

|   |  |                             |                  |            |
|---|--|-----------------------------|------------------|------------|
|  | GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS |                             | CÓDIGO           | FO-GS-15   |
|   | <b>ESQUEMA HOJA DE RESUMEN</b>                   |                             | VERSIÓN          | 02         |
|   |  |                             | FECHA            | 03/04/2017 |
|   |  |                             | PÁGINA           | 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): NICOLAS APELLIDOS: SUAREZ JACOME

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JAVIER ALFONSO APELLIDOS: CÁRDENAS GUTIERREZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA CON CENIZAS DE CISCO DE CAFÉ PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

Esta tesis fue enfocada en la reutilización de las cenizas de cisco de café, dándole un uso adecuado y ayudando con la sostenibilidad del medio ambiente. La propuesta fue remplazar un porcentaje de la materia prima tradicional que es la arcilla por las cenizas de cisco de café y lograr disminuir el costo del bloque. Los productos cerámicos fueron elaborados con la técnica de extrusión, los porcentajes que se remplazaron fueron 2.5%, 5% y 7.5%, la temperatura de cocción fue de 1000 °C. Los resultados obtenidos fueron tanto negativos como positivos, las mezclas con los tres diferentes porcentajes no cumplieron con la resistencia mecánica a la compresión, pero si cumplieron con el porcentaje de absorción de agua estipulados en la NTC 4205:2000, además se logró disminuir el costo del bloque \$5.97 comparado con el bloque comercial.

PALABRAS CLAVES: Arcilla, Bloque de Construcción, Cenizas de cisco de café, Evaluación, Sostenibilidad.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 93 PLANOS: N.A. ILUSTRACIONES: 14 CD ROOM: N.A.

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA CON CENIZAS DE CISCO DE CAFÉ PARA  
LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

NICOLAS SUAREZ JACOME

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA CON CENIZAS DE CISCO DE CAFÉ PARA  
LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

NICOLAS SUAREZ JACOME

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director  
JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ  
Ingeniero Civil  
Magister en Administración de empresas con especialidad en dirección de proyectos

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

## ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 10 DE FEBRERO DE 2022 HORA: 10:00 a. m.

LUGAR: VIDEO CONFERENCIA GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

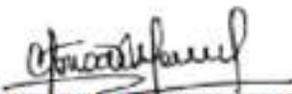
TITULO DE LA TESIS: "EVALUACION DE MEZCLAS DE ARCILLA CON CENIZAS DE CISCO DE CAFÉ PARA LA FABRICACION DE BLOQUE DE CONSTRUCCION".

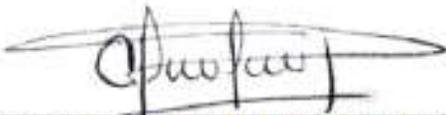
JURADOS: ING. CARMEN TERESA MEDRANO LINDARTE  
ING. CLAUDIA LILIANA CASADIEGO PERALTA

DIRECTOR: INGENIERO JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ.

| NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES: | CODIGO  | CALIFICACION |                |
|----------------------------|---------|--------------|----------------|
|                            |         | NUMERO       | LETRA          |
| NICOLAS SUAREZ JACOME      | 1112983 | 4,4          | CUATRO, CUATRO |

# APROBADA

  
ING. CARMEN TERESA MEDRANO LINDARTE

  
ING. CLAUDIA LILIANA CASADIEGO PERALTA

Vo. Bo.   
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ  
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

## **DEDICATORIA**

Primeramente, a Dios, por brindarme salud, bienestar, paz y cuidar de la salud de mis seres queridos.

A mi madre Ligia Jácome Granados, por haberme forjado como la persona que soy y confiar en mí, todos mis logros son por y para ella.

A mis amigos por estar siempre ahí cuando los necesité, por su apoyo y ánimo.

Por último, a todas las personas, familia y amigos, que me apoyaron y acompañaron en estos años de estudio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Sean estas primeras líneas para hacer público mi agradecimiento al Dr. Jorge Sánchez Molina, Dr. Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez y a la ingeniera Leidy Katherine Peñaloza Isidro por brindarme la oportunidad de elaborar este proyecto de grado sobre un tema tan interesante como es la sostenibilidad y el reciclaje de residuos.

A la universidad Francisco de Paula Santander, en especial al centro de investigación de materiales cerámicos (CIMAC), ya que cuenta con las herramientas y equipos necesarios para la realización de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Introducción                       | 16 |
| 1. Problema                        | 17 |
| 1.1 Título                         | 17 |
| 1.2 Planteamiento del problema     | 17 |
| 1.3 Formulación del problema       | 17 |
| 1.4 Objetivos                      | 17 |
| 1.4.1 Objetivo general             | 17 |
| 1.4.2 Objetivos específicos        | 18 |
| 1.5 Justificación                  | 18 |
| 1.6 Alcance y limitaciones         | 18 |
| 1.6.1 Alcance                      | 18 |
| 1.6.2 Limitaciones                 | 18 |
| 1.7 Delimitaciones                 | 18 |
| 1.7.1 Delimitación Espacial        | 18 |
| 1.7.2 Delimitación Temporal        | 19 |
| 1.7.3 Delimitación Conceptual      | 19 |
| 2. Marco Referencial               | 20 |
| 2.1 Antecedentes y Estado del Arte | 20 |
| 2.1.1 Antecedentes Regionales      | 20 |
| 2.1.2 Antecedentes Nacionales      | 20 |
| 2.1.3 Antecedentes Internacionales | 21 |
| 2.2 Marco Teórico                  | 22 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.2.1 | Cenizas de Cisco de Café                     | 22 |
| 2.2.2 | Bloques de Arcilla                           | 23 |
| 2.2.3 | Bloques de Concreto                          | 24 |
| 2.2.4 | Granulometría                                | 25 |
| 2.2.5 | Análisis Térmico                             | 26 |
| 2.2.6 | Difracción de Rayos X                        | 26 |
| 2.3   | Marco Conceptual                             | 27 |
| 2.4   | Marco Contextual                             | 28 |
| 2.5   | Marco Legal                                  | 29 |
| 3.    | Diseño Metodológico                          | 31 |
| 3.1   | Tipo de Investigación                        | 31 |
| 3.2   | Población y Muestra                          | 31 |
| 3.1.1 | Población                                    | 31 |
| 3.1.2 | Muestra                                      | 32 |
| 3.3   | Instrumentos para la Recolección de Datos    | 32 |
| 3.2.1 | Fuentes primarias                            | 32 |
| 3.2.2 | Fuentes secundarias                          | 32 |
| 3.4   | Fases y Actividades Específicas del Proyecto | 32 |
| 4.    | Metodología                                  | 34 |
| 4.1   | Materias Primas Utilizadas                   | 34 |
| 4.1.1 | Arcilla                                      | 35 |
| 4.1.2 | Arcillas cerámicas                           | 38 |
| 4.1.3 | Cenizas de cisco de café                     | 39 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.2   | Proceso de Conformado   | 42  |
| 4.3   | Ensayos Realizados  | 45  |
| 4.3.1 | Análisis Físico-Cerámico  | 45  |
| 4.3.2 | Determinación de la Absorción de Agua en Unidades de Mampostería                                  | 46  |
| 4.3.3 | Determinación de la Resistencia Mecánica a la Compresión en Unidades de Mampostería               | 50  |
| 4.4   | Normas Aplicadas  | 52  |
| 5.    | Informe Final   | 55  |
| 5.1   | Diagnóstico del Sector del Nutriente Tecnológico  | 55  |
| 5.2   | Desarrollo del bloque H-10 utilizando diferentes porcentajes del nutriente a nivel de laboratorio | 66  |
| 5.3   | Evaluación del Bloque H-10 Desarrollado a Nivel de Laboratorio                                    | 86  |
| 5.4   | Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Nutriente Tecnológico                    | 91  |
| 5.4.1 | Determinación de las Relaciones entre Costo y Actividad   | 95  |
| 6.    | Conclusiones  | 101 |
| 7.    | Recomendaciones   | 102 |
|       | Referencias bibliográficas  | 103 |
|       | Anexos  | 106 |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Composición mineralógica del material arcilloso   | 36 |
| Tabla 2. Resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X   | 37 |
| Tabla 3. Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización del café.                 | 40 |
| Tabla 4. Composición mineralógica cenizas de cisco de café   | 41 |
| Tabla 5. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural                              | 53 |
| Tabla 6. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural                           | 54 |
| Tabla 7. Características predominantes de ecotopos para el departamento de Norte de Santander<br>(1) | 61 |
| Tabla 8. Características predominantes de ecotopos para el departamento de Norte de Santander<br>(2) | 64 |
| Tabla 9. Características predominantes de ecotopos para el departamento de Norte de Santander<br>(3) | 66 |
| Tabla 10. Mezclas elaboradas y ensayadas   | 67 |
| Tabla 11. Resultados de Análisis Físico cerámico   | 67 |
| Tabla 12. Resultado A1   | 68 |
| Tabla 13. Resultado A2   | 68 |
| Tabla 14. Resultado A3   | 68 |
| Tabla 15. Resultado R1   | 69 |
| Tabla 16. Resultado R2   | 70 |
| Tabla 17. Resultado R3   | 70 |
| Tabla 18. Resultados de Análisis Físico cerámico   | 71 |
| Tabla 19. Resultado A1   | 72 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 20. Resultado A2   | 72 |
| Tabla 21. Resultado A3   | 73 |
| Tabla 22. Resultado R1   | 73 |
| Tabla 23. Resultado R2   | 73 |
| Tabla 24. Resultado R3   | 74 |
| Tabla 25. Resultados de Análisis Físico cerámico   | 75 |
| Tabla 26. Resultado A1   | 76 |
| Tabla 27. Resultado A2   | 76 |
| Tabla 28. Resultado A3   | 77 |
| Tabla 29. Resultado R1   | 77 |
| Tabla 30. Resultado R2   | 78 |
| Tabla 31. Resultado R3   | 79 |
| Tabla 32. Resultado A1   | 80 |
| Tabla 33. Resultado A2   | 81 |
| Tabla 34. Resultado A3   | 81 |
| Tabla 35. Resultado R1   | 82 |
| Tabla 36. Resultado R2   | 82 |
| Tabla 37. Resultado R3   | 83 |
| Tabla 38. Análisis comparativo de resultados y requisitos.                                   | 89 |
| Tabla 39. Comparación análisis físico cerámico   | 90 |
| Tabla 40. Actividades de Empresa que fabrica Bloque H-10                                     | 91 |
| Tabla 41. Componente del costo Vs actividad  | 95 |
| Tabla 42. Consolidado de los costos de las actividades de producción en el periodo analizado | 98 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 43. Costo del bloque con cenizas de cisco de café     | 99 |
| Tabla 44. Costo del bloque con cenizas de cisco de café (2) | 99 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Frente de explotación de la Arcilla                                 | 39 |
| Figura 2. Extrusora de laboratorio con vacío                                  | 43 |
| Figura 3. Apisonador de la Arcilla (Trituración)                              | 43 |
| Figura 4. Molino de martillos (Molienda vía seca)                             | 44 |
| Figura 5. Tamiz malla 10 (Tamizado)   | 44 |
| Figura 6. Estufa de 128 litros.   | 44 |
| Figura 7. Horno mufla   | 45 |
| Figura 8. Pie de Rey digital de 200 mm  | 46 |
| Figura 9. Balanza digital de 20 kg  | 47 |
| Figura 10. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión. | 48 |
| Figura 11. Termohigrómetro EXTECH   | 48 |
| Figura 12. Crometro (Prensa de presión)                                       | 51 |
| Figura 13. Mapa cafetero del departamento de Norte de Santander               | 57 |
| Figura 14. Ecotopos Cafeteros Norte de Santander                              | 60 |

## LISTA DE GRÁFICAS

|  |    |
|--|----|
| Gráfica 1. Absorción de Agua para M1, M2 Y M3                                  | 84 |
| Gráfica 2. Promedio de Absorciones de Agua para M1, M2 Y M3                    | 85 |
| Gráfica 3. Resistencia Mecánica a la compresión para M1, M2 Y M3               | 86 |
| Gráfica 4. Promedio de Resistencias Mecánicas a la compresión para M1, M2 Y M3 | 87 |
| Gráfica 5. Datos promedio de la Absorción de Agua para arcilla al 100%         | 88 |
| Gráfica 6. Datos promedio de la Resistencia mecánica para arcilla al 100%      | 88 |

## **LISTA DE ANEXOS**

|   |     |
|---|-----|
| Anexo 1. Absorción de Agua para M1, M2 Y M3               | 106 |
| Anexo 2. Promedio de Absorciones de Agua para M1, M2 Y M3 | 106 |

## Introducción

La presente investigación se refiere al tema de la elaboración de bloques de arcilla usando como materia prima las cenizas de cisco de café, para poder evaluar la funcionalidad y las propiedades del bloque agregando este nutriente. Se llevaron a cabo los laboratorios correspondientes según la norma NTC 4205:2020 “Ingeniería civil y arquitectura de mampostería de arcilla cocida. Ladrillo y bloques cerámicos” con el fin de obtener la resistencia mecánica mínima a la compresión, la absorción máxima de agua, el peso en condición húmeda, seca y cocida, la pérdida de masa seca y húmeda y por último la contracciónseca y cocida. Además, se realiza un estudio sobre el costo de la producción del bloque de arcilla normal y también sobre la producción del bloque con el agregado de ceniza de cisco de café.

Con la aplicación de las cenizas de cisco de café se evita que gran cantidad de este termine en vertederos ya que en la actualidad es poco reutilizable lo que termina causando un impacto medioambiental. En Colombia, la cascarilla de café es uno de los residuos orgánicos que deja la gran industria cafetera esta fibra vegetal, se encuentra potencializada por su composición química, en este caso, el Silicio, componente mineral que aporta la resistencia enel concreto, como lo hace el cemento. Con respecto a lo anterior se realizó un diagnóstico del sector de la industria del café en Cúcuta y su departamento.

Finalmente, lo que se procura saber es si el bloque de arcilla con agregado de cenizas de cisco de café mejora, mantiene o disminuye sus propiedades importantes como aislamiento térmico, acústico, absorción de agua, resistencia y entre otras.

## **1. Problema**

### **1.1 Título**

Evaluación de mezclas de arcilla con cenizas de cisco de café para la fabricación de bloque de construcción.

### **1.2 Planteamiento del problema**

La industria cerámica del país presenta grandes avances en exportación en estos tipos de producto, buscando ofrecer productos de calidad. En Cúcuta y su área metropolitana la industria cerámica se ha consolidado gracias a la abundancia de materiales arcillosos en el entorno, los cuales presentan propiedades óptimas para la fabricación de productos cerámicos. En la construcción estamos llamados a aportar iniciativas para el desarrollo sostenible, ya que la contaminación ha aumentado cada día más y además se puede predecir con qué recursos naturales contara la siguiente generación.

Con el fin de proponer mejoras en la industria cerámica, se planteó la influencia de las cenizas de cisco de café en la fabricación de bloques de arcilla con el fin de no emplear recursos minerales finitos y con esto se evita que el cisco de café que es en la actualidad un desecho termine en vertederos causando un daño ambiental.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Cuáles serán las ventajas y desventajas al utilizar cenizas de cisco de café en la fabricación de bloques de arcilla?

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar Mezclas de Arcilla adicionando cenizas de cisco de café para la Fabricación de Bloque de Construcción.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

Realizar un diagnóstico del sector de cisco de café

Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes del nutriente a nivel de laboratorio

Evaluar el producto desarrollado a nivel de laboratorio

Establecer los costos del producto normal y del nutriente tecnológico usado

### **1.5 Justificación**

El motivo que me llevo a investigar sobre la fabricación de bloques de arcilla con agregado de cenizas de cisco de café, son las propiedades químicas que contiene las cenizas del cisco de café que resultan importantes para la unión con la arcilla, además con esta aplicación se obtiene un beneficio económico a la hora de la fabricación ya que el cisco de café actualmente es un desecho muy poco reutilizable.

