

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

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): CARLOS JAVIER APELLIDOS: PEÑARANDA PEÑARANDA

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 RAQUIS DE PALMA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

### RESUMEN

Este proyecto se basó en la evaluación de mezclas de arcilla adicionando raquis de palma para la fabricación de bloques de construcción. Para ello, se implementó una investigación tipo aplicada, a nivel exploratorio y descriptivo, y finalmente, se empleó una estrategia de investigación experimental. La información se obtuvo mediante la observación y se tuvo en cuenta la norma NTC 4017 y NTC 4205. La población y muestra correspondió a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque. Se logró realizar un diagnóstico del sector del raquis de palma desarrollando el producto con diferentes porcentajes del material. Posteriormente, se evaluó el producto desarrollado a nivel de laboratorio. Por último, se logró establecer una comparación entre los costos del producto normal y los costos del producto utilizando la mezcla con raquis de palma.

PALABRAS CLAVE: mezclas de arcilla, raquis de palma, NTC 4017 y NTC 4205.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 125 PLANOS:      ILUSTRACIONES:      CD ROOM: 1

\*\*Copia No Controlada\*\*

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO RAQUIS DE PALMA PARA  
LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

CARLOS JAVIER PEÑARANDA PEÑARANDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO RAQUIS DE PALMA PARA  
LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

CARLOS JAVIER PEÑARANDA PEÑARANDA

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

Ingeniero Civil

Director:

JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ

Magíster en Administrador de Empresas

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

## ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

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

**LUGAR:** VIDEOCONFERENCIA – GOOGLE MEET

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERIA CIVIL

**TITULO DE LA TESIS:** “EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO RAQUIS DE PALMA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN”.

**JURADOS:** ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO  
ING. MARIA ALEJANDRA BERMON BENCARDINO

**DIRECTOR:** INGENIERO JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ.

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
CARLOS JAVIER PEÑARANDA PEÑARANDA	1113607	4,7	CUATRO, SIETE

# MERITORIA



ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO



ING. MARIA ALEJANDRA BERMON BENCARDINO



Vo. Bo.

JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ  
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, 19 de noviembre de 2021

Señores  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS  
Ciudad

Cordial saludo:

Carlos Javier Peñaranda Peñaranda, identificado(s) con la C.C. N°1.091.809.845, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Evaluación de mezclas de arcilla adicionando raquis de palma 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.

**CARLOS JAVIER PEÑARANDA PEÑARANDA**  
1.091.809.845

## **Agradecimientos**

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme cumplir una meta más en mi vida, gracias a mis padres: Gerardo Javier Peñaranda y Haydeé Peñaranda Sánchez, por ser los principales impulsores en cada uno de mis sueños, por confiar y creer siempre en mis capacidades, por los consejos, valores y principios que me han inculcado a lo largo de mi vida.

Agradezco a mis profesores de la facultad de ingeniería por haber compartido conmigo sus conocimientos a lo largo de la elaboración de este proyecto de grado. Quiero mencionar de forma especial a mi director de proyecto Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez y a mi codirector Jorge Sánchez Molina por la entrega para conmigo en la consecución de la elaboración de mi proyecto de grado.

Por último, me gustaría aprovechar estas líneas para agradecer la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado ya que fueron parte fundamental también durante el proceso de investigación y redacción de este proyecto de grado.

## Contenido

	<b>pág.</b>
Introducción	18
1. Problema	20
1.1 Título	20
1.2 Planteamiento de Problema	20
1.3 Formulación del Problema	21
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo general	21
1.4.2 Objetivos específicos	22
1.5 Justificación	22
1.6 Alcances y Limitaciones	23
1.6.1 Alcances	23
1.6.2 Limitaciones	23
1.7 Delimitaciones	24
1.7.1 Delimitación espacial	24
1.7.2 Delimitación temporal	24
1.7.3 Delimitación conceptual	24
2. Marco Referencial	25
2.1 Antecedentes y Estado del Arte	25
2.1.1 Antecedentes nacionales	25
2.1.2 Antecedentes internacionales	26
2.2 Marco Teórico	29
2.3 Marco Conceptual	48

2.4 Marco Contextual	51
2.5 Marco Legal	52
3. Diseño Metodológico	54
3.1 Tipo de Investigación	54
3.2 Población y Muestra	55
3.2.1 Población	56
3.2.2 Muestra	56
3.3 Instrumentos Para la Recolección de Información	58
3.3.1 Fuentes primarias	58
3.3.2 Fuentes secundarias	60
3.4 Fases y Actividades Específicas del Proyecto	60
4. Resultados	62
4.1 Materias Primas Empleadas	63
4.2 Proceso de Conformado	64
4.3 Ensayos Realizados	68
4.3.1 Análisis físico-cerámico	68
4.3.2 Determinación de la absorción de agua en unidades de mampostería	69
4.3.3 Determinación de la resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería	74
4.4 Normas Aplicadas	76
5. Desarrollo de los Objetivos	78
5.1 Diagnóstico del Sector de Raquis de Palma	78
5.2 Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes de Raquis de Palma a Nivel de Laboratorio	83

5.3 Evaluación del Bloque H-10 Desarrollado a Nivel de Laboratorio	103
5.4 Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado Con Raquis de Palma	108
5.4.1 Determinación de las relaciones entre costo y actividad	112
5. Conclusiones	116
6. Recomendaciones	117
Referencias Bibliográficas	118
Anexos	124

## Lista de Figuras

	<b>pág.</b>
Figura 1. Partes del ladrillo	33
Figura 2. Ladrillo perforado	33
Figura 3. Ladrillo Macizo	34
Figura 4. Ladrillo tejar o manual	34
Figura 5. Ladrillo hueco	35
Figura 6. Mapa de localización de la mina Támesis 1	37
Figura 7. Frente de explotación de la arcilla (cerámica Támesis S.A.)	38
Figura 8. Análisis comparativo por difracción de rayos-x de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra	42
Figura 9. Estructura general del raquis de palma africana	43
Figura 10. La palma de aceite un ejemplo de economía circular	46
Figura 11. Las 9R de la economía circular	48
Figura 12. Formato de ensayo de absorción de agua en unidades de mampostería del CIMAC	58
Figura 13. Formato de ensayo de resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería del CIMAC	59
Figura 14. Formato de ensayo de análisis físico-cerámico por extruido en unidades de mampostería del CIMAC	60
Figura 15. Diagrama de actividades y específicas del proyecto	61
Figura 16. Extrusora de laboratorio con vacío	65
Figura 17. Apisonador de la arcilla (trituración)	65
Figura 18. Molino de martillos (molienda vía seca)	66

Figura 19. Tamiz malla 10 (Tamizado)	66
Figura 20. Estufa de secado de 128 litros	67
Figura 21. Horno mufla	67
Figura 22. Pie de rey digital de 200 mm	68
Figura 23. Balanza digital de 20 kg	70
Figura 24. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión	71
Figura 25. Termohigrómetro EXTECH	71
Figura 26. Cronómetro (prensa de presión)	74
Figura 27. Infografía de la producción de palma africana en el departamento de Norte de Santander	78
Figura 28. Estructura del fruto de la palma africana	81
Figura 29. Raquis de palma después de proceso de molienda	82
Figura 30. Raquis de palma	83
Figura 31. Porcentaje promedio de absorción de agua en mezcla de arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de Raquis de palma	104
Figura 32. Datos promedio de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% de raquis de palma en la mezcla de arcilla	105
Figura 33. Valores en kgf/cm <sup>2</sup> de resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de raquis de palma	106
Figura 34. Valores promedio de resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm <sup>2</sup> de mezcla de arcilla con adición de 2,5%, 5% y 7,5% de raquis de palma	107

## Lista de Tablas

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Composición estructural del material arcilloso	39
Tabla 2. Resultados obtenidos por fluorescencia de rayos-X de la muestra identificada	41
Tabla 3. Composición química de raquis de palma	44
Tabla 4. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural	77
Tabla 5. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural	77
Tabla 6. Porcentaje de raquis de palma usado en cada mezcla de arcilla ensayada	89
Tabla 7. Resultados de análisis físico cerámico a 100% Arcilla	89
Tabla 8. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 de 100% arcilla	90
Tabla 9. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 de 100% arcilla	90
Tabla 10. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 de 100% arcilla	91
Tabla 11. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de 100% arcilla	91
Tabla 12. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de 100% arcilla	92
Tabla 13. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de 100% arcilla	92
Tabla 14. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 2,5% de raquis de palma	93
Tabla 15. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 2,5% de raquis de palma	93
Tabla 16. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 2,5% de raquis de palma	94
Tabla 17. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 2,5% de raquis de palma	94
Tabla 18. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla	

con 2,5% de raquis de palma	95
Tabla 19. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 2,5% de raquis de palma	95
Tabla 20. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 2,5% de raquis de palma	96
Tabla 21. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 5% de raquis de palma	96
Tabla 22. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 5% de raquis de palma	97
Tabla 23. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 5% de raquis de palma	97
Tabla 24. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 5% de raquis de palma	98
Tabla 25. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 5% de raquis de palma	98
Tabla 26. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 5% de raquis de palma	99
Tabla 27. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 5% de raquis de palma	99
Tabla 28. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 7,5% de raquis de palma	100
Tabla 29. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 7,5% de raquis de palma	100
Tabla 30. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 7,5% de raquis de palma	101
Tabla 31. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 7,5% de raquis de palma	101
Tabla 32. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 7,5% de raquis de palma	102
Tabla 33. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla	

con 7,5% de raquis de palma	102
Tabla 34. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 7,5% de raquis de palma	103
Tabla 35. Valores promedio de propiedades físicas de mezcla de arcilla con diferentes porcentajes en ensayo de absorción de agua	105
Tabla 36. Análisis comparativo de resultados	108
Tabla 37. Diferencia de densidades entre mezcla de arcilla pura y con raquis de palma	108
Tabla 38. Descripción de actividades en proceso productivo de elaboración de bloque H-10	109
Tabla 39. Componente del costo vs actividad	113
Tabla 40. Consolidado de los costos de las actividades de producción en el periodo analizado	114
Tabla 41. Costo del bloque utilizando raquis de palma	115

## Lista de Anexos

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Registro fotográfico	125

## Resumen

Este proyecto se basó en la evaluación de mezclas de arcilla adicionando raquis de palma para la fabricación de bloques de construcción. Se implementó una investigación tipo aplicada, a nivel exploratoria y descriptiva y con estrategia en investigación experimental, ya que 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. La información se obtuvo mediante la observación directa del nutriente (raquis de palma), para el registro de datos y formatos establecidos por el CIMAC. También se tuvo en cuenta la norma NTC 4017 y NTC 4205. La población y muestra correspondió a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, y el raquis de palma como nutriente tecnológico. Se lograron evaluar las mezclas de arcilla adicionando raquis de palma para la fabricación de bloques de construcción. Seguidamente, se realizó un diagnóstico del sector del raquis de palma desarrollando el producto utilizando diferentes porcentajes de raquis de palma a nivel de laboratorio. Posteriormente, se evaluó el producto desarrollado a nivel de laboratorio. Finalmente, se logró establecer una comparación entre los costos del producto normal y los costos del producto utilizando la mezcla con raquis de palma.

## **Abstract**

This project was based on the evaluation of clay mixtures adding palm rachis for the manufacture of building blocks. For this, an applied type research was implemented; according to the level in exploratory and descriptive and finally according to the strategy in experimental research, since the knowledge that is had and was put into practice will be used, applying it in the different procedures of the production process of the manufacture of the block. The information was obtained by direct observation of the nutrient (palm rachis), for data recording and formats established by CIMAC. Norms NTC 4017 and NTC 4205 were also taken into account. The population and sample corresponded to the raw materials used to manufacture the block, including the clay from the Guayabo formation in Norte de Santander, and the rachis from palm as a technological nutrient. The clay mixtures were evaluated by adding palm rachis for the manufacture of building blocks. Next, a diagnosis of the palm rachis sector was carried out, developing the product using different percentages of palm rachis at the laboratory level. Subsequently, the product developed at the laboratory level was evaluated. Finally, it was possible to establish a comparison between the costs of the normal product and the costs of the product using the mixture with palm rachis.

## Introducción

El siguiente proyecto se realiza con el fin de evaluar el uso de Raquis de palma como agregado para la mezcla de arcilla para la fabricación de bloques de construcción determinando su comportamiento físico mecánico a nivel de laboratorio y la comparación de costos, para evaluar su factibilidad.

Con el fin de suplir algunas de las necesidades ambientales que demandan en la actualidad, se busca la fabricación de bloques de mampostería con un material orgánico como lo es el raquis de palma disminuyendo la cantidad de cemento que se utiliza en dicho producto y a su vez reduciendo costos directos en la elaboración del mismo teniendo en cuenta lo estipulado en la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 con una mezcla patrón de arcilla al 100% y tres porcentajes diferentes del nutriente (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 y así poder determinar si es un producto de calidad, económico y amigable con el medio ambiente.

El raquis de la Palma aceitera se ha convertido en un gran problema en las plantas extractoras de aceite, ya que originan gran cantidad de desechos que resultan de la extracción de la palma aceitera con muy pocas alternativas de aprovechamiento para estos, lo cual provoca un alto grado de contaminación en zonas cercanas llegando a causar ciertas afecciones a las personas involucradas como lo es enfermedades en la piel, molestias en los ojos, enfermedades respiratorias y malos olores como resultado de la descomposición de productos orgánicos.

Debido a la gran cantidad de desecho generado por esta planta, se le ha querido reutilizar como base para vías terciarias en las mismas fincas o plantaciones donde es cultivada y de esta manera evacuar las grandes cantidades acumuladas, aunque se ha demostrado tener deficiencias en cuanto al corto tiempo de vida útil.

Al realizar el análisis de dosificación para la producción de bloques de mampostería, se busca que la proporción de cantidad de arcilla disminuya considerablemente en cada unidad del producto, después de tener la dosificación correcta se analiza la resistencia que arroja con el material adicionante, comparándolo con la dosificación y diseño de mezcla que se utiliza en la fabricación de bloques de mampostería convencionales.

Esta investigación también busca incentivar alternativas para el desarrollo de productos utilizando subproductos agroindustriales y de esta manera contribuir con la economía circular dándoles un valor agregado y ofertar nuevos productos que beneficien a la sociedad.

Actualmente existe una tendencia creciente por utilizar materiales de construcción no convencionales, es por esta razón que el raquis de palma aceitera es una gran opción a utilizar como material constitutivo de mezclas de arcilla en la fabricación de bloques además de ofrecer características diferentes debido al poco peso y la gran resistencia del cuesco.

## **1. Problema**

### **1.1 Título**

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO RAQUIS DE PALMA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN.

### **1.2 Planteamiento de Problema**

La fabricación de bloques de arcilla son unos de los causantes de smog que más graves problemas de contaminación causa en las grandes ciudades, esto se debe al método de fabricación ya que en una etapa de elaboración es necesario poner a temperaturas entre 1000°C y 1100°C los bloques de arcilla con el fin de obtener una alta resistencia mecánica para cumplir con las especificaciones que especifica la norma técnica colombiana NTC 4205, esto causando problemas de salud en el entorno donde se realiza la fabricación de dichos productos (Castells, 2000).

