

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

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): JUAN GUILLERMO

APELLIDOS: ROJAS OLEJUA

NOMBRE(S): MARYURY YAIRA

APELLIDOS: SANCHEZ CARVAJALINO

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): LEONARDO CELY APELLIDOS: ILLERA

CO DIRECTOR:

NOMBRE(S): KEILA APELLIDOS: ANTELIZ CONTRERAS

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EFECTOS DE LA BORRA DEL CAFÉ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y ESTRUCTURALES DE REVESTIMIENTOS EXTRUIDOS

RESUMEN:

En la presente investigación se hace un estudio unificando dos industrias (la industria cerámica y la industria del café) pueden resultar grandes descubrimientos y productos con grandes propiedades. Hasta la fecha, se han realizado varios proyectos empresariales utilizando la borra del café, estos proyectos han sido enfocados en la creación de productos tales como vasijas, platos, tazas de café, otros recipientes e incluso se ha venido incursionando en la fabricación de revestimientos, realizando mezclas entre la borra de café y arcillas, junto con aglutinantes, aditivos y aglomerantes; moldeando el material mediante el proceso de conformado por medio de prensado. Como objetivo específico se tienen: evaluar si es viable en un producto de revestimiento extruido la adición de borra de café y la influencia que este subproducto agroindustrial conlleva en las propiedades finales del producto.

PALABRAS CLAVES: industria del café, industria cerámica, propiedades fisicoquímicas, revestimientos extruidos.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 94

PLANOS:

ILUSTRACIONES:

EFFECTOS DE LA BORRA DEL CAFÉ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y  
ESTRUCTURALES DE REVESTIMIENTOS EXTRUIDOS

JUAN GUILLERMO ROJAS OLEJUA

MARYURY YAJAIRA SANCHEZ CARVAJALINO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

CÚCUTA

2021

EFFECTOS DE LA BORRA DEL CAFÉ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y  
ESTRUCTURALES DE REVESTIMIENTOS EXTRUIDOS

JUAN GUILLERMO ROJAS OLEJUA

MARYURY YAJAIRA SANCHEZ CARVAJALINO

DIRECTOR  
LEONARDO CELY ILLERA  
MSC. CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

CODIRECTOR  
KEILA ANTELIZ CONTRERAS  
INGENIERA INDUSTRIAL

*TESIS DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE*  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

CÚCUTA

2021

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO**

FECHA: 22 de octubre, 2021

HORA: 04:00 p.m

LUGAR: GOOGLE MEET – CORREO INSTITUCIONAL UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA INDUSTRIAL

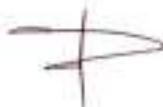
TÍTULO DE LA TESIS: **EFFECTOS DE LA BORRA DE CAFÉ EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y ESTRUCTURALES DE REVESTIMIENTOS EXTRUIDOS.**

JURADOS: CARLOS ALBERTO ARARAT BERMÚDEZ  
MARIBEL GÓMEZ PEÑARANDA

DIRECTOR: LEONARDO CELY ILLERA

CODIRECTOR: KEILA ANTELIZ CONTRERAS 2021Obni\*

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CÓDIGO LETRA	CALIFICACIÓN	NÚMERO
MARYURY YAJAIRA SÁNCHEZ CARVAJALINO	1192074	cuatro, tres	4,3
JUAN GUILLERMO ROJAS OLEJUA	1192056	cuatro, tres	4,3



**APROBADA**



CARLOS ALBERTO ARARAT BERMÚDEZ

MARIBEL GÓMEZ PEÑARANDA

  
Vo.Bo. GAUDY CAROLINA PRADA BOTÍA

Directora Plan de Estudios  
Ingeniería Industrial

Magis 21

## Contenido

Introducción	10
1. El problema	13
1.1 Título	13
1.2 Planteamiento del problema	13
1.3 Formulación del problema	14
1.4 Justificación	15
1.5 Objetivos	16
1.5.1 Objetivo General	16
1.5.2 Objetivos Específicos.	16
1.6 Alcances y Limitaciones	17
1.6.1 Alcances.	17
1.6.2 Limitaciones	17
2. Marco Referencial	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Marco Contextual	22
2.3 Marco Teórico	26
2.4 Marco Conceptual	35
2.4.1 Plasticidad	35
2.4.2 Pasta cerámica	36
2.4.3 Desgrasante	36
2.4.4 Borra de café	37
2.4.5 Análisis térmicos	38
2.4.6 Análisis térmico diferencial (DTA)	38
2.4.7 Análisis termogravimétrico (TG)	39
2.4.8 Análisis dilatométrico (DIL)	39
2.4.9 Ensayo absorción de agua	39
2.4.10 Resistencia mecánica a la flexión	40
2.4.11 Resistencia a la abrasión profunda	40
2.4.12 Difracción de Rayos X (DRX)	41
2.4.13 Fluorescencia de Rayos X (FRX)	41
2.4.14 Ensayo de granulometría por hidrómetro	41
2.4.15 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	42

2.5 Marco Legal	43
2.5.1 Estatuto estudiantil	43
2.5.2 Normas Técnicas	44
2.5.3 Métodos Internos	45
3. Diseño Metodológico	46
3.1 Metodología	46
3.2 Población y Muestra	47
3.3 Instrumentos para la recolección de la información	48
4. Resultado y Análisis	49
4.1 Evaluación química y mineralógica de la arcilla y la borra de café	50
4.2 Identificación de las proporciones adecuadas de arcilla y borra de café, que permiten obtener la mejor pasta cerámica en la fabricación de un producto cerámico extruido.	55
4.3 Evaluación del comportamiento físico de las formulaciones	60
4.4 Evaluación térmica, mecánica y estructural del producto cerámico fabricado con las diferentes pastas cerámicas de mejor comportamiento	65
4.5 Determinar el tráfico de los revestimientos extruidos fabricados con la pasta cerámica elegida.	72
Conclusiones	75
Recomendaciones	78
Referencias	78
ANEXOS	83

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Propiedades de baldosas cerámicas extruidas.	28
<b>Tabla 2.</b> Propiedades de baldosas cerámicas prensadas.	28
<b>Tabla 3.</b> Tipo de trafico de baldosas.	30
<b>Tabla 4.</b> Técnicas de análisis térmico.	38
<b>Tabla 5.</b> Normas de investigación.	44
<b>Tabla 6.</b> Composición química de la arcilla (FRX)	50
<b>Tabla 7.</b> Composición química de la borra de café (FRX)	53
<b>Tabla 8.</b> Difracción de Rayos X (DRX)	54
<b>Tabla 9.</b> Serie de mezclas.	56

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Logo corporativo UFPS.	26
<b>Figura 2.</b> Difractograma arcilla (DRX)	52
<b>Figura 3.</b> Difractograma de Rayos X	54
<b>Figura 4.</b> Triángulo de actitudes de Winkler.	58
<b>Figura 5.</b> Pronóstico de extrusión.	59
<b>Figura 6.</b> Densidad de las formulaciones.	61
<b>Figura 7.</b> Contracción lineal seca.	62
<b>Figura 8.</b> Perdidas de masa en seco	63
<b>Figura 9.</b> Resistencia mecánica a la flexión en seco	64
<b>Figura 10.</b> Comportamiento térmico de la muestra borra de café – arcilla	66
<b>Figura 11.</b> Densidad en cocido	66
<b>Figura 12.</b> Contracción lineal en cocido.	67
<b>Figura. 13</b> Pérdidas de masa en cocido.	68
<b>Figura 14.</b> Absorción de agua	69
<b>Figura 15.</b> Resistencia mecánica a la flexión en cocido	70
<b>Figura 16.</b> Abrasión profunda	71

## Lista de anexos

<b>Anexo 1</b> Muestreo del material arcilloso	84
<b>Anexo 2</b> Material arcilloso	85
<b>Anexo 3</b> Material orgánico	86
<b>Anexo 4</b> Índice de plasticidad de la arcilla.	87
<b>Anexo 5</b> Borra de café-arcilla	88
<b>Anexo 6</b> Trafico de baldosas quema 900 °C	89
<b>Anexo 7</b> Trafico de baldosas quema 1000 °C	90
<b>Anexo 8.</b> Trafico de baldosas quema 1100°C	91
<b>Anexo 9.</b> Propiedades baldosas extruidas quemadas a 900°C	92
<b>Anexo 10</b> Propiedades baldosas extruidas quemadas a 1000 °C	93
<b>Anexo 11</b> Propiedades de las baldosas extruidas a 1100 °C	94

## Introducción

Los revestimientos cerámicos son considerados materiales que nunca pasan de moda en el sector de la construcción, gracias a su practicidad, resistencia y durabilidad. Se trata de un material que apenas requiere mantenimiento, de fácil limpieza y con una alta versatilidad desde el punto de vista constructivo y decorativo, ya que puede estar presente tanto en suelos, como paredes, escaleras, techos, fachadas, piscinas, entre otros usos. Además, gracias a las nuevas tecnologías que van surgiendo, se consigue un material más resistente y duradero, recubierto con tratamientos térmicos (Tejas Cobert).

La industria cerámica para la construcción es una de las industrias con mayor producción en el mundo (Mogrovejo, Bastos & Pabón 2015); en su composición, la cerámica en nuestros días sigue teniendo a la arcilla como materia prima. Sin embargo, se incorporan a las formulaciones otros elementos como son las materias primas desgrasantes, entre las que se encuentran, aquellas que dentro del proceso de fabricación actúan como fundentes (carbonato de calcio, feldespatos y otros); aquellas que actúan como inertes y que permiten una mejor cocción (arena, chamota, escoria) y en algunos casos se introducen plastificantes, todos en una mezcla exacta que mejoran las propiedades finales del producto final (estructurales, mecánicas y tribológicas) (Tejas Cobert, Zuluaga, Ortega & Olazábal 2012.) El café es la segunda bebida más consumida en el mundo luego del agua. Es un producto de origen natural que contiene antioxidantes y otros componentes que mejoran la concentración y otorgan múltiples beneficios a la salud. En la última década creció su demanda a nivel mundial, sumó al público joven entre sus consumidores y extendió su uso a diversos campos. Un mayor consumo de café exige una mayor producción y por ende un mayor residuo (É. Alimentación, 2013)

Este tipo de material puede tener varios nombres, entre los que se encuentran, borra, cascarilla, cuncho, poso o ripio de café, los cuales han sido usados, junto con otros materiales en grandes ideas de innovación, que han permitido crear diferentes productos, utilizados para diversos usos, entre estos los de uso doméstico (Vargas, 2018).