### **1.6 Alcance y limitaciones**

#### ***1.6.1 Alcance***

Los alcances de la investigación planteada van desde la recolección de la materia prima para llevar a cabo la fabricación de los bloques de arcilla con agregado de ceniza de cisco de café, hasta la evaluación de la reacción de la arcilla con las cenizas de cisco de café.

#### ***1.6.2 Limitaciones***

La investigación se ve limitada por la situación que se está viviendo actual que es la pandemia, la cual causa problemas en la recolección de información.

### **1.7 Delimitaciones**

#### ***1.7.1 Delimitación Espacial***

Centro de Investigación de Materiales Cerámicos (CIMAC) de la Universidad Francisco

de Paula Santander (UFPS), Cúcuta Norte de Santander.

### ***1.7.2 Delimitación Temporal***

El tiempo estimado del desarrollo de la investigación es de 4 meses.

### ***1.7.3 Delimitación Conceptual***

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

## 2. Marco Referencial

### 2.1 Antecedentes y Estado del Arte

#### 2.1.1 Antecedentes Regionales

Aplicación de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta. Jorge Sánchez Molina, Francisco Antonio Corpas Iglesias, Diana Carolina Álvarez Rozo. Primera edición, Bogotá, diciembre de 2018.

#### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

Jenny Angélica Coral Patiño. Comportamiento del concreto con cascarilla de café y posibilidades ante textura y color. Bogotá, Colombia 2019, número de páginas 140. Magister en Construcción. Universidad nacional de Colombia. Facultad de Artes. El uso de residuos orgánicos renovables es un tema que se ha ido imponiendo en la industria de la construcción a nivel global, aprovechando, los residuos o componentes de las materias primas que tienen mayor productividad. En Colombia, la cascarilla de café es uno de los residuos orgánicos que deja la gran industria cafetera. Esta fibra vegetal, se encuentra potencializada por su composición química, en este caso, el Silicio, componente mineral que aporta la resistencia en el concreto, como lo hace el cemento. En esta investigación, se presenta el diseño de mezcla de concreto, a la cual, se realizan las respectivas pruebas para identificar las características físicas potenciales, aplicables en la arquitectura.

Andrés Felipe Hernández García, María Fernanda Herrera Vargas. Análisis de la relación de soporte y resistencia a la compresión de un suelo arcillo-limoso en la vereda de Liberia del municipio de Viotá- Cundinamarca estabilizado con ceniza de cascarilla de café. Bogotá, Colombia 2019, número de páginas 101. título de Ingeniero Civil. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería civil. En los últimos años se han realizado

investigaciones de estabilización de suelos con alta plasticidad, debido a que estos se caracterizan por su baja capacidad portante y grandes deformaciones; es por ello por lo que se ha implementado el uso de cenizas de desecho agrícolas, ya que no solo mejoran las propiedades del suelo, si no que a su vez se está dando provecho al desecho. Por ello se planteó diferentes dosificaciones en peso (4, 6 y 8% de ceniza) con respecto al suelo, basados en los antecedentes recopilados; esto con el fin de identificar el porcentaje óptimo de ceniza que da un mejor comportamiento al suelo.

### ***2.1.3 Antecedentes Internacionales***

Marisol Díaz Vargas, Josmar Harold Fernández Pérez. Influencia de la adición de ceniza de cascarilla de café en la trabajabilidad y resistencia a compresión del concreto. Perú, agosto 2019, número de páginas 128. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad nacional de jaén. Facultad de ingeniería. Se utilizó ceniza de cascarilla de café (CCC) como adición en la elaboración del concreto, teniendo como objetivo determinar su influencia en la trabajabilidad y resistencia a compresión del concreto. Se obtuvo la caracterización fisicoquímica de la CCC y las características físicas de los agregados (arena y piedra chancada) a través de ensayos normalizados, permitiendo obtener un diseño de mezcla patrón  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ , a partir del cual se realizó la corrección por incorporación de CCC en 1%, 2%, 4% y 8% con relación al peso del cemento. Se elaboró concreto y se hicieron ensayos en concreto fresco y endurecido, teniendo como resultados que el slump y peso unitario disminuyen a medida que aumenta la adición de CCC; la temperatura y contenido de aire se incrementan a mayor porcentaje de CCC. Lo que me llevo a citar este trabajo es su adición de la ceniza de cascarilla de café en el concreto para así poder ver el comportamiento de este nutriente y tomar esto como referencia para la aplicación del nutriente en la fabricación de bloques de

arcilla.

Xavier Elías Castells. Nutrientes tecnológicos para la industria Cerámica estructural. Jaén, 24 de noviembre de 2015, número de páginas 207. Tesis doctoral. Universidad de Jaén. Departamento de ingeniería química, ambiental y de los materiales. Uno de los objetivos es usar la mínima cantidad de arcilla, la materia prima característica de la cerámica, con la finalidad de no emplear recursos minerales finitos. Esta carencia de arcilla se suplementará con la adición de nutrientes tecnológicos, todos ellos clasificados como residuos industriales. Con ello se evita que gran cantidad de materiales terminen en el vertedero. Se demuestra que el material cerámico fabricado presenta unas propiedades térmicas muy interesantes. Al disponer de una densidad aparente baja, la porosidad interna es elevada, lo que equivale a decir que el material obtenido es aislante térmico.

## **2.2 Marco Teórico**

### ***2.2.1 Cenizas de Cisco de Café***

Al igual que con el arroz, el cultivo de café es parte importante dentro de la economía regional y nacional. El endocarpio del fruto, conocido como cisco del café, es un residuo obtenido al finalizar el proceso de la trilla, etapa que da paso a la torrefacción del grano de café. El cisco suele ser usado como combustible en algunos casos; sin embargo, la cantidad empleada en la región es baja, y el resto del residuo suele ser desechado. (Sánchez M., Corpas & Álvarez R., 2018, Pág. 17)

De los 40 municipios que tiene Norte de Santander, 36 son productores de café. “Aproximadamente hay 23.500 hectáreas, y por una hectárea se logran recoger casi 22 sacos de café” (Sifontes, 2020, Pág 10.)

Descripción del proceso: Los granos de café ya despulpados llegan a la beneficiadora

donde primeramente se determina su humedad, si esta es menor del 10 % pasa directamente al proceso, si no se aplica el método de beneficio seco hasta que se cumpla este parámetro. Luego los granos pasan hacia una tolva y de ahí hacia una zaranda que se encarga de eliminar los objetos extraños que pueda tener el grano, posteriormente estos granos suben hacia el depósito del molino mediante bandas transportadoras y comienza la operación de molinaje, el grano limpio va hacia un segundo depósito para luego ser pesado y almacenado en sacos; por otra parte, cuando se separa el grano de la cáscara una criba impide que se mezclen estos y un extractor acoplado al molino se encarga de la separación en sí. Como parte del estudio se pudo constatar que este residuo del proceso no se utiliza y que se genera aproximadamente un 23 % de cascarilla por masa de café bruto procesado. (Manals C., Salas T., Penedo M., 2018, Pág. 23)

### ***2.2.2 Bloques de Arcilla***

Los bloques de arcilla son elementos cerámicos, que se pueden usar como elementos no estructurales en muros divisorios y de fachada en la construcción de obras verticales, también en la construcción de muros estructurales como se puede observar en las edificaciones con sistema de mampostería estructural, y en la superficie de contacto de los pavimentos articulados. Estos bloques están compuestos por tierras arcillosas que al comprimirlas y someterlas a cocción se obtiene un material cerámico. (S.f, 2019, Pag 3)

#### **Propiedades de los bloques de arcilla**

Los bloques de arcilla poseen propiedades físicas y químicas que lo hacen un material útil en la construcción como lo es su resistencia a compresión, lo que le permite resistir y transmitir los esfuerzos de compresión a los elementos estructurales; otra propiedad es la variabilidad de dimensiones que tienen estos elementos acomodándose a cualquier necesidad determinada por el diseño arquitectónico; estos materiales son resistentes al proceso de congelación generado por el

cambio repentino de temperaturas en las ciudades que puede generar diferentes fisuras y daños; los bloques de arcilla resisten altas temperaturas lo que le hace un material necesario en caso de que ocurra un incendio dentro de la edificación; estos elementos son aislantes térmicos por lo que su conductividad térmica es baja y no permite la transferencia de calor. Desde la parte estética, los bloques de arcilla tienen diferentes gamas de colores que se pueden ajustar tanto a lo que busca el diseñador arquitectónico como a los gustos del cliente, desde la parte constructiva un muro con bloques de arcilla o pavimento se puede construir de manera rápida ya que la mano de obra capacitada en el país para esta tarea es amplia. (S.f, 2019, Pag 8)

### ***2.2.3 Bloques de Concreto***

Los bloques de concreto están hechos de concreto fundido, por ejemplo, cemento Portland y agregados, generalmente arena y grava fina, para bloques de alta densidad. Los tipos de bloques de se mencionan a continuación.

1. Los Bloques de concreto sólido, son mucho más densos y grandes, los bloques de concreto sólido se fabrican para ser fuertes, pesados y creados a partir de agregados naturalmente densos, estos son lo suficientemente fuertes como para ser utilizados en grandes unidades de mampostería que son de carga natural pueden soportar más fuerzas en comparación con los ladrillos.

2. Los Bloques de dintel, estos bloques se utilizan en la preparación de vigas de dintel, se fabrican de tal manera que sirven como una unidad de mampostería y un encofrado en sí. Estéticamente, tienen una ranura profunda donde se colocan barras de refuerzo junto con el hormigón, es decir, sirven como sistema de encofrado permanente para el miembro de viga de dintel. La mayoría de los constructores consideran que esto es eficiente y útil.

3. Los Adoquines, generalmente son prefabricados en muchas formas y tamaños, están

hechos de cemento, áridos y agua. Se pueden usar para pisos de patio, aceras o caminos y deben ser lo suficientemente rígidos y firmes. Tiene alta resistencia a la lluvia y al clima pesado.

Alarcón (2020, Pág 19).

El Bloque de concreto aireado, la mayoría del tiempo se compara con los ladrillos, pero es diferente en muchos sentidos. Los bloques de concreto aireados son más ligeros y la versión más grande de ladrillos. Principalmente hecho con los mismos ingredientes que los ladrillos, pero con una composición diferente.

#### ***2.2.4 Granulometría***

De forma simplificada la granulometría se ejecuta de la siguiente forma. Primero se toma una cantidad representativa de muestra, se seca, se disgrega y se pesa el conjunto. Posteriormente se hace pasar por los diferentes tamices para granulometría de suelos dispuestos de mayor a menor abertura mediante agitación. Por último, se pesa el material retenido en cada tamiz, con lo que, conocido el peso inicial de la muestra, puede determinarse el porcentaje de material que queda retenido en cada tamiz. A partir de estos datos se confecciona la curva granulométrica.

El análisis granulométrico proporciona los porcentajes en peso de los diversos tamaños de las partículas por lo que podemos conocer el porcentaje de finos (arcillas y limos) que es el porcentaje que pasar por el tamiz número 200 de la serie ASTM o el tamiz 0,008 de la serie UNE.

De igual forma podemos determinar el porcentaje de la fracción gruesa (gravas) mediante el tamiz n°10 ASTM o 2mm UNE. El porcentaje de arena es el comprendido entre los dos tamices para suelos anteriores y de forma análoga podemos determinar el porcentaje de cada tamaño de partícula. Seguidamente se analiza en conjunto la proporción de cada uno de los tamaños de partículas. Curvas muy verticales indican reducida variabilidad en los tamaños mientras que

curvas inclinadas muestran una gradación importante del tamaño de las partículas. Para una mayor definición de la granulometría se utiliza el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura. (Blog geotecnia fácil, 2018)

### ***2.2.5 Análisis Térmico***

El análisis térmico ha sido definido como un grupo de técnicas en la cual una propiedad de una muestra es monitoreada con relación al tiempo o temperatura, en una atmósfera específica, a un régimen programado de temperatura (White et al., 2011). En el análisis termogravimétrico se registra la pérdida de peso de una muestra en la medida en que se incrementa la temperatura, hasta temperaturas de 1 200 °C, bajo condiciones controladas de velocidad de calentamiento y diferentes atmósferas de reacción; obteniéndose por esta vía las curvas denominadas TG o Termo gramas y las curvas de análisis termogravimétrico diferencial (DTG, en sus siglas en idioma inglés). (Manals C., Penedo M. & Giralt O., 2011, Pág 21).

### ***2.2.6 Difracción de Rayos X***

La difracción de rayos X (XRD) permite la rápida identificación de materiales particulados, arcillas y otros minerales. Proporciona información detallada acerca de la estructura cristalográfica de sus muestras, que puede utilizarse para identificar las fases presentes. XRD es especialmente útil para la identificación de fases de grano fino que son difíciles de identificar por otros métodos como la microscopia óptica, el microscopio electrónico de barrido/espectrómetro por dispersión de energía (SEM/EDS) o la evaluación cuantitativa de materiales por microscopia electrónica de barrido (QEMSCAN™).

Antes normalmente se usaba la XRD para determinar conjuntos de minerales en masa en rocas, arcillas, menas, macropartículas y productos metalúrgicos. Proporciona un método semicuantitativo para determinar los porcentajes normativos o de peso de las fases presentes,

incluyendo la fracción de cada fase mineral contenida en sus muestras.

Actualmente, gracias al uso de los métodos de cuantificación Rietveld (análisis RIR) y de potentes computadores, pueden obtenerse datos XRD cuantitativos. Los modernos detectores de alta velocidad permiten la rápida recopilación de datos en grandes números de muestras y se utiliza el análisis tipológico de las pautas integrales para diferenciar las poblaciones de muestras. (SGS Colombia S.A.S, 2020)

### **2.3 Marco Conceptual**

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

**Cisco.** En Colombia, el cisco, es la cascarilla sobrante del café, es materia prima para extruir perfiles de madera plástica y construir viviendas de interés social.

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

**Granulometría.** Se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca.

**Material cerámico.** Una definición amplia de materiales cerámicos diría que son sólidos inorgánicos no metálicos producidos mediante tratamiento térmico. Comparados con los metales y plásticos son duros, no combustibles y no oxidables.

**Residuos orgánicos.** Los residuos orgánicos o biorresiduos domésticos son residuos biodegradables de origen vegetal o animal, susceptibles de degradarse biológicamente generados en el ámbito domiciliario y comercial. (consorcio servicios la palma.)

## 2.4 Marco Contextual

Cerámicas Támesis. Km 12, vía Pamplona, antes de entrada a la Vereda Agualinda.

Centro de Investigación de Materiales Cerámicos (CIMAC) de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS). Avenida Gran Colombia #12e96, Cúcuta, Norte de Santander.

**Misión.** El laboratorio de ensayos del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos (CIMAC) de la Universidad Francisco de Paula Santander, ofrece asistencia técnica empresarial, acompañamiento en la ejecución de proyectos, análisis integral de las etapas de fabricación de productos a nivel experimental y de campo, servicios de transferencia científica, tecnológica y muestreo de emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas, dirigido al sector cerámico.

Cuenta con un equipo interdisciplinario de Profesionales altamente capacitados, con amplia experiencia y comprometidos con su labor, que hacen uso eficiente de los recursos, herramientas, instrumentos y equipos de medición, análisis y comparación de última tecnología, para lograr la consecución de los objetivos propuestos y alcanzar los resultados esperados por el cliente, ciñendo siempre sus acciones y actividades a los requerimientos y exigencias de las normas técnicas y de calidad.