Uno de los grandes retos para la ciencia e ingeniería, es el desarrollo de materiales con criterios o parámetros de sostenibilidad ambiental. Los bloques de arcilla son uno de los elementos de mampostería más utilizados en la construcción y es por esto que lo convierte en el componente clave para realizar ese cambio significativo que tanto se requiere, utilizando nutrientes orgánicos en la mezcla de su fabricación tales como raquis de palma, con el propósito de mejorar sus propiedades y disminuir la extracción de la materia prima como lo es la arcilla, minimizando los impactos geológicos que esta ocasiona al medio ambiente (Ruíz & Peñaranda, 2020).

En Colombia, la extracción de la palma aceitera se ha convertido en un grave problema debido a la gran cantidad de residuos que genera con muy pocas alternativas de aprovechamiento para estos, lo cual provoca un alto grado de contaminación en zonas cercanas llegando a causar enfermedades en la piel, molestias en los ojos, enfermedades respiratorias y malos olores como resultado de la descomposición de productos orgánicos.

Debido a la gran cantidad de desecho se le ha querido reutilizar como base para vías terciarias en las mismas fincas o plantaciones y de esta manera evacuar las grandes cantidades acumuladas, aunque ha demostrado tener deficiencias en cuanto al corto tiempo de vida útil (Trejo, Cruz & Novoa, 2018).

La tendencia actual en Colombia es utilizar materiales no convencionales para solucionar los problemas de nuestra sociedad en pro del cuidado del medio ambiente y no seguir explotando los depósitos de material de agregados (grueso y fino), que en los últimos tiempos se han ido disminuyendo sus cantidades de obtención y calidad para su utilización en la parte de obras civiles; causando un cambio en la biodiversidad, las cuales en algunos casos puede ser contraproducente para nuestra sociedad (Acosta & Beltrán, 2017).

### **1.3 Formulación del Problema**

¿Cuál es la influencia de la adición de raquis de palma en las propiedades mecánicas y el peso de bloques de arcilla para la construcción?

### **1.4 Objetivos**

**1.4.1 Objetivo general.** Evaluar mezclas de arcilla adicionando raquis de palma para la fabricación de bloques de construcción.

**1.4.2 Objetivos específicos.** Los objetivos específicos se muestran a continuación:

Realizar un diagnóstico del sector del raquis de palma.

Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes de raquis de palma 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 raquis de palma.

## **1.5 Justificación**

La construcción ha estado en busca de la optimización de sus procesos y en el mejoramiento de los materiales y sus aplicaciones a través de la reutilización de productos como complementos para el mejoramiento de los materiales de construcción con el fin de generar una construcción sostenible que sea amigable con el medio ambiente, tal como lo plantea la economía circular la cual es un concepto relacionado con el aprovechamiento de los recursos. Una economía lineal plantea el aprovechamiento de los recursos desde un principio hasta un final, mientras que la circular trata de reutilizarlos insertándolos de nuevo en el proceso, esto podría entenderse también como la optimización del ciclo de vida. El presente proyecto de investigación describe la evaluación del uso de un nutriente orgánico utilizado en la mezcla de elaboración de bloques de arcilla para construcción, como lo es el raquis de palma africana, teniendo como objetivos estimar su factibilidad en costos y realizar un diagnóstico de las diferentes propiedades que proporcionan estos componentes a la mezcla, así como los requisitos que deben cumplir los bloques de arcilla según la norma sismorresistente colombiana NSR10 (Ruíz & Peñaranda,

2020).

Es importante mencionar que existen muy pocos estudios sobre composites elaborados a partir de matrices biodegradables y fibra proveniente de residuos de raquis de palma de la industria, es por ello que con este trabajo de titulación se desea establecer las condiciones técnicas básicas de un proceso productivo amigable con el ambiente para beneficio de la sociedad y de esta manera brindar una alternativa de uso de la gran cantidad de raquis generada por esta, para examinar cual sería el porcentaje de nutriente ideal que sirve para alcanzar la resistencia mecánica a la compresión requerida para la elaboración de bloques de arcilla para construcción.

## **1.6 Alcances y Limitaciones**

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

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

## **1.7 Delimitaciones**

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

**1.7.2 Delimitación temporal.** El proyecto se ejecutó a partir de la fecha de aprobación del mismo por parte del comité curricular de ingeniería civil de la universidad Francisco de Paula Santander, con una duración de 4 meses.

**1.7.3 Delimitación conceptual.** El proyecto se desarrolló con base a los procedimientos de realización de ensayos del laboratorio CIMAC, basados en las normas NTC 4017:2018 Método para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y otros productos de Arcilla; y NTC 4205:2000 Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos.

## 2. Marco Referencial

### 2.1 Antecedentes y Estado del Arte

**2.1.1 Antecedentes nacionales.** Barreto & Rodríguez (2017). “Determinar las propiedades mecánicas y el uso de cuesco de palma africana para la fabricación de adoquines y bloques estructurales”. El fin de este proyecto fue la investigación y elaboración de adoquines y bloques estructurales por medio de materiales no convencionales como lo es la ceniza de cuesco de la palma africana donde se quiere buscar y dar a conocer que porcentaje de este material es el adecuado para darle uso en diversas construcciones, generar disminución de daño al medio ambiente ya que este material como lo es cuesco es contaminante hoy en día, lo que buscamos es cambiar un porcentaje óptimo de cemento por ceniza de cuesco determinando las propiedades mecánicas y su mejor uso, produciendo un concreto más resistente, generando bajas en los costos de producción y ayudando al medio ambiente (Acosta & Beltrán, 2017).

Esta investigación fue de gran importancia para mi proyecto ya que tienen gran relación pues ambas buscan dar a conocer que porcentaje de raquis de palma es el adecuado para darle uso en la mezcla de arcilla para elaborar bloques de construcción, producir bajos niveles de contaminación al medio ambiente y generar bajos costos de producción sin perder la calidad del producto.

Perilla & Gómez (2017). “Empleo de la palma lata en la construcción de entrepisos sobre muro de adobe y ladrillo”. Esta investigación fue de tipo aplicada, con un nivel de profundización explicativo, aplicando enfoque cuantitativo, ya que solo se recolectaron los datos en un momento dado de la investigación. La finalidad consistió en generar una alternativa en la construcción de entrepisos que se articule y se adapte especialmente a los muros de adobe y ladrillo, con un

recurso maderable propio de una región rural en específico atendiendo las necesidades del sector y recuperando un recurso que actualmente es tildado como maleza. La palma lata es una palma perenne que se encuentra en clima tropical, pertenece a la especie *bactris guineensis* (Guinea *bactris*) ocupando un escalafón dentro de la variedad de especies del género *Bactris* (*Bactris palm*) reconocidas en América (Centro, Suramérica).

La palma de lata posee un recurso maderable que es aprovechable y se tipifica como madera rolliza, es totalmente sólida en su aspecto físico con buenas cualidades. Ductilidad, longitud óptima la cual es indispensable para las maderas en la construcción, resistente, durable y consistente. De acuerdo a lo anterior lo que se pretendió fue proponer un modelo constructivo de entepiso el cual considere a la palma lata como componente principal teniendo en cuenta sus antecedentes históricos en la construcción rural. Y el sector donde se encuentra, el objetivo específico no se limitó únicamente a la propuesta constructiva, puesto que paralelo a eso se evaluó la funcionalidad estructural respecto a su esfuerzo por flexión a 3 puntos, dato indispensable en el diseño estructural de entepisos (Niño & Ruíz, 2017).

Esta investigación aportó valiosa información acerca de las propiedades constructivas que tienen los productos maderables como lo es la palma de lata siendo sólida en su aspecto físico con buenas cualidades para la construcción, evaluando su funcionalidad estructural respecto a su esfuerzo por flexión a tres puntos.

**2.1.2 Antecedentes internacionales.** Páliz (2015). “Factibilidad del uso del raquis de palma africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos”. Se revalorizó el “raquis” residuo de la palma africana, usándolo como componente principal en la fabricación de ladrillos ecológicos que serán utilizados en el campo de la construcción, superando

algunas características de los ladrillos convencionales en resistencia y peso. Para la investigación se realizaron análisis físico-químicos para conocer las características y composición elemental del residuo, los análisis físicos mostraron un contenido de humedad del 33,47%, una capacidad de absorción del 81% y un peso específico de 0,10 grs. Para conocer su composición se analizaron parámetros químicos como pH, nitrógeno, carbono y silicio, los que mostraron valores de 8,35 unidades de pH (UPH), 0,36 kg/mg, 55.85 kg/mg y 245 kg/mg respectivamente. Una vez obtenida la caracterización de la fibra se formularon cuatro mezclas diferentes para la fabricación de los ladrillos, la primera mezcla formada por 38% de raquis, 18% de arena, 32% de arcilla, 32% cemento; la segunda mezcla 41% de raquis y 50% de arcilla; la tercera mezcla 51% de raquis, 18% de arena y 5% de cemento; y la cuarta mezcla formada por 58% de raquis y 34% de cemento.

Finalmente, para conocer las características mecánicas y físicas de los ladrillos fabricados, se realizaron pruebas de compresión, flexión y humedad basadas en la norma. Se comprobó que el uso de la fibra del raquis en la fabricación de ladrillos para fines de construcción es posible, ya que mejoran las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo convencional, además de disminuir costos de producción y el impacto negativo al ambiente. Por lo que se recomienda seguir realizando pruebas mecánicas a los ladrillos ecológicos con raquis para conocer su capacidad como aislantes acústicos y térmicos e implementar un proyecto de inversión financiera para la ejecución de una fábrica de ladrillos ecológicos de Raquis (Hidalgo, 2014).

Esta investigación fue muy útil en mi investigación ya que se utilizó el mismo nutriente tecnológico (Raquis de Palma) realizando análisis físico-químicos para conocer las características y composición elemental del residuo, formulando cuatro mezclas con diferentes porcentajes del nutriente para la fabricación de los bloques, concluyendo que el uso de la fibra de raquis de

palma en la mezcla de arcilla para la elaboración de estos es posible, ya que se mejoran las propiedades físicas y mecánicas con respecto al bloque convencional, además de disminuir costos de producción y el impacto negativo al medio ambiente.

Baquero & Rico (2020). “Propuesta de aprovechamiento del residuo de raquis proveniente de la industria aceitera ecuatoriana en materiales no convencionales”. En el presente trabajo se elaboró un material compuesto por medio de compresión térmica como propuesta de aprovechamiento del residuo de raquis proveniente de la industria extractora de aceite de palma. Se empleó la fibra extraída del raquis de palma como refuerzo y una mezcla de alcohol polivinílico/almidón de oca modificado químicamente como matriz.

Inicialmente, se realizó la caracterización físico-química de la fibra, misma que consistió en establecer los contenidos de humedad, lignina y celulosa, Posteriormente, se procedió a elaborar diferentes formulaciones del material bajo las siguientes variaciones: contenido de fibra (10 %, 20 %, 30 % y 40 %), el tamaño de la fibra (0,42 mm y 0,60 mm) y temperatura de compresión (60°C, 80°C y 100°C), generando un total de ocho formulaciones.

Finalmente, para identificar las posibles aplicaciones del material compuesto se efectuó una caracterización mecánica básica de tracción-deformación en términos de módulo de tracción, resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura. A partir de los resultados de comportamiento mecánico, se evidenció que entre las formulaciones establecidas el mejor material corresponde a la temperatura de 100°C, contenido de la fibra de 10% y tamaño de la misma de 0,60 mm; adicionalmente, se determinó que el material tiene potencial para ser usado en transporte de semillas, embalaje, siembra y contenedores de plantas (Duque & Belalcazar, 2020).

El aporte de esta investigación a mi proyecto fue conocer un poco más acerca de las características físico-químicas del nutriente identificando el comportamiento mecánico del mismo y determinar a qué temperatura tiene mejor potencial para su posterior utilización.

De La Torre (2009). “Fabricación de ladrillos ecológicos a partir de residuos de palma africana (*elaeis guineensis*) en combinación con fibras vegetales”. El presente trabajo fue un estudio de una alternativa en la fabricación de ladrillos con características ecológicas tratando de encontrar un equilibrio entre la parte ecológica, la parte agrícola e industrial, aprovechando residuos vegetales, principalmente el cuesco de la palma africana, en conjunción con otras fibras, tomando en cuenta que son desechos agroindustriales que ni se los está empleado en ningún proceso productivo o de reciclaje, generado fuentes de contaminación ambiental.

El trabajo se realizó en la parroquia de Yaruqui, provincia de pichincha, lugar donde se puso la planta piloto. A este sector se llevó todas las materias primas necesarias para la realización de esta investigación (Conrado, 2009).

Esta investigación aportó valiosa información a este proyecto, ya que también trató de encontrar un equilibrio entre la parte ecológica y la parte industrial, aprovechando desechos agroindustriales como el raquis de palma africana que actualmente no se la da ningún uso reciclable, generando fuentes de contaminación ambiental.

## **2.2 Marco Teórico**

La presente investigación se centró en identificar variantes que posibiliten la mitigación de los residuos sólidos más significativos en el proceso de producción conocido como raquis, tendencias en la utilización de los subproductos de los residuos de la producción de aceite de

palma africana el desarrollo industrial conlleva al incremento en generación de residuos los cuales se han convertido en una problemática tanto ambiental como económica para las empresas ya que éstas se deben responsabilizar de los altos costos que genera su disposición final (Zapata & Montoya, 2020).

Actualmente, la industria busca nuevos procesos de producción que sean más eficientes y que generen bajo impacto en el medio ambiente. Dentro de éstos se ha encontrado la necesidad de disminuir la explotación de los recursos naturales aprovechando los residuos generados en la industria (Gonzalez, Gómez & Abad, 2017).

Del mismo modo, el aprovechamiento de estos residuos o subproductos, no sólo contribuye a disminuir la explotación de recursos sino también la contaminación y degradación del ecosistema, evitando una disposición final inadecuada como es el caso de las quemas, el uso en rellenos sanitarios o el vertimiento a fuentes hídricas (Ricardo, Veiguela, Rodríguez & Sarmiento, 2019).

En la actualidad, la abundante cantidad de racimos vacíos o raquis, ha creado un importante problema para las agroindustrias, ya que produce contaminación por la acumulación y generación de hongos en los residuos. En algunas empresas aceiteras, los raquis son incinerados para producir ceniza, la cual es devuelta al campo como fertilizante; sin embargo, la quema de estos residuos también crea un grave problema de contaminación atmosférica (Ricardo et al., 2019).

El raquis es un residuo que se obtiene durante el proceso de desfrutado de la extracción de aceite de los racimos de palma africana, este proceso se realiza en el tambor desfrutador en donde se produce una separación mecánica a los frutos del racimo (Wilches & Rodriguez, 2016), la necesidad de plantear soluciones para apoyar la gestión integral de los residuos sólidos

biodegradables ha llevado a proponer la adición de raquis de palma para la fabricación de bloques de arcilla para construcción.

En Malasia, por ejemplo, para el tratamiento de racimos vacíos, en años recientes, se ha introducido un nuevo sistema que posibilita recuperar un 0,25% extra del aceite de los racimos vacíos y, al mismo tiempo, contribuye a la reducción del contenido de humedad aproximadamente en un 35% (Acosta & Beltrán, 2017).

A partir de un sistema que consiste en un prensado del raquis, estos residuos pueden ser utilizados como combustible residual sólido adicional para la generación de vapor y electricidad en otros procesos posteriores a la extracción (Duque & Belalcazar, 2020), constituyéndose así en una alternativa de desarrollo sustentable.