Hecho en café, es una empresa colombiana bastante posicionada que trabaja con la borra de café, su fuerte desde su creación ha sido la bisutería y decoraciones manuales, logrando comercializar sus productos a nivel nacional, además de exportar a México y Estados Unidos, actualmente están realizando estudios e investigaciones para incursionar en nuevas líneas como lo son MDF (madera) y una línea para pisos (La Crónica del Quindío).

Unificando estas dos industrias (la industria cerámica y la industria del café) pueden resultar grandes descubrimientos y productos con grandes propiedades. Hasta la fecha, se han realizado varios proyectos empresariales utilizando la borra del café, estos proyectos han sido enfocados en la creación de productos tales como vasijas, platos, tazas de café, otros recipientes e incluso se ha venido incursionando en la fabricación de revestimientos, realizando mezclas entre la borra de café y arcillas, junto con aglutinantes, aditivos y aglomerantes; moldeando el material mediante el proceso de conformado por medio de prensado (La Crónica del Quindío, Kaffeeform). Este residuo de café también se ha mezclado en proporción 40% borra de café y 60% Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado, obteniendo una mezcla que permite la creación de tazas de café. Algunos otros estudios se han enfocado en la creación de pavimentos para carreteras mezclando borra de café, desechos de la fabricación del acero y soluciones alcalinas (Urribarrí, Zabala, Sánchez, Arena, Chandler, Rincón, González & Mazzarri, 2014) (Twenergy).

De acuerdo con esto, y en vista que en Colombia no se han desarrollado investigaciones a fondo donde se mezcle borra de café y materiales arcillosos, este proyecto se enfoca en la investigación del funcionamiento y efectividad en la fabricación de revestimientos extruidos mediante mezcla de arcilla y diferentes proporciones de borra de café, con el fin de, no solo de determinar el efecto en las propiedades finales del producto terminado, evaluando si los resultados obtenidos permiten la inclusión de este subproducto agroindustrial en una línea de producción completa; sino además, el disminuir la materia prima utilizada en la fabricación de pastas cerámicas tradicionales ya que la explotación de minas de arcilla tiene un gran efecto negativo en el ambiente (Flórez, Sánchez & Blanco, 2018).

## **1. El problema**

### **1.1 Título**

EFFECTOS DE LA BORRA DEL CAFÉ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y ESTRUCTURALES DE REVESTIMIENTOS EXTRUIDOS.

### **1.2 Planteamiento del problema**

El uso y la transformación de arcilla para la elaboración de materiales de construcción han dejado de ser una práctica ancestral y comunitaria de la construcción de viviendas de manera local, para convertirse en una actividad industrial a mediana y gran escala. Esta transformación ha afectado sensiblemente y ha generado el deterioro de las tierras de donde se extrae el material (Corporación Grupo Semillas, 2018).

La minería de arcilla está deteriorando los sistemas, las problemáticas ambientales más frecuentes en las minas de arcilla se ven generalizadas por la afectación y modificación morfológica del suelo, aumento en la tala de árboles, la pérdida de la capa vegetal, erosión del suelo, pérdida de hábitat en términos de fauna, entre otros.

Los residuos generados por el consumo de café en Colombia son muy altos, ya que este es un país que consume en gran cantidad este producto y la borra de café que queda como desperdicio es normalmente tirada a la basura. En el año 2018 se llegaron a consumir más de 9 mil millones de kilogramos de café en todo el mundo, 90% de los cuales se convierten en desechos y gran parte termina en los vertederos, donde se descompone y libera metano 30 veces más potente en retener

el calor que el CO<sub>2</sub> (Perfect Daily Grind). Reciclando la borra de café después de su consumo se evita en gran proporción que se liberen gases tóxicos al medioambiente.

Con la mezcla arcilla-borra de café se pretende contribuir a la disminución de las afectaciones medioambientales que estas industrias generan, así mismo, la fabricación de revestimiento cerámico extruido permitirá, además, ofrecer alternativas empresariales como lo es la comercialización de material de revestimiento para la construcción al darle un nuevo uso a la borra de café (producto que una vez consumido es normalmente desechado) y aprovecharlo como materia prima para la fabricación de un producto para la construcción como lo son los revestimientos cerámicos.

El presente estudio permitirá comprobar si el desarrollo de un producto de revestimiento extruido fabricado con arcilla y borra de café será exitoso y cumplirá con los estándares y normas mínimas de calidad requeridos. Es indispensable que el producto final cumpla con normas mínimas de calidad para que se tenga la mayor posibilidad de industrializar el producto y comercializarlo disminuyendo así las afectaciones medioambientales que surgen por la extracción de arcilla y el desperdicio de la borra de café.

Es importante resaltar que actualmente los revestimientos cerámicos cumplen con los estándares mínimos de calidad, pero sí es de vital importancia minimizar la extracción de la arcilla y darle un segundo uso a este residuo de café que afecta negativamente el medio ambiente.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Qué efectos técnicos tendrá en pastas cerámicas tradicionales la adición de borra de café en la fabricación de revestimientos extruidos y que influencia tendrá en los requisitos mínimos internacionales de calidad?

#### **1.4 Justificación**

**A nivel empresa.** La fabricación de revestimiento extruido utilizando arcilla y borra de café fue el principal tema de investigación experimental a tratar, ya que los resultados obtenidos permitieron tener un mayor conocimiento respecto a los beneficios que el producto final ofrece, además, los diferentes ensayos que se realizaron en el producto indicaron la calidad final y orientaron las posibles aplicaciones en las que se puede incursionar.

La industria de la construcción genera una alta demanda de productos de revestimientos, por esta razón, y de acuerdo a los resultados obtenidos, se generaron las bases que permitieron entrar a diferentes mercados, creando oportunidades de negocio, de formar empresa, llegando a competir con un producto innovador que ofrece propiedades y características similares a los productos de revestimientos tradicionales.

**A nivel del estudiante.** El desarrollo de este proyecto nos permitió enriquecernos intelectual y profesionalmente como futuros ingenieros industriales, la investigación, análisis y ensayos realizados junto con el desarrollo experimental, nos aportaron un gran crecimiento; en el desarrollo de este proyecto adquirimos mucha experiencia y conocimiento que como profesionales y futuros ingenieros industriales serán bases sólidas para proyectos, trabajos e investigaciones futuras, la pasión por la investigación que este tipo de proyectos genera, es

enriquecedora ya que permitirá siempre tener un aprendizaje continuo referente a todas las áreas de interés estudiadas y nos permitirá cumplir con objetivos y propósitos planteados.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General.**

Evaluar si es viable en un producto de revestimiento extruido la adición de borra de café y la influencia que este subproducto agroindustrial conlleva en las propiedades finales del producto

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

Evaluar mineralógica y químicamente la arcilla y la borra de café identificando las características estructurales y de composición de estos materiales.

Establecer las proporciones adecuadas de arcilla y borra de café, que permitan obtener la mejor pasta cerámica en la fabricación de un producto cerámico extruido.

Evaluar el comportamiento físico de las pastas cerámicas identificadas y determinar el porcentaje más viable en la fabricación del producto cerámico.

Evaluar térmica, mecánica y estructuralmente el producto cerámico fabricado con la pasta cerámica de mejor comportamiento.

Determinar el tráfico de los revestimientos extruidos fabricados con la pasta cerámica elegida.

## **1.6 Alcances y Limitaciones**

### **1.6.1 Alcances.**

El presente proyecto fue llevado a cabo para conocer los efectos que puede causar la borra de café y arcilla del área metropolitana de Cúcuta para fabricar revestimientos cerámicos.

Los aspectos puntuales que comprende la investigación están designados a las propiedades físico-mecánicas y estructurales de los revestimientos extruidos, dentro de los cuales abarca temas de impacto ambiental y alternativas empresariales.

Se realizó un muestreo para identificar las propiedades de la arcilla y la borra de café que se utilizaron, la arcilla fue obtenida de la formación Guayabo de Norte de Santander y la borra de café se recolectó de algunos establecimientos comerciales y hogares de la ciudad.

### **1.6.2 Limitaciones.**

La situación actual sobre el COVID-19 y el aislamiento establecido en la ciudad de Cúcuta impidió en gran medida la facilidad de ingresar en diferentes horarios a la mina y a la planta de la empresa para realizar los procesos necesarios.

Los análisis químicos y mineralógicos, debido a que no se llevaron a cabo en la ciudad de Cúcuta resultó retrasando por dos meses el proyecto.

## 2. Marco Referencial

### 2.1 Antecedentes

BBC News Mundo (2016) - British Broadcasting Corporation, 7 empresarios que hacen dinero con inventos sacados de la borra del café. Los granos de café reciclados y las materias primas renovables se transformaron en el material duradero y robusto Kaffeeform, que luego se convirtió en la taza Kaffeeform. Todos los productos están compuestos por café molido usado y otros recursos renovables de origen vegetal que se endurecen con biopolímeros. Son ligeros, pero aun excepcionalmente duraderos y robustos. A prueba de roturas hasta una altura de caída de 1,5 m, libre de resina de melamina-formaldehído, libre de plastificantes/BPA, conserva los recursos, 100% de origen vegetal, libre de crueldad, apto para lavavajillas. Cada taza es única, la apariencia especial de la superficie de mármol que se asemeja a la madera se completa con un ligero aroma a café (BBC News Mundo).