**Visión.** Para el año 2020, el laboratorio de ensayos del Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, se consolidará como una institución rentable, reconocida, acreditada y certificada; Líder en Latinoamérica en investigación, generación de nuevos conocimientos, avances en innovación de productos, prestación de servicios de toma de muestras de emisiones atmosféricas generadas por fuentes

fijas, realización de ensayo de productos terminados y desarrollo de actividades conducentes al fortalecimiento productivo y competitivo del sector cerámico.

Que continuará integrando e implementando de forma armónica en sus procesos tecnología de punta acorde a las necesidades de producción y de servicios, lo que le permitirá responder efectivamente a las necesidades, tendencias y exigencias de los actores generadores del conocimiento, riqueza y bienestar en general.

La población que vera la influencia de esta investigación son las empresas del sector de la industria cerámica del municipio de norte de Santander, ya que podrían fabricar un nuevo tipo de bloque que les daría rentabilidad económica como funcionalidad. Otro sector beneficiado sería la industria del café, que obtendrían un adicional económico de la fabricación del café el cual sería la venta del cisco que es un residuo para ellos que no generaba ningún valor.

## **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 bloques. En esta norma se incluyen los ensayos de: módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, resistencia al congelamiento y descongelamiento, eflorescencias, tasa inicial de absorción, determinación del peso, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones, análisis térmico-diferencial, térmico-dilatométrico y expansión por humedad, aunque no todos los ensayos son aplicables necesariamente a todos los tipos de unidades o están referidos a otras normas complementarias. Todas las especificaciones que contengan las respectivas normas de productos relacionadas con métodos de muestreo y ensayos priman sobre lo establecido en esta norma.

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

NTC 4205:2009 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 1: Mampostería Estructural. Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida, utilizados como unidades de mampostería estructural en muros interiores o exteriores y establece los parámetros con lo que se determinan los distintos tipos de unidades.

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

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

### **3. Diseño Metodológico**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

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

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

Es de tipo exploratorio porque el proyecto se enfoca 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.

Es de tipo descriptiva porque en el proyecto se evaluarán 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 cenizas de cisco de café en las muestras. Así mismo, la investigación en el laboratorio permitirá obtener la información necesaria para la fabricación del bloque y el desarrollo de los objetivos propuestos.

#### **3.2 Población y Muestra**

##### **3.1.1 Población**

La población para tener en cuenta para la realización del proyecto involucra a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, y las cenizas de cisco de café de una empresa del área

metropolitana de Cúcuta.

### **3.1.2 Muestra**

El tamaño de la muestra se seleccionará a convenir de la empresa Cerámica Támesis S.A., porque es la mejor mina explotada en el Área Metropolitana de Cúcuta, cumpliendo con los requisitos ambientales y sistema de explotación adecuado, con patios de almacenamiento de materias primas, botadero de los residuos y con sistema siembra de árboles en zonas explotadas. Además, esta mina es utilizada para una empresa del sector cerámico reconocida del Área Metropolitana de Cúcuta, debido a sus propiedades químicas y a su comportamiento en la industria cerámica para elaboración de productos de construcción.

Las cenizas de cisco de café se seleccionarán de una empresa del área metropolitana de Cúcuta, para este estudio se contará con un total de 15 kilos ya molido.

## **3.3 Instrumentos para la Recolección de Datos**

### **3.2.1 Fuentes primarias**

Se basará inicialmente en la observación directa, la entrega de los resultados de cada ensayo realizado por el personal del laboratorio.

### **3.2.2 Fuentes secundarias**

Búsqueda de información en base de datos, proyectos de investigación, artículos de investigación, NTC 4017, NTC 4205 y, conocimientos adquiridos por el personal del laboratorio que está capacitado para el desarrollo de estos.

## **3.4 Fases y Actividades Específicas del Proyecto**

Para el análisis de la información que se utilizará en la evaluación del producto desarrollado, se emplearán las siguientes técnicas:

Fase 1: Realizar un diagnóstico del sector del Nutriente Tecnológico (Revisión

bibliográfica, Búsqueda y recolección del nutriente utilizado y Elaboración de ensayos químicos de cada nutriente tecnológico).

Fase 2: Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes del nutriente a nivel del laboratorio (Elaboración de análisis físicos cerámicos a la arcilla por extrusión a nivel de laboratorio, Elaboración de análisis físicos cerámicos a las mezclas diseñadas por extrusión a nivel de laboratorio, Ensayo de absorción de agua para bloques cerámicos a nivel de laboratorio y Ensayo de resistencia mecánica a la compresión de bloques cerámicos a nivel de laboratorio).

Fase 3: Evaluar el producto desarrollado a nivel de laboratorio (Recolección de los datos obtenidos en cada ensayo realizado a nivel de laboratorio y Tabulación e interpretación de los resultados del producto obtenido de cada ensayo).

Fase 4: Establecer los costos del producto normal y del nutriente tecnológico usado (Realización de un estudio de los costos de cada bloque elaborado con el nutriente tecnológico).

#### **4. Metodología**

La investigación que se llevó a cabo en este proyecto fue de tipo aplicada, descriptiva y de campo. El estudio se enfocó en la evaluación de la arcilla del Área Metropolitana de Cúcuta con los diferentes porcentajes 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 para el nutriente tecnológico el laboratorio CIMAC ya contaba con cisco de café al cual se le realizó el proceso de conversión a cenizas mediante el uso del horno mufla.

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 laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC, el cual se encuentran relacionados en el desarrollo de los objetivos planteados.

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

Las principales arcillas 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” (Sánchez, 2014).

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 (Pedroza, 1996).

#### **4.1.1 Arcilla**

El término “arcilla” encierra en sí mismo un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión (tamaño de partícula, mineralogía, petrografía, propiedades físicas, etc.). Las arcillas son fruto de los agentes de meteorización físico-químicos actuantes sobre la roca madre original, se las puede considerar como unas acumulaciones naturales, consolidadas o no, de tamaño de grano fino ( $< 1 \mu\text{m}$  según los químicos que estudian los coloides,  $< 2 \mu\text{m}$  según los mineralogistas e investigadores del suelo, y  $< 4 \mu\text{m}$ , según los sedimentólogos), constituidas por variados minerales arcillosos (silicatos alumínicos hidratados, con iones principalmente de Mg, Fe, K y Na) y otros minerales acompañantes como el cuarzo, los feldespatos, los carbonatos, etc. Además, salvo excepciones, poseen un comportamiento físico muy peculiar frente al agua el cual es la plasticidad, e incluso endurecen cuando son secadas o sometidas a tratamientos térmicos a alta temperatura. (Alonso, 1961; Bernal et

al.,2003; Diaz & Torrecillas, 2002; Liberto, 1964).

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

En la tabla 1 se puede observar los resultados de la composición mineralógica de la arcilla.

Tabla 1.  
Composición mineralógica del material arcilloso

|                   | <b>Fase</b>  | <b>No. Tarjeta pdf-2</b> | <b>Nombre</b> | <b>Cuantitativo<br/>(en % peso)</b> |
|-------------------|--|--------------------------|---------------|-------------------------------------|
|                   | 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                                 |
| Total, cristalino |  |                          |               | 74,7                                |
| Amorfos y otros   |  |                          |               | 25,3                                |

Fuente. Centro de investigación de Materiales Cerámicos (2021)

De la tabla 1 se puede apreciar que cerca del 75% del material arcilloso es cristalino, con el cuarzo como fase dominante seguido de la caolinita.

La composición química del material arcilloso es presentada en la tabla 2, la cual fue realizada mediante fluorescencia de rayos X.

Tabla 2.  
Resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X

| <b>Elemento</b> | <b>Número atómico(Z)</b> | <b>Concentración</b> | <b>Óxido</b>                   | <b>Concentración</b> |
|-----------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Si              | 14                       | 27,89%               | SiO <sub>2</sub>               | 59,67%               |
| Al              | 13                       | 11,50%               | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 21,72%               |
| Fe              | 26                       | 3,70%                | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,29%                |
| K               | 19                       | 1,64%                | K <sub>2</sub> O               | 1,98%                |
| Ti              | 22                       | 0,57%                | TiO <sub>2</sub>               | 0,95%                |
| Mg              | 12                       | 0,41%                | MgO                            | 0,67%                |
| Ca              | 20                       | 0,27%                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,57%                |
| Na              | 11                       | 0,26%                | CaO                            | 0,38%                |
| P               | 15                       | 0,25%                | Na <sub>2</sub> O              | 0,35%                |
| Ba              | 56                       | 0,05%                | BaO                            | 0,06%                |
| Zr              | 40                       | 0,03%                | SO <sub>3</sub>                | 0,04%                |
| V               | 23                       | 0,02%                | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,04%                |
| Mn              | 25                       | 0,02%                | ZrO <sub>2</sub>               | 0,03%                |
| S               | 16                       | 0,02%                | MnO                            | 0,03%                |
| Zn              | 30                       | 0,01%                | ZnO                            | 0,02%                |
| Cl              | 17                       | 0,01%                | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,01%                |
| Sr              | 38                       | 0,01%                | CuO                            | 0,01%                |
| Cu              | 29                       | 0,01%                | SrO                            | 0,01%                |

| Elemento | Número atómico(Z) | Concentración | Óxido             | Concentración |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Cr       | 24                | 0,01%         | Cr                | 0,01%         |
| Rb       | 37                | 0,01%         | Rb <sub>2</sub> O | 0,01%         |
| ---      |                   |               | *L.O.I            | 8,12%         |

#### *Elementos minoritarios*

| Elemento | Número atómico(Z) | Concentración | Óxido                          | Concentración |
|----------|-------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| Ni       | 28                | 41 mg/Kg      | NiO                            | 52 mg/Kg      |
| Pb       | 82                | 25 mg/Kg      | Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 30 mg/Kg      |
| Y        | 39                | 23 mg/Kg      | Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 29 mg/Kg      |
| Ga       | 31                | 22 mg/Kg      | PbO                            | 26 mg/Kg      |
| Nb       | 41                | 16 mg/Kg      | Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 23 mg/Kg      |

#### **4.1.2 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).



Figura 1. Frente de explotación de la Arcilla

Fuente. Cerámica Támesis S.A. (2021)

#### ***4.1.3 Cenizas de cisco de café***

La cascarilla de café o también conocida como cisco o pergamino de café, proveniente del café oro (grano), se obtiene después del proceso de trillado (descascarado), en un beneficio

seco de café, o también se puede recolectar mediante el secado solar del grano de café. El café es un grano de semilla proveniente del árbol denominado cafeto perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género *Coffea*. Las familias de café, más consumidas en el mundo a nivel industrial son de la especie *Coffea Arábica* y *Coffea Conephora*, la cascarilla es una envoltura cartilaginosa con cierta opacidad y de un color blanco amarillento de aproximadamente 100

micrómetros de espesor, la cual se encuentra localizada en el endocarpio del fruto. (Vásquez; 2015)

El promedio de humedad de la cascarilla de café corresponde al 13.56% del peso de la cascarilla de café, en base seca. La mayoría de otros autores mencionan un nivel mínimo de humedad del 10 % hasta el 12.5 % una vez secado el café pergamino al sol como máximo de humedad. La variación de los resultados se debe principalmente a la variedad de café de donde proviene el residuo, ya que existen diferentes niveles de humedad en diversas zonas, además de que tipo de secado se le dio al grano de café, y como se almaceno el residuo hasta su caracterización. (Vásquez; 2015)

De acuerdo con estudios realizados el cisco o cascarilla de café presenta las siguientes propiedades: (Palacios y Betancurt; 2005)

Poder calorífico de aproximadamente 4.245,8 kcal/kg.

Porcentaje de cenizas de aproximadamente 0,6%.

Humedad promedio de 5,4%.

Material volátil de 87,7%.

Densidad aparente promedio de 0,33 g/cm<sup>3</sup>

Tamaño de las partículas que oscila entre 0,425 y 2,36 mm de diámetro En la tabla 3 se puede observar los residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de 1000g de café cereza. (Valencia 2010).

Tabla 3.

Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización del café.

| <b>Proceso</b> | <b>Residuo obtenido</b> | <b>Perdida (gramos)</b> |
|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Despulpado     | Pulpa fresca            | 436                     |

| <b>Proceso</b>     | <b>Residuo obtenido</b>   | <b>Perdida (gramos)</b> |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|
| Desmucilaginado    | Mucilago                  | 149                     |
| Secado             | Agua                      | 171                     |
| Trilla             | Cisco y película plateada | 42                      |
| Torrefacción       | Volátiles                 | 22                      |
| Preparación bebida | Borra                     | 22                      |
| Pérdida acumulada  |                           | 924                     |

Fuente. Elaboración Propia

Los resultados de la composición mineralógica de las cenizas de cisco de café se presentan a continuación en la tabla 4.

Tabla 4.  
Composición mineralógica cenizas de cisco de café

| <b>Fase</b> | <b>No. Tarjeta pdf n°</b> | <b>Nombre</b> | <b>Cuantitativo<br/>(en % peso)</b> |        |
|-------------|---------------------------|---------------|-------------------------------------|--------|
|             | Ca (CO <sub>3</sub> )     | 010-78-3262   | Calcita                             | 68.40% |
| Cristalino  | Ca (CO <sub>3</sub> )     | 010-80-2804   | Calcita                             | N.C    |
|             | Si O <sub>2</sub>         | 010-89-8936   | Cuarzo alfa                         | 31.60% |
|             | C                         | 000-08-0415   | Grafito                             | *N.C   |

Nota: N.C = No cuantificable (debido a su baja concentración)

\*N.C = No cuantificable (la fase no presenta un modelo en la base de datos)

Fuente: Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)

De la tabla 4 se puede evidenciar que el 100% del material de cenizas de cisco de café es cristalino, con la calcita como fase dominante. Realizando una breve comparación con la

composición mineralógica del cisco de café la cual se encuentra en el anexo 1, se puede determinar que el cambio en la composición mineralógica de cisco a ceniza es muy significativo, ya que la gran mayoría de la materia del cisco de café es amorfo y muy poco cristalino en cambio en las cenizas de cisco de café el estado totalmente dominante es el cristalino.

#### **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 2).

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (Figura 3), seguidamente se molturaron por vía seca en el molino de martillos (Figura 4), y finalmente el material molido se le realizó un proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (Figura 5), 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 cenizas de cisco de café. 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 6) 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 7) con calentamiento eléctrico, sometiendo cada bloque a temperaturas de cocción de 1000°C.

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



Figura 2. Extrusora de laboratorio con vacío

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)



Figura 3. Apisonador de la Arcilla (Trituración)

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)



Figura 4. Molino de martillos (Molienda vía seca)

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)



Figura 5. Tamiz malla 10 (Tamizado)

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)



Figura 6. Estufa de 128 litros.

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)



Figura 7. Horno mufla

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)

### **4.3 Ensayos Realizados**

#### **4.3.1 Análisis Físico-Cerámico**

##### **Objeto**

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

##### **Equipos**

Extrusora (Figura 2)

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

Estufa de secado (Figura 6)

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

##### **Pie de Rey**

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.



Figura 8. Pie de Rey digital de 200 mm

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)

### **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 8), y pesar con balanza digital (Figura 9), 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***

##### **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 6)**

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

#### **Balanza**

Balanza, con precisión 0,1 g.



Figura 9. Balanza digital de 20 kg

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)

#### **Tanque de absorción**

Equipo para determinar la absorción de agua por inmersión, está fabricado en plástico, con apoyos inferiores que permiten la libre circulación del agua por todas las caras, evitando que cualquiera de sus caras quede apoyado 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 10. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión.  
Fuente. S.f. (2022)

### **Termohigrómetro**

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



Figura 11. Termohigrómetro EXTECH  
Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)

### **Reactivos y/o Materiales**

Agua destilada o desionizada

Paño absorbente

Paño de limpieza

Brocha o cepillo duro

Marcador para rotular

### **Procedimiento**

#### **Preparación de los especímenes de ensayo**

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

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

#### **Secado de los especímenes**

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

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

#### **Aplicación del ensayo**

Cuando los especímenes se han enfriado en el cuarto hasta mantener la temperatura de 24

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

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

Finalmente se prepara el paño absorbente humectándolo y exprimiéndolo a mano, se coloca sobre una superficie plana y suavemente se seca cada lado de los especímenes uno a la vez. Inmediatamente después de este procedimiento, se pesa cada espécimen  $m_4$  y se registra los resultados, en la hoja de ensayo el valor de  $m_4$  se registra como masa húmeda del espécimen en el reporte interno.