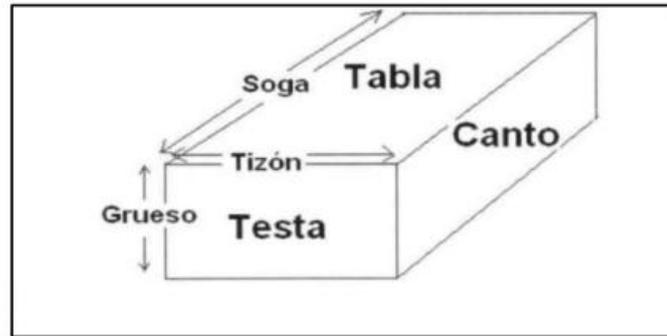
Los procesos de estabilización y solidificación se utilizan ampliamente para tratar o gestionar residuos peligrosos provenientes de diversas actividades industriales. Estos procesos son aplicados: en recuperación de vertederos de residuos peligrosos, en el tratamiento de residuos procedentes de otros procesos de eliminación y en el tratamiento de terrenos contaminados donde intervienen grandes cantidades de suelos contaminados. La estabilización es el proceso que utiliza aditivos para reducir la peligrosidad de un residuo, transformando el residuo y sus constituyentes en un bloque para minimizar la velocidad de migración del contaminante al medio ambiente y reducir su toxicidad. La solidificación es el proceso en el que se añade una suficiente cantidad de material solidificante, incluido sólidos, a los materiales peligrosos para formar una masa solidificante, la que aumentará la resistencia y disminuirá la compresibilidad y la permeabilidad del residuo (Hidalgo, 2014).

Para entrar más en contexto con los materiales utilizados en esta investigación, a

continuación, se detalla su definición:

**Ladrillo:** Pieza cerámica, generalmente ortoédrica obtenida por un moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, cuyas dimensiones suelen rondar 24 cm X 11,5 cm X 6 cm. Se emplea en albañilería para la ejecución de fábricas de ladrillo, ya sean muros, tabiques, tabicones, etc. Se estima que los primeros ladrillos fueron creados alrededor del 6.000 a. C. (Hidalgo, 2014).

Su forma es un prisma rectangular, en que sus diferentes dimensiones reciben el nombre de sogá, tizón y grueso, siendo la sogá su dimensión mayor. Así mismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de tabla, canto y testó. (Figura 1) Por lo general, el lado más largo se conoce como sogá, el ancho llamado también tizón, es la mitad de la longitud de la sogá, la altura o grueso, puede variar en su longitud dependiendo de los estándares que se siguen. La junta en el vértice donde se une cada una de las caras del ladrillo. Existen diferentes formatos de ladrillos, por lo general de un tamaño que permita manejarlo con la mano. Se destaca el formato métrico, en el que las dimensiones son 24 cm x 11,5 cm x 5,25 cm y el formato catalán utilizado en España, de dimensiones 29 cm x 14 cm x 5 cm.(Hidalgo, 2014).



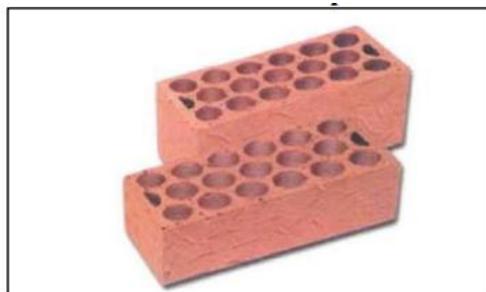
**Figura 1. Partes del ladrillo**

Fuente: Hidalgo, 2014.

### **Tipos de Ladrillo:**

Según su forma los ladrillos se clasifican en:

**Ladrillos perforados:** Tienen perforaciones en la tabla que ocupan más del 10% de la superficie de la misma. Muy popular para la ejecución de fachadas de ladrillo visto (Porto & Gardey, 2011).

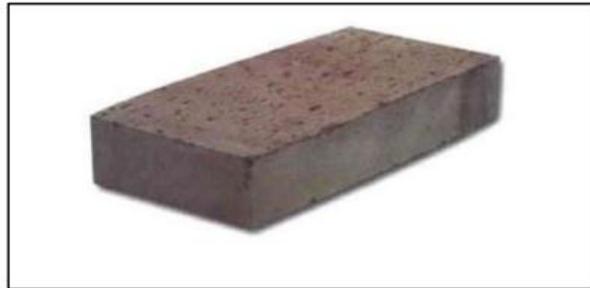


**Figura 2. Ladrillo perforado**

Fuente: Hidalgo, 2014.

**Ladrillo Macizo:** En su conformación tienen menos de un 10% de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajas en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin

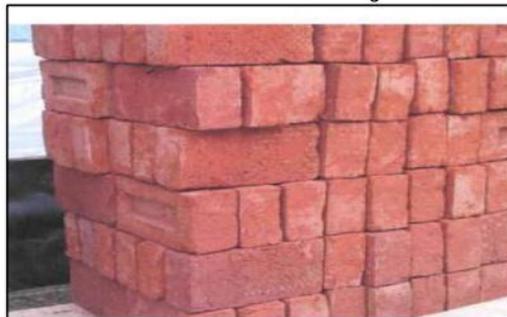
llagas (Porto & Gardey, 2011).



**Figura 3. Ladrillo macizo**

Fuente: Hidalgo, 2014.

**Ladrillo Tejar o Manual:** Simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales (Porto & Gardey, 2011).



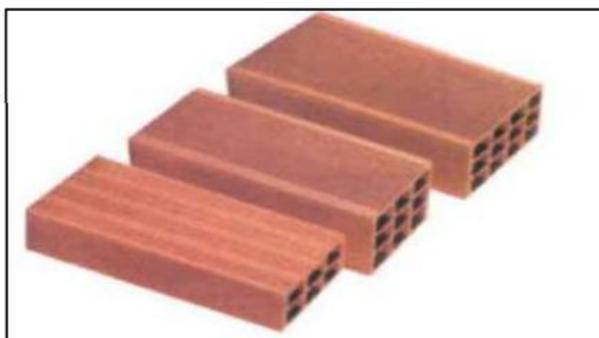
**Figura 4. Ladrillo tejar o manual**

Fuente: Hidalgo, 2014.

**Ladrillo Hueco:** Poseen perforaciones en el canto o en la testa, que reducen el volumen de cerámica empleado en ellos. Son los que usan para tabiquería que no vaya a sufrir cargas especiales. Pueden ser de varios tipos:

**Ladrillo Hueco Simple:** Posee una hilera de perforaciones en la testa.

**Ladrillo Hueco Doble:** Posee dos hileras de perforaciones en la testa



**Figura 5. Ladrillo hueco**

Fuente: Hidalgo, 2014.

### **Arcilla:**

El término “arcilla” encierra en sí mismo un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión (tamaño de partícula, mineralogía, petrografía, propiedades físicas, etc.). Las arcillas son fruto de los agentes de meteorización físico-químicos actuantes sobre la roca madre original, se las puede considerar como unas acumulaciones naturales, consolidadas o no, de tamaño de grano fino ( $< 1 \mu\text{m}$  según los químicos que estudian los coloides,  $< 2 \mu\text{m}$  según los mineralogistas e investigadores del suelo, y  $< 4 \mu\text{m}$ , según los sedimentólogos), constituidas por variados minerales arcillosos (silicatos aluminicos hidratados, con iones principalmente de Mg, Fe, K y Na) y otros minerales acompañantes como el cuarzo, los feldspatos, los carbonatos, etc. Además, salvo excepciones, poseen un comportamiento físico muy peculiar frente al agua el cual es la plasticidad, e incluso endurecen cuando son secadas o sometidas a tratamientos térmicos a alta temperatura (Riaño, 2016).

Mineralógicamente están constituidas en su mayoría por filosilicatos, los cuales son un subgrupo de la familia de los silicatos que tienen por principal característica la disposición planar de las redes poliméricas de tetraedros de sílice. Este es un grupo variado, y la principal característica de los filosilicatos arcillosos es su alto contenido de aluminio (Riaño, 2016).

Los principales minerales que componen la arcilla son:

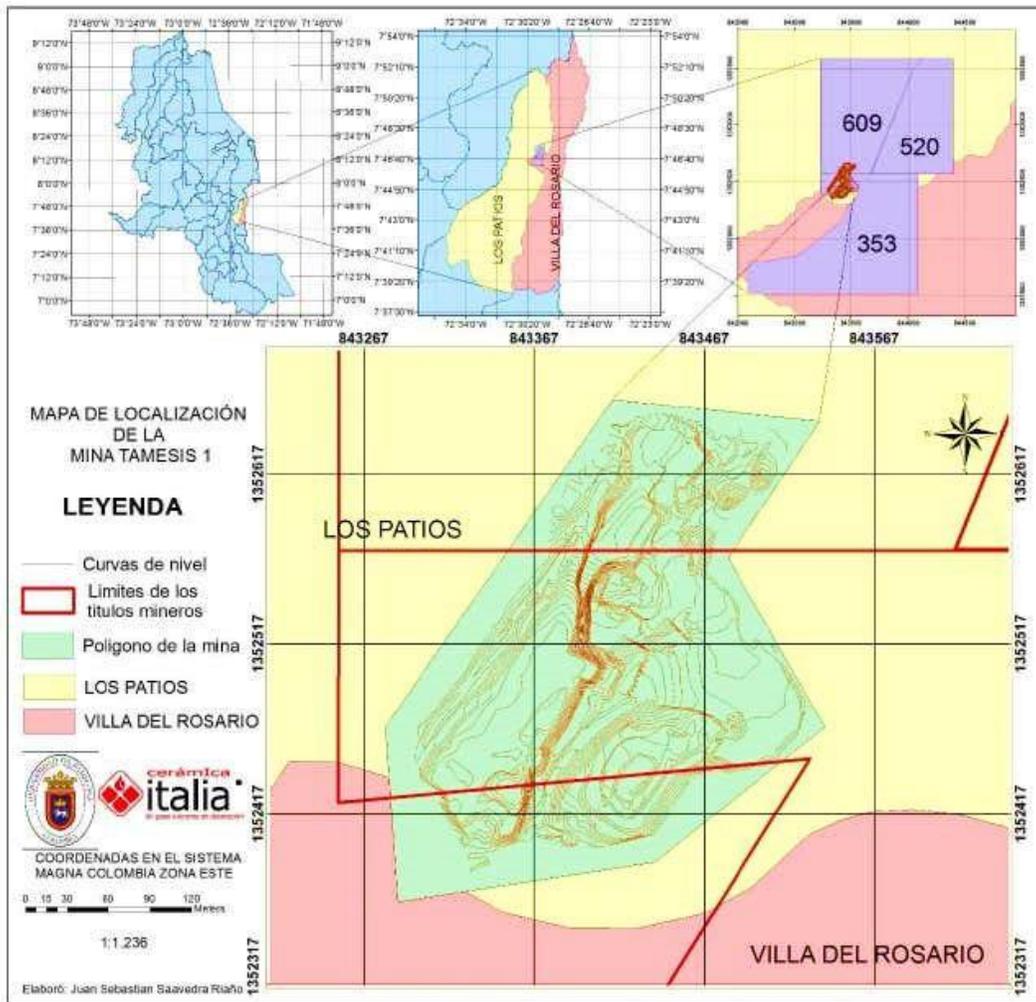
Caolinita:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Illita:  $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$

Montmorillonita:  $(\text{Na},\text{Ca})_{0.33}(\text{Al},\text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Vermiculita:  $(\text{MgFe},\text{Al})_3(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

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



**Figura 6. Mapa de localización de la mina Tamesis 1**

Fuente: Riaño, 2016.



**Figura 7. Frente de explotación de la arcilla (cerámica Támesis S.A.)**

Fuente: Riaño, 2016.

### **Arcillas cerámicas:**

El término de arcillas cerámicas se refiere a los materiales arcillosos que usualmente son utilizados por la industria para la elaboración de piezas cerámicas. Como se sabe, la industria cerámica es la encargada de generar diferentes productos a partir de procesos especializados o artesanales utilizando como materia prima la arcilla. Las arcillas cerámicas se han clasificado según el uso en la industria de los productos que se pretende realizar, lo cual es una consecuencia de su composición química, su mineralogía y su distribución textural (Díaz & Torrecillas, 2002).

### **Arcillas comunes:**

Los principales usos a los que se destinan estas arcillas son para la industria de la construcción, como ladrillos huecos o caravista, tejas, azulejos para gres y revestimientos. También se emplean en el sector de la alfarería, en las industrias del cemento y como agregados

ligeros. El color del producto acabado lleva una componente roja característica, originada por los altos contenidos en óxidos de hierro que suelen estar por encima del 2-2,5%, estas son las arcillas usadas por Cerámica Italia (Díaz & Torrecillas, 2002).

**Tabla 1. Composición estructural del material arcilloso**

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

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

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

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

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

Tanto los rayos X como los gamma pueden ser suficientemente energéticos para desprender electrones fuertemente ligados en los orbitales internos del átomo. Tal remoción electrónica deja en condición inestable a la estructura electrónica del átomo, y los electrones de orbitales más elevados «caen» hacia el orbital más bajo, que luego ocupan los huecos de los electrones internos desprendidos (Buhrke, 1998).