Ahmed, Abdelilah, Iz-Eddine, Abdeslam, & Chaouki. (2019) Valorization of coffee waste with Moroccan clay to produce a porous red ceramic (class BIII). *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* 58(5), 211-220, 2019. Este trabajo propone una solución efectiva para el reciclaje de residuos de café incorporándolo (10, 20 y 30% wt) como material secundario con arcilla (depósito cretácico de la Meseta marroquí) para producir cerámicas ligeras porosas (clase BIII) cuya calidad es similar a la de los materiales cerámicos con carácter aislante. Las materias primas aplicadas se caracterizaron en términos de su composición (XRD, XRF, IR), análisis microestructural (microscopio polarizado) y comportamiento térmico (TDA / TGA). Los materiales cerámicos obtenidos después de la cocción a 1150 °C, fueron investigados sobre la composición de las fases, las características

estructurales y las propiedades físicas de interés tecnológico. De hecho, el tratamiento térmico a 1150 ° C da muestras que tienen las siguientes características tecnológicas: P = 42.81%, d = 1.46 g / cm<sup>3</sup>, = 0.39 W / m × K, WA = 29.25% y F.S = 10.75 MPa. La combinación de XRD y microscopio polarizado permitió un mejor análisis de la evolución mineralógica y estructural después de la sinterización a 1150 ° C (M. Ahmed, E. H. Abdelilah, E. A. E. H. Iz-Eddine, E. B. Abdeslam y S. Chaouki, 2019).

Angarita Daza F.A (2013), Borra de café como material adsorbente para la remoción de Cromo (III), (Proyecto de grado de Ingeniería Ambiental), Universidad Libre-Bogotá. Colombia. El objetivo del presente trabajo es evaluar el residuo de la preparación del café (borra de café), como biosorbente para la remoción de cromo trivalente presente en soluciones acuosas. Todos los ensayos fueron hechos a una temperatura de 20 °C y en modo de operación discontinua (Batch). Con base en un diseño de experimentos de tipo central compuesto, se estiman las condiciones a las cuales la adsorción procede con mayor eficiencia. El diseño de experimentos se planteó con el fin de analizar el efecto del pH de la solución y la concentración de Cr<sup>3+</sup>. Como resultado del diseño de experimentos se encontró que la separación por medio de proceso de biosorción del cromo, se realiza de mejor manera a pH bajo (2.84) y concentraciones altas (100 mg/L). Bajo las mejores condiciones halladas por medio del diseño experimental se evaluó el equilibrio de la operación. El modelo de isoterma propuesto por Langmuir fue el que presento el mejor ajuste para describir el equilibrio del proceso batch. Los experimentos para determinar la máxima capacidad de retención de cromo (III) sobre el material biosorbente fueron realizados para un tiempo de adsorción de 60 minutos. El modelo de isoterma de Langmuir fue el que presento el mejor ajuste para correlacionar los datos de equilibrio de adsorción. El sólido presento una capacidad de adsorción de 6.89 mg/L. Se evaluó el tiempo de equilibrio del proceso, encontrándose que, a los 40 minutos de operación,

el material adsorbente se encuentra saturado y no adsorbe más cromo. Los datos de tiempo de equilibrio fueron empleados para determinar el comportamiento cinético de la operación, encontrándose que los datos experimentales se ajustan correctamente a un comportamiento cinético de pseudo segundo orden (F. A. Angarita Daza, 2013).

La nota económica, Estudiantes crean tazas hechas con borra de café. A través de una máquina inyectora de plástico, y con los propios moldes diseñados, se producen las tazas de café para la bebida caliente y fría. El recipiente no sufre ninguna deformidad al verter líquidos a alta o muy baja temperatura, ni al introducirse en el horno microondas (La nota económica).

Sánchez Molina, J., Álvarez Rozo, D., Gelves, J. F. & Corpas Iglesias, F. A. (2018), Cisco de café como posible material sustituto de arcilla en la fabricación de materiales cerámicos de construcción en el área metropolitana de Cúcuta, *Respuestas*, 23(1), 27-31. La industria cerámica representa un sector representativo para la economía de Norte de Santander. A pesar del reconocimiento de la calidad de los productos fabricados a nivel nacional e internacional, el desarrollo del sector aún se encuentra en fase de consolidación si se compara con los grandes referentes del mundo, entre estos, la industria cerámica española e italiana. En la búsqueda de alternativas que permitan entrar en esta dinámica global, el equipo de investigación realizó algunas actividades encaminadas a aplicar el concepto de la economía circular (reutilización de residuos a los sistemas de producción) al proceso cerámico regional. En este caso particular se ha propuesto la reutilización del cisco de café (residuo de agroindustria regional) como sustituto del material arcilloso en la fabricación de materiales cerámicos de construcción. El trabajo experimental se desarrolló a nivel de laboratorio, usando la extrusión como técnica de conformado. Las materias primas fueron caracterizadas mediante fluorescencia y difracción de rayos X (FRX/DRX), así

como por análisis térmico (TG/DSC); las propiedades tecnológicas del cerámico evaluadas fueron: la contracción lineal de secado/cocción, porcentaje de absorción de agua, resistencia mecánica a la flexión y resistencia a la abrasión profunda. Al material de mejor comportamiento físico cerámico le fue evaluada la conductividad térmica mediante un método transitorio de flujo de calor. Los resultados obtenidos evidencian el potencial del cisco para reducir la conductividad térmica del material y el aporte calórico al sistema. La utilización del cisco de café permite obtener cerámicos para uso como revestimientos y pavimento de tipo residencial (Sánchez Molina, J., Álvarez Rozo, D., Gelves, J. F. & Corpas Iglesias, F. A., 2018).

## **2.2 Marco Contextual**

### **Universidad Francisco de Paula Santander.**

Se utilizaron los laboratorios de los que la universidad dispone para realizar los ensayos y análisis necesarios, especialmente el Laboratorio de Formación Cerámica, adscrito al departamento de Procesos Industriales de la Facultad de Ingeniería.

**Historia.** La Universidad Francisco de Paula Santander nace como fundación de carácter privado el 5 de Julio de 1962, con la Escuela de Economía. Ese mismo año el 19 de septiembre, el gobierno departamental le otorga la personería jurídica y se incorpora a la universidad las escuelas de topografía y dibujo.

Su objetivo es elevar el nivel cultural de la juventud Norte santandereana, solucionar el problema de numerosos bachilleres de la localidad que, por diversas causas, sobre todo

económicas, no pueden seguir estudios en otras ciudades del país y estrechar vínculos de solidaridad.

Por petición escrita del rector de esa época, Dr. José Luis Acero Jordán, se cede para el funcionamiento de la universidad un local de propiedad de este, ubicado en la calle 13 con avenidas 5 y 6 donde inicia labores la UFPS.

En el año de 1968 la asamblea del departamento autoriza al gobernador para que gestione el contrato de compraventa de un lote ubicado en la urbanización Quinta Oriental, lugar donde actualmente se encuentra la UFPS. Ese mismo año se inicia el programa de especialización de profesores en el exterior por medio de becas de la OEA, a través del Icetex.

El 1 de junio de 1970 se declara disuelta la Fundación Universidad de Cúcuta Francisco de Paula Santander, constituida como derecho privado y para garantizar su perpetuidad se acepta sea declarada como universidad oficial del departamento: quedando como establecimiento público descentralizado y con personería jurídica.

El número de estudiantes y el progreso de los programas académicos ofrecidos por la UFPS a la región ha aumentado notablemente, en la actualidad tiene una oferta académica respaldada en procesos de calidad conseguidos mediante el trabajo constante de toda la comunidad, en áreas concernientes a la ingeniería, salud, ciencias básicas, ciencias empresariales, ciencias agrarias, ciencias del medio ambiente, educación, artes y humanidades.

Hoy nuestra institución tiene en sus manos la inmensa tarea de brindar una formación a su estudiante soportada en la responsabilidad social, utilizando como herramientas las tecnologías de la comunicación e información.

La Universidad Francisco de Paula Santander, como institución pública en el sentido de sus posibilidades está permanentemente en la búsqueda de una formación que brinde al estudiante una misión de mundo desde una óptica crítica, que contribuya al desarrollo social y progreso en general de la región y el país.

***Laboratorio de formación cerámica.*** El presente proyecto fue un trabajo de investigación, y se llevó a cabo en el campus de la Universidad Francisco de Paula Santander -UFPS-, que cuenta con distintos laboratorios para el apoyo académico de los procesos de investigación en proyectos de pregrado y posgrado; y este proyecto, se desarrolló, más exactamente en el Laboratorio de Formación Cerámica, el cual presta sus servicios a diferentes programas académicos fundamentalmente al programa de Ingeniería Industrial; este laboratorio, está adscrito al departamento de Procesos Industriales de la Facultad de Ingeniería de la universidad. Este laboratorio fue creado con el fin de generar resultados, en cuanto a los procesos de I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) en la Universidad Francisco de Paula Santander, promoviendo la tecnificación y proyección de la cerámica no solo de la universidad sino de las empresas de la región.

***Historia.*** El Laboratorio de Formación Cerámica fue inaugurado en el 2010; este centro de estudios y producción es el resultado de un proceso de innovación educativa, liderado por la Universidad Francisco de Paula Santander, para promover la tecnificación y proyección de la

cerámica artesanal e industrial del Norte de Santander, en una alianza estratégica entre la academia y el sector productivo, promoviendo el desarrollo de la región y del país (Revista Siente la U; Título. UFPS inaugura nuevo laboratorio de Formación Cerámica; año. 2010; Volumen. 13; Páginas. 5-6).

*Áreas del laboratorio.* El laboratorio de Formación Cerámica cuenta con ocho áreas de actuación, distribuidas de la siguiente manera: sala de diseño, sala de preparación de pastas, sala de conformado industrial, sala de conformado artesanal, sala de secado y cocción, sala de decoración, sala de control y calidad y almacén. (Fuente: Base de datos del Laboratorio de Formación Cerámica de la Universidad Francisco de Paula Santander.)