### ***4.3.3 Determinación de la Resistencia Mecánica a la Compresión en Unidades de Mampostería***

#### **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 8)**

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.

##### **Crometro o Prensa de Flexión**

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



Figura 12. Crometro (Prensa de presión)

Fuente. Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (2021)

### **Materiales**

Paño de limpieza

Brocha o cepillo duro para limpiar el Crometro

Marcador para rotular

### **Procedimiento**

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

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

Se debe aplicar la carga con una velocidad adecuada hasta la mitad de la máxima esperada de

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

#### **4.4 Normas Aplicadas**

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

**NTC 4205:2000.** Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos 200-10-25.

#### **Propiedades Físicas.**

##### **Absorción de agua**

Las unidades de mampostería de arcilla cocida, ensayadas según el procedimiento descrito en la NTC 4017 (ASTM C67), deben cumplir con los requisitos de absorción de agua en 24 h de inmersión (promedio y máximo individual) que se da en la tabla 5 y 6.

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

Si debido a 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 expuestas 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 5 y 6, cuando se ensayan según el promedio descrito en la NTC 4017.

Tabla 5.  
Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural

| Tipo | Resistencia mínima ala<br>compresión<br>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   |

Fuente. Norma NTC 4017 (2005)

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 6.  
Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

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

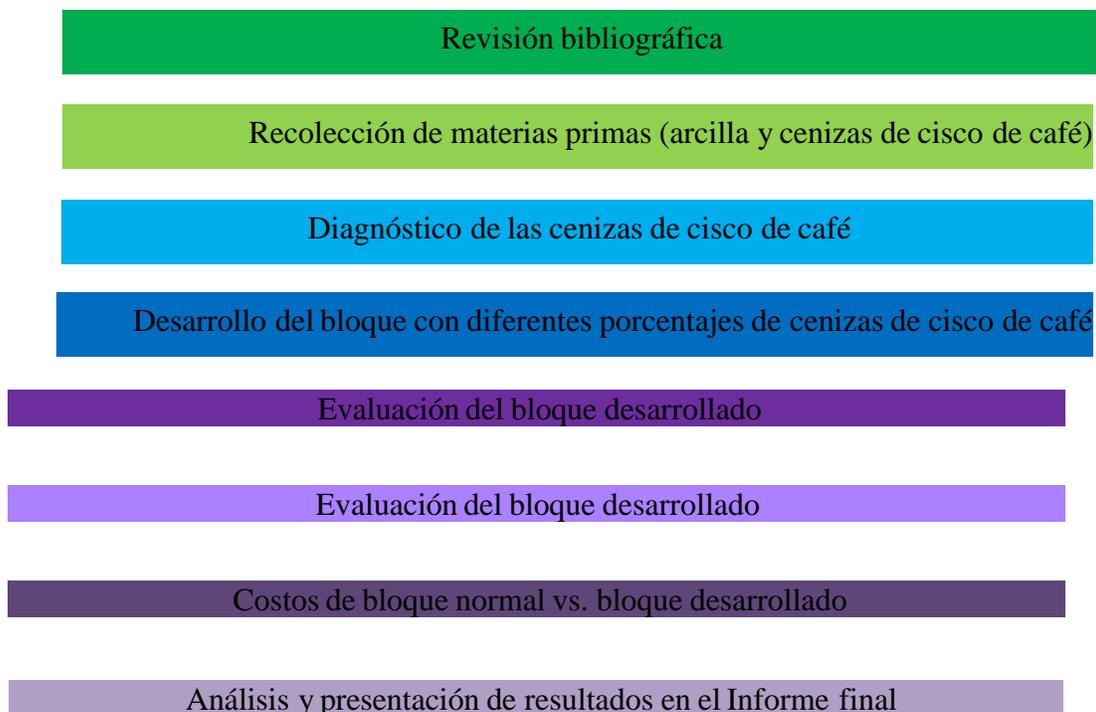
*Fuente. Norma NTC 4017 (2005)*

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. Informe Final

La metodología que se desarrolló en el trabajo investigativo se presenta en la siguiente figura, y se describe a continuación:

### Metodología desarrollada en el proyecto



### 5.1 Diagnóstico del Sector del Nutriente Tecnológico

El departamento de Norte de Santander está conformado por 40 municipios de los cuales 36 se dedican a la caficultura. En 2014 se registraron 37.996 hectáreas sembradas en café en 36 mil fincas propiedad de 31.107 caficultores. Del total sembrado en cultivos de café, el 87% son cultivos tecnificados y el 13% restante cultivos tradicionales; así mismo, de los cultivos tecnificados el 22% son envejecidos y el 78% jóvenes. Según la variedad, el 70% de los cultivos está en variedades resistentes y el restante 30% en susceptibles. (Federación Nacional de Cafeteros en Colombia; 2014).

De las 37.996 hectáreas sembradas de café se obtienen aproximadamente 22 sacos de café por hectárea lo que nos daría 835.912 sacos de café, cada saco de café tiene un peso de 70kg lo que nos daría 58.513.840kg de café sembrados en el departamento de Norte de Santander.

De un kilo de café se obtienen aproximadamente entre 200 a 250 gramos de cisco de café, al quemarse 100g de cisco de café se obtienen 9,7g de cenizas de cisco de café lo que nos daría que por un kilo de café se obtienen aproximadamente entre 19,4 a 24,25 gramos de cenizas de cisco de café.

La zona cafetera del norte de Santander está comprendida por la zona geográfica comprendida entre los 6°56'42" y 09°18'01" de latitud norte y los 72°01'13" y 73°38'25" de longitud oeste, en la figura 13 se presenta el mapa cafetero de este departamento. Está conformada por 36 de los 40 municipios del departamento ubicados entre 220 m y 2.465 m de altitud: Abrego, Arboledas, Bochalema, Bucarasica, Cáchira, Cacota, Chinácota, Chitagá, Convención, Cúcuta, Cucutilla, Durania, El Carmen, El Tarra, El Zulia, Gramalote, Hacarí, Herrán, La Esperanza, La Playa, Labateca, Los Patios, Lourdes, Mutiscua, Ocaña, Pamplona, Pamplonita, Ragonvalia, Salazar, San Calixto, San Cayetano, Santiago, Sardinata, Teorama, Toledo, Villa del Rosario y Villacaro. (Caracterización de la calidad del café de norte de Santander; 2015).



La zona cafetera del departamento cuenta con una red meteorológica climática las cuales incluye tres estaciones principales manuales ubicadas en los municipios de Chinácota, Convención y Salazar y a su vez se tienen siete estaciones climáticas principales automatizadas, las cuales transfieren en tiempo cercano al real las condiciones climáticas de la zona cafetera del departamento. Algunas regiones de la zona cafetera se caracterizan por presentar las condiciones climáticas que se presentan en la Tabla 2. La precipitación varía entre 1.579 mm a 2.820 mm al año, con una temperatura que oscila entre 14,8°C y 31,1°C. La temperatura promedio de la zona cafetera se encuentra en 19,6°C, con valores mínimos de 17,3 y máximos de 25,7 °C; las diferencias de temperatura entre el día y la noche en promedio fue de 10,86 °C con un mínimo de 7,70 y un máximo de 12,3 °C, dependiendo de la época del año. La zona cafetera se caracteriza por presentar en promedio 1,33 meses secos durante el año, encontrándose zonas secas con períodos hasta de 6 meses. (Caracterización de la calidad del café de norte de Santander; 2015).

Según la (Caracterización de la calidad del café de norte de Santander; 2015) las épocas de cosecha en el departamento se encuentran definida por un período de déficit hídrico en los meses Marzo y abril, lo que motiva un proceso de floraciones concentradas que motivan la cosecha en el segundo semestre entre los meses de octubre, noviembre y diciembre. A excepción de los municipios de Tibú, Sardinata, Abrego (parte), Bucarasica, Lourdes, El Zulia, Villa Caro, Gramalote, Santiago, Salazar, Durania (parte), Bochalema (parte), Arboledas y Cucutilla. donde la época de cosecha se concentra en los meses de marzo a junio.

### **Cosecha y Postcosecha del Café**

Según la (Caracterización de la calidad del café de norte de Santander; 2015) la cosecha y postcosecha del café en el departamento se da de la siguiente manera.

**Recolección:** Las actividades de procesamiento del grano que desarrolla el caficultor en el

departamento de Norte de Santander, se caracteriza por presentar tiempos entre la recolección y beneficio que oscilan entre 1,0 hora hasta 24 horas.

**Beneficio:** El beneficio del café son todas las actividades que se realizan a los frutos de café recolectados para transformarlos en café pergamino seco y poderlo comercializar. En Norte de Santander, el 94,3% realiza un tipo de beneficio tradicional que incluye el proceso de recolección, despulpado, fermentación, lavado y secado. Para el tiempo de fermentación que depende de muchas variables, se registra una duración de 12 horas hasta 30 horas. Sólo el 5,68% utiliza el módulo BECOLSUB para desmucilaginar mecánicamente. Adicionalmente, el 60% de los caficultores de Norte de Santander, realizan clasificación manual de su café, el 28% utiliza zaranda para clasificar por tamaño los granos de café despulpado, el 10% utilizan las dos alternativas, es decir, después de clasificar por tamaño con la zaranda nuevamente lo seleccionan de forma manual. Solamente el 3,2% hacen procesos de clasificación de forma hidráulica cuando lavan el café después de la fermentación, el número de lavadas que se realiza es de 3 a 4 con el 83% para obtener el café lavado y llevarlo a secado.

**Secado del Café:** Para obtener los granos de café en una humedad estable y que no perjudique su calidad e inocuidad, es necesario aplicar calor para disminuir este valor a un rango establecido de 10 al 12%. En Norte de Santander el 67% de los caficultores utilizan combinaciones de secado al sol en el patio, el 24% combinan el patio y el empleo de marquesinas, en menor proporción están el empleo de secadores parabólicos y el empleo de silos mecánicos con el 6,81% y el 1,13% respectivamente. (Caracterización de la calidad del café de norte de Santander; 2015)

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, FNC, vio la necesidad de dividir el área cafetera en agrupaciones similares por clima, suelo y relieve, a estas agrupaciones se les

denomino ecotopos. Un Ecotopo por definición "es una región agroecológica delimitada geográficamente, teniendo en cuenta condiciones predominantes de clima, suelo y relieve donde se obtiene una respuesta biológica similar del cultivo del café; por tanto, debería tener un sistema específico de uso y manejo". En el departamento de Norte de Santander se diferenciaron seis (6) Ecotopos cafeteros: 301A, 301B, 302A, 302B, 303B, 304B, distribuidos en toda la geografía del departamento (figura 14), los cuales describen las condiciones climáticas, las unidades de suelo, el área de cobertura y la extensión de la zona cafetera. Las particularidades de cada Ecotopo Cafetero presentes en el departamento de Norte de Santander se presentan en la Tabla 7. (Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. V; 1991)

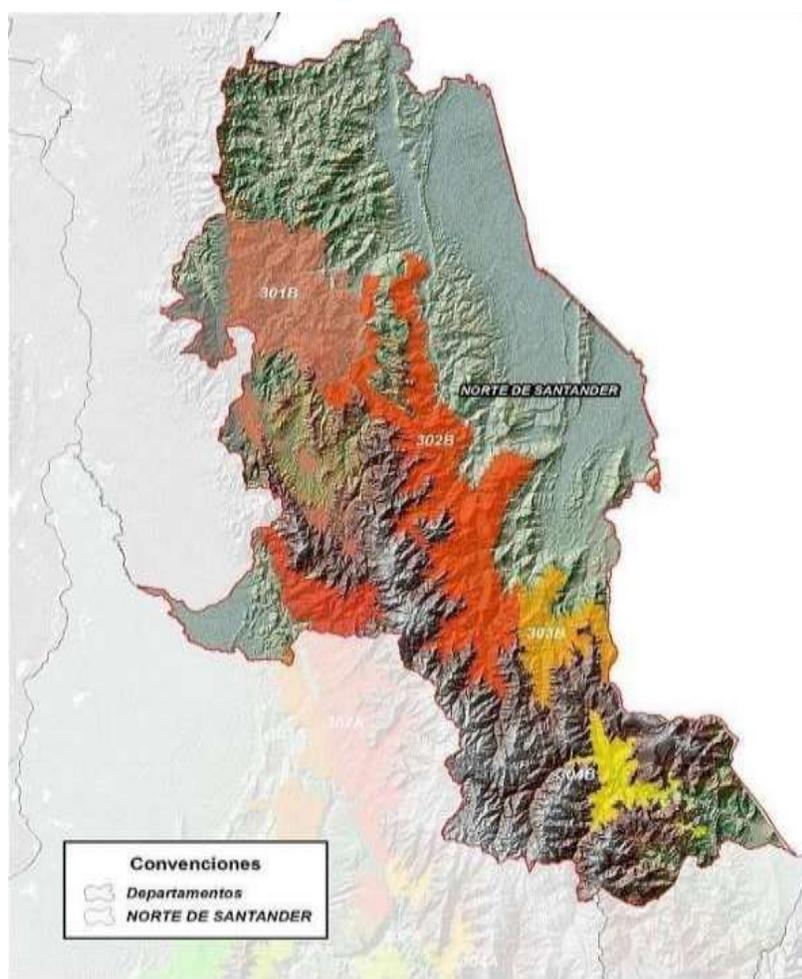


Figura 14. Ecotopos Cafeteros Norte de Santander  
Fuente. Adaptado de Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. V (1991)