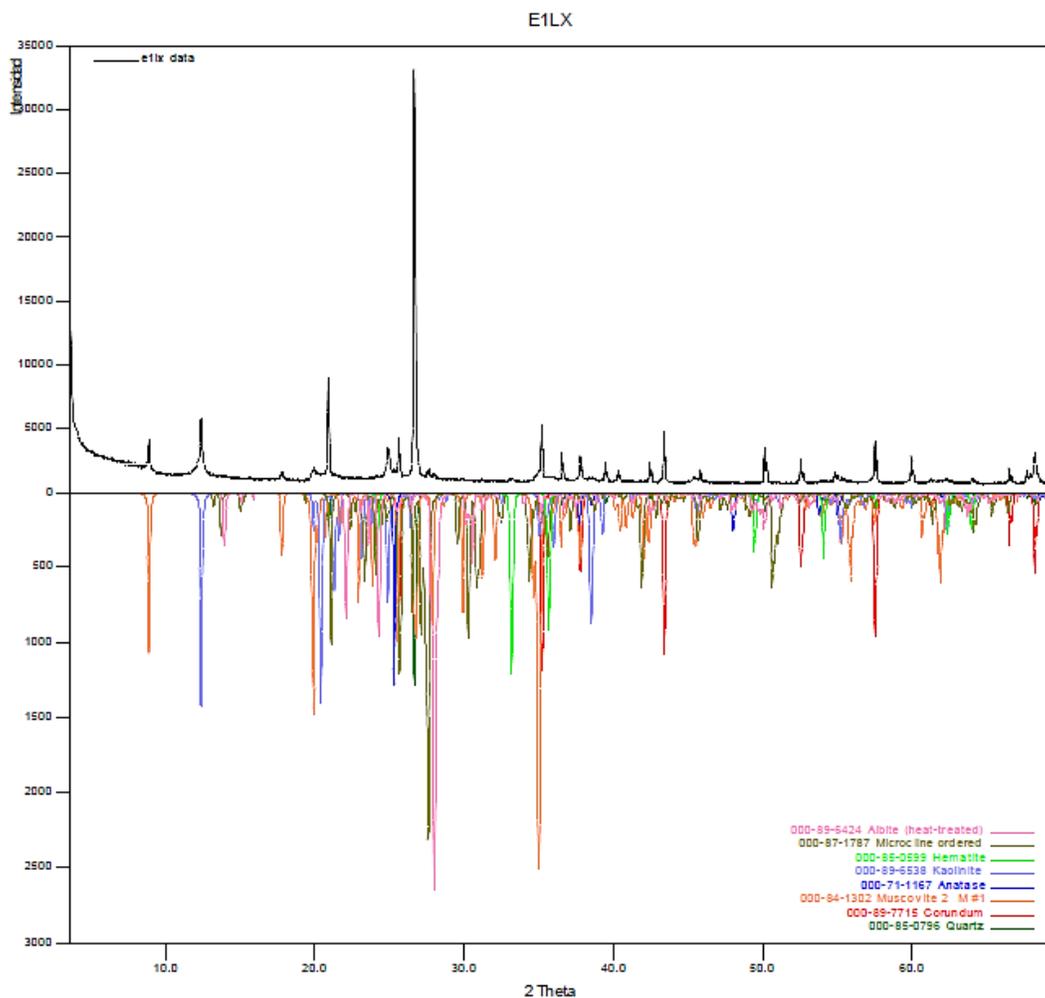
Este fenómeno es muy utilizado para análisis elemental y análisis químico, particularmente en la investigación de metales, vidrios, cerámicos y materiales de construcción, así como en la de geoquímica, ciencia forense y arqueología. El porcentaje de los distintos elementos encontrados en la muestra de arcilla tomada de la mina expresados en forma de óxidos son los siguientes:

**Tabla 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 <sub>2</sub>	59,67%
Al	Aluminio	13	11,50%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,72%
Fe	Hierro	26	3,70%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,29%
K	Potasio	19	1,64%	K <sub>2</sub> O	1,98%
Ti	Titanio	22	0,57%	TiO <sub>2</sub>	0,95%
Mg	Magnesio	12	0,41%	MgO	0,67%
Ca	Calcio	20	0,27%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,57%
Na	Sodio	11	0,26%	CaO	0,38%
P	Fosforo	15	0,25%	Na <sub>2</sub> O	0,35%
Ba	Bario	56	0,05%	BaO	0,06%
Zr	Circonio	40	0,03%	SO <sub>3</sub>	0,04%
V	Vanadio	23	0,02%	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04%
Mn	Manganeso	25	0,02%	ZrO <sub>2</sub>	0,03%
S	Azufre	16	0,02%	MnO	0,03%
Zn	Zinc	30	0,01%	ZnO	0,02%
Cl	Cloro	17	0,01%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	0,01%
				*L.O.I	<b>8,12%</b>
<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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30 mg/Kg
Y	Itrio	39	23 mg/Kg	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29 mg/Kg
Ga	Galio	31	22 mg/Kg	PbO	26 mg/Kg
Nb	Niobio	41	16 mg/Kg	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23 mg/Kg

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

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



**Figura 8. Análisis comparativo por difracción de rayos-x de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra**

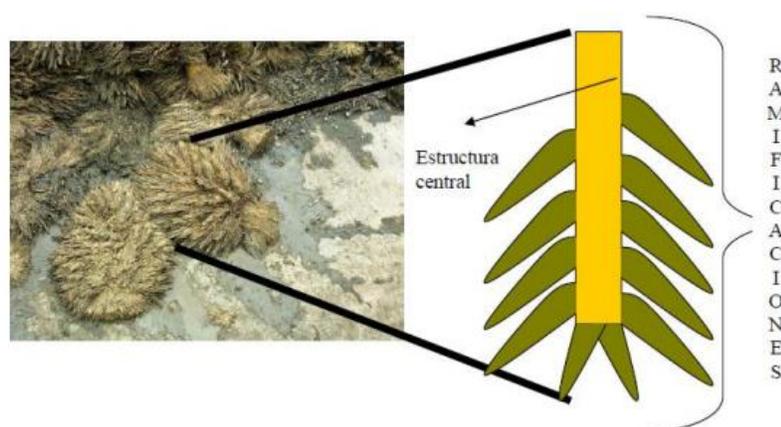
Fuente: Jenkins, 1999.

### **Raquis de Palma Africana:**

El raquis de palma africana es un residuo del proceso industrial de extracción de aceite y que constituye aproximadamente el 50% en peso de la fruta para procesar. Esto quiere decir que existe una gran disponibilidad del material que en la práctica es utilizado como fuente de energía en grandes extractoras y como barreras contra insectos en palmas jóvenes. Este residuo

constituye el esqueleto donde se ubican las frutas a manera de racimo quedando, después del proceso de desfrute, una estructura de gran dureza formada por un tronco central y varias ramificaciones a manera de puntas. El elemento básico que le confiere sus características al raquis es celulosa, la cual se evidencia como largas fibras. Este posee una relación C/N alta (>25:1) (Hidalgo, 2014).

Existen una gran cantidad de formas y de tamaños de raquis, dependiendo de la calidad de la palma y su edad, sin embargo, la estructura básica es la siguiente:



**Figura 9. Estructura general del raquis de palma africana**

Fuente: Hidalgo, 2014.

### **Composición del Raquis de Palma:**

La composición química del raquis es bastante heterogénea, consistiendo principalmente de tres materiales poliméricos: celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos materiales están compuestos por moléculas de gran tamaño que constituyen del 95 al 98% de la pared celular. El restante 2-5% son componentes de bajo peso molecular denominados extractivos, la cantidad de estos componentes varía considerablemente entre maderas duras y blandas.

**Celulosa:**

Es el componente mayoritario de los materiales lignocelulósicos. Base estructural de las células vegetales, es la sustancia natural más importante, tanto por su abundancia como por su aprovechamiento tecnológico.

**Emicelulosa:**

Se engloban dentro de esta denominación el resto de los polisacáridos que se encuentran en los lignocelulósicos además de la celulosa.

**Lignina:**

Es el polímero más abundante en el mundo vegetal y su función es asegurar protección contra la humedad y los agentes atmosféricos además de actuar como elemento aglomerante de las fibras (Ayala & Soledad, 2006).

Además, que está contenida elementalmente de Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Magnesio y otros, en los siguientes porcentajes:

**Tabla 3. Composición química de raquis de palma**

<b>Composición Química de Raquis de Palma</b>					
<b>Elemento</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>MG</b>	<b>MO</b>
<b>%</b>	0.5	0.004	5.68	0.8	50

**Importancia del Raquis de Palma:**

En el proceso productivo de la palma de aceite quedan algunos subproductos como el raquis, siendo el contenido de nutrientes (kg/tonelada): nitrógeno 7, fósforo 0.9 potasio 22.4, azufre 1,

calcio 2.7, magnesio 1.5, hierro 0.5, manganeso 0.06, cobre; 0.014, Boro 0.025, Zinc 0.05 y sodio 0.018. Además de su papel como fertilizante, tiene funciones muy valiosas como las de ayudar a corregir la estructura del suelo, factor determinante en el desarrollo radicular de la planta, así como las de aportar microorganismos que mejoran las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, como es el caso de las bacterias nitrificantes, hongos micorrizógenos y antagonistas aumentado sus cantidades en comparación con aquellos hongos fitopatógenos que limitan muchas explotaciones agrícolas.

Varios ensayos en una plantación en Puerto Wilches, Santander, se encontraron que, con la aplicación de raquis al cultivo durante tres años consecutivos, se incrementó la producción promedio en 28,58%, equivalente a 6.26 toneladas de racimo de fruto fresco (RFF)/ha/año. A nivel semicomercial la respuesta de la aplicación de tusa, oscila entre 23,7 y 38,37%, correspondiente a 4,77 y 7,72 toneladas de RFF/ha/año respectivamente; además con la aplicación de raquis se mejoraron las propiedades físicas del suelo incrementándose la porosidad, propiedad que se afecta con la compactación y que tiene entre otras funciones mejorar la velocidad de infiltración, mejorando el desarrollo del sistema radicular. Adicionalmente se ha observado un buen estado sanitario de las palmas, especialmente disminuyendo la severidad del añublo foliar causado por *Pestalotiopsis* y *Gloesporium* (Miño, 2005).

**Economía circular:** Una economía circular es un sistema industrial que es restaurativo o regenerativo por intención y diseño. Sustituye al concepto de fin de vida con restauración, cambios hacia el uso de energías renovables, elimina el uso de productos con químicos tóxicos, que perjudican la reutilización y reintegración a la biosfera, y tiene como objetivo la eliminación de desechos a través del diseño superior de materiales, productos, sistemas y modelos de negocios. La economía circular se basa en principios como la diversidad, la resiliencia y el



### **Las 9 R de la economía circular:**

Después de las conocidas 3 R del reciclaje y las 7 R del medio ambiente hoy te mostramos las 9 R de la economía circular. Las 9 R son niveles de sostenibilidad básicos a tener presentes:

**Rechazar** aquello que no necesitamos.

**Reducir** nuestro consumo.

**Reutilizar** o reusar productos en buen estado desechados por otro consumidor.

**Reparar** para alargar la vida de un producto.

**Restaurar** un producto antiguo para modernizarlo.

**Re manufacturar** o reconstruir manualmente o con medios mecánicos aquello que necesitamos.

**Rediseñar** con criterios de sostenibilidad y diseño ecológico.

**Reciclar** la materia prima para crear nuevos productos.

**Recuperar** materiales con la incineración para generar energía.



**Figura 11. Las 9R de la economía circular**

Fuente: Arroyo et al., 2018.

### 2.3 Marco Conceptual

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

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

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

**Raquis de Palma Aceitera:** El raquis de palma aceitera, también conocida como tusa de palma, es uno de los subproductos generados durante el proceso de producción del aceite. Este residuo está conformado por una porción de racimo fresco (entre el 17,7% y el 26,1%), otra que corresponde al fruto (entre el 62% y el 72%) y lo restante, representa la humedad del racimo (alrededor del 10%) (Agroindustria de la Palma de Aceite, s.f.).

A pesar de que en este proceso se generan residuos adicionales como las fibras provenientes del mesocarpio del fruto y la cascarilla de la nuez; solamente el raquis, y los lodos generados (como efluentes y las cenizas) son los productos que no ingresan en su totalidad al proceso de producción para complementarlo y por ello, a este material sobrante no le queda más función que ser desechado (Castrillón, 2015).

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

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

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

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

Esto quiere decir que el reciclaje contribuye a luchar contra el agotamiento de los recursos naturales y también ayuda a eliminar los desechos de forma eficaz. Al separar los residuos según sus características, es posible aprovechar algunos para el reciclaje y eliminar el resto de manera adecuada (Porto & Gardey, 2010).

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

**Materia prima:** Estas actividades extractivas, ocasionan pérdida de cobertura vegetal; modificación radical de la morfología; condiciones de inestabilidad; sedimentación de cauces por arrastre de materiales y escorrentía; contaminación de cauces por arrastre de grasas y de combustibles desde los patios de mantenimiento y talleres; intervención de áreas de recarga de acuíferos; modificación y alteración de las condiciones dinámicas naturales de ríos y quebradas; contaminación por ruido, vibraciones y circulación de la maquinaria utilizada; emisión de

partículas y gases a la atmosfera y deterioro de la infraestructura vial por tráfico de vehículos de carga pesada (Tovar, 2013).

**Raquis de palma:** La expansión del cultivo de la palmera de aceite africana (*Elaeis guineensis*) está generando un enorme impacto ambiental a nivel mundial. El daño ambiental de la fuente original del aceite de palma es especialmente grave en el Sudeste Asiático y América Latina, donde estas plantaciones están sustituyendo en un 40% a los bosques tropicales y en un 32% a los pastos naturales y las áreas de cultivo de grano básico. Este tipo de cultivos genera consecuencias devastadoras en los suelos transformando grandes hectáreas de tierras en infértiles y, en algunos casos, inutilizables puesto que las tierras dedicadas a la palmera de aceite quedan debilitadas y pierden su capacidad agrícola en pocos años (Castrillón, 2015).

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

La economía circular aboga por utilizar la mayor parte de materiales biodegradables posibles en la fabricación de bienes de consumo –nutrientes biológicos– para que éstos puedan volver a la naturaleza sin causar daños medioambientales al agotar su vida útil (Cerdá & Khalilova<sup>1</sup>, 2016).

## **2.4 Marco Contextual**

El proyecto de investigación se realizó en el municipio de San José de Cúcuta, específicamente en el CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS), este

centro se encarga de centralizar todo tipo de información relacionada con el sector cerámico de la ciudad. Esta información se refiere básicamente a: estudios e investigaciones realizadas por instituciones públicas y privadas a nivel regional, nacional e internacional, tesis, normas técnicas de calidad nacionales e internacionales, revistas científicas, boletines de novedades, recopilación de artículos y catálogos, entre otras.

## **2.5 Marco Legal**

**NTC 4017:2018 Método para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y otros Productos de Arcilla:** Esta norma establece los procedimientos de muestreo y ensayo, para todo tipo de ladrillos de arcilla cocida, incluidas las tejas, los adoquines y los bloquelones. En esta norma se incluyen los ensayos de: módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, resistencia al congelamiento y descongelamiento, eflorescencias, tasa inicial de absorción, determinación del peso, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones, análisis térmico-diferencial, térmico-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 de mampostería.

**NTC 4205:2009 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: Mampostería No Estructural:** Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla, utilizados como unidades de mampostería no estructural en muros interiores divisorios y cortafuegos no estructurales o muros exteriores que tengan un acabado de protección con revoque.

**NTC 4205:2009 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 3: Mampostería de Fachada:** Reúne los requisitos de las unidades de arcilla cocida utilizada para muros en ladrillo a la vista interiores o exteriores (fachadas). Las unidades para fachadas pueden ser fabricadas tanto para usos en muros divisorios o de cierre, no estructurales.

### **3. Diseño Metodológico**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

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

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

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

Es de tipo exploratorio porque el proyecto se enfocó en un problema que no se ha abordado ampliamente en la región, ni se encuentran datos específicos sobre la fabricación de un prototipo de bloque de construcción a nivel de laboratorio, para ser empleado en construcciones sostenibles.

“Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes” (Castrillón, 2015, p.1).

Es de tipo descriptiva porque en el proyecto se evaluaron las mezclas de arcilla a nivel de laboratorio, simulando las etapas del proceso productivo para la fabricación de un prototipo de bloque de construcción, mediante la formulación de diferentes porcentajes de raquis de palma en las muestras. Así mismo, la investigación en el laboratorio permitió obtener la información necesaria para la fabricación del bloque y el desarrollo de los objetivos propuestos.

“Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p.23).

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, p.3). Con la elaboración del proyecto se mostraron los datos obtenidos de la realización de los ensayos requeridos, para así efectuar la acción de analizar los resultados y evaluar según los criterios establecidos en las normas indicadas anteriormente.

### **3.2 Población y Muestra**

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

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

**3.2.1 Población.** La población que se tuvo en cuenta para la realización del proyecto involucró a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, y el raquis de palma 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., Cerámicas Támesis S.A.S, 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 raquis de palma africana, escogido para la fabricación de los bloques, fue de una empresa extractora de aceite de palma africana (PALNORTE S.A.S) que es desechado y aglomerado en una esquina de la planta luego de entrar al proceso de extracción del aceite, donde el mismo termina su ciclo en el proceso de desfrutación, que no es más que la separación del fruto de la palma del racimo del raquis.