*Análisis que se pueden realizar en el Laboratorio.* El Laboratorio de Formación Cerámica, está dotado de equipos con el fin de ofrecer servicios de análisis y control de proceso, asegurando así productos de buena calidad, y para el desarrollo de investigaciones y/o prácticas industriales, entre otras. (Fuente: Base de datos del Laboratorio de Formación Cerámica de la Universidad Francisco de Paula Santander).

*Misión.* La Universidad Francisco de Paula Santander es una institución pública de educación superior, orientada al mejoramiento continuo y la calidad en los procesos de docencia, investigación y extensión, en el marco de estrategias metodológicas presenciales, a distancia y virtuales, cuyo propósito fundamental es la formación integral de profesionales comprometidos con la solución de problemas del entorno, en busca del desarrollo sostenible de la región.

*Visión.* La Universidad Francisco de Paula Santander será reconocida a nivel nacional por la alta calidad, competitividad y pertinencia de sus programas académicos, la generación de conocimiento, la transferencia de ciencia y tecnología, y la formación de profesionales con sentido de responsabilidad social, utilizando estrategias metodológicas presenciales, a distancia y virtuales, que faciliten la transformación de la sociedad desde el ámbito local hacia lo global.

*Logo*



**Figura 1.** Logo corporativo UFPS.

### 2.3 Marco Teórico

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

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural arcilla

puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:  $\text{Al}_2\text{O}_3; 2\text{SiO}_2; \text{H}_2\text{O}$ .

Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina, son elaborados con arcilla. También se utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, revestimientos cerámicos, producción de cemento y procesos químicos (I. Reyes Jaramillo, 2000).

- **Baldosa cerámica:** Las baldosas cerámicas son placas de poco grosor, generalmente utilizadas para revestimiento de suelos y paredes, fabricadas a partir de composiciones de arcillas y otras materias primas inorgánicas, que se someten a molienda o amasado, se moldean y seguidamente son secadas y cocidas a temperatura suficiente para que adquieran las propiedades requeridas de modo estable.

La clasificación básica de las baldosas cerámicas resulta del método utilizado para su moldeo y de la absorción de agua. El acabado superficial da ulteriores criterios de clasificación.

Las baldosas pueden ser moldeadas por extrusión o por prensado en seco. Las baldosas extruidas forman el grupo A, y las prensadas en seco el grupo B, según la norma ISO 13006 (Equivalente en Colombia a la norma NTC 919). (ISO 13006, Tercera ed., 2018.)

La porosidad de las baldosas cerámicas se expresa por el porcentaje de absorción de agua sobre el peso total de la baldosa, medido según un ensayo normalizado. La porosidad guarda una relación próxima con algunas de las restantes características de las baldosas cerámicas. (O. J. Restrepo Baena, 2011).

Las siguientes tablas, indican los valores mínimos requeridos en cada uno de los ensayos aplicados al material, los cuales el producto debe cumplir para poder ser apto de exportación.

**Tabla 1.** Propiedades de baldosas cerámicas extruidas.

<b>Propiedades de baldosas extruidas</b>				
<b>Propiedad</b>	<b>AI</b>	<b>AIIa</b>	<b>AIIb</b>	<b>AIII</b>
Absorción de agua	$E \leq 3\%$	$3\% < E \leq 6\%$	$6\% < E \leq 10\%$	$E > 10\%$
Resistencia mecánica a la flexión	$\geq 23\text{N/mm}^3$	$\geq 20\text{N/mm}$	$\geq 17\text{N/mm}^3$	$\geq 8\text{N/mm}^3$
Abrasión profunda	$\leq 275 \text{ mm}^3$	$\leq 393 \text{ mm}^3$	$\leq 649\text{mm}^3$	$\leq 2365\text{mm}^3$
Abrasión superficial	Clase 4	Clase 3	Clase 2	Clase 1

**Fuente:** Norma ISO 13006.

**Tabla 2.** Propiedades de baldosas cerámicas prensadas.

<b>Propiedades de baldosas prensadas</b>					
<b>Propiedad</b>	<b>BIIa</b>	<b>BIIb</b>	<b>BIIa</b>	<b>BIIb</b>	<b>BIII</b>
Absorción de agua	$E \leq 0.5\%$	$0.5\% < E \leq 3\%$	$3\% < E \leq 6\%$	$6\% < E \leq 10\%$	$E > 10\%$
Resistencia mecánica a la flexión	$\geq 35\text{N/mm}^3$	$\geq 30\text{N/mm}$	$\geq 22\text{N/mm}^3$	$\geq 18\text{N/mm}^3$	$\geq 15\text{N/mm}^3$
Abrasión profunda	$\leq 175 \text{ mm}^3$	$\leq 175 \text{ mm}^3$	$\leq 345\text{mm}^3$	$\leq 540\text{mm}^3$	NA
Abrasión superficial	Clase 5	Clase 4	Clase 3	Clase 2	Clase 1

**Fuente:** Norma ISO 13006.

Entre las tipologías de baldosas que encontramos en el mercado internacional encontramos las siguientes:

**Azulejos.** Es la denominación tradicional de las baldosas cerámicas de porosidad elevada. Sus características las hacen adecuadas para uso predominante como revestimiento de paredes interiores.

**Pavimento de gres.** Son adecuadas para suelos interiores en locales residenciales o comerciales. Las que reúnen las características pertinentes, y en especial la resistencia a la helada o alta resistencia a la abrasión, pueden utilizarse también para revestimiento de fachadas y de suelos exteriores.

**Gres Porcelánico.** Es la denominación generalizada de las baldosas cerámicas de muy baja absorción de agua, y por tanto con una mayor dureza y resistencia a las manchas, heladas y cambios de temperatura. En la actualidad predomina el gres porcelánico esmaltado, aunque en los primeros años de producción estas baldosas eran mayoritariamente sin esmaltar.

**Baldosín Catalán.** Es tradicional su uso en la costa mediterránea para solado de terrazas, balcones y porches, con frecuencia en combinación con olambrillas (pequeñas piezas cuadradas con decoraciones normalmente en blanco y azul).

**Gres rústico.** Sus características particulares lo hacen especialmente adecuado para diferentes usos: revestimiento de fachadas, solados exteriores incluso de espacios públicos, suelos de locales públicos, suelos industriales, etc. Su acabado con moderadas irregularidades de superficie, aristas y color les dan posibilidades decorativas particulares.

**Barro cocido.** Es la denominación más común de una gran variedad de productos con características muy diferentes, coincidentes sólo en la apariencia rústica. Sus características lo hacen especial y casi exclusivamente adecuado para edificación o estancias de búsqueda rusticidad. (ASCER, Pisos.com, 2011)

Las baldosas cerámicas se clasifican según el tipo de tráfico al que pertenecen, el tráfico se mide teniendo en cuenta algunas propiedades y características del producto final permitiendo identificar la ubicación y el uso en donde puede ser empleadas como se muestra en la Tabla 3. Esta clasificación es proporcionada por la norma ISO 13006 teniendo en cuenta los valores observados según la norma UNE-EN ISO 10545 de los ensayos realizados.

**Tabla 3.** Tipo de tráfico de baldosas.

Tipo	Uso	Carga de rotura a la flexión	Baldosas esmaltadas		Dureza Mohs	Baldosas no esmaltadas
			Resistencia a la abrasión			Resistencia a la abrasión
			Según UNE-ES ISO 10545-7			Según UNE-ES ISO 10545-6
		Según UNE-ES ISO 10545-4	Cambio visible y resistencia a manchas*etapa	Perdida media de brillo a 60° en etapa de 600 revoluciones	Según ex UNE 67-101	Volumen de material eliminada
1	Paramento	> 450N				
2	Suelos tránsito peatonal leve					< 2356 mm <sup>3</sup>
3	Suelos tránsito peatonal moderado		≥ 600 revoluciones		Mínimo 4	< 1419 mm <sup>3</sup>
4	Suelos tránsito peatonal medio	> 900N	≥ 1500 revoluciones	< 15		< 649 mm <sup>3</sup>
5	Suelo tránsito peatonal intenso		≥ 2100 revoluciones			< 393 mm <sup>3</sup>
6	Suelos tránsito peatonal muy intenso		≥ 6000 revoluciones		Mínimo 6	<175 mm <sup>3</sup>
7	Suelos tráfico rodado	> 2000N				

- **Proceso cerámico:** El proceso cerámico comienza con la selección de las materias primas que deben formar parte de la composición de la pasta, que son fundamentalmente arcillas, feldespatos, arenas, carbonatos y caolines.

En la industria cerámica tradicional las materias primas se suelen utilizar, por lo general, tal y como se extraen de la mina o cantera, o después de someterlas a un mínimo tratamiento. Su procedencia natural exige, en la mayoría de los casos, una homogeneización previa que asegure la continuidad de sus características.

Una vez realizada la primera mezcla de los distintos componentes de la pasta cerámica, ésta se somete por lo general a un proceso de molturación, que puede ser vía seca (molinos de martillos o pendulares) o vía húmeda (molinos de bolas continuos o discontinuos).

El material resultante de la molturación presenta unas características distintas si se efectúa por vía seca o por vía húmeda. En el primer caso, se produce una fragmentación, manteniéndose tanto los agregados como los aglomerados de partículas, siendo el tamaño de partículas resultante superior ( $> 300$  micras) al obtenido por vía húmeda ( $< 200$  micras). Al elegir el tipo de molturación a emplear, un factor decisivo lo constituye el costo de la inversión a realizar en cada caso.

El proceso de amasado consiste en el mezclado íntimo con agua de las materias primas de la composición de la pasta, con esto se consigue una masa plástica fácilmente moldeable por extrusión.