Tabla 7.  
Características predominantes de ecotopos para el departamento de Norte de Santander (1)

| Ecotopo y Área (ha)                                     | Localización                  | Clima   | Suelos  | Caficultura  |
|---|-------------------------------|---|---|--|
| 301A  | Cuenca del Río Cesar.         | Lluvia anual: 1.300   | Sedimentarios   | Con Sombrío.   |
| ÁREA ENCA F É:<br>25.873<br>hectáreas<br><br>(SICA2014) | Municipios: El Carmen (parte) | - 1.600 mm.<br>Disminuye de diciembre a marzo y en julio - agosto, con déficit hídrico en el suelo.<br>Zona seca. | (arcillotitas, areniscas, calizas); Eutropepts, Tropudalfs y Ustropepts. Suelos superficiales profundos, texturas arcillosas, escasa materia orgánica, fertilidad natural media a baja, sectores de pH superior a 7.0, topografía fuertemente ondulada a abrupta, pendientes del 25% a más del 75%, altamente susceptibles a la erosión | Existen veredas y concentradas de café y fincas con acafetales a plena exposición solar con riego. Épocas de cosecha: Octubre - noviembre - diciembre. |

| Ecotopo y Área (ha)     | Localización   | Clima  | Suelos  | Caficultura   |
|-------------------------|--|--|---|---|
| 301B                    | Cuenca del Rio<br>Catatumbo.   | Lluvia anual:<br>1.300   | Granito<br>Feldespático:  | Con sombrío y<br>dispersa. Épocas de                          |
| ÁREA ENCA F É:<br>7.543 | Municipios: El<br>Carmen (parte),<br>Convención,<br>Teorama, El<br>Tarra, San<br>Calixto, Hacarí,<br>Ocaña, La Playa y<br>Abrego<br>(parte). | - 1.700 mm<br>disminuye desde<br>noviembre hasta<br>marzo y en junio-<br>julio, con<br>déficit hídrico en<br>el suelo de<br>diciembre a marzo. | Unidad<br>Troporthents.<br>Suelos<br>superficiales,<br>arenosos,<br>cascajosos,<br>topografía<br>escarpada,<br>pendientes<br>mayores del 75% y<br>longitudes largas,<br>altamente<br>susceptibles a la<br>erosión Areniscas<br>de grano fino:<br>Unidad<br>Cartagenita,<br>Troporthents y<br>Dystrope<br>pts. Suelos<br>superficiales a<br>cascajosos con<br>pedregosidad sobre<br>y a través del perfil,<br>texturas arcillosas<br>y arcillo<br>cascajosas,<br>topografía plana a<br>fuertemente<br>ondulada<br>(pendientes del<br>25% al 60%)<br>alternando con | norte, cosecha: octubre -<br>noviembre -<br>diciembre –enero. |

| Ecotopo y Área (ha)                           | Localización   | Clima  | Suelos   | Caficultura  |
|---|--|--|--|--|
|   |  |  | sectores abruptos (100% pendientes), suelos altamente susceptibles a la erosión.   |  |
| 302A  | Cuenca del Río Magdalena,  | Lluvia anual: 1.400 - 1.800 mm.  | Cuarzodiorita  | Con Sombrío, dispersa en la franja de 800 a 1.700 metros de elevación. |
| ÁREA ENCA F É:<br>1.358 hectáreas (SICA 2014) | subcuencas de los ríos Suratá, Cáchira del Sur hasta la Quebrada Los Fríos de la cuenca del Río Sogamoso. Municipio: Cáchira | Disminuye entre diciembre y febrero y en junio a agosto, con déficit hídrico en el suelo en julio. | Unidades Cruz y Gnesis Muscovítico, biotítico: Unidades: Victoria, Paujil. Troporthents Dystropepts; regulares condiciones físicas, fertilidad superficial a profundas de texturas arenosas - cascajosas, topografía abrupta, pendientes superiores al 75% y altamente | Épocas de cosecha: La yubre - noviembre-diciembre.                     |

| Ecotopo y Área (ha) | Localización | Clima | Suelos                     | Caficultura |
|---------------------|--------------|-------|----------------------------|-------------|
|                     |              |       | susceptibles a la erosión. |             |

Tomado de Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. V. (1991)

Tabla 8.

Características predominantes de ecotopos para el departamento de Norte de Santander (2)

| Ecotopo y Área (ha)     | Localización   | Clima  | Suelos   | Caficultura   |
|-------------------------|--|--|--|---|
| 302B                    | Cuenca del Río                                       | Lluvia anual: 1.700 – 2.200 mm. Disminuye de enero a marzo y de junio a agosto, con déficit hídrico en el suelo. En las cuencas del Río Salazar y de la Cucutilla, Zulia | Granito de Unidad Muscoviticos: Gneiss: Victoria. Troporthennts Dystropepts. Suelos mediana a superficial, arenosos-riegos, escasos a medio de materia orgánica,           | Feldespático: Con sombrero y Esquistos muy dispersa. Algunos sectores con y cafetales al sol (Gramalote, Lourdes) con Épocas cosecha : marzo a junio. |
| ÁREA EN CAFÉ : 13.576 h | Catatumbo. Sucuencas los Sardinata, Cucutilla, Zulia | Quebrada Zulia se registran lluvias de 2.700 mm. Estas disminuyen en enero-enero-cascajosos, febrero y junio-julio, con déficit hídrico en el suelo.                     | En Santiago no hay café. 75%, altamente susceptibles a la erosión. Areniscas de grano fino: Unidad Cartagenita.  | En Santiago no hay café. 75%, altamente susceptibles a la erosión. Areniscas de grano fino: Unidad Cartagenita.                                       |
|                         |  |  | Pizarras: Unidad la Laguna, Troporthents y Ustropepts y Dystropepts. Suelos superficiales, arcillosos a arcillo-cascajosos, pedregosidad sobre y a través del perfil, baja |   |

| Ecotipo y Área (ha)                                     | Localización  | Clima  | Suelos   | Caficultura   |
|---|---|--|--|---|
|   |   |  | fertilidad natural, topografía de fuertemente ondulada a abrupta con pendientes del 25% y 70%), altamente susceptible a la erosión.  |   |
| 303B<br>ÁREA EN CAFÉ<br>: 2.990 hectáreas<br>(SICA2014) | Cuencas de los Pamplonita y Táchira. Municipios: San Cayetano, Cúcuta, del Rosario, Los Pataos, Durania (parte), Chinacotá, Bochalema (parte), Ragonvalia, Herrán y Pamplonita. | Lluvia anual: 1.400 – 1.500 mm. Disminuye de diciembre a marzo y junio a agosto. Zonas más secas: 1.000- 1.300 mm, disminuyen desde noviembre hasta marzo. | Areniscas: Mutis y Pizarras; Laguna, Ustrophepts Ustorthents. Suelos superficiales, arcillosos, pedregosidad sobre y a través del perfil, escasa capacidad de retención de humedad, escaso contenido de materia orgánica, topografía plana a fuertemente ondulada (pendientes 12% a 60%), altamente susceptibles a la erosión. Esquistos Muscovíticos: Gneiss: Troporthennts y Dystrophepts. Suelos superficiales franco-arcillosos-cascajosos, bajo contenido de materia orgánica, topografía abrupta, pendientes superiores al 75% y altamente | la Con sombrero y dispersa. Épocas de cosecha: Octubre-noviembre-diciembre-enero. |

| Ecotopoy<br>Área (ha) | Localización                              | Clima  | Suelos  | Caficultura                            |
|-----------------------|---|--|---|--|
|                       |   |  | susceptibles a la erosión.  |  |
| 304B                  | Cuenca del río Margua,                    | Lluvia anual: 1.000 – 1.400 mm. Disminuye de diciembre a marzo, con déficit hídrico en el suelo. | Areniscas y Trophents Dystropepts. Suelos superficiales                           | Con sombrero y dispersa. Épocas de     |
| ÁREA EN CAFÉ          | subcuencas de los ríos Chitagá y Valegra. | Piedemonte Llanero, cuenca del Río   | na profundidad, fertilidad natural, arcillosos, topografía abrupta, superiores al | media cosecha: octubre baja- noviembre |
| 2.901                 |   |  |   |  |

Tomado de Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. V. (1991)

Tabla 9.

Características predominantes de ecotopos para el departamento de Norte de Santander (3)

| Ecotopoy<br>Área (ha) | Localización                           | Clima   | Suelos                                   |
|-----------------------|--|---|--|
| hectáreas (SICA2014)  | Municipios: Toledo, Labateca, Chitagá. | Margua, se registran lluvias de 5.000 mm (Campohermoso, Toledo); disminuyen de diciembre a febrero. | 75%, altamente susceptibles a la erosión |

Tomado de Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. V. (1991)

## 5.2 Desarrollo del bloque H-10 utilizando diferentes porcentajes del nutriente a nivel de laboratorio

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

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

porcentajes:

Tabla 10.  
Mezclas elaboradas y ensayadas

| <b>Mezcla</b> | <b>Cenizas de cisco de café</b> | <b>Arcilla</b> |
|---------------|---------------------------------|----------------|
| <b>M1</b>     | 2,5%                            | 97,50%         |
| <b>M2</b>     | 5%                              | 95%            |
| <b>M3</b>     | 7,5%                            | 92,50%         |

Fuente. Elaboración propia.

### **Elaboración de bloques**

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

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

Tabla 11.  
Resultados de Análisis Físico cerámico

|   | <b>Ensayo</b>                    | <b>Resultado</b> | <b>Incertidumbre (<math>\mu</math>)</b> |
|---|----------------------------------|------------------|---|
| Análisis físico cerámico extruido (AFE) | Contracción en cocido (%CC)      | 3,00 %           | $\pm 0,01$                              |
|   | Perdidas de masas cocida (% PMC) | 3,97 %           | $\pm 0,02$                              |
|   | Peso Cocido (g)                  | 122,36 g         | $\pm 0,05$                              |

Fuente. Elaboración propia

El ensayo de absorción de agua se realizó por triplicado basado en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017, obteniendo así los siguientes resultados en las tablas 12, 13 y 14.

Tabla 12.  
Resultado A1

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

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 13.  
Resultado A2

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

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 14.  
Resultado A3

| <b>Espécimen N°</b> | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen (g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>            | 118,42                             | 131,5                                | 11,0                             |

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

Fuente. Elaboración propia.

El ensayo de resistencia mecánica a la compresión se realizó por triplicado basado en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017, obteniendo los siguientes resultados en las tablas 15, 16 y 17.

Tabla 15.  
Resultado R1

| <b>Espécimen 1N°</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>Resistenciaa la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---|---|--|
| <b>1</b>             | 74,84                           | 26,53                           | 46,62                          | 1985,5  | 19,86   | 681,48                                      | 34,32  |
| <b>2</b>             | 75,65                           | 26,47                           | 47,21                          | 2002,5  | 20,02   | 631,50                                      | 31,54  |
| <b>3</b>             | 74,92                           | 26,65                           | 45,37                          | 1996,6  | 19,97   | 509,52                                      | 25,52  |
| <b>4</b>             | 72,74                           | 26,69                           | 46,02                          | 1941,4  | 19,41   | 595,02                                      | 30,65  |
| <b>5</b>             | 73,49                           | 26,53                           | 47,17                          | 1949,7  | 19,50   | 739,58                                      | 37,93  |
| Promedio             | 74,33                           | 26,57                           | 46,48                          | 1.975,14  | 19,75   | 631,42                                      | 31,99  |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16.  
Resultado R2

| 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) | Resistenciaa 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   |
| Promedio     | 74,46                    | 26,31                    | 47,26                   | 1.959,17                                   | 19,59                                      | 626,44                               | 31,95   |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 17.  
Resultado R3

| 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) | Resistenciaa 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   |
| Promedio     | 77,59                    | 26,45                    | 46,96                   | 2.051,34                                   | 20,51                                      | 612,81                               | 30,22   |

Fuente. Elaboración propia.

Se realizó el análisis físico cerámico para la mezcla M1 que contiene un 2.5% de cenizasde

cisco de café, se determinó el porcentaje de absorción de agua y su resistencia mecánica a la compresión, para poder comparar los resultados con las mezclas desarrolladas.

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron.

Tabla 18.  
Resultados de Análisis Físico cerámico

| <b>Ensayo</b>                                     | <b>Resultado</b> | <b>Incertidumbre(<math>\mu</math>)</b> |
|---|------------------|--|
| Contracción en seco(%CS                           |                  |  |
|   | 5.60%            | $\pm 0,02$                             |
| Contracción encocado<br>(%CC)                     |                  |  |
| Análisis-físico<br>cerámico por<br>Extruido (AFE) | 1.3%             | $\pm 0,02$                             |
| Perdidas de masascocida (%<br>PMC)                |                  |  |
|   | 4.99%            | $\pm 0,04$                             |
| Peso húmedo (g)                                   | 157.50g          | $\pm 0,07$                             |
| Peso seo (g)                                      | 130.65g          | $\pm 0,07$                             |
| Peso Cocido (g)                                   | 124.12g          | $\pm 0,07$                             |

Fuente. Elaboración propia.

Ensayo de absorción de agua para la mezcla M1, obteniendo así los siguientes resultados en las tablas 19, 20 y 21:

Tabla 19.  
Resultado A1

| <b>Espécimen N°</b>    | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen (g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>               | 124.16                             | 137.17                               | 10.5                             |
| <b>2</b>               | 123.32                             | 135.88                               | 10.2                             |
| <b>3</b>               | 123.01                             | 134.82                               | 9.6                              |
| <b>4</b>               | 122.28                             | 135.11                               | 10.5                             |
| <b>5</b>               | 125.31                             | 138.08                               | 10.2                             |
| Promedio de la muestra | 123.6                              | 136.2                                | 10.2                             |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 20.  
Resultado A2

| <b>Espécimen N°</b>    | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen (g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>               | 121.40                             | 134.04                               | 10.4                             |
| <b>2</b>               | 119.60                             | 132.42                               | 10.7                             |
| <b>3</b>               | 123.39                             | 136.35                               | 10.5                             |
| <b>4</b>               | 126.19                             | 139.36                               | 10.4                             |
| <b>5</b>               | 121.18                             | 132.73                               | 9.5                              |
| Promedio de la muestra | 122.4                              | 135.0                                | 10.3                             |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 21.  
Resultado A3

| <b>Espécimen N°</b>    | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen (g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>               | 123.53                             | 135.63                               | 9.8                              |
| <b>2</b>               | 119.60                             | 131.64                               | 10.1                             |
| <b>3</b>               | 123.61                             | 137.57                               | 11.3                             |
| <b>4</b>               | 120.07                             | 132.61                               | 10.4                             |
| <b>5</b>               | 126.12                             | 140.32                               | 11.3                             |
| Promedio de la muestra | 122.6                              | 135.6                                | 10.6                             |

Fuente. Elaboración propia

Ensayo de resistencia mecánica a la compresión para la mezcla M1, obteniendo los siguientes resultados en las tablas 22, 23 y 24.

Tabla 22.  
Resultado R1

| <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> |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---|---|---|
| <b>1</b>            | 76.59                           | 26.55                           | 47.86                          | 2033.5  | 20.33   | 356.90                                      | 17.55   |
| <b>2</b>            | 75.82                           | 26.49                           | 48.03                          | 2008.5  | 20.08   | 283.50                                      | 14.12   |
| <b>3</b>            | 75.60                           | 27.91                           | 47.48                          | 2110.0  | 21.10   | 258.10                                      | 12.23   |
| <b>4</b>            | 75.76                           | 26.60                           | 47.90                          | 2015.2  | 20.15   | 496.00                                      | 24.61   |
| <b>5</b>            | 77.55                           | 27.66                           | 47.85                          | 2145.0  | 21.45   | 351.30                                      | 16.38   |
| Promedio            | 76.26                           | 27.04                           | 47.82                          | 2,062.44  | 20.62   | 349.16                                      | 16.98   |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 23.  
Resultado R2

| <b>Espécimen N.º</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                    | 77.64                           | 26.17                           | 47.59                          | 2031.8  | 20.32   | 219.70                                      | 10.81   |
| 2                    | 76.57                           | 26.23                           | 47.93                          | 2008.4  | 20.08   | 343.80                                      | 17.12   |
| 3                    | 75.19                           | 27.14                           | 47.47                          | 2040.7  | 20.41   | 331.80                                      | 16.26   |
| 4                    | 76.47                           | 26.86                           | 47.41                          | 2054.0  | 20.54   | 281.30                                      | 13.70   |
| 5                    | 76.34                           | 26.07                           | 47.66                          | 1990.2  | 19.90   | 222.60                                      | 11.18   |
| Promedio             | 76.44                           | 26.49                           | 47.61                          | 2,025.02  | 20.25   | 279.84                                      | 13.81   |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 24.  
Resultado R3

| <b>Espécimen N.º</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                    | 79.13                           | 26.99                           | 47.37                          | 2135.7  | 21.36   | 383.20                                      | 17.94   |
| 2                    | 75.80                           | 26.24                           | 47.64                          | 1989.0  | 19.89   | 211.70                                      | 10.64   |
| 3                    | 76.19                           | 26.71                           | 47.83                          | 2035.0  | 20.35   | 337.60                                      | 16.59   |
| 4                    | 75.43                           | 26.48                           | 47.74                          | 1997.4  | 19.97   | 350.00                                      | 17.52   |
| 5                    | 78.64                           | 26.48                           | 47.99                          | 2082.4  | 20.82   | 191.40                                      | 9.19  |
| Promedio             | 77.04                           | 26.58                           | 47.71                          | 2,047.90  | 20.48   | 294.78                                      | 14.38   |

Fuente. Elaboración propia

Se realizó el análisis físico cerámico para la mezcla M2 que contiene un 5% de cenizas de cisco de café, se determinó el porcentaje de absorción de agua y su resistencia mecánica a la compresión, para poder comparar los resultados con las mezclas desarrolladas. A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron.