La recolección de la materia prima (raquis) se realizó en una saca y de forma manual, en esta se recolectaron un total de 5 raquis de diferentes tamaños, sumando un peso total de aproximadamente 45 libras de raquis recolectado.

Esta cantidad del nutriente fue colocado sobre una superficie limpia y sin humedad, con el fin de evitar proliferación de insectos o generación de malos olores. Posteriormente su secado se realizó al aire libre con presencia del sol, para luego ser llevada a su molienda y triturado, proceso que se realizó en la misma empresa extractora de aceite de palma africana mencionada

anteriormente, este raquis secado al sol no pudo ser triturado, debido a su textura demasiado dura y áspera el tornillo de la molidora no pudo girar, por lo que se optó por utilizar el raquis húmedo salido de la extracción del aceite, en ese estado el raquis pudo ser molido y triturado.

El proceso de molienda y triturado comenzó con el transporte del raquis a través de una banda transportadora, que dirige el mismo hasta un molino mecánico, este molino posee unas pequeñas cuchillas adheridas a un tornillo giratorio que cortan el raquis y luego pasa por una prensadora que extrae el aceite que aún pueda contener el raquis, este aceite es almacenado durante este proceso en un tanque metálico por medio de una tubería conectada a una prensadora.

Finalmente, el raquis es expulsado por la máquina una vez terminado el proceso de molienda y triturado, donde pasa de ser una estructura húmeda y pesada, a ser, una fibra suave y con poco contenido de humedad.

En cuanto a la recolección de la muestra de Arcilla se realizó en la mina Támesis perteneciente a la empresa Cerámicas Támesis S.A ubicada en Km 12, Vía Pamplona, antes de entrada a vereda Agualinda, Cúcuta, Norte de Santander, la arcilla una vez explotada es llevada a los centros de beneficio, el almacenamiento de la materia prima se realiza preferiblemente bajo cubierta para evitar la alteración por parte de agentes atmosféricos como la lluvia, la radiación solar e incluso el viento. Una vez se recolectó el material se dosificó en el cajón alimentador acorde a las necesidades fabriles, de allí se llevó al molino de martillo para ser molturado y conseguir una granulometría de pasta optima.

### 3.3 Instrumentos Para la Recolección de Información

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

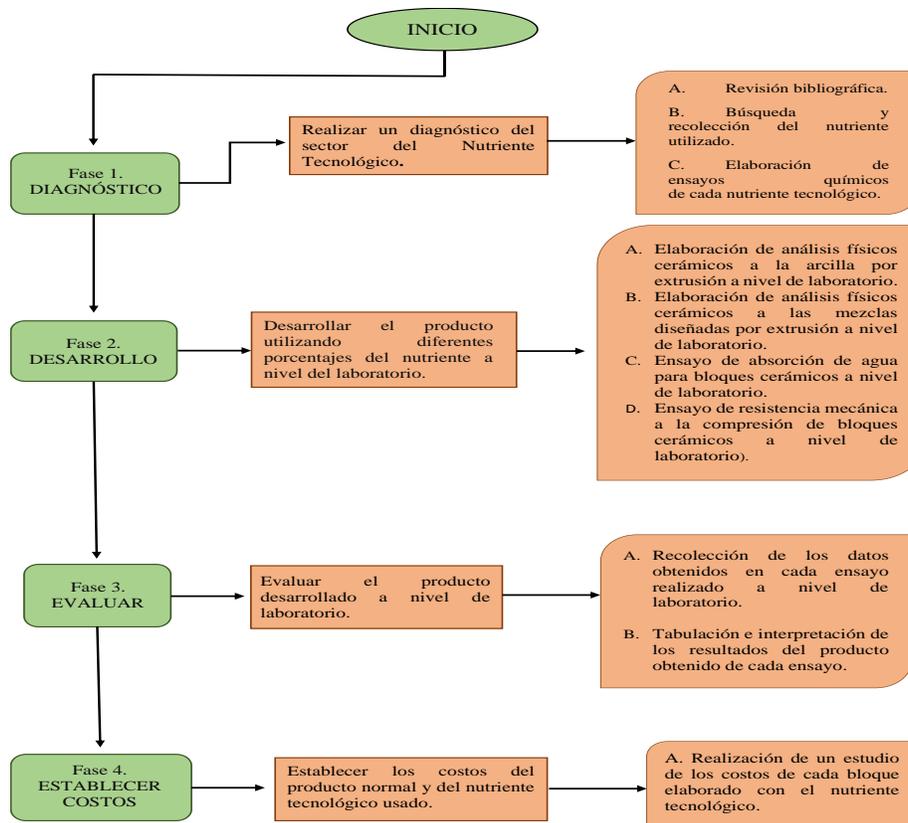
 <b>Universidad Francisco de Paula Santander</b> <small>Vigilada Mineducación</small>	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER																																					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																					
	CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS - CIMAC																																					
Ensayo No.		Oferta de Servicio No.																																				
Fecha:																																						
<b>ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA EN UNIDADES DE MAMPOSTERIA</b>																																						
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" style="text-align: center;">REGISTRO DE DATOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 30%;">NÚMERO DE LA MUESTRA:</td> <td style="width: 10%;"></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" style="text-align: center;">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 12. Formato de ensayo de absorción de agua en unidades de mampostería del CIMAC**

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

**Figura 13. Formato de ensayo de resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería del CIMAC**





**Figura 15. Diagrama de actividades y específicas del proyecto**

#### 4. Resultados

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

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

La recolección de información se realizó en dos fases:

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

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

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

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

#### 4.1 Materias Primas Empleadas

Las principales minas de arcilla explotadas en el departamento de Norte de Santander se encuentran en el área metropolitana de Cúcuta, la cual cuenta con una superficie de 2.196 km<sup>2</sup>, que ocupa el 10,1% de la extensión departamental. De todo el departamento, la zona metropolitana de Cúcuta es el área donde mayoritariamente se encuentran yacimientos arcillosos, además de ser el lugar donde se concentra casi la totalidad de la industria dedicada a la explotación y transformación de este material. “En vecindades de la ciudad de Cúcuta se explotan las arcillas estratificadas de la parte superior del Grupo Guayabo y la Formación León, de edad Neógena, de origen continental (Ngc) y de excelente calidad como un gres típico” (Vargas, Molina & Meneses, 2018)

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

En cuanto al nutriente tecnológico raquis de palma el departamento Norte de Santander cuenta con 4 núcleos palmeros en funcionamiento generando una productividad de 4,4 toneladas de aceite de palma por hectárea, con 28.850 hectáreas en producción y 27.850 hectáreas sembradas. El raquis de palma africana, escogido para la fabricación de los bloques, fue de una extractora de aceite de palma africana (PALNORTE S.A.S) que es desechado y aglomerado en una esquina de la planta luego de entrar al proceso de extracción del aceite, donde el mismo termina su ciclo en el proceso de desfrutación, que no es más que la separación del fruto de la palma del racimo del raquis.

## 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 15).

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (Figura 16), seguidamente se molturaron por vía seca en el molino de martillos (Figura 17), y finalmente el material molido se le realizó un proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (Figura 18), para obtener una distribución granulométrica uniforme. Después se obtuvo las diferentes mezclas para fabricar el bloque H-10, adicionando 2,5%; 5% y 7,5% de Raquis de Palma. 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 19) de resistencia eléctrica comenzando a temperatura ambiente (30°C), durante las primeras 5 horas del proceso, se realizaron incrementos de temperatura de 10 °C/hora, finalmente se llevó a la temperatura de 110°C hasta completar 24 horas de secado. Una vez alcanzaron la temperatura ambiente, los bloques se pesaron y se midieron.

Los bloques secos se llevaron a un horno mufla de laboratorio (Figura 20) con calentamiento eléctrico, sometiendo cada bloque a temperaturas de cocción de hasta 1000°C.

Después del ciclo de cocción, cada bloque se pesó y se midió, una vez alcanzaron la temperatura ambiente, para mejor manipulación. Finalmente se realizó la prueba de absorción de

agua por inmersión y resistencia mecánica a la compresión, utilizando la metodología establecida en la norma Técnica Colombia NTC 4017:2005.



**Figura 16. Extrusora de laboratorio con vacío**



**Figura 17. Apisonador de la arcilla (trituration)**

Fuente: CIMAC, 2020.



**Figura 18. Molino de martillos (molienda vía seca)**

Fuente: CIMAC, 2020.



**Figura 19. Tamiz malla 10 (tamizado)**

Fuente: CIMAC, 2020.



**Figura 20. Estufa de secado de 128 litros**

Fuente: CIMAC, 2020.



**Figura 21. Horno mufla**

Fuente: CIMAC, 2020.

## 4.3 Ensayos Realizados

### 4.3.1 Análisis físico-cerámico. Como muestran a continuación:

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

#### **Equipos:**

**Extrusora (Figura 16).** Se utilizó la extrusora de laboratorio para conformar los bloques cerámicos mezclados con Raquis de Palma y se obtuvo bloque cerámico H-10 por cada mezcla.

**Estufa de secado (Figura 20).** 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 2).** Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.



**Figura 22. 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 deben medir con calibrador pie de rey (Figura 21), y pesar con balanza digital (Figura 22), obteniendo dimensiones de longitud entre 80 y 100 mm y masa entre 150 y 190 g. Posteriormente los bloques se secan en la estufa de secado iniciando a temperatura ambiente de 30°C hasta llegar a temperatura de 110 °C durante 24 horas. Luego se dejan secar a temperatura ambiente para ser manipulados, con el fin de tomar de nuevo medias en condiciones secas. Finalmente se queman en el horno mufla a temperatura de 1000 °C, se deja enfriar cada bloque para obtener las medidas finales de en condiciones cocidas. Después de tener todos los datos mencionados en las 3 condiciones, se calcula la contracción seca y cocida, las pérdidas de masa seca y cocida de cada mezcla.

**4.3.2 Determinación de la absorción de agua en unidades de mampostería.** Como muestran 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 20).** Se secan los bloques a una temperatura entre 105 °C y 115 °C, en un secadero durante no menos de 24 horas, hasta que, en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 horas, no se presente un cambio superior al 0,2% del último peso del bloque determinado

previamente.

**Balanza Digital (Figura 23).** Balanza, con precisión 0,1 g.



**Figura 23. Balanza digital de 20 kg**

Fuente: CIMAC, 2020.

**Tanque de absorción (Figura 24).** 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 24. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión**

Fuente: CIMAC, 2020.

**Termohigrómetro (Figura 25).** Registrador de datos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa (%) de Extech.



**Figura 25. 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 retira cualquier partícula que éste mal adherida o suelta de cada espécimen de ensayo con un cepillo duro, una brocha o un trapo de limpieza.

Se rotula cada espécimen con el código interno dado a la muestra y el respectivo número de espécimen.

**Secado de los especímenes:**

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

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

### **Aplicación del ensayo:**

Cuando los especímenes se han enfriado en el cuarto hasta mantener la temperatura de  $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una humedad relativa entre 30 y 70%, se 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 están ensayando.

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

Inmediatamente después de este procedimiento, se pesó cada espécimen  $m_4$  y se registró los resultados en el formato de recolección de información manejado por el CIMAC para este ensayo.

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

**4.3.3 Determinación de la resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería.** Como muestran a continuación:

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

**Cronómetro o Prensa de Flexión (Figura 26).** 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 26. Cronómetro (prensa de presión)**

Fuente: CIMAC, 2020.

**Materiales:**

Paño de limpieza.

Brocha o cepillo duro para limpiar el Cronómetro.

Marcador para rotular.

**Procedimiento:**

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

Limpie los platos de la máquina de ensayo con un trapo, elimine todas las impurezas sueltas que existan en las caras de apoyo del bloque. Alinee cuidadosamente el bloque con el centro del plato, de manera que queda asentado uniformemente. Las piezas que tengan una sola hendidura deben colocarse con ésta hacia arriba. En el caso en que la pieza tenga hendiduras en ambas caras, la cara que tenga la hendidura de mayor tamaño debe colocarse hacia arriba.

Se debe aplicar la carga con una velocidad adecuada hasta la mitad de la máxima esperada de acuerdo con el estimativo previsto para el producto o en su defecto con base en el requisito de resistencia propio de él acorde a la norma respectiva. Luego de aplicada esta carga inicial se deben ajustar los controles de la máquina de tal forma que la carga faltante se aplique a una velocidad uniforme en no menos de 60 segundos ni más de 120 segundo.

#### 4.4 Normas Aplicadas

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

Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos 200-10-25.

##### **Propiedades físicas:**

**Absorción de agua.** Las unidades de mampostería de arcilla cocida, ensayadas según el procedimiento descrito en la NTC 4017 (ASTM C67), deben cumplir con los requisitos de absorción de agua en 24 h de inmersión (promedio y máximo individual) que se da en la tabla 1 y 2 y de esta norma.

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

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

**Resistencia mecánica a la compresión.** Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se especifica en la Tabla 1 y 2, cuando se ensayan según el promedio descrito en la NTC 4017.

**Tabla 4. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural**

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

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

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

M = unidad de mampostería maciza (ladrillo).

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

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

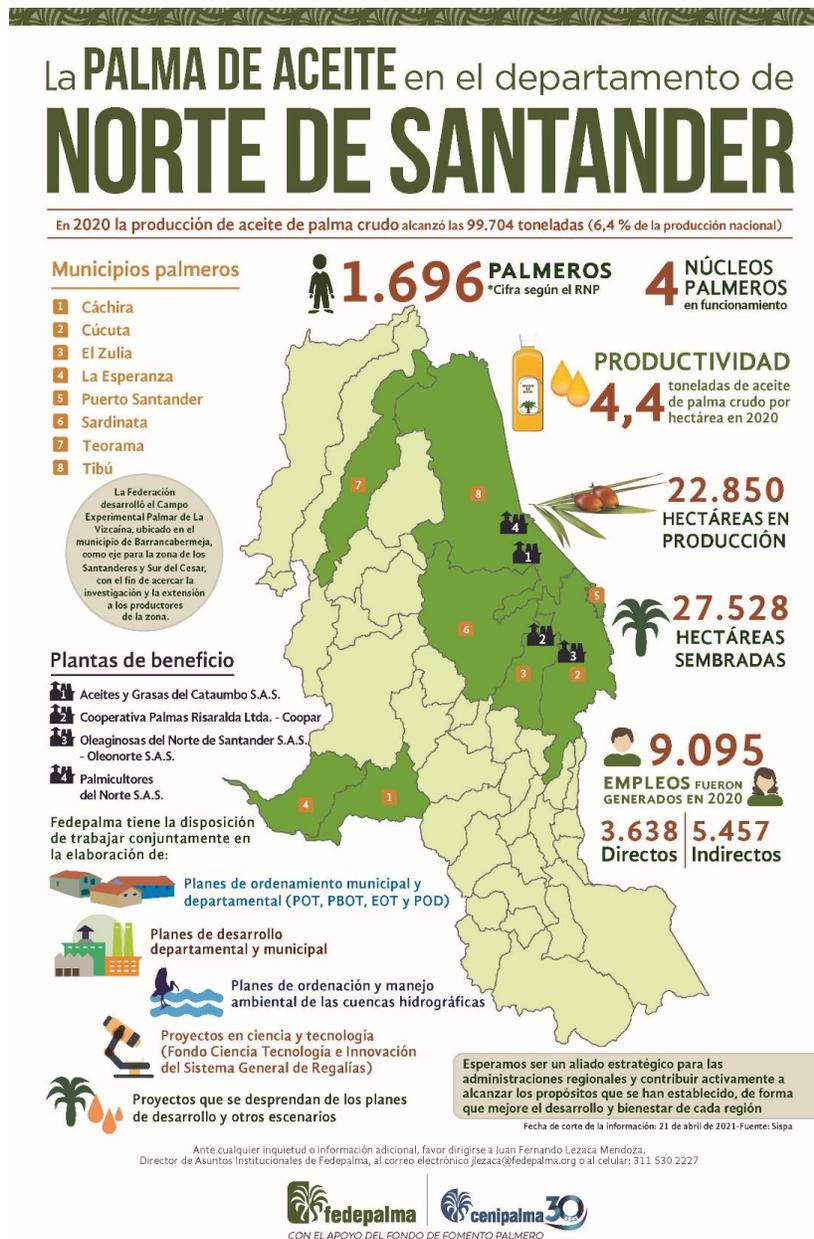
PH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque).