El proceso de conformado puede ser mediante prensado o extrusión. El procedimiento predominante de conformación de las piezas es el prensado en seco (5-7% de humedad), mediante el uso de prensas hidráulicas. Este procedimiento de formación de piezas opera por acción de una compresión mecánica de la pasta en el molde y representa uno de los procedimientos más económicos de la fabricación de productos cerámicos de geometría regular, y presentan una serie de características como son: elevada fuerza de compactación, alta productividad, facilidad de regulación y constancia en el tiempo del ciclo de prensado establecido.

Básicamente el procedimiento de conformación de pieza por extrusión consiste en hacer pasar una columna de pasta, en estado plástico, a través de una matriz que forma una pieza de sección constante. Los equipos que se utilizan constan de tres partes principales: el sistema propulsor, la matriz y la cortadora. El sistema propulsor más habitual es el sistema de hélice.

Independientemente del proceso de moldeado, la pieza cerámica una vez conformada se somete a una etapa de secado, con el fin de reducir el contenido en humedad de las piezas tras su conformado hasta niveles lo suficientemente bajos (0,2-0,5 %). Después de la etapa de secado se realiza la cocción, que le da la dureza al material, este proceso industrial genera una gran variedad de baldosas en el mercado, disponibles en una extensa gama de colores, texturas, formas y motivos (Pisos.com, Tau Cerámica, 2020).

- **Café:** El café es uno de los productos básicos del mundo que más se comercializa. Es el principal producto agrícola de Colombia, y de él depende un porcentaje significativo de la

economía y el sustento de gran parte de la población. Se produce en más de 50 países y proporciona un medio de vida a más de 25 millones de familias caficultoras en el mundo entero. Entre los consumidores, el café es una bebida que goza de popularidad universal, y las ventas suponen más de 70.000 millones de dólares al año. El café es, después del petróleo, el producto comercial más importante del mundo; supera al carbón, al trigo y al azúcar.

El cultivo del café es para muchos de los países tropicales en desarrollo una de las pocas actividades económicas en que ellos tienen alguna ventaja competitiva. Este producto no sólo representa un importante origen de divisas, sino que es una de las principales fuentes de ingresos en efectivo de las zonas rurales. Hace posible que países como Colombia puedan comprar bienes manufacturados y estimula la actividad económica interna al otorgar mayor poder adquisitivo a sus agricultores.

El café es la bebida que se obtiene a partir de los granos tostados y molidos de los frutos de la planta del café (cafeto); es altamente estimulante por su contenido de cafeína, una sustancia psicoactiva. Este producto es uno de los más comercializados del mundo y una de las tres bebidas más consumidas del mundo junto con el agua y el té.

Es de vital importancia saber, que el desecho de café contamina el medio ambiente por ser botado húmedo, el cual generaría con otras basuras un tipo sándwich creando gases de invernadero. Hoy en día se han realizado investigaciones donde se ha llegado a la conclusión que el no usarlo, sería dejar pasar una oportunidad importante para utilizar dicha materia prima en diferentes escenarios de diseño y decoración. Es como se puede convertir la amenaza en fortaleza, enmarcada

en la creación de nuevos materiales y productos a partir de un residuo que se desecha en cantidades en nuestro planeta, millones de kilos son arrojados en la basura y muy pocos kilos son usados en otros tipos de usos (D. Echeverri, Hecho en Café, 2005).

Hay diferentes variedades de café, entre las que se destacan, la variedad arábica, que se cultivan fundamentalmente en Centroamérica, Sudamérica, Asia y Este de África y la variedad robusta, son cultivados principalmente en África, aunque hay algunos cultivos en Brasil y Asia; Los cafés Arábica representan cerca del 65%-70% del mercado y los Robusta el 35%-30%. El café Arábica tiene un sabor más delicado y un aroma más refinado que la variedad Robusta, aunque las plantas de café Arábica son más delicadas y difíciles de cultivar. Por su parte, el café Robusta requiere condiciones menos exigentes de cultivo que el café Arábica, tiene mayor contenido de cafeína, un sabor más fuerte y mayor acidez. (Blog Candelas.com)

Cuando se recolectan el café en el cafetal, ya sea de la variedad Robusta o de la variedad Arábica, los granos tienen que experimentar un largo proceso hasta terminar en nuestras tazas de café. En dicho proceso, las cerezas o frutos del cafeto han de abrirse para sacar las semillas o granos, retirando la pulpa que las protege, mediante un proceso en húmedo o en seco, para que una vez terminado el proceso se obtenga un grano limpio, al que se llama café pergamino, café oro o grano miel, dependiendo del método que se haya utilizado.

Después se procede a retirar el pergamino o cáscara protectora del grano, dejando el grano totalmente limpio y listo para su tostado. Esa es la forma en que se suelen comercializar los granos de café a gran escala. A ese grano ya pelado y listo para exportar se le conoce como café verde. Precisamente el procedimiento de tostado del café verde es clave para obtener una bebida de

calidad. El tostado puede hacerse sin añadir ningún ingrediente al café, lo que se denomina tueste natural, o añadiendo azúcar a los granos del café, tostándolo mediante el procedimiento de torrefactado. Según se utilice uno u otro método de tueste se obtiene el grano de café natural y el grano de café torrefacto (O. L. Ocampo López y L. M. Álvarez Herrera, 2017).

Finalmente, de las más de cien especies que pertenecen al género *Coffea*, se usan principalmente solo dos para la preparación de la bebida; *Coffea arábica* y *Coffea canephora*. La primera especie, abarca casi 3/4 partes de la producción mundial y se cultiva principalmente desde México hasta Perú. Los diez países con mayor producción de café arábigo, según las estadísticas del 2018-2019 son; Brasil, Colombia, Etiopía, Honduras, Perú, Guatemala, México, Nicaragua, China, India, Bolivia, Camerún, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Ecuador, Haití, la isla de Java, Jamaica, Kenia, Panamá, Puerto Rico, República Dominicana, Tanzania y Venezuela; esto posiciona a Colombia como un gran productor de café y el residuo generado por su consumo (borra de café) se puede encontrar con mayor facilidad (M. L. Quintero Rizzuto y M. Rosales, 2014) (C. Velásquez Agudelo y M. Trávez Velásquez, 2019)

## **2.4 Marco Conceptual**

### **2.4.1 Plasticidad**

Es la característica más sobresaliente de las arcillas. La distinguimos porque, gracias a ella, el objeto modelado conserva la forma. La plasticidad guarda una estrecha relación con la estructura laminar de las partículas y el agua. Sin el agua no existiría la plasticidad, pues las

partículas no podrían deslizarse unas sobre otras. Cuanta más plástica es una arcilla, más agua absorberá. De aquí se desprende el concepto de agua de plasticidad, esto es, el porcentaje de agua necesario para que cualquier tipo de arcilla o pasta posea la flexibilidad requerida para ser trabajada con un método concreto de fabricación. Se necesita un contenido de agua diferente si se tornea, modela, para moldes a presión, para vaciar. Siempre se debe medir y contabilizar la cantidad de agua añadida al material seco para hacerlo plástico (F. Ginés, C. Feliu, J. García Ten y V. Sanz, 1997)

#### **2.4.2 Pasta cerámica**

Puede definirse como una mezcla de arcillas, o arcilla y otras sustancias minerales terrosas, que se mezclan para lograr una finalidad cerámica determinada. A veces, basta con una arcilla extraída directamente del suelo y mezclada con la cantidad correcta de agua para lograr los fines deseados. Sin embargo, lo que hoy exigimos a la arcilla hace corrientemente necesario mezclar dos o más materiales para lograr los resultados deseados con el fin de obtener las propiedades finales deseadas del producto (R. Fuentes, O. Mejía, B. Caudillo y G. De la Rosa) (J. D. Santos Amado, P. Y. Malagón Villafrades y E. M. Córdoba Tuta, 2011.)

#### **2.4.3 Desgrasante**

Son materiales de constitución no plástica y se agrega a la arcilla para evitar una plasticidad excesiva. Los desgrasantes aportan mejor resistencia en crudo (facilitando la manipulación de la arcilla) y le permiten soportar los cambios de temperatura durante la cocción (evitando la rotura o quebraduras en las piezas), así como, para mejorar la retracción al secarse

la pasta. Son sustancias comunes como el cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, rocas graníticas, arena, polvo de tiestos de barro cocido (chamota), etc. Los desgrasantes orgánicos consiguen dejar huecos al cocer la pieza, espacio molecular que permite el ajuste de las partículas dándole ciertas propiedades al producto final. Las materias primas no plásticas reducen la plasticidad y facilitan la defloculación, mejoran la permeabilidad y empaquetamiento de la pasta, y aportan óxidos para la formación de fases líquidas y cristalinas o son inertes. Los principales minerales no plásticos son: feldespatos (y feldespatoides) que son fundentes; cuarzo y arenas silíceas que actúan como inertes; calcita y dolomita, que pueden ser reactivos y también fundentes; y los óxidos de Fe y otros elementos (Cu, Co, Mn, Ti) que suelen actuar como pigmentos, y en ciertos casos como fundentes (M. Cruz Zuluaga, L. Ortega y A. Alonso Olazábal, 2012) (E. Galán y P. Aparicio, 2005)

#### **2.4.4 Borra de café**

A los residuos del café se le conoce comúnmente como borra, cascarilla, cuncho, poso o ripio. Esto es el sedimento que deja el café en un filtro, una vez que ha sido preparado y colado. La borra del café tiene sorprendentes propiedades saludables, hay que tener en cuenta que sólo el 1% del grano llega a la taza. Los cunchos restantes de la cafetera aún están cargados de nutrientes, productos orgánicos y otras propiedades físicas que pueden aprovecharse.

Esto, unido al dato de que el sector genera al año 2 mil millones de toneladas de residuos y otros subproductos, hace pensar que los residuos se podrían reutilizar. Es lamentable tirar todas estas propiedades a la basura, pues -según las investigaciones- son muy ricos en fibra, compuestos fenólicos (conocidos por sus propiedades antioxidantes), entre otros. A pesar de las

propiedades saludables de los residuos y de la cascarilla del fruto tostado, estos apenas se reutilizan en la industria alimentaria y acaban en los rellenos sanitarios. (E. Ortiz Palacios).