Tabla 25.  
Resultados de Análisis Físico cerámico

| Ensayo  | Resultado                                 | Incertidumbre( $\mu$ ) |            |
|---|---|------------------------|------------|
| Análisis físico<br>cerámico por Extruido<br>(AFE) | Contracción<br>en seco<br>(%CS)           | 4.7%                   | $\pm 0,03$ |
|   | Contracción<br>en<br>cocido<br>(%CC)      | 1.38%                  | $\pm 0,03$ |
|   | Perdidas<br>de masas<br>cocida (%<br>PMC) | 5.92%                  | $\pm 0,05$ |
|   | Peso<br>húmedo<br>(g)                     | 154.15g                | $\pm 0,04$ |
|   | Peso seco<br>(g)                          | 128.70g                | $\pm 0,04$ |
|   | Peso<br>Cocido (g)                        | 121.08g                | $\pm 0,04$ |

Fuente. Elaboración propia

Ensayo de absorción de agua para la mezcla M2, obteniendo así los siguientes resultados en las tablas 26, 27 y 28.

Tabla 26.  
Resultado A1

| <b>Espécimen N°</b>    | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen(g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>               | 115.64                             | 127.68                              | 10.4                             |
| <b>2</b>               | 115.35                             | 127.94                              | 10.9                             |
| <b>3</b>               | 121.13                             | 134.05                              | 10.7                             |
| <b>4</b>               | 114.52                             | 126.30                              | 10.3                             |
| <b>5</b>               | 119.09                             | 131.57                              | 10.5                             |
| Promedio de la muestra | 117.1                              | 129.5                               | 10.6                             |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 27.  
Resultado A2

| <b>Espécimen N°</b>    | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen(g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>               | 113.24                             | 123.72                              | 9.3                              |
| <b>2</b>               | 123.06                             | 135.90                              | 10.4                             |
| <b>3</b>               | 118.30                             | 130.53                              | 10.3                             |
| <b>4</b>               | 119.13                             | 130.98                              | 9.9                              |
| <b>5</b>               | 118.67                             | 129.82                              | 9.4                              |
| Promedio de la muestra | 118.5                              | 130.2                               | 9.9                              |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 28.  
Resultado A3

| <b>Espécimen N°</b>    | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen (g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>               | 117.04                             | 127.92                               | 9.3                              |
| <b>2</b>               | 118.51                             | 131.01                               | 10.5                             |
| <b>3</b>               | 121.47                             | 134.94                               | 11.1                             |
| <b>4</b>               | 123.08                             | 135.19                               | 9.8                              |
| <b>5</b>               | 119.23                             | 131.11                               | 10.0                             |
| Promedio de la muestra | 119.9                              | 132.0                                | 10.1                             |

Fuente. Elaboración propia

Ensayo de resistencia mecánica a la compresión para la mezcla M2, obteniendo los siguientes resultados en las tablas 29, 30 y 31.

Tabla 29.  
Resultado R1

| <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> |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---|---|---|
| <b>1</b>            | 79.92                           | 26.23                           | 47.23                          | 2096.3  | 20.96   | 370.10                                      | 17.65   |
| <b>2</b>            | 75.10                           | 26.50                           | 47.02                          | 1990.2  | 19.90   | 495.80                                      | 24.91   |
| <b>3</b>            | 80.15                           | 26.81                           | 47.41                          | 2148.8  | 21.49   | 372.60                                      | 17.34   |
| <b>4</b>            | 77.12                           | 26.24                           | 47.15                          | 2023.6  | 20.24   | 470.20                                      | 23.24   |
| <b>5</b>            | 73.77                           | 26.33                           | 47.13                          | 1942.4  | 19.42   | 254.30                                      | 13.09   |

| <b>Espécimen</b><br><b>Nº</b> | <b>Largo del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Ancho del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Alto del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Área neta</b><br><b>del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Área neta</b><br><b>del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Carga de</b><br><b>rotura por</b><br><b>compresión</b><br><b>(kgf)</b> | <b>Resistencia</b><br><b>a la</b><br><b>compresión</b><br><b>(kgf/cm<sup>2</sup>)</b> |
|-------------------------------|---|---|--|---|---|---|---|
| Promedio                      | 77.21   | 26.42   | 47.19  | 2,040.25  | 20.40   | 392.60  | 19.25   |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 30.  
Resultado R2

| <b>Espécimen</b><br><b>Nº</b> | <b>Largo del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Ancho del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Alto del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Área neta</b><br><b>del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Área neta</b><br><b>del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Carga de</b><br><b>rotura por</b><br><b>compresión</b><br><b>(kgf)</b> | <b>Resistencia</b><br><b>a la</b><br><b>compresión</b><br><b>(kgf/cm<sup>2</sup>)</b> |
|-------------------------------|---|---|--|---|---|---|---|
| <b>1</b>                      | 74.72   | 26.28   | 47.47  | 1963.6  | 19.64   | 480.80  | 24.49   |
| <b>2</b>                      | 76.25   | 26.65   | 47.25  | 2032.1  | 20.32   | 496.40  | 24.43   |
| <b>3</b>                      | 80.27   | 26.46   | 47.69  | 2123.9  | 21.24   | 440.70  | 20.75   |
| <b>4</b>                      | 77.44   | 26.04   | 46.94  | 2016.5  | 20.17   | 393.80  | 19.53   |
| <b>5</b>                      | 74.20   | 25.97   | 47.19  | 1927.0  | 19.27   | 591.80  | 30.71   |
| Promedio                      | 76.58   | 26.28   | 47.31  | 2,012.63  | 20.13   | 480.70  | 23.98   |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 31.  
Resultado R3

| <b>Espécimen</b><br><b>Nº</b> | <b>Largo del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Ancho del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Alto del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm)</b> | <b>Área neta</b><br><b>del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Área neta</b><br><b>del</b><br><b>espécimen</b><br><b>(cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Carga de</b><br><b>rotura por</b><br><b>compresión</b><br><b>(kgf)</b> | <b>Resistencia</b><br><b>a la</b><br><b>compresión</b><br><b>(kgf/cm<sup>2</sup>)</b> |
|-------------------------------|---|---|--|---|---|---|---|
| 1                             | 75.14   | 26.18   | 47.45  | 1967.2  | 19.67   | 522.00  | 26.54   |
| 2                             | 75.29   | 25.89   | 47.26  | 1949.3  | 19.49   | 427.00  | 21.91   |
| 3                             | 74.75   | 25.60   | 47.07  | 1913.6  | 19.14   | 478.10  | 24.98   |
| 4                             | 75.81   | 25.88   | 47.48  | 1962.0  | 19.62   | 388.60  | 19.81   |
| 5                             | 78.34   | 26.52   | 47.04  | 2077.6  | 20.78   | 555.20  | 26.72   |
| Promedio                      | 75.87   | 26.01   | 47.26  | 1,973.91  | 19.74   | 474.18  | 23.99   |

Fuente. Elaboración propia

Se realizó el análisis físico cerámico para la mezcla M3 que contiene un 7.5% de cenizas de cisco de café, se determinó el porcentaje de absorción de agua y su resistencia mecánica a la compresión, para poder comparar los resultados con las mezclas desarrolladas.

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron.

Tabla 30.  
Resultados de Análisis Físico cerámico

| <b>Ensayo</b>            | <b>Resultado</b> | <b>Incertidumbre((<math>\mu</math>))</b> |
|--------------------------|------------------|--|
| Contracción en seco(%CS) | 4.4%             | $\pm 0,01$                               |

| <b>Ensayo</b>  | <b>Resultado</b>                  | <b>Incertidumbre((<math>\mu</math>))</b> |
|--|-----------------------------------|--|
| Análisis-físico<br>cerámico por Extruido<br>(AFE)<br>Perdidas de masascocida (% PMC) | Contracció<br>n encocado<br>(%CC) | 2.04%                                    |
|  |                                   | $\pm 0,01$                               |
|  |                                   | 5.96%                                    |
|  |                                   | $\pm 0,01$                               |
| Peso húmedo (g)  |                                   | 152.91g                                  |
|  |                                   | $\pm 0,02$                               |
|  | Peso seo<br>(g)                   | 125.11g                                  |
|  |                                   | $\pm 0,02$                               |
| Peso Cocido (g)  |                                   | 117.79g                                  |
|  |                                   | $\pm 0,02$                               |

Fuente. Elaboración propia

Ensayo de absorción de agua para la mezcla M3, obteniendo así los siguientes resultados en las tablas 31, 32 y 33:

Tabla 32.  
Resultado A1

| <b>Espécimen N°</b> | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen(g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>            | 121.22                             | 133.79                              | 10.4                             |
| <b>2</b>            | 119.88                             | 130.87                              | 9.2                              |

| <b>Espécimen N°</b>    | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen(g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>3</b>               | 123.87                             | 135.98                              | 9.8                              |
| <b>4</b>               | 122.71                             | 134.83                              | 9.9                              |
| <b>5</b>               | 118.33                             | 129.61                              | 9.5                              |
| Promedio de la muestra | 121.2                              | 133.0                               | 9.7                              |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 33.  
Resultado A2

| <b>Espécimen N°</b>    | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen (g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>               | 120.46                             | 132.73                               | 10.2                             |
| <b>2</b>               | 120.76                             | 132.41                               | 9.6                              |
| <b>3</b>               | 126.66                             | 140.17                               | 10.7                             |
| <b>4</b>               | 122.20                             | 134.02                               | 9.7                              |
| <b>5</b>               | 116.69                             | 127.83                               | 9.5                              |
| Promedio de la muestra | 121.4                              | 133.4                                | 9.9                              |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 34.  
Resultado A3

| <b>Espécimen N°</b> | <b>Masa seca del espécimen (g)</b> | <b>Masa húmeda del espécimen(g)</b> | <b>Absorción de agua (E) (%)</b> |
|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1</b>            | 123.54                             | 136.30                              | 10.3                             |

|                        |        |        |     |
|------------------------|--------|--------|-----|
| <b>2</b>               | 122.88 | 134.17 | 9.2 |
| <b>3</b>               | 119.78 | 130.49 | 8.9 |
| <b>4</b>               | 121.31 | 132.82 | 9.5 |
| <b>5</b>               | 123.02 | 133.68 | 8.7 |
| Promedio de la muestra | 122.1  | 133.5  | 9.3 |

Fuente. Elaboración propia

Ensayo de resistencia mecánica a la compresión para la mezcla M2, obteniendo los siguientes resultados en las tablas 35, 36 y 37.

Tabla 35.  
Resultado R1

| <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> |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---|---|---|
| <b>1</b>            | 75.43                           | 26.77                           | 46.99                          | 2019.3  | 20.19   | 393.20                                      | 19.47   |
| <b>2</b>            | 76.68                           | 26.05                           | 47.14                          | 1997.5  | 19.98   | 385.50                                      | 19.30   |
| <b>3</b>            | 78.78                           | 26.04                           | 47.68                          | 2051.4  | 20.51   | 555.00                                      | 27.05   |
| <b>4</b>            | 74.68                           | 26.67                           | 47.10                          | 1991.7  | 19.92   | 408.50                                      | 20.51   |
| <b>5</b>            | 76.03                           | 26.75                           | 47.43                          | 2033.8  | 20.34   | 457.40                                      | 22.49   |
| Promedio            | 76.32                           | 26.46                           | 47.27                          | 2,018.74  | 20.19   | 439.92                                      | 21.77   |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 36.  
Resultado R2

| <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> |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---|---|---|
| <b>1</b>            | 73.22                           | 25.81                           | 47.12                          | 1889.8  | 18.90   | 322.20                                      | 17.05   |
| <b>2</b>            | 79.22                           | 26.19                           | 47.28                          | 2074.8  | 20.75   | 655.10                                      | 31.57   |

| <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> |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---|---|---|
| 3                   | 78.32                           | 25.83                           | 47.00                          | 2023.0  | 20.23   | 327.60                                      | 16.19   |
| 4                   | 76.80                           | 26.06                           | 46.68                          | 2001.4  | 20.01   | 455.00                                      | 22.73   |
| 5                   | 78.13                           | 26.51                           | 47.05                          | 2071.2  | 20.71   | 660.70                                      | 31.90   |
| Promedio            | 77.14                           | 26.08                           | 47.03                          | 2,012.04  | 20.12   | 484.12                                      | 23.89   |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 37.  
Resultado R3

| <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                   | 76.40                           | 26.66                           | 46.64                          | 2036.8  | 20.37   | 351.80                                      | 17.27   |
| 2                   | 74.39                           | 26.48                           | 47.34                          | 1969.8  | 19.70   | 313.10                                      | 15.89   |
| 3                   | 77.96                           | 26.67                           | 47.71                          | 2079.2  | 20.79   | 315.40                                      | 15.17   |
| 4                   | 81.08                           | 26.66                           | 47.36                          | 2161.6  | 21.62   | 364.00                                      | 16.84   |
| 5                   | 77.98                           | 26.44                           | 47.51                          | 2061.8  | 20.62   | 508.70                                      | 24.67   |
| Promedio            | 77.56                           | 26.58                           | 47.31                          | 2,061.85  | 20.62   | 370.60                                      | 17.97   |

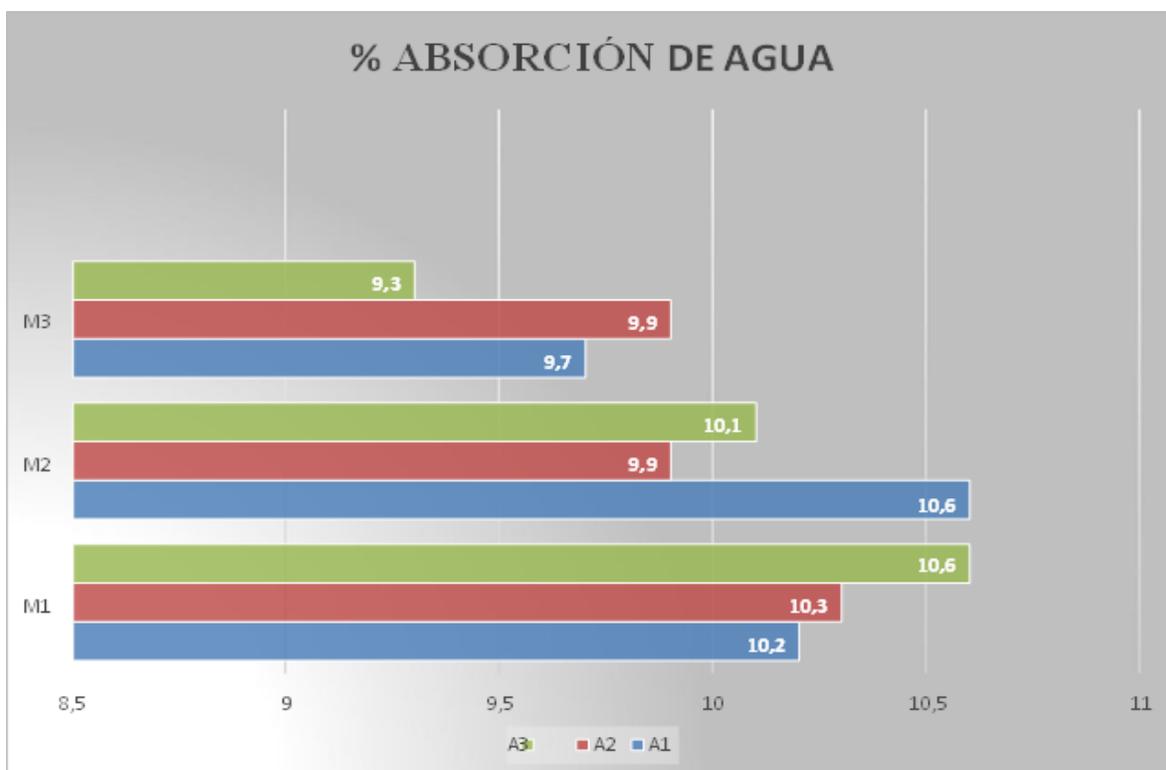
Fuente. Elaboración propia

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

En la gráfica 1 se puede apreciar los resultados de las absorciones de agua por triplicado para cada tipo de mezcla. Se puede observar que la mezcla con menores porcentajes es la M3 lo