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

M = unidad de mampostería maciza (ladrillo).

## 5. Desarrollo de los Objetivos

### 5.1 Diagnóstico del Sector de Raquis de Palma



**Figura 27. Infografía de la producción de palma africana en el departamento de Norte de Santander**

Fuente: Fedepalma, 2020.

**Requerimientos de clima y suelo:**

Clima: Sub tropical.

Humedad: 80%.

Latitud: La palma africana se extiende entre el 16° latitud N y 15° latitud s.

Temperatura promedio anual: 22 - 33 °C (óptimo: 28 °C).

Precipitación anual: 1,500 a 3,000 mm anuales.

Altitud: 1,700 – 2,500 metros sobre el nivel del mar.

Tipo de suelo: Franco–limoso o Franco–arcilloso con buen drenaje rico en minerales. El suelo de selva virgen cumple estas condiciones perfectamente.

Acidez: PH 5.8 – 6.5, no desarrolla en suelos alcalinos.

Topografía: plana.

Luz: 1000 horas de sol por año.

**Ciclos de cultivo:**

Desarrollo de la plantación: 36 meses.

Inicio de la cosecha: 36 meses.

Vida económica perenne.

**Siembra:**

Material de siembra: semillas germinadas en vivero. El sistema de siembra es en tres bolillos.

Distancia de la siembra: 9 m.

Densidad por hectáreas 143 palmas/ha y 35 cm de profundidad (trasplante de plantas de vivero).

**Rendimientos agrícolas:**

El rendimiento de palma africana es progresivo e incrementa con la edad de la plantación hasta estabilizarse.

**Fisiología de la palma africana:**

La palma africana consta de las siguientes partes:

Sistema radicular: consta de un sistema bien desarrollado que crece superficialmente entre 0,5 y 1 m de profundidad.

Estipe (o tallo): tiene forma cilíndrica y puede llegar hasta 30 m en su fase adulta.

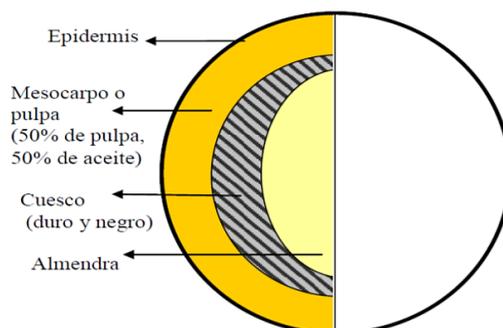
Hojas: Puede producir de 30 a 40 hojas en su forma adulta y forman una corona de 5 a 7 m.

Inflorescencias: Es monoico, tiene inflorescencias masculinas y femeninas.

Racimos: nacen de la fecundación de las inflorescencias femeninas y se ven como un péndulo ovoide provisto de espinas cuyo peso varía entre 4 y 70 kg dependiendo de la edad.

Fruto: Es una drupa sésil ovoide cuyo color y tamaño depende de su ubicación en el raquis.

Cuando está maduro se ve violáceo arriba y anaranjado en su base. Su estructura se ve a continuación:



**Figura 28. Estructura del fruto de la palma africana**

Fuente: Duque & Belalcazar, 2020.

### **Requerimientos nutricionales de la palma africana:**

La palma africana extrae gran cantidad de nutrientes del suelo. Se considera que por palma y por año se forman aproximadamente 30 hojas, 10 inflorescencias masculinas y nueve racimos. Se estima que la cantidad de material vegetal elaborada anualmente es de 300 a 500 kg de los cuales 80 a 230 kg corresponden a racimos, 150 kg a las hojas y 20 kg a las inflorescencias masculinas. La fertilización en los cultivos de palma africana se realiza al comienzo y/o al final de la época de lluvia junto con la poda o la corona lo cual corresponde a 1,98 veces por año. Las cantidades utilizadas dependen de la edad de la palma (Miño, 2005).

### **Caracterización física de la fibra de raquis de palma africana:**

**Densidad aparente.** La densidad aparente se define como la relación entre el peso y el volumen de una sustancia incluyendo los vacíos o poros que esta pueda tener (Construmática , 2019), aunque este concepto es más utilizado en otros ámbitos de la ingeniería, las fibras deben venir procesadas dependiendo del tipo de uso que se les vaya a dar (en forma de tejido, prensado, en pedazos pequeños etc.), por ello sus arreglos son variables y como consecuencia su densidad.

Para medir esta propiedad física, se debe tener en cuenta que esta va a ser utilizada para su posterior mezcla con arcilla, por lo cual debe tener un tamaño pequeño (en un rango de 5 a 10 mm) que le dé manejabilidad suficiente para su mezclado y colocación. En la figura se muestra la apariencia de la fibra después de su proceso de molienda.



**Figura 29. Raquis de palma después de proceso de molienda**

Fuente: Hidalgo, 2015.

### **Producción de raquis de palma por tonelada:**

En Norte de Santander en el año 2020 se produjeron 4,4 toneladas de aceite de palma crudo por hectárea, el total de hectáreas en producción fueron 22.850, es decir que hubo una producción anual aproximada de 100.000 toneladas de aceite de palma y sabiendo que dentro de la composición de la palma el 20,94% corresponde a raquis, se generó un total de raquis de 19.940

toneladas, es decir 200 kg de raquis por tonelada de aceite de palma (García, Cárdenas & Yáñez, 2010).



**Figura 30. Raquis de palma**

Fuente: Hidalgo, 2015.

En cuanto a la vida útil de un cultivo de palma aceitera, este puede tardar 26 meses en dar fruto, pero su explotación puede abarcar 25 años (Duque & Belalcazar, 2020).

## **5.2 Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes de Raquis de Palma a Nivel de Laboratorio**

Las mezclas de arcillas con la adición de los diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de raquis de palma empleadas para la elaboración de los ensayos de laboratorio, se caracterizaron mediante la realización de análisis físicos-cerámicos, con el fin de observar el comportamiento individual de cada una de ellas. Los ensayos se realizaron en el CIMAC de la Universidad

Francisco de Paula Santander y se mencionan a continuación:

Contracción (seco y cocido).

Perdidas de masa cocida.

Pesos (húmedo, seco y cocido).

Absorción de Agua.

### **Procedimiento de Ensayos de Laboratorio realizados a las Muestras de Arcilla:**

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

#### **Contracción en cocido:**

#### **Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados.**

Calibrador pie de rey (+/- 0,01 mm).

Recipiente.

Estufa de secado ( $\pm 5$  °C).

Horno Mufla.

Pinzas.

Guantes Industriales.

**Procedimiento:**

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

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

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

Dónde:

CC = contracción cocida (%).

LS = longitud del bloque seco (mm).

LC = longitud del bloque cocido (mm).

**Pérdida de masa en cocido:****Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados.**

Balanza de precisión ( $\pm 0,001$  g).

Estufa de secado ( $\pm 5$  °C).

Horno Mufla.

Guantes industriales.

Pinzas

Recipientes

### **Procedimiento:**

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

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

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

Dónde:

PMC = perdidas de masa (%).

MS = masa de la pieza seca (g).

MC = masa de pieza cocida (g).

### **Absorción de Agua:**

#### **Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados.**

Balanza de precisión (+/- 0,01).

Recipiente metálico.

Estufa eléctrica.

Paño absorbente.

Bandeja metálica.

Pinzas.

Agua desionizada o destilada.

Guantes industriales.

### **Procedimiento.**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dónde:

$\%AA$  = absorción de agua (%).

$PC$  = masa del bloque cocido (g).

$PC$  = masa del bloque húmedo (g).

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

**Tabla 6. Porcentaje de raquis de palma usado en cada mezcla de arcilla ensayada**

<b>Mezcla</b>	<b>Porcentaje de Raquis de Palma</b>	<b>Porcentaje de Arcilla</b>
M1	2,5%	97,5%
M2	5%	95%
M3	7,5%	92,5%

#### **Elaboración de bloques:**

Inicialmente se realizó el análisis físico cerámico para la muestra de arcilla al 100%, utilizada como patrón, se determinó el porcentaje de absorción de agua y su resistencia mecánica a la compresión, con el fin de comparar los resultados con las mezclas elaboradas con raquis de palma.

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

**Tabla 7. Resultados de Análisis Físico cerámico a 100% arcilla**

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

Para tener repetibilidad y reproducibilidad en los resultados se realizaron por triplicado según la Norma Técnica Colombia NTC 4017, obteniendo los siguientes resultados presentados en las tablas 11, 12, 13, 14, 15 y 16, mostrando los ensayos de absorción de agua en las tablas (11, 12 y 13) y resistencia mecánica a la compresión en las tablas (14, 15 y 16).

**Tabla 8. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 de 100% arcilla**

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	119,90	133,02	10,9
2	121,69	134,46	10,5
3	119,44	132,16	10,6
4	117,24	129,89	10,8
5	116,70	129,29	10,8
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>118,99</b>	<b>131,76</b>	<b>10,73</b>

**Tabla 9. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 de 100% arcilla**

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

**Tabla 10. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 de 100% arcilla**

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

**Tabla 11. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de 100% arcilla**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
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
<b>Promedio</b>	<b>74,33</b>	<b>26,57</b>	<b>46,48</b>	<b>1.975,14</b>	<b>19,75</b>	<b>631,42</b>	<b>31,99</b>

**Tabla 12. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de 100%**

arcilla

Espécimen Nº	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
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
<b>Promedio</b>	<b>74,46</b>	<b>26,31</b>	<b>47,26</b>	<b>1.959,17</b>	<b>19,59</b>	<b>626,44</b>	<b>31,95</b>

**Tabla 13. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de 100%**

arcilla

Espécimen Nº	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
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
<b>Promedio</b>	<b>77,59</b>	<b>26,45</b>	<b>46,96</b>	<b>2.051,34</b>	<b>20,51</b>	<b>612,81</b>	<b>30,22</b>

Una vez obtenidos los resultados con la muestra de arcilla patrón al 100%, se procedió a añadirle los diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de raquis de palma para evaluar su comportamiento físico-mecánico realizando al igual que con la mezcla patrón, los ensayos de análisis físico-cerámico, absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión para cada porcentaje.

### Resultados Obtenidos con 2,5% de Raquis de Palma en Mezcla de Arcilla:

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

**Tabla 14. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 2,5% de raquis de palma**

ENSAYO		RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	3,84%	± 0,02
	Contracción en Cocido (%CC)	1,28%	± 0,02
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	6,33%	± 0,04
	Peso Húmedo (g)	153,26	± 0,07
	Peso Seco (g)	125,33	± 0,07
	Peso Cocido (g)	117,4	± 0,07

**Tabla 15. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 2,5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	114,17	128,28	12,4
2	117,02	131,76	12,6
3	120,04	135,01	12,5
4	115,32	130,15	12,9
5	118,15	133,10	12,7
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>116,94</b>	<b>131,66</b>	<b>12,59</b>

**Tabla 16. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 2,5% de raquis de palma**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen [g]</b>	<b>Masa húmeda del espécimen [g]</b>	<b>Absorción de agua [E] [%]</b>
1	118,15	132,49	12,1
2	118,51	132,98	12,2
3	119,02	133,56	12,2
4	119,20	134,73	13,0
5	117,54	131,84	12,2
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>118,48</b>	<b>133,12</b>	<b>12,35</b>

**Tabla 17. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 2,5% de raquis de palma**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen [g]</b>	<b>Masa húmeda del espécimen [g]</b>	<b>Absorción de agua [E] [%]</b>
1	119,36	134,27	12,5
2	118,17	132,58	12,2
3	116,63	131,50	12,7
4	119,63	134,71	12,6
5	115,78	129,58	11,9
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>117,91</b>	<b>132,53</b>	<b>12,39</b>

**Tabla 18. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 2,5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	76,55	26,84	47,49	2054,6	20,55	447,37	21,77
2	78,20	26,87	47,63	2101,2	21,01	893,40	42,52
3	78,23	26,62	47,46	2082,5	20,82	902,85	43,35
4	77,54	27,01	47,47	2094,4	20,94	788,98	37,67
5	77,10	26,23	47,64	2022,3	20,22	540,40	26,72
<b>Promedio</b>	<b>77,52</b>	<b>26,71</b>	<b>47,54</b>	<b>2.071,00</b>	<b>20,71</b>	<b>714,60</b>	<b>34,41</b>

**Tabla 19. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 2,5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	78,10	26,91	47,39	2101,7	21,02	693,64	33,00
2	78,95	26,37	47,56	2081,9	20,82	623,39	29,94
3	79,15	26,70	47,68	2113,3	21,13	549,28	25,99
4	78,58	26,66	47,64	2094,9	20,95	769,49	36,73
5	78,26	26,62	47,63	2083,3	20,83	689,20	33,08
<b>Promedio</b>	<b>78,61</b>	<b>26,65</b>	<b>47,58</b>	<b>2.095,02</b>	<b>20,95</b>	<b>665,00</b>	<b>31,75</b>

**Tabla 20. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 2,5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	80,01	26,23	47,84	2098,7	20,99	476,90	22,72
2	78,25	26,14	47,66	2045,5	20,45	480,96	23,51
3	78,13	26,35	47,72	2058,7	20,59	509,33	24,74
4	78,39	26,42	47,93	2071,1	20,71	575,72	27,80
5	76,88	26,26	47,56	2018,9	20,19	573,21	28,39
<b>Promedio</b>	<b>78,33</b>	<b>26,28</b>	<b>47,74</b>	<b>2.058,56</b>	<b>20,59</b>	<b>523,22</b>	<b>25,43</b>

**Resultados Obtenidos con 5% de Raquis de Palma en Mezcla de Arcilla:**

**Tabla 21. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 5% de raquis de palma**

ENSAYO		RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	3,23%	± 0,03
	Contracción en Cocido (%CC)	1,51%	± 0,03
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	3,07%	± 0,05
	Peso Húmedo (g)	149,20	± 0,04
	Peso Seco (g)	113,29	± 0,04
	Peso Cocido (g)	109,78	± 0,04