#### 2.4.5 Análisis térmicos

Son aquellos análisis que engloban una serie de técnicas en las cuales una propiedad física de una sustancia y/o productos de reacción es medida de forma continua en función de la temperatura, mientras esta se halla sujeta a un ciclo térmico determinado; en la tabla 3, se muestran algunos análisis térmicos utilizados en esta investigación.

**Tabla 4.** Técnicas de análisis térmico.

<b>Técnica</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Parámetro medido</b>
Análisis Térmico Diferencial	ATD	Diferencia de temperatura
Termogravimetría	TG	Peso
Dilatometría	DIL	Longitud
Microscopio de Calefacción	NA	Cambios dimensionales
Calorimetría diferencial de barrido	DSC	Diferencia de calor

**Fuente. Libro:** Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas.

#### 2.4.6 Análisis térmico diferencial (DTA)

Consiste en la medida de diferencia de la temperatura que puede existir entre una sustancia problema y otra de referencia o inerte, cuando ambos materiales se someten, al mismo tiempo y en igual grado, a un calentamiento o enfriamiento controlado (A. Barba, V. Beltrán, C. Feliu, J. García, F. Ginés, E. Sánchez y V. Sanz, 2002)

#### **2.4.7 Análisis termogravimétrico (TG)**

Determina la pérdida o ganancia de masa que sufre una muestra en función de la temperatura y/o el tiempo. Este método de análisis complementa el análisis térmico diferencial ya que permite distinguir entre reacciones que implican pérdida de masa de las que no lo hacen. En caso de reacciones bien definidas e identificables puede utilizarse también para análisis cuantitativo de constituyentes que se descomponen durante el calentamiento (A. Barba, V. Beltrán, C. Feliu, J. García, F. Ginés, E. Sánchez y V. Sanz, 2002).

#### **2.4.8 Análisis dilatométrico (DIL)**

Análisis que mide la expansión o contracción de una muestra, este se lleva a cabo mediante el uso de un dilatómetro. La ventaja de estas pruebas es una descripción más precisa del desplazamiento y la deformación del suelo de fundación (A. Barba, V. Beltrán, C. Feliu, J. García, F. Ginés, E. Sánchez y V. Sanz, 2002).

#### **2.4.9 Ensayo absorción de agua**

El ensayo tiene como objetivo determinar la capacidad de absorción de agua de las baldosas cerámicas relacionando la masa de la pieza en seco y la masa saturada en agua. Hay dos métodos para obtener la impregnación con agua de los poros abiertos de las muestras: ebullición, que se emplea para la clasificación de las baldosas y para especificaciones de productos. Y la inmersión bajo vacío, que se emplea para determinar la porosidad aparente, la densidad aparente relativa y la absorción de agua para propósitos diferentes a la clasificación (ISO 10545-3, Segunda ed., 2018)

#### **2.4.10 Resistencia mecánica a la flexión**

El ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia mecánica a la carga que resiste un cuerpo (Baldosa cerámica) mediante la ruptura de su estructura, se realiza según el procedimiento de la norma ISO 10545-4 (Equivalente a la norma colombiana NTC 4321-4) (ISO 10545-4, Cuarta ed., 2019, p. 8.)

#### **2.4.11 Resistencia a la abrasión profunda**

Es una característica que nos da información sobre el grado de cohesión interna de un material, también podríamos adjetivarlo como tenacidad, respecto a la agresión que supone la aplicación de un disco giratorio, ejerciendo una presión constante, sobre la superficie de la baldosa durante un tiempo fijado e interponiendo entre la superficie de la baldosa y el disco un material abrasivo. Esta característica esta completada en todos los materiales rígidos modulares, en el caso de las baldosas cerámicas, la longitud de la huella dejada sobre la baldosa se corresponde con un volumen de material exportado expresado en milímetros cúbicos, en base a una fórmula matemática que calcula ese volumen.

Las baldosas gresificadas son más tenaces que las porosas, y las prensadas más que las extruidas. El método de ensayo para la determinación de la resistencia a la abrasión profunda en baldosas no esmaltadas consiste en que la resistencia de la pieza se determina por medición de la longitud de la huella producida en la cara vista (Superficie de uso) por un disco rotatorio, bajo condiciones dadas y con el empleo de material abrasivo ISO 10545-6, Segunda ed., 2010, p. 4.)

#### **2.4.12 Difracción de Rayos X (DRX)**

La difracción de rayos X (DRX) es una herramienta analítica que nos permite determinar la geometría tridimensional de materiales cristalinos. Implica el uso de radiaciones electromagnéticas, es decir, rayos X, para elaborar el espacio interatómico dentro de un cristal. Desde sus inicios, este método se ha utilizado ampliamente con fines de investigación científica y desarrollo industrial. Hoy en día, esta técnica de suma importancia se está aplicando eficazmente en diversos sectores industriales, como la fabricación de cemento, la industria de la arcilla, la metalurgia y la industria farmacéutica. (ESPECTROMETRIA, 2020)

#### **2.4.13 Fluorescencia de Rayos X (FRX)**

La fluorescencia de rayos X (XRF, siglas en inglés) consiste en emisión de rayos X secundarios (o fluorescentes) característicos de un material que ha sido excitado al ser “bombardeado” con rayos X de alta energía o rayos gamma. Este fenómeno es muy utilizado para análisis elemental y análisis químico, particularmente en la investigación de metales, vidrios, cerámicos y materiales de construcción, así como en la de geoquímica, ciencia forense y arqueología. (Miramira, Vilcapoma, & Jacay, 2016)

#### **2.4.14 Ensayo de granulometría por hidrómetro**

Consiste en seleccionar una muestra de más o menos 50 gr que pase el tamiz número 200 previamente lavada y seca, a lo que queda retenido en el tamiz número 200 se le hace un lavado y

a lo que queda después del lavado se le lleva a un recipiente que irá al horno para determinar el porcentaje de gruesos de la muestra, ya que esta ha sido debidamente pesada antes de pasar por el tamiz número 200. La muestra que pasa el tamiz número 200 se deposita en un frasco; posteriormente se añaden 200 cm<sup>3</sup> de agua y aproximadamente 20 cm<sup>3</sup> de agente defloculante, se debe dejar la suspensión como mínimo una hora (la A. S. T. M sugiere que para suelos arcillosos se deje 16 horas), después de haber sometido la muestra al defloculante se transfiere la mezcla al vaso de la agitadora eléctrica se añade agua hasta llenar dos terceras partes del vaso, se realiza a dispersión de la muestra de 5 a 10 minutos. La muestra dispersada se lleva a un cilindro graduado y se le agrega agua hasta los 1000 cm<sup>3</sup>; se agita el cilindro durante un minuto tapando con la palma de la mano e invirtiéndolo repetidas veces, se hace esto para obtener una suspensión homogénea. Se coloca el cilindro sobre una mesa se pone a andar el cronómetro. Para los tiempos indicados se introduce el hidrómetro dentro del cilindro y se registran los datos, encargándose también de medir la corrección por menisco y la temperatura para cada medida. Permitiendo identificar los porcentajes de arcilla, limos y arenas presentes en la muestra.

#### **2.4.15 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)**

Es una técnica termo analítica en la que la diferencia de calor entre una muestra y una referencia es medida como una función de la temperatura. La muestra y la referencia son mantenidas aproximadamente a la misma temperatura a través de un experimento.

Generalmente, el programa de temperatura para un análisis DSC es diseñado de tal modo que la temperatura del portador de muestra aumenta linealmente como función del tiempo. La muestra de referencia debería tener una capacidad calorífica bien definida en el intervalo de

temperaturas en que vaya a tener lugar el barrido. El principio básico subyacente a esta técnica es que, cuando la muestra experimenta una transformación física tal como una transición de fase, se necesitará que fluya más (o menos) calor a la muestra que a la referencia para mantener ambas a la misma temperatura. Una reacción endotérmica o exotérmica es aquella que desprende o absorbe calor según sea el proceso y la cantidad de energía que se desprende depende de los elementos que entren en reacción. (Sancho Albachez, 2015)

## **2.5 Marco Legal**

### **2.5.1 Estatuto estudiantil**

Estatuto Estudiantil Universidad Francisco de Paula Santander. El Consejo Superior Universitario mediante el Acuerdo N° 69 de septiembre 5 de 1997 expide el Estatuto Estudiantil de la Universidad Francisco de Paula Santander. Título V. Del trabajo de grado:

*Artículo 139.* El trabajo de grado es un componente del plan de estudios y tiene como objetivos:

Brindar al estudiante la oportunidad de manifestar de manera especial su capacidad investigativa, su creatividad y disciplina de trabajo mediante la aplicación integral de los conocimientos y métodos requeridos.

Servir como instrumento de extensión a la comunidad y medio de generación del conocimiento.

Facilitar al estudiante su participación y concurso en la solución de problemas comunitarios.

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

**Artículo 140.** El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

- Proyecto de Investigación.
- Monografía.
- Trabajo de investigación: generación o aplicación de conocimiento.
- Sistematización del conocimiento.
- Proyecto de Extensión.
- Trabajo social.
- Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.
- Pasantía Trabajo dirigido.

**Parágrafo 1.** El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

**Parágrafo 2.** Para algunos Planes de Estudio y de acuerdo con sus características el Consejo Académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

### 2.5.2 Normas Técnicas

**Tabla 5.** Normas de investigación.

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>
ASTM C323-56	Métodos de prueba estándar para el análisis químico de arcillas blancas.