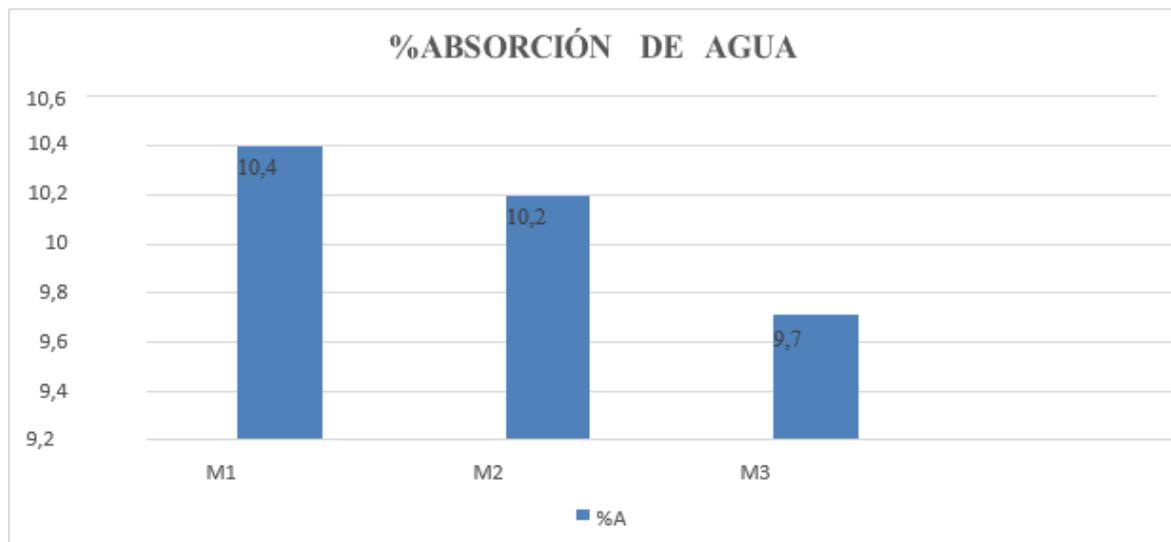
que nos dice que a mayor cantidad de cenizas de cisco de café menor es la absorción y la mezcla de mayores porcentajes es la M1 lo que nos indica que a menor cantidad de cenizas de cisco de café la absorción es mayor.

Gráfica 1.  
Absorción de Agua para M1, M2 Y M3



Fuente. Elaboración propia

Gráfica 2.  
Promedio de Absorciones de Agua para M1, M2 Y M3



Fuente. Elaboración propia

En la gráfica 2 se puede observar más claramente la variación de absorción de agua de los 3 tipos de mezclas. 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 24h de inmersión (promedio y máximo individual) que se da en la tabla 6.

Comparando los resultados obtenidos con la tabla 6 la cual es para mampostería no estructural se cumplen con ellos, ya que para las unidades de mampostería de perforación horizontal (PH) se debe tener una absorción de agua máxima de 17% en interiores y 13.5% en exteriores. Lo que nos indica que los 3 tipos de mezcla cumplen con la absorción de agua, además de eso se les puede dar uso tanto en interiores como en exteriores.

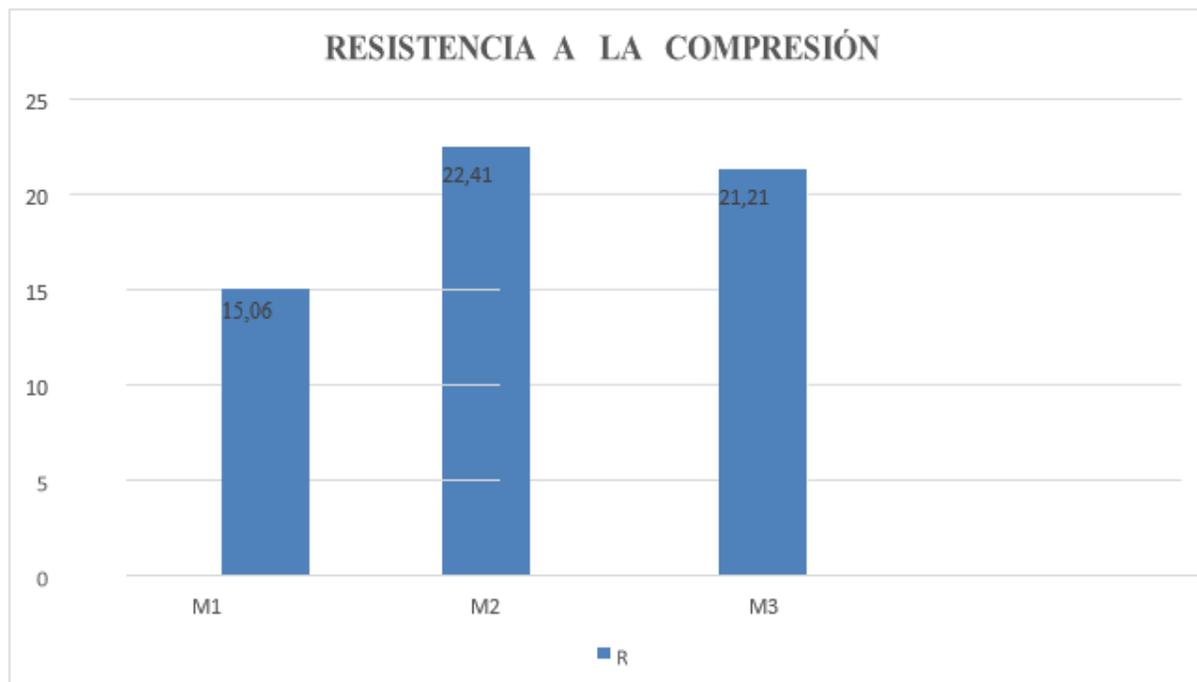
Gráfica 3.  
Resistencia Mecánica a la compresión para M1, M2 Y M3



Fuente. Elaboración propia

En la gráfica 3 se puede apreciar los resultados de las resistencias a la compresión por triplicado para cada tipo de mezcla. Se puede observar que la mezcla con las resistencias más bajas es la M1 lo que nos dice que a menor cantidad de cenizas de cisco de café menor es la resistencia y la mezcla con mayores resistencias es la M2 lo que nos indica que las resistencias más altas que podemos obtener estarían dentro de los porcentajes de cenizas de cisco de café evaluados. La mezcla M3 nos indica que a mayor porcentaje de cenizas de cisco de café la resistencia será menor.

Gráfica 4.  
Promedio de Resistencias Mecánicas a la compresión para M1, M2 Y M3

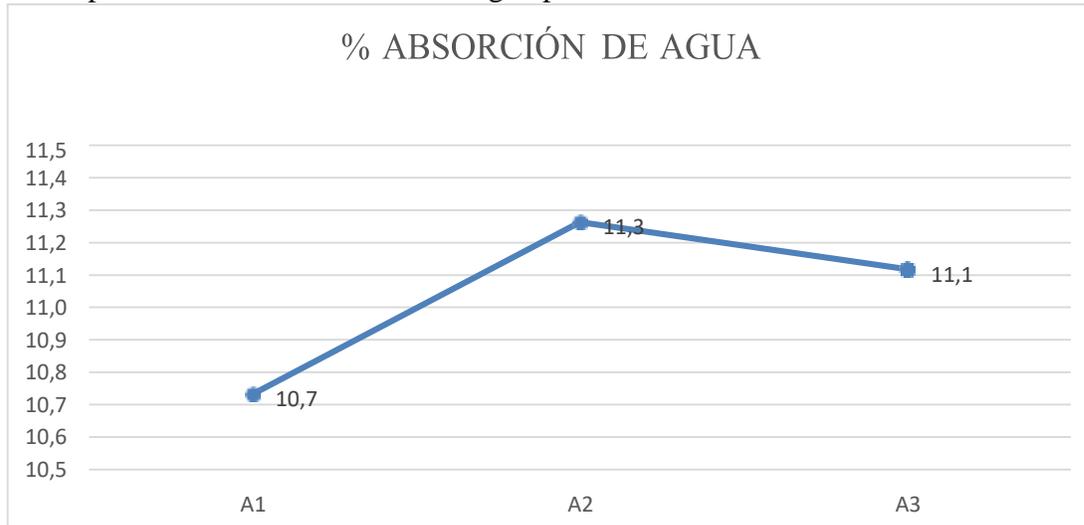


Fuente. Elaboración propia

En la gráfica 4 se puede observar más claramente la variación de resistencia mecánica de los 3 tipos de mezclas. Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se especifica en la tabla 6, cuando se ensayan según el promedio descrito en la NTC 4017. Comparando los resultados obtenidos con los de la tabla 6 no se cumplen con los requisitos, ya que para las unidades de mampostería de perforación horizontal (PH) se debe tener una resistencia mínima a la compresión de 30kg.f/cm<sup>2</sup>. Lo que representa un defecto principal en los 3 tipos de mezclas y el no cumplimiento de la resistencia motiva al rechazo de los especímenes.

Gráfica 5.

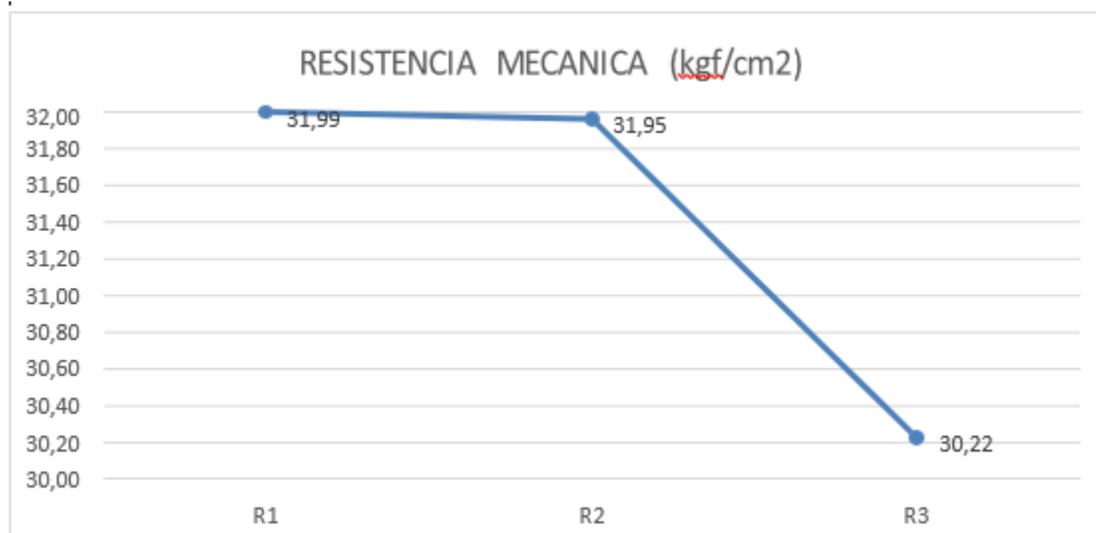
Datos promedio de la Absorción de Agua para arcilla al 100%



Fuente. Elaboración propia

Gráfica 6.

Datos promedio de la Resistencia mecánica para arcilla al 100%



Fuente. Elaboración propia

En las gráficas 5-6 se observa los datos promedio de absorción de agua y de resistencia mecánica para la mezcla de 100% arcilla. Comparando estos datos con la tabla 6 según la norma NTC 4017, se puede verificar el cumplimiento de los requisitos tanto en absorción de agua como en resistencia mecánica.

A continuación, en la tabla 38 se puede apreciar de una manera más específica la comparación de los resultados de los ensayos y los requisitos de la norma.

Tabla 38.  
Análisis comparativo de resultados y requisitos.

| <b>Ensayo</b>                              | <b>Arcilla<br/>100%</b>      | <b>2.5% cenizas<br/>de cisco decafé</b> | <b>5% cenizas<br/>de cisco decafé</b> | <b>7.5% cenizas<br/>de cisco decafé</b> | <b>Norma (ntc4017)<br/>Requisito</b> |
|--|------------------------------|---|---------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Absorción De<br>agua                       | 11%                          | 10.4%                                   | 10.2%                                 | 9.7%                                    | 13.5% exterior<br>17% interior       |
| Resistencia<br>mecánica a la<br>compresión | 31.39<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 15.06<br>kgf/cm <sup>2</sup>            | 22.41<br>kgf/cm <sup>2</sup>          | 21.21<br>kgf/cm <sup>2</sup>            | 30<br>kgf/cm <sup>2</sup>            |

Fuente. Elaboración propia

Comparando los resultados de absorción de agua de las mezclas de cenizas de cisco de café con la de arcilla al 100% se puede determinar que el agregar cenizas de cisco de café a la mezcla de arcilla no resulta favorable ya que esta genera una disminución en la absorción de agua y esto mismo sucede para la resistencia mecánica a la compresión.

Para evaluar el análisis físico cerámico de las mezclas se realizó la tabla 39 en la cual se puede observar más específicamente los cambios que se tienen al usar los diferentes porcentajes de cenizas de cisco de café.

Tabla 39.  
Comparación análisis físico cerámico

| <b>Mezcla</b>      | <b>ContracciónSeco</b> | <b>Contracción<br/>Cocido</b> | <b>Perdidas<br/>masa cocida húmedo</b> | <b>Peso</b> | <b>Pesoseco</b> | <b>Peso<br/>cocido</b> |
|--------------------|------------------------|-------------------------------|--|-------------|-----------------|------------------------|
| <b>M1</b>          | 5.6%                   | 1.3%                          | 4.9%                                   | 157.5g      | 130.65g         | 124.12g                |
| <b>M2</b>          | 4.7%                   | 1.4%                          | 5.9%                                   | 154.15g     | 128.7g          | 121.08                 |
| <b>M3</b>          | 4.4%                   | 2.0%                          | 6%                                     | 152.91g     | 125.11g         | 117.8g                 |
| <b>Arcilla100%</b> | 4.8%                   | 3%                            | 4%                                     | 155.3g      | 127.4g          | 122.4g                 |

Fuente. Elaboración propia

Analizando la tabla 39 se puede determinar que la mezcla que más pesa en los estados húmedo, seco y cocido es la M1, con esto podemos deducir que el agregar 2.5% de cenizas de cisco de café genera que la mezcla sea un poco más pesada que la de la arcilla al 100%.

También se puede observar que a mayor cantidad de cenizas de cisco de café la mezcla se vuelve más ligera incluso llega a pesar menos que la mezcla de arcilla al 100% esto es algo para destacar de la mezcla con cenizas de cisco de café.

También se puede observar que a mayor cantidad de cenizas de cisco de café la contracción en cocido será mayor lo que se refleja en la mezcla M3, pero con respecto a la mezcla de arcilla al 100% la contracción en cocido se reduce, es decir que el agregar cenizas de cisco de café a la mezcla genera una contracción en cocido menor.

Además, se puede apreciar la reducción de la contracción en seco de las mezclas M2 y M3, incluso llegan a tener una menor contracción en seco que la de la arcilla al 100%, esto nos dice que a mayor cantidad de cenizas de cisco de café la contracción en seco se reducirá.