**Tabla 22. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 5% de raquis de palma**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen [g]</b>	<b>Masa húmeda del espécimen [g]</b>	<b>Absorción de agua [E] [%]</b>
1	109,67	126,83	15,6
2	111,19	128,55	15,6
3	107,21	123,93	15,6
4	108,83	125,96	15,7
5	109,60	127,00	15,9
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>109,30</b>	<b>126,45</b>	<b>15,69</b>

**Tabla 23. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 5% de raquis de palma**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	108,55	124,60	14,8
2	108,98	125,32	15,0
3	111,46	127,95	14,8
4	111,09	128,62	15,8
5	109,14	127,99	17,3
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>109,84</b>	<b>126,90</b>	<b>15,53</b>

**Tabla 24. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	109,14	126,01	15,5
2	109,04	125,45	15,0
3	110,39	127,18	15,2
4	111,51	128,44	15,2
5	109,47	126,30	15,4
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>109,91</b>	<b>126,68</b>	<b>15,25</b>

**Tabla 25. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	78,84	27,21	47,68	2145,2	21,45	489,45	22,82
2	77,71	26,01	47,36	2021,2	20,21	679,36	33,61
3	76,24	26,07	47,29	1987,6	19,88	444,87	22,38
4	78,90	25,95	47,83	2047,5	20,47	347,98	17,00
5	77,75	26,93	47,34	2093,8	20,94	340,45	16,26
<b>Promedio</b>	<b>77,89</b>	<b>26,43</b>	<b>47,50</b>	<b>2.059,06</b>	<b>20,59</b>	<b>460,42</b>	<b>22,41</b>

**Tabla 26. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	77,08	26,98	47,31	2079,6	20,80	543,10	26,12
2	76,91	27,40	47,17	2107,3	21,07	589,23	27,96
3	78,67	27,10	46,95	2132,0	21,32	659,87	30,95
4	79,10	26,77	47,26	2117,5	21,18	527,47	24,91
5	79,06	26,70	47,40	2110,9	21,11	469,76	22,25
<b>Promedio</b>	<b>78,16</b>	<b>26,99</b>	<b>47,22</b>	<b>2.109,46</b>	<b>21,09</b>	<b>557,89</b>	<b>26,44</b>

**Tabla 27. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	77,52	26,35	47,20	2042,7	20,43	434,44	21,27
2	76,61	26,57	47,16	2035,5	20,36	415,92	20,43
3	78,06	26,21	47,35	2046,0	20,46	444,67	21,73
4	78,73	26,49	47,30	2085,6	20,86	427,30	20,49
5	79,11	26,79	47,13	2119,4	21,19	398,74	18,81
<b>Promedio</b>	<b>78,01</b>	<b>26,48</b>	<b>47,23</b>	<b>2.065,81</b>	<b>20,66</b>	<b>424,21</b>	<b>20,55</b>

**Resultados Obtenidos con 7,5% de Raquis de Palma en Mezcla de Arcilla:**

**Tabla 28. Resultados de análisis físico cerámico a mezcla de arcilla con 7,5% de raquis de palma**

<b>ENSAYO</b>		<b>RESULTADO INCERTIDUMBRE</b>	
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	2,97%	± 0,01
	Contracción en Cocido (%CC)	1,87%	± 0,01
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	1,78%	± 0,01
	Peso Húmedo (g)	142,65	± 0,02
	Peso Seco (g)	119,59	± 0,02
	Peso Cocido (g)	101,90	± 0,02

**Tabla 29. Resultados de ensayo de absorción de agua a M1 con 7,5% de raquis de palma**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen [g]</b>	<b>Masa húmeda del espécimen [g]</b>	<b>Absorción de agua [E] [%]</b>
1	102,97	121,46	17,96
2	103,13	120,61	16,95
3	102,16	121,84	19,26
4	102,86	121,40	18,02
5	102,89	121,56	18,15
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>102,80</b>	<b>121,37</b>	<b>18,07</b>

**Tabla 30. Resultados de ensayo de absorción de agua a M2 con 7,5% de raquis de palma**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen [g]</b>	<b>Masa húmeda del espécimen [g]</b>	<b>Absorción de agua [E] [%]</b>
1	100,91	119,32	18,24
2	99,59	117,98	18,47
3	104,38	123,34	18,16
4	103,34	121,86	17,92
5	103,75	123,20	18,75
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>102,39</b>	<b>121,14</b>	<b>18,31</b>

**Tabla 31. Resultados de ensayo de absorción de agua a M3 con 7,5% de raquis de palma**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen [g]</b>	<b>Masa húmeda del espécimen [g]</b>	<b>Absorción de agua [E] [%]</b>
1	102,61	122,14	19,03
2	103,81	123,21	18,69
3	101,43	119,08	17,40
4	100,21	118,38	18,13
5	102,31	121,11	18,38
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>102,07</b>	<b>120,78</b>	<b>18,33</b>

**Tabla 32. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M1 de arcilla con 7,5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	77,70	25,94	47,23	2015,5	20,16	420,55	20,87
2	77,76	27,93	47,13	2171,8	21,72	389,86	17,95
3	77,95	27,87	47,07	2172,5	21,72	469,57	21,61
4	79,11	26,08	47,09	2063,2	20,63	352,61	17,09
5	77,77	26,64	47,01	2071,8	20,72	360,33	17,39
<b>Promedio</b>	<b>78,06</b>	<b>26,89</b>	<b>47,11</b>	<b>2.098,96</b>	<b>20,99</b>	<b>398,58</b>	<b>18,98</b>

**Tabla 33. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M2 de arcilla con 7,5% de raquis de palma**

Espécimen N°	Largo del espécimen [mm]	Ancho del espécimen [mm]	Alto del espécimen [mm]	Área neta del espécimen [mm <sup>2</sup> ]	Área neta del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura por compresión [kgf]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	77,38	28,19	47,15	2181,3	21,81	327,91	15,03
2	77,38	26,74	46,92	2069,1	20,69	355,12	17,16
3	81,56	26,89	47,15	2193,1	21,93	464,17	21,16
4	78,28	26,21	47,20	2051,7	20,52	369,60	18,01
5	82,40	26,44	47,15	2178,7	21,79	347,01	15,93
<b>Promedio</b>	<b>79,40</b>	<b>26,89</b>	<b>47,11</b>	<b>2.134,80</b>	<b>21,35</b>	<b>372,76</b>	<b>17,46</b>

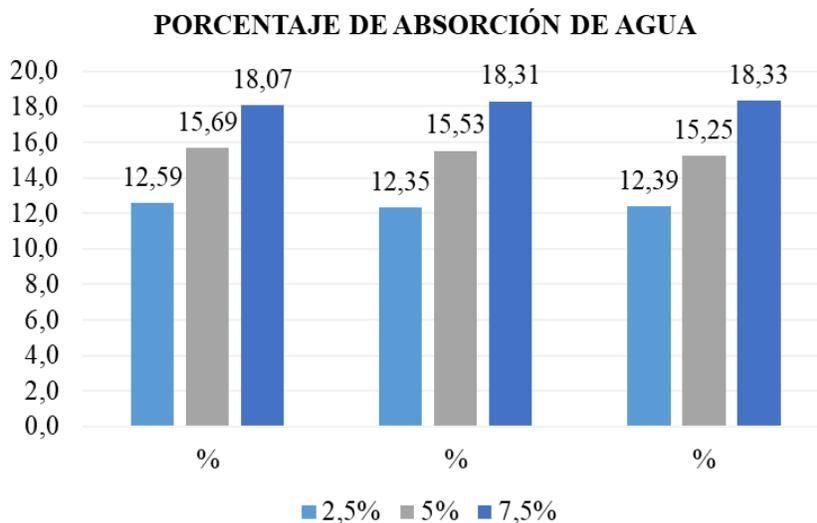
**Tabla 34. Resultados de ensayo de resistencia mecánica a la compresión a M3 de arcilla con 7,5% de raquis de palma**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Largo del espécimen [mm]</b>	<b>Ancho del espécimen [mm]</b>	<b>Alto del espécimen [mm]</b>	<b>Área neta del espécimen [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Área neta del espécimen [cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Carga de rotura por compresión [kgf]</b>	<b>Resistencia a la compresión [kgf/cm<sup>2</sup>]</b>
1	78,48	26,01	47,26	2041,3	20,41	599,46	29,37
2	79,68	26,70	47,20	2127,5	21,27	294,33	13,83
3	76,62	26,28	46,80	2013,6	20,14	380,60	18,90
4	76,85	26,88	46,95	2065,7	20,66	497,55	24,09
5	79,27	26,77	46,71	2122,1	21,22	538,66	25,38
<b>Promedio</b>	<b>78,18</b>	<b>26,53</b>	<b>46,98</b>	<b>2.074,02</b>	<b>20,74</b>	<b>462,12</b>	<b>22,31</b>

### **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 raquis de palma, así como las gráficas pertinentes de cada una.

### Análisis de resultados de ensayo de absorción de agua:



**Figura 31. Porcentaje promedio de absorción de agua en mezcla de arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de Raquis de Palma**

En la gráfica 1 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 raquis de palma 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 raquis de palma a la mezcla de arcilla.

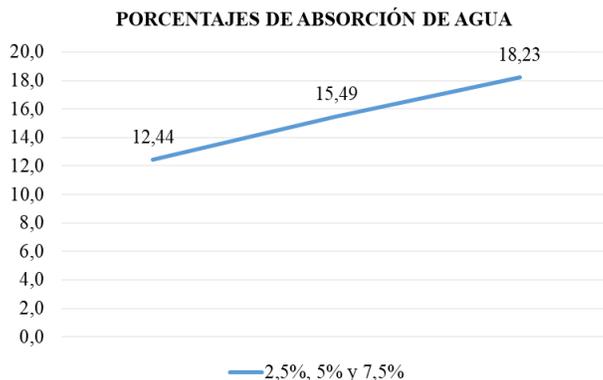
Los resultados de la tabla 38 muestran las propiedades físicas de acuerdo al comportamiento individual de cada mezcla. El ensayo de absorción de agua se realizó por triplicado empleando el procedimiento indicado anteriormente con el fin de obtener resultados confiables que permitieron

analizar de una manera más exacta los porcentajes obtenidos.

**Tabla 35. Valores promedio de propiedades físicas de mezcla de arcilla con diferentes porcentajes en ensayo de absorción de agua**

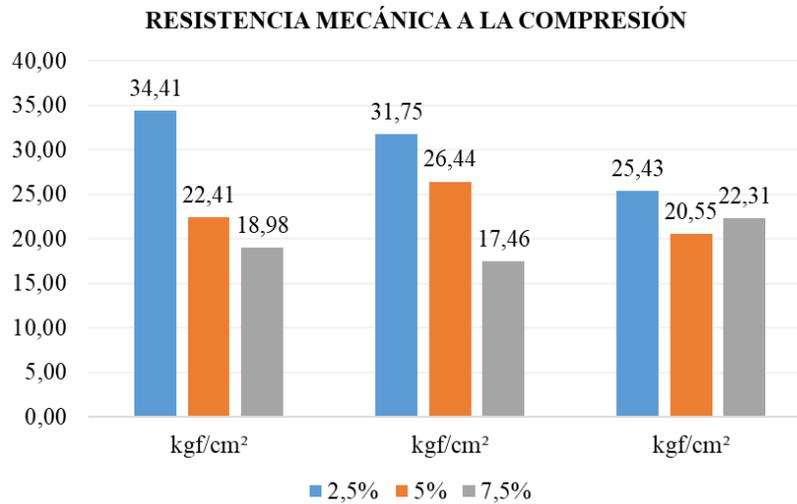
Porcentaje de Raquis de Palma	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
2,5%	117,78	132,44	12,44
5,0%	109,68	126,68	15,49
7,5%	102,42	121,10	18,23

Se empleó los promedios de absorción de agua de los tres porcentajes en la gráfica 2, donde se evidencia una línea con tendencia creciente, lo cual indica que a medida que se agrega mayor porcentaje de raquis de palma a la mezcla de arcilla para fabricar bloques de construcción, mayor será el porcentaje de absorción de agua obtenido. En general, no se pueden tener absorciones inferiores al 5 % en promedio, ni superficies vidriadas o esmaltadas en las caras en que se asientan o en las que se vayan a pañetar.



**Figura 32. Datos promedio de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% de raquis de palma en la mezcla de arcilla**

### Análisis de resultados de resistencia mecánica a la compresión:



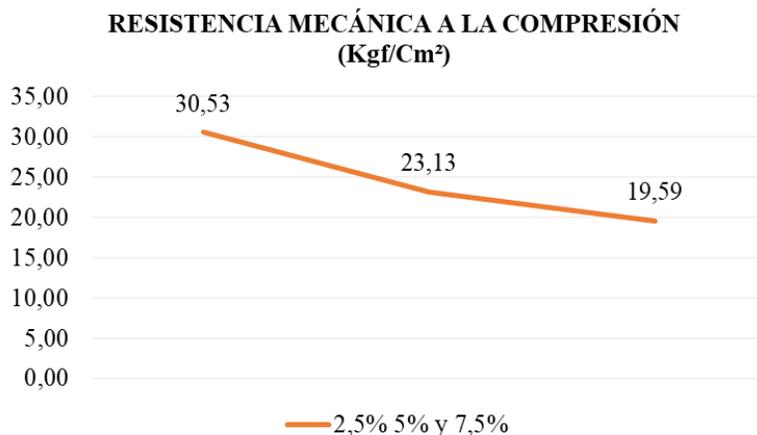
**Figura 33. Valores en kgf/cm<sup>2</sup> de resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de raquis de palma**

En la gráfica 3 podemos ver los valores en porcentaje de resistencia mecánica a la compresión en cada una de las mezclas con su respectiva cantidad de raquis de palma, los valores de resistencia mecánica muestran una tendencia a disminuir cada vez que se utiliza un porcentaje mayor.

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

Se empleó los promedios de resistencia mecánica a la compresión de los tres porcentajes en la gráfica 4, donde se evidencia una línea con tendencia decreciente, lo cual indica que a medida

que se agrega mayor porcentaje de raquis de palma a la mezcla de arcilla para fabricar bloques de construcción, menor será el porcentaje de resistencia mecánica a la compresión obtenido.



**Figura 34. Valores promedio de resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm<sup>2</sup> de mezcla de arcilla con adición de 2,5%, 5% y 7,5% de raquis de palma**

En la gráfica 4 se evidencia que la mezcla de arcilla que cumple con lo que exige la norma es la elaborada con 2,5% de raquis de palma, con un valor de resistencia mecánica a la compresión promedio (5 unidades) de 30,53 kgf/cm<sup>2</sup> y de 6,10 kgf/cm<sup>2</sup> por unidad, por el contrario, las mezclas elaboradas con 5% y 7,5% no alcanzaron a cumplir la resistencia mínima, obteniéndose valores promedio de 23,13 kgf/cm<sup>2</sup> y 19,59 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente.

En los resultados de los ensayos de absorción y resistencia, según la norma técnica colombiana NTC 4205:2000, se admite que una de las cinco muestras ensayadas supere o no logre el límite individual en un 10 %, siempre y cuando se cumpla para el valor promedio mencionado anteriormente. En el evento de no cumplir con la exigencia, se debe hacer un nuevo muestreo del lote y se deben repetir los ensayos que, de resultar nuevamente negativos, dará lugar a que se rechace definitivamente el lote.