ASTM C324-01	Método de prueba estándar para determinar la humedad en arcillas blancas.
ASTM C325-81	Método de prueba estándar para determinar tamizado húmedo de arcillas blancas.
ASTM C 326-09	Método de prueba estándar para secado y la cocción encogimientos de Arcillas loza de cerámica.
ASTM D422	Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.
ASTM D 4318-17	Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils.
NTC 1522	Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.
NTC 2401	Arcillas grasas para la industria cerámica.
NTC 3674	Práctica para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos
NTC 4321-3	Baldosa Cerámica. Parte 3. Metodo de ensayo para determinar la absorción de agua, de la porosidad abierta, de la densidad relativa aparente y de la densidad aparente.
NTC 4321-4	Baldosa Cerámica. Parte 4. Método de ensayo para determinar el modulo de de rotura y la resistencia a la flexión.
NTC 4321-6	Baldosa Cerámica. Parte 6. Método de ensayo para determinar la abrasión profunda de baldosas no esmaltadas.
NTC 919	Baldosas ceramicas. Definiciones, clasificacion, características y rotulado.
Normas APA	Normas de la American Psychological Association.

### 2.5.3 Métodos Internos

Los métodos para realizar los diferentes ensayos serán determinados según el libro: “MANUAL PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE MATERIAS PRIMAS ARCILLOSAS”. AMORÓS, José Luis; SÁNCHEZ, Enrique; GARCÍA-TEN, Javier; SANZ, Vicente & MONZÓ, María. Instituto de Tecnología Cerámica, Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas, Universidad Jaume I Castellón. 178p.

### **3. Diseño Metodológico**

#### **3.1 Metodología**

El diseño de este estudio fue un diseño experimental, donde se identificó una alternativa de reutilización de desechos agroindustriales, evaluando el comportamiento y arrojando las posibles aplicaciones de baldosas cerámicas extruidas, mediante la formulación de mezclas entre una matriz arcillosa y un refuerzo agroindustrial (Borra de café). El método de estudio fue un método cuantitativo, en donde cada uno de los resultados numéricos y matemáticos de los análisis y ensayos desarrollados, permitieron conocer el comportamiento y características relevantes para las aplicaciones del material de revestimiento

Inicialmente, se determinaron los porcentajes de las formulaciones, tomando como referencia la literatura en la que especificaron mezclas similares entre estas dos materias primas. Sin embargo, la bibliografía fue escasa, generando poca información al respecto, por lo que fue necesario realizar diferentes pruebas preliminares, teniendo en cuenta las proporciones de la poca bibliografía encontrada y llegando a la conclusión que los porcentajes a trabajar sería 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60%, ya que valores intermedios se comportaban igual a los tomados en esta investigación.

El número de replicas para el desarrollo de los ensayos, se definieron evaluando dos factores como fue las temperaturas y los porcentajes de borra de café. De acuerdo con esto, para cada ensayo se utilizaron 15 especímenes por cada mezcla (Robert O. Kuehl)

Para la fase experimental, se realizó un muestreo en una mina de Villa del Rosario, la arcilla pertenecía a la formación geológica del grupo Guayabo. El muestreo consistió en la obtención de arcilla mediante la extracción de material arcilloso siguiendo parámetros de distancia a uno y dos metros de altura desde el suelo y a un metro entre cada muestra obtenida de izquierda a derecha. La arcilla obtenida se trituro, se tamizo, se mezcló y se homogenizo, hasta obtener un color uniforme y de esta manera, obtener la muestra representativa final con la que se procedió a realizar los diferentes ensayos.

Para el residuo agroindustrial (Borra de café), se recolectaron 50 kg, el residuo recolectado se mezcló y homogeneizó, además de tamizarlo por un tamiz malla ASTM 10 para garantizar la homogeneidad del tamaño. Este se lavó con agua destilada, se secó a  $100\pm 5$  °C durante 24 h y se mezcló en las diferentes proporciones.

Las formulaciones se extruyeron conformando prototipos de baldosas cerámicas tipo fachaleta y a cada uno se le realizaron los diferentes análisis de caracterización, absorción de agua, resistencia mecánica a la flexión, análisis térmicos y tribología.

### **3.2 Población y Muestra**

- **Población:** Las arcillas que se encuentran en el Área Metropolitana de Cúcuta y la borra de café obtenida en la ciudad de Cúcuta.

- **Muestra:** Arcillas obtenidas de la formación Guayabo obtenida de la empresa PISOS Y ENCHAPES MARGRES y la borra de café recolectada, los porcentajes a experimentar fueron 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% en borra de café.

### **3.3 Instrumentos para la recolección de la información**

Fuentes Primarias: Teniendo en cuenta el tipo de información que proporcionan las fuentes primarias por su grado de elaboración, se utilizó el método de la observación de tipo participante, en la cual el autor interactúa con lo observado.

Fuentes Secundarias: En cuanto a las técnicas de recolección secundaria para obtener información que soportara el mencionado trabajo se dispersa en múltiples archivos y fuentes de información de las cuales se hizo uso de libros en físico y online, artículos de investigación y artículos de magazine de páginas verídicas y trabajos de grado nacionales e internacionales que tuvieron relación con el tema a estudiar.

Análisis de la información: Para el análisis de la información, se utilizaron tablas de Excel para registrar los valores obtenidos en los diferentes laboratorios, acerca de las variables medidas en el material obtenido y formatos en Word para usar la estadística que apoye la realización de análisis, interpretación y discusión de la información.

#### 4. Resultado y Análisis

Para el desarrollo del proyecto de investigación se siguieron diferentes pasos según la materia prima a preparar. Para el material arcilloso, la extracción se desarrolló en una mina ubicada en el municipio de Villa del Rosario, pertenece a la formación geológica del grupo Guayabo de tipo illítico-caolinitica.

El muestreo se realizó en uno de los frentes de la mina, de forma intencional y de manera vertical, en forma de zigzag, se tomaron 20 puntos en la mina con el fin de tener una muestra representativa del frente seleccionado. Para realizar el muestreo correctamente, se retiró con ayuda de pica y pala, la parte superficial en cada punto donde se obtuvo la muestra, esto con el objetivo de extraer materiales como arenas, material orgánico y rocas. Una vez retirada la capa superficial, se realizaron perforaciones y se recolectó de cada punto alrededor de 16 kg (Anexo 1)

Al material recolectado, se le realizó inicialmente un proceso de trituración manual hasta obtener un tamaño de partícula pasante malla ASTM 5 (4,00 mm), tamizado el material, se mezcló y se homogenizó, hasta obtener un color uniforme. Utilizando la técnica de cuarteo, se obtuvo una muestra de 20 kg, a esta, se le realizó una molturación primaria hasta obtener un tamaño de partícula pasante malla ASTM 10 (2,00 mm); y de esta manera, obtener la muestra representativa final con la que se procedió a realizar los diferentes ensayos (Anexo 2).

Para el residuo agroindustrial (Borra de café), se recolectaron 50 kg de café de los diferentes hogares, restaurantes y cafeterías, una vez obtenido el residuo de café se procede a mezclar y homogeneizar la mezcla y así garantizar una muestra representativa de 10 kg, este procedimiento

se realizó mediante la técnica de cuarteo. La muestra se tamizó por un tamiz malla ASTM 10 para garantizar la homogeneidad del tamaño y simular los procesos industriales desarrollados en las empresas ladrilleras de la región. (Anexo 3). Tamizado el residuo, este se lavó con agua destilada, garantizando su limpieza, se secó a  $100\pm 5$  °C durante 24 h y se almacenó en bolsas plásticas para conservarlo. Una vez obtenidos las dos materias primas se procedió a realizar los siguientes ensayos:

#### 4.1 Evaluación química y mineralógica de la arcilla y la borra de café

Se prepararon, 1 kg de arcilla y 1 kg de borra de café, los cuales fueron analizados química y mineralógicamente mediante una difracción de rayos x (DRX) y una fluorescencia de rayos X (FRX).

- Resultados y análisis de la evaluación química y mineralógica de los materiales: El resultado obtenido para el análisis químico de la arcilla mediante FRX arrojó la siguiente información.

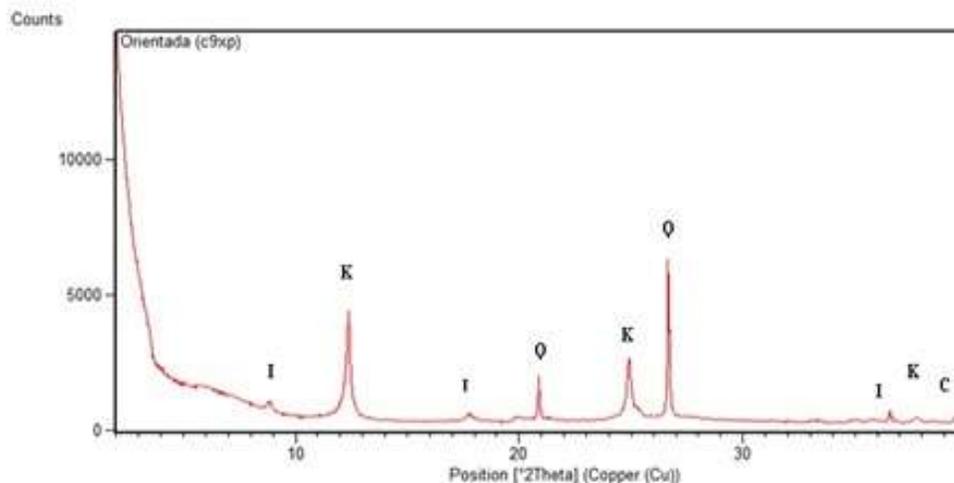
**Tabla 6.** Composición química de la arcilla (FRX)

Oxido	Denominación	Porcentaje en masa (%)
SiO <sub>2</sub>	Sílice	69,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alúmina	16,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Hierro	4,64
K <sub>2</sub> O	Oxido de Potasio	1,43
Na <sub>2</sub> O	Sodio	0,13
MgO	Magnesio	0,51
CaO	Calcio	0,27
TiO <sub>2</sub>	Titanio	0,88

MnO	Manganeso	0,04
SO <sub>3</sub>	Azufre	0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Anhidrido Fosfórico	0,11
L.O.I	Loss of Ignision	5,73
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>

