitectura*, 4(2), 1.16.

Zolfagharian, N. (2012). *Environmental Impacts Assessment on Construction Sites*. Recuperado de: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784412329.176>

ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico