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

**Tabla 36. Análisis comparativo de resultados**

Ensayo	100% Arcilla	2,5% Raquis de Palma	5% Raquis de Palma	7,5% Raquis de Palma	NTC 4205:2000 (Bloques No Estructurales)	
					Para uso Interior	Para uso Exterior
Absorción de Agua	11%	12,4%	15,5%	18,2%	17,0%	13,50%
Resistencia Mecánica a la Compresión	31,39 kgf/cm <sup>2</sup>	30,53 kgf/cm <sup>2</sup>	23,13 kgf/cm <sup>2</sup>	19,59 kgf/cm <sup>2</sup>	30 kgf/cm <sup>2</sup>	30 kgf/cm <sup>2</sup>
Contracción en Seco	4,77%	3,84%	3,23%	2,97%	-	-
Contracción en Cocido	3,00%	1,28%	1,51%	1,87%	-	-
Pérdida de Masa en Seco	17,93%	18,22%	24,05%	16,14%	-	-
Pérdida de Masa en Cocido	3,97%	6,33%	3,07%	1,78%	-	-

**Tabla 37. Diferencia de densidades entre mezcla de arcilla pura y con raquis de palma**

Variable	Unidad	100% Arcilla	2,5% Raquis de Palma	5,0% Raquis de Palma	7,5% Raquis de Palma
Masa Cocida	[g]	122,36	117,40	109,78	101,90
Volumen	[Cm <sup>3</sup> ]	91,36	98,29	97,56	98,45
Densidad	[g/Cm <sup>3</sup> ]	1,34	1,19	1,13	1,04

#### 5.4 Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado Con Raquis de Palma

A continuación, en la tabla 40 se detalla cada etapa del proceso productivo del bloque cerámico de una empresa que fabrica bloque H-10 para construcción.

**Tabla 38. Descripción de actividades en proceso productivo de elaboración de bloque H-10**

<b>CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN</b>		
<b>N°</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
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.
<b>CENTRO DE COSTO DE MOLIENDA Y ALMACENAMIENTO</b>		
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.

<b>CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN</b>		
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.
<b>N°</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
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.
<b>CENTRO DE COSTO DE EXTRUSIÓN</b>		
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.

<b>CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN</b>		
<b>CENTRO DE COSTO DE SECADO</b>		
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.
<b>N°</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
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.
<b>CENTRO DE COSTO DE COCCIÓN</b>		
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.

<b>CENTRO DE COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN</b>		
<b>CENTRO DE DESCARGUE, SELECCIÓN Y ALMACENAMIENTO</b>		
<b>N°</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
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.
<b>CENTRO ADMINISTRATIVO</b>		
1	Dirección de la planta	Ubicación del material en carretas para ser llevado al patio de almacenamiento, el horno debe dejarse limpio para una próxima quema
2	Procesos contables	Selección del material que se lleva a patio de acuerdo a los criterios de calidad de la empresa.
3	Supervisión de ventas	Ubicación del material en módulos o secciones de acuerdo a los criterios de calidad.
4	Procesos de compra y logística	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
5	Seguridad y vigilancia de las instalaciones	Resguardo de las instalaciones de la empresa y de los inventarios de producto terminado.

**5.4.1 Determinación de las relaciones entre costo y actividad.** Una vez establecido las diferentes actividades del proceso productivo y los componentes del costo, se determinó la relación existente entre sí.

Tabla 39. Componente del costo vs actividad

<b>Componente de Costo</b>	<b>Actividad</b>
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
<b>Componente de Costo</b>	<b>Actividad</b>
Telefonía	Compra de materiales, atención al cliente, Contacto interno
ACPM	Lubricación durante extrusión
Lubricante	Quema
	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
Repuestos	Extrusión
	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
Repuestos	Secado
	Quema
	Mobiliario oficina
Arriendo	Adecuaciones planta
	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
Depreciación	Extrusión
	-Galpón planta distribuido a todas las actividades menos explotación
	-Carretas en transporte a secado
	-Carretas transporte horno
	-Carretas transporte a almacenamiento
	-Estibas en transporte a secado
	-Hornos durante la Quema
	-Equipo de taller a todas las actividades menos explotación
-Equipo oficina en actividades administrativas	
Carbón	Quema
	Molienda de arcilla
	Humectación
Implementos de seguridad	Quema
	Explotación
	Supervisión
	Arranque de materia prima
Impuestos	Molienda de Arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Secado
	Quema
	Almacenamiento

<b>Componente de Costo</b>	<b>Actividad</b>
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
Papelera	Actividades Contables y Comerciales
Análisis Isocinéticos	Quema
Materia Prima	Arranque de materia prima
Servicio Retroexcavadora	Arranque de materia prima
Servicio de Volquetas	Transporte a Planta
Alquiler Cargador	Acomodo de materia prima en Galpón

**Tabla 40. Consolidado de los costos de las actividades de producción en el periodo analizado**

<b>Actividades</b>	<b>Código</b>	<b>Marzo (\$)</b>
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
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
<b>Total</b>		<b>\$ 58,865,272.7</b>

**Costo del bloque:**

Costo - Producción \$ 58'865.272,7

Producción de Bloque 180.000 Unid.

**Costo Bloque \$ 327,02****Tabla 41. Costo del bloque utilizando raquis de palma**

<b>Actividad</b>	<b>Código</b>	<b>Precio Marzo 2021 (\$)</b>
Arranque de materia prima y cargue	A	\$ 4.600.000,0
Almacenamiento de Raquis de Palma	A1	\$ 1.200.000,0
Transporte a planta	B	\$ 1.800.366,5
Transporte de Raquis de Palma	B1	\$ 1.000.000,0
Acomodo de materia prima en galpón	C	\$ 900.000,0
Molienda y trituración del Raquis de Palma	C1	\$ 2.500.000,0
Llenado cajón alimentador	D	\$ 288.244,0
Molienda y tamizado	E	\$ 6.885.102,8
Humectación -extrusión	F	\$ 8.067.766,7
Corte y acomodo de piezas	G	\$ 2.958.206,0
Transporte a patio de secado	H	\$ 2.114.270,1
Caracoleo	I	\$ 718.733,7
Transporte y acomodo en horno	J	\$ 2.369.245,5
Quema	K	\$ 19.919.222,9
Descargue y transporte	L	\$ 1.312.014,3
Clasificación y almacenamiento	M	\$ 1.328.270,3
Actividades gerenciales	N	\$ 1.603.528,5
Actividades contables. comerciales y de apoyo	O	\$ 1.464.811,5
<b>Total</b>		<b>\$ 61.029.782,8</b>

**Costo del Bloque Usando Raquis de Palma**

Costo - Producción \$ 61'029.782,8

Producción de Bloque 180.000 Und

**Costo Bloque \$ 339,05**

## 5. Conclusiones

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

Después de analizados los resultados de los ensayos de laboratorio elaborados a los tres porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de raquis de palma utilizados en la mezcla de arcilla, se determinó que la mezcla que mejor comportamiento físico-mecánico tuvo fue la realizada con 2,5% de raquis, con un porcentaje de absorción de agua promedio (5 unidades) de 12,4% y una resistencia mecánica a la compresión promedio de 30,53% kgf/cm<sup>2</sup> cumple con lo estipulado en la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 para clasificar el bloque como no estructural de uso tanto para interiores como exteriores.

Se concluye también que hacer el bloque con 2,5% de raquis de palma tiene un incremento en costos de \$12.03 por bloque, es decir un costo de \$2.164.510 mensuales para una producción de 180.000 bloques, lo cual resulta viable desde el punto de vista de protección del medio ambiente, teniendo en cuenta que estos bloques requieren de 4.96 g menos de arcilla para su fabricación, al mismo tiempo que se aporta a la economía circular, al volver a introducir un residuo a la cadena de producción.

Se realizó las pruebas mecánicas de resistencia y se eligió como apto y calificado para construcción al bloque con 2,5% de raquis de palma, por obtener mayor resistencia que los otros dos porcentajes analizados, y un peso de 1.19 grs/cm<sup>3</sup> más liviano que los bloques con 100% de arcilla cuyo peso es de 1.34 grs/cm<sup>3</sup>, superándolos notablemente.

## **6. Recomendaciones**

Este proceso investigativo sobre un producto innovador se debe considerar para ser presentado en ferias o exposiciones en las ramas de la construcción civil y urbanística.

Se recomienda que se debería impulsar otros proyectos investigativos de residuos que contaminen el ambiente y que puedan ser reutilizados en diferentes aspectos relacionados con construcciones sostenibles.

Se debería continuar realizando pruebas físicas a los bloques ecológicos elaborados con raquis de palma para conocer su capacidad como aislantes acústicos y térmicos.

### Referencias Bibliográficas

- Acosta, A. & Beltrán, L. (2017). *Determinar las propiedades mecánicas y el uso de cuesco de palma africana para la fabricación de adoquines y bloques estructurales*. Tesis de grado. Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Araguas, P. (2003). *Brique et architecture dans l'Espagne médiévale (XIIe-XVe siècle)*, Madrid: Casa de Velásquez.
- Arroyo, R., Bravo, D. & Rivera, M. (2018). Economía Circular: Un Camino Para un Quito más Sostenible. *NNOVA Research Journal*, 3(11), 139-158. Recuperado de: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3176/3/document%20%286%29.pdf>
- Ayala, O. & Soledad, M. (2006). *Activación física del ráquis de la palma africana (elaeis guineensis) para la obtención de carbón activado*. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Beckhoff, B. (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](https://books.google.com.co/books?id=c6d8EPYHn1EC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Bertin, E. (1970). *Principles and Practice of X-ray Spectrometric Analysis*. Recuperado de: <https://www.springer.com/gp/book/9781461344186>
- Buhrke, E. (1998). *A Practical Guide for the Preparation of Specimens for XRF and XRD Analysis*. Wiley. 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>

Castells, X. (2000). *Reciclaje de residuos industriales*. Recuperado de:

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oA7ndthNMYQC&oi=fnd&pg=PA242&dq=L+a+fabricaci%C3%B3n+de+ladrillos+de+arcilla+son+unos+de+los+causantes+de+esmog+siedo+uno+de+los+graves+problemas+de+contaminaci%C3%B3n+para+la+grandes+ciudades,+esto+se+debe+al+m%20>

Chica, I. (2015). *Caracterización del material compuesto Raquis-Cemento*. Tesis de grado.

Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Cerdá, E. & Khalilova1, A. (2016). *Economía circular*. Recuperado de:

<https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>

Conrado, A. (2009). *Fabricación de ladrillos ecológicos a partir de residuos de palma africana*

*Elaeis guineensis en combinación con fibras vegetales*. Tesis de grado. Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.

Construmática. (2019). *Densidad Aparente*. Recuperado de:

[https://www.construmatica.com/construpedia/Densidad\\_Aparente](https://www.construmatica.com/construpedia/Densidad_Aparente)

Díaz, L. & Torrecillas, R. (2002). *Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos,*

*significados y aplicaciones*. Recuperado de: <https://digital.csic.es/handle/10261/4676>

Duque, N. & Belalcazar, P. (2020). *Propuesta de aprovechamiento del residuo de raquis*

*proveniente de la industria aceitera ecuatoriana en materiales no convencionales*. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

- García, J., Cárdenas, M. & Yáñez, E. (2010). *Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia*. Recuperado de:  
[file:///C:/Users/Hayde%C3%A9/Downloads/1477-Texto-1477-1-10-20120719%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Hayde%C3%A9/Downloads/1477-Texto-1477-1-10-20120719%20(1).pdf)
- Gonzalez, V., Gómez, P. & Abad, A. (2017). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 1-10. Recuperado de:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285350>
- Guggenheim, S. & Martín, R. (1995). Definition of clay and clay mineral: joint report of the aipea nomenclature and cms nomenclature comitees. *Clays and Clay Minerals*, 43(2), 255-256. Recuperado de:  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1018.2128&rep=rep1&type=pdf>
- Hidalgo, D. (2014). *Factibilidad del uso de raquis de palma africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos*. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Hidalgo, D. (2015). *Factibilidad del uso del raquis de palma africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos*. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Jenkins, R. (1999). *X-ray Fluorescence Spectrometry*. Recuperado de:  
<https://www.wiley.com/en-gb/X+Ray+Fluorescence+Spectrometry%2C+2nd+Edition-p-9780471299424>
- Miño, J. (2005). *Biodegradación de raquis de palma africana, desecho de la agroindustria de extracción de aceite, y su posible utilización como biofertilizante mediante un proceso de*

*compostaje húmedo*. Tesis de grado. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.

Niño, A. & Ruíz, J. (2017). *Empleo de la palma lata en la construcción de entresijos sobre muro de adobe y ladrillo*. Tesis de grado. Universidad la Gran Colombia. Bogotá, Colombia.

Ordóñez, S. (2014). *Sustancias químicas de uso cotidiano las cuales son tóxicas y dañan el medio ambiente*. Recuperado de: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n1/m13.html>

Porto, J. & Gardey, A. (2010). *Definición de reciclaje*. Recuperado de:  
<https://definicion.de/reciclaje/>

Porto, J. & Gardey, A. (2011). *Definición de ladrillo*. Recuperado de:  
<https://definicion.de/ladrillo/>

Porto, J. & Merino, M. (2015). *Definición de arcilla*. Recuperado de: <https://definicion.de/arcilla/>

Quintero, A. & Rico, J. (2014). *Diseños de mezclas de Hormigón por el método A.C.I y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión*. Tesis de grado. Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia.

Riaño, J. (2016). *Modelamiento Geológico Minero y Cálculo de Reservas de la Mina Támesis I en las Veredas de Agualinda y Juan Frío, de los Municipios de Los Patios y Villa del Rosario, Norte de Santander*. Tesis de grado. Universidad de Pamplona. Cúcuta, Colombia.

Ricardo, E., Veiguela, R., Rodríguez, M. & Sarmiento, J. (2019). Manejo del raquis generado en las extractoras de palma aceitera para la elaboración de Compost. *Revista Científica Ecociencia*, 6(4), 1-17. Recuperado de:  
<https://3.14.189.95/index.php/ecociencia/article/view/196>

- Ruíz, A. & Peñaranda, C. (2020). Evaluación de mezclas de arcilla adicionando componentes tecnológicos para la fabricación de bloques de construcción. *Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(2), 50-61. Recuperado de:  
<http://revistas.unitecnar.edu.co/index.php/sth/article/view/95/145>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Tovar, G. (2013). *Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la vereda el mochuelo bajo, ciudad Bolívar, Bogotá D.C.* Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Trejo, B., Cruz, Y. & Novoa, L. (2018). Elaboración de bloques de mampostería mediante el uso de mortero, adicionado con ceniza del cuesco y de fibra de palma africana en el departamento del Meta. Universidad de Cooperatía Córdoba. Villavicencio, Colombia.
- Vargas, A., Molina, J. & Meneses, D. (2018). Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional. *Revista EIA*, 15(30), 1-15. Recuperado de:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372018000200133](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372018000200133)
- Wilches, D. & Rodríguez, J. (2016). Análisis de la competitividad del eslabón de transformación de la agro-cadena de palma africana en Colombia. Tesis de grado. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.

Zapata, L. & Montoya, A. (2020). *Elaboración de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz y matrices termoplásticas*. Tesis de grado. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. Medellín, Colombia.

**Anexos**

**Anexo 1. Registro fotográfico**