Por último, se puede determinar que las mezclas con cenizas de cisco de café generan más

perdidas de masa cocida, lo que nos daría bloques de menos masa comparados con los bloques de 100% arcilla.

#### 5.4 Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Nutriente Tecnológico

A continuación, se muestra el cuadro que detalla cada etapa del proceso productivo del bloque cerámico de una empresa que fabrica bloque H-10.

Tabla 40.  
Actividades de Empresa que fabrica Bloque H-10

| <b>Etapas proceso productivo</b>             |   |   |
|--|---|---|
| <b>1. Costo de explotación y preparación</b> |   |   |
| <b>Nº</b>                                    | <b>Actividad</b>                                    | <b>Descripción</b>  |
| 1  | Arranque 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  | Almacenamiento 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>2. 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.<br>Funcionamiento con energía eléctrica |
| 4 | Tamizado de la arcilla | El sistema de tamizado, lo conforma el elevador de cangilones, banda transportadora y tamiz, funcionamiento automático, movido por energía eléctrica.  |

### 3. Costo de explotación y preparación

|   |  |   |
|---|--|---|
| 5 | Transporte y almacenamiento de materiaprima 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.   |

### 4. Centro de costo de extrusión

|   |                                  |  |
|---|----------------------------------|--|
| 1 | Preparación de maquinas          | Limpieza de residuos del día anterior, cambios de boquilla, alambres y lubricación de mesas de corte.                              |
| 2 | Transporte de arcilla a amasador | Una banda transportadora impulsada con energía eléctrica lleva la arcilla desde el silo hasta la amasadora.                        |
| 3 | Humectación de la arcilla        | Mediante un equipo que funciona con energía eléctrica, la arcilla se mezcla con el agua hasta alcanzar un grado de homogenización. |
| 4 | Extrusión de la arcilla          | En el equipo de extrusión se coloca la boquilla de bloque o teja española, que da la forma parcial al producto.                    |

|   |  |   |
|---|--|---|
| 5 | Corte de material                              | En el caso de la teja española se requiere la manipulación de un operario de la máquina de corte. |
| 6 | Acomodo de la 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.                     |

### 5. Costo de secado

|   |   |  |
|---|---|--|
| 1 | Transporte de material a patios de secado | Las carretas cargadas por los operarios de extrusión son llevadas a los patios de secado, ya sea cargadas con bloque o con tejas en estibas. |
| 2 | Endague del bloque o de estibas           | El material una vez en patio de secado, es acomodado para que las condiciones ambientales actúen y la pieza pueda secarse.                   |

### 6. Costo de explotación y preparación

|   |  |  |
|---|--|--|
| 1 | Caracoleo del bloque/soleado de bloques        | El secado natural no es homogéneo, por tanto, se requiere cambiar de posición los productos, los bloques son puestos al sol para acelerar el proceso.          |
| 2 | Almacenamiento de bloques secos y de estibas   | Los bloques una vez secos se retiran de las estibas y se almacenan de forma temporal para ser llevados 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.  |

### 7. Costo de cocción

|   |   |  |
|---|---|--|
| 1 | Llenado de carretas y transporte a los hornos | El material seco se carga en las carretas y se lleva a los hornos, para su posterior acomodo |
|---|---|--|

---

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  | El material llevado al horno se acomoda, deforma especial para cada tipo de producto elaborado, al                                 |
| 2 | Endague del material en el horno               | 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.  |

---

### 8. Costo de descargue, selección y almacenamiento

---

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | Cargue de carretas y transporte a patio        | Ubicación del material en carretas para ser llevado al patio de almacenamiento, el horno debe dejarse limpio para una próxima quema |
| 2 | Clasificación de material                      | Selección del material que se lleva a patio de acuerdo con los criterios de calidad de la empresa.                                  |
| 3 | Almacenamiento                                 | Ubicación del material en módulos o secciones de acuerdo con los criterios de calidad.  |
| 4 | Supervisión y control del proceso, vigilancia. | Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.   |

---

---

**9. Costo administrativo**


---

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | Dirección de la planta                      | Ubicación del material en carretas para ser llevado al patio de almacenamiento, el horno debe dejarse limpio para una próxima quema |
| 2 | Procesos contables                          | Selección del material que se lleva a patio de acuerdo con los criterios de calidad de la empresa.                                  |
| 3 | Supervisión de ventas                       | Ubicación del material en módulos o secciones de acuerdo con 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.  |

---

Fuente. Elaboración propia

#### ***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 41.  
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        |
| Agua                       | Corte de material bloque       |
|                            | Enfriamiento del horno         |
|                            | Iluminación y confort          |
|                            | 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<br>Quema   |
| <b>Componente de costo</b> | <b>Actividad</b>   |
| Lubricante                 | Molienda de arcilla<br>Tamizado de arcilla<br>Extrusión<br>Molienda de arcilla<br>Tamizado de arcilla<br>Extrusión<br>Secado<br>Quema  |
| Repuestos                  | Mobiliario oficina<br>Adecuaciones planta  |
| Arriendo                   | Molienda de arcilla<br>Tamizado de arcilla<br>Extrusión<br>-Galpón planta distribuido a todas las actividades menos explotación<br>-Carretas en transporte a secado<br>-Carretas transporte horno                        |
| Depreciación               | -Carretas transporte a almacenamiento<br>-Estibas en transporte a secado<br>- Hornos durante la Quema<br>- Equipo de taller a todas las actividades menos explotación<br>- Equipo oficina en actividades administrativas |
| Carbón                     | Quema  |

---

|                          |   |
|--------------------------|---|
|                          | Molienda de arcilla humectación quema Explotación |
|                          | Supervisión                                       |
| Implementos de seguridad |   |
|                          | Arranque de materia prima Molienda de arcilla     |
|                          | Tamizado de arcilla Extrusión                     |
|                          | Secado quema                                      |
| Impuestos                | Almacenamiento                                    |
| Mantenimiento            | Todos los centros                                 |
| Palas                    | Molienda Quema                                    |

---

| <b>Componente de costo</b> | <b>Actividad</b>                                      |
|----------------------------|---|
| Alambre de corte           | Corte de material extruido                            |
| Dados boquilla             | Extrusión   |
| Martillos                  | Molienda de arcilla                                   |
|                            | Supervisión Explotación Molienda de arcilla Extrusión |
|                            | de la arcilla Secado de productos Quema               |
|                            | Selección Lubricación equipos                         |
|                            | Administrativo  |
| Mano de obra indirecta     |   |
| Papelería                  | Actividades contables y comerciales                   |
| Análisis Isocinéticos      | Quema   |
| Materia prima              | Arranque de materia prima                             |
| Servicio retroexcavadora   | Arranque de materia prima                             |
| Servicio de volquetas      | Transporte a planta                                   |

Alquile cargador

Acomodo de materia prima en galpón

Fuente. Elaboración propia

Tabla 42.  
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> |

Fuente. Elaboración propia

El costo del producto del bloque normal.

Costo - Producción \$ 58'865.272,7

Producción de Bloque 180.000 Unid.

**Costo Bloque \$ 327,02**

### **Costo del Bloque Usando Cenizas de Cisco de Café**

Tabla 43.

Costo del bloque con cenizas de cisco de café

| <b>Actividades</b>                         | <b>Código *</b> | <b>Marzo (\$)</b> |
|--|-----------------|-------------------|
| Arranque de materia prima y cargue         | A               | \$ 4,150,000.0    |
| Almacenamiento de cenizas de cisco de café | A1              | \$ 950,000.0      |
| Transporte a planta                        | B               | \$ 1,450,000.0    |
| Transporte de cenizas de cisco de café     | B1              | \$ 380,000.0      |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 44.

Costo del bloque con cenizas de cisco de café (2)

| <b>Actividades</b>                                   | <b>Código *</b> | <b>Marzo (\$)</b> |
|--|-----------------|-------------------|
| Acomodo de materia prima en galpón                   | C               | \$ 380,000.0      |
| Molienda, trituración de las cenizas de cisco decafé | C1              | \$ 1,450,000.0    |
| Llenado cajón alimentador                            | D               | \$ 2,888,244.0    |
| Molienda y tamizado                                  | E               | \$ 6,885,102.8    |
| Humectación -extrusión                               | F               | \$ 8,067,766.7    |
| Corte y acomodo de piezas                            | G               | \$ 2,958,206.0    |
| Transporte a patio de secado                         | H               | \$ 2,114,270.1    |
| Caracoleo  | I               | \$ 718,733.7      |
| Transporte y acomodo en horno                        | J               | \$ 2,369,245.5    |

| <b>Actividades</b>                            | <b>Código *</b> | <b>Marzo (\$)</b>      |
|---|-----------------|------------------------|
| 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>\$ 57,789,416.3</b> |

Fuente. Elaboración propia

El costo del producto del bloque con cenizas de cisco de café. Costo - Producción \$  
57,789,416.3

Producción de Bloque 180.000 Und

**Costo Bloque \$ 321.05**

El bloque con cenizas de cisco de café disminuye el costo un 1.83% y la diferencia es de \$5.97 con respecto al bloque normal, lo que genera un ahorro de \$1,074,600.

## 6. Conclusiones

Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio demuestran que ninguna de las mezclas cumple con el requisito de la resistencia mecánica a la compresión, solo cumplen con el requisito de absorción de agua.

Se puede resaltar que todas las mezclas cumplen con la absorción de agua tanto para interiores como para exteriores.

Analizando y comparando los resultados de las 3 mezclas, se puede concluir que la mezcla de mayor resistencia mecánica a la compresión es la de 5% de cenizas de cisco de café y la de menor es la de 2.5% de cenizas de cisco de café y la de mayor absorción de agua es la de 2.5% de cenizas de cisco de café y la de menor es la de 7.5% de cenizas de cisco de café.

Analizando la norma, la mezcla que más se acerca a cumplir con los requisitos y la que mejor se comporta es la de 5% de cenizas de cisco de café.

La producción del bloque con agregado de ceniza de cisco de café tiene una reducción de costos con respecto al bloque normal, lo que genera un beneficio económico.

Lo que se puede destacar de las mezclas con cenizas de cisco de café es que a mayor cantidad de cenizas de cisco de café se tiene una mezcla más ligera, pero con menos resistencia y un poco menos de absorción de agua, pero no es tan significativa.

Se pudo determinar que de un kilo de café se obtiene aproximadamente entre 19,4 a 24,25 gramos de cenizas de cisco de café.

Por último, se puede concluir que la utilización de las cenizas de cisco de café es de gran ayuda para el medio ambiente ya que se está convirtiendo un residuo en un recurso, con esta implementación se hace un gran aporte a la económica circular.

## **7. Recomendaciones**

Se recomienda actualizar la información de la producción del cisco de café para poder tener con más exactitud cuanta cantidad de cenizas de cisco de café se puede obtener en el departamento de Norte de Santander.

Realizar nuevos estudios con porcentajes de cenizas de cisco de café en el rango de 5% y 7.5%, ya que en este rango se encuentra la mayor resistencia mecánica a la compresión obtenida.

Realizar una campaña de socialización con las industrias cerámicas y la del café para dar a conocer los diferentes beneficios que puede traer el uso adecuado de los del cisco de café y llevar a cabo nuevos estudios en los que se puede agregar las cenizas de cisco de café.

### Referencias bibliográficas

- Alarcón, J. (2020). Química de materiales cerámicos. (pp. 1-9). Recuperado de <https://www.uv.es/uimcv/Castellano/ModuloMatCericos/Unidad%201.pdf>.
- Aprender Curso. (2021). Tipos de bloques. Recuperado de <https://aprendercurso.com/tipos-de-bloques.html>
- Castells, X. (2015). Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural. Trabajo de grado, Universidad de Jaén. Recuperado de <https://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/718/1/9788484399971.pdf>
- Consortios servicios la palma. (2020). ¿Qué son residuos orgánicos? Recuperado de <http://www.cslapalma.org/5cubitos/que-son-los-residuosorganicos>
- Coral, J. (2019). Comportamiento del concreto con cascarilla de café y posibilidades ante textura y color. Trabajo de grado (Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77004>.
- Díaz, M., & Fernández, J. (2019). Influencia de la adición de ceniza de cascarilla de café en la trabajabilidad y resistencia a compresión del concreto. Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaen. Recuperado de <https://1library.co/document/yne169ly-influencia-adicion-ceniza-cascarilla-trabajabilidad-resistencia-compresion-concreto.html>
- Federación Nacional de Cafeteros. (1 de junio de 2015). Caracterización de la calidad del café de norte de Santander. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/311324606\\_caracterizacion\\_de\\_la\\_calidad\\_del\\_cafe\\_de\\_norte\\_de\\_santander](https://www.researchgate.net/publication/311324606_caracterizacion_de_la_calidad_del_cafe_de_norte_de_santander)
- Geotecnia fácil. (2020). Granulometría de suelos por tamizado. Recuperado de <https://geotecniafacil.com/granulometria-de-suelos-por tamizado/>

- Hernández, G. & Herrera, V. (2019). Análisis de la relación de soporte y resistencia a la compresión de un suelo arcillo-limoso en la vereda de Liberia del municipio de Viotá-Cundinamarca estabilizado con ceniza de cascarilla de café. Trabajo de grado, Universidad de la Salle. Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1520&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1520&context=ing_civil)
- Ladrillera mecanizada. (2020). El origen de la arcilla. Recuperado de <http://www.ladrillramecanizada.com/blog/el-origen-de-la-arcilla/>
- Manals, E., Penedo, M. & Ortega, G. (2011). Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología Química*, 31(2), (pp. 36-43). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543773005>
- Manals, E., Salas, D., & Penedo, M. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal “cascarilla de café”. *Tecnología Química*, 38(1). Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/4455/445558421013/html/>
- Ortega, N. (junio del 2010). Extrusión de perfiles de madera con PVC y cisco de café. *Tecnología del plástico*. 1-2.
- Palacios, L., & Betancurt, E. (2005). Caracterización de propiedades fluidodinámicas de lechos fluidizados en frío con mezclas de carbón-biomasa usados en procesos de co-gasificación. *Dyna rev.fac.nac.minas*, 78(169).
- Sánchez, J., Corpas, F., & Álvarez, D. (2018). Aplicación de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta. *Revista Científica Dialnet*. 7(1). 203-220.
- Sánchez, N. (2021). Granulometría de suelos. *Ingeniería y construcción*. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2013/11/25/granulometria-suelos-ing-nestor-luis-sanchez/>

S.f. (2019). Bloques de Arcilla Como Material de Construcción. Recuperado de Scribd.com.

<https://es.scribd.com/document/485145647/Bloques-de-arcilla-como-material-de-construccion-pdf>

SGS Colombia S.A.S. (2020). Difracción de rayos x (xrd). Recuperado de

<https://www.sgs.co/es-es/mining/metallurgy-and-process-design/high-definition-mineralogy/x-ray-diffraction-xrd>

Sifontes, D. (15 de abril del 2020). Se mantiene estable la producción de café en norte de

Santander. La opinión. Recuperado de <https://www.laopinion.com.co/economia/se-mantiene-estable-la-produccion-de-cafe-en-norte-de-santander-194831#OP>

Vázquez, M. (2015). Etanol lignocelulósico, a partir de cascarilla de café, por medio de hidrólisis química-enzimática y fermentación. Trabajo de grado, Universidad Veracruzana.

Recuperado de

<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/41986/VazquezMoralesOscar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## Anexos

### Anexo 1. Composición mineralógica cenizas de cisco de café

| Material      | Orden de fase | Fase   | Cantidad |
|---------------|---------------|--------|----------|
| Cisco de café | Cristalino    | Cuarzo | 00,4%    |
|               | Amorfo        | -----  | 99,6     |
|               | Total         |        | 100%     |

**Anexo 2.** Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra.