**Fuente:** UIS.

En la tabla 6 se observan los óxidos que están presentes en la muestra de arcilla extraída de la mina, se puede observar que la muestra tiene un 69,80% de Sílice y 16,46% de Alúmina los cuales son los componentes principales de todo suelo arcilloso utilizado para la fabricación de productos cerámicos. El SiO<sub>2</sub>, presente en el suelo arcilloso influye como fundente, vitrificante, ayuda a controlar las contracciones y evita deformaciones en el producto, la Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, aporta la refractariedad y aumenta el punto de fusión, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aporta la tonalidad del producto final, al igual que los feldespatos actúa como fundente e influye en disminuir el punto de fusión, a mayor presencia Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la muestra el tono del producto final tendrá un color rojizo, el óxido de potasio K<sub>2</sub>O activa la absorción de agua del aire atmosférico, el óxido de calcio CaO conocido como “cal” debe tener presencia mínima en la muestra ya que porcentajes altos de este óxido ocasionan un defecto en el producto final conocido como caliche, disminuyendo su calidad final, demás óxidos como él (MgO, TiO<sub>2</sub>, MnO, SO<sub>3</sub>) presentes en la muestra actúan como pigmentos que aportan color, pero debido a su baja presencia no influyen notoriamente en las características finales



**Figura 2.** Difractograma arcilla (DRX)

La figura 2 indica la composición de los minerales presentes en la arcilla, el resultado del análisis arroja que hay presencia de mineral Illita (I), Caolinita (K), Cuarzo (Q) y Calcita (C) los cuales son minerales arcillosos que aportan a la plasticidad del material, minerales con diferentes propiedades cerámicas, los minerales predominantes son el cuarzo y la caolinita, el cuarzo presente debido a la arena (mismo óxido de sílice identificado en la muestra) y la caolinita, el cual es un mineral arcilloso que aporta a la plasticidad y a la refractariedad. El cuarzo disminuye las contracciones y aumenta la velocidad de secado, ejerce un control sobre la porosidad aumentando la resistencia a la abrasión y reduce el riesgo de agrietamiento y deformaciones en el producto final

El resultado obtenido para el análisis químico de la borra de café mediante FRX arrojó la siguiente información

**Tabla 7.** Composición química de la borra de café (FRX)

<b>Compuesto</b>	<b>Concentración</b>
Matriz	98,58%
K	0,39%
Ca	0,36%
S	0,17%
Mg	0,16%
P	0,15%
Si	0,05%
Fe	0,04%
Na	0,03%
Cl	0,03%
Al	0,03%

**Fuente:** UIS.

La tabla 7 muestra la presencia de elementos químicos presentes en la borra de café analizada, ya que el objetivo es conocer la presencia de elementos en la muestra; la tabla indica un macro componente de analito con elementos predominantes como el Potasio (K) utilizado comúnmente como fundente en pastas cerámicas y esmaltes, se añade a la formulación mediante feldespatos, es muy empleado como fundente alcalino junto con el sodio (Na) y el calcio (Ca) el cual se agrega a la formulación mediante calcita, rocas de caliza o mármol los elementos alcalinos y alcalinotérreos presentes en una pasta cerámica dan colores vivos en el producto final, debido a los óxidos y elementos químicos que posee la arcilla y la borra de café, el magnesio (Mg) presente también muy utilizado como fundente agregado comúnmente mediante talco, proporciona a la pasta buena adaptabilidad con esmaltes, y alta resistencia al choque térmico, ideal para esmaltado en mono cocción. Se estima que la temperatura de quema sea

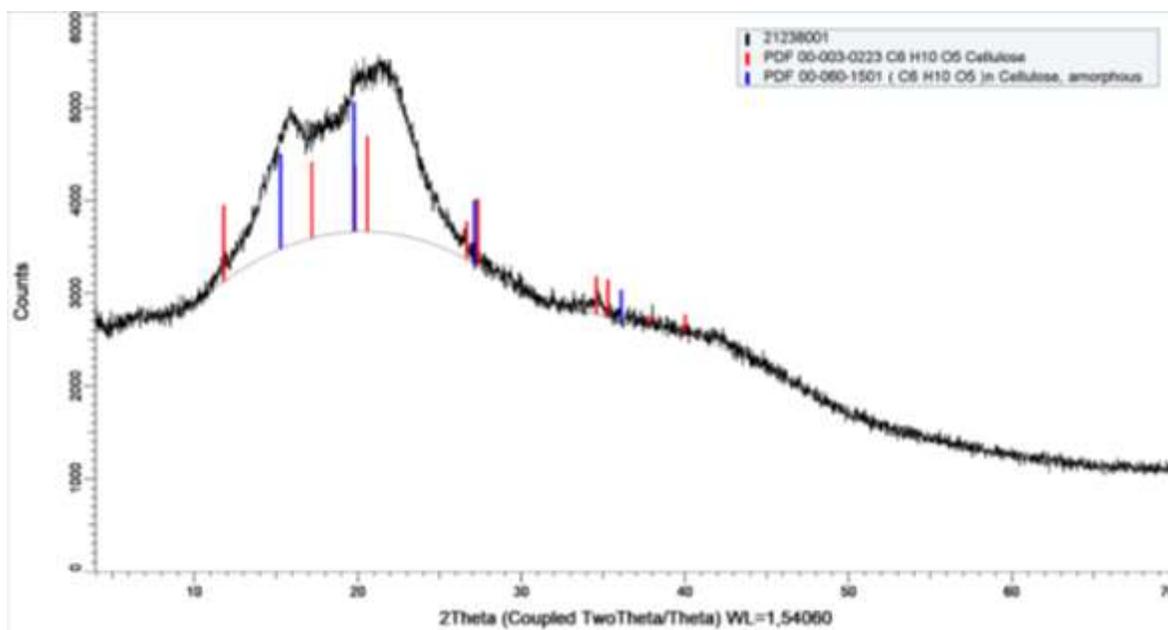
mayor o igual a 1100°C ya que a esta temperatura la mayoría de los óxidos presentes en la mezcla se funden y activan sus propiedades, esto se podrá confirmar más adelante.

**Tabla 8.** Difracción de Rayos X (DRX)

Fase	Nombre	Formula
Cristalino	Celulosa	$C_6H_{10}O_5$
Cristalino	Celulosa amorfa	$C_6H_{10}O_5$

Fuente: UIS

El análisis de Difracción de rayos X indica presencia de Celulosa y celulosa amorfa dentro de la muestra de borra de café, lo cual aporta positivamente a la pasta ya que mejora la resistencia a la tracción, a la flexión y a sus propiedades térmicas.



**Figura 3.** Difractograma de Rayos X

Fuente: UIS

#### **4.2 Identificación de las proporciones adecuadas de arcilla y borra de café, que permiten obtener la mejor pasta cerámica en la fabricación de un producto cerámico extruido**

Conocer el tamaño de grano de los materiales presentes en la muestra es de suma importancia ya que esto permite identificar el tipo de material y su influencia en la plasticidad del material. Un material cerámico con menor tamaño de grano aporta positivamente a la plasticidad del material final, para identificar el tamaño de grano del material se realizó un ensayo de granulometría por hidrómetro el cual consistió en tomar una cantidad de arcilla seca colocándola en un recipiente durante 12 horas, transcurrido ese tiempo es transferido al recipiente con agitador mecánico en el cual se mezcló por 1 minuto, luego se colocó la muestra en un cilindro de sedimentación graduado y agregamos agua destilada hasta una medida indicada, tapando con la mano o un tapón adecuado agitamos vigorosamente por 60 segundos, activamos el cronometro e introducimos el hidrómetro en la muestra en suspensión, se procede a tomar lecturas con el hidrómetro en diferentes intervalos y luego se extrae colocándolo en un recipiente con agua limpia; permitiendo identificar los porcentajes de arcilla, limos y arenas presentes en la muestra.

Una vez analizado el comportamiento mineralógico y la composición química de cada materia prima y tomando como referencia lo expuesto por Ahmed Manni et.al. (Valorization of coffee waste with Moroccan clayto produce a porous red ceramics (class BIII)), se realizaron formulaciones con proporciones de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% p/p de borra café, estas formulaciones se moldearon y se caracterizaron los productos elaborados mediante la propiedad estructural (Absorción de agua), la propiedad mecánica (Resistencia a la flexión), la propiedad

tribológica (Abrasión profunda) y los aspectos tecnológicos como densidad, contracción y pérdidas de peso.

**Tabla 9.** Serie de mezclas.

<b>Identificación</b>	<b>N° de muestras</b>	<b>Arcilla (%)</b>	<b>Borra de café (%)</b>
<b>P</b>	15	100	0
<b>E</b>	15	90	10
<b>R</b>	15	80	20
<b>A</b>	15	70	30
<b>M</b>	15	60	40
<b>I</b>	15	50	50
<b>C</b>	15	40	60

Además, con el fin de evaluar el comportamiento de las formulaciones durante el proceso de producción, se analizó el índice de plasticidad de cada una, este índice es importante para tener un buen proceso de producción sin afectaciones por excesos o falta de humedad en los productos; estos valores se evaluaron mediante el método de Casagrande, considerando los límites de Atterberg (Límite de plástico y límite líquido). Se observó durante el desarrollo del análisis que, cuando existe poca humedad en la muestra el conformado se hace muy difícil debido a que no compacta bien la pasta cerámica, y cuando hay exceso de agua, la pasta cerámica se tornaba viscosa mientras se desarrollaba el proceso de conformado. Una vez identificado el índice de plasticidad, se procedió al moldeado de los especímenes.

Los especímenes se conformaron mediante extrusora de laboratorio sin vacío, a través de una matriz rectangular y aproximadamente a 100 MPa debido a la baja cohesión que tenía la pasta a medida que se incrementaba el porcentaje de borra de café, se conformaron prototipos de baldosas rectangulares tipo fachaleta a escala 1:2 de  $12,5\text{ cm} \times 3,5\text{ cm} \times 0,5\text{ cm}$ , se fabricaron 15

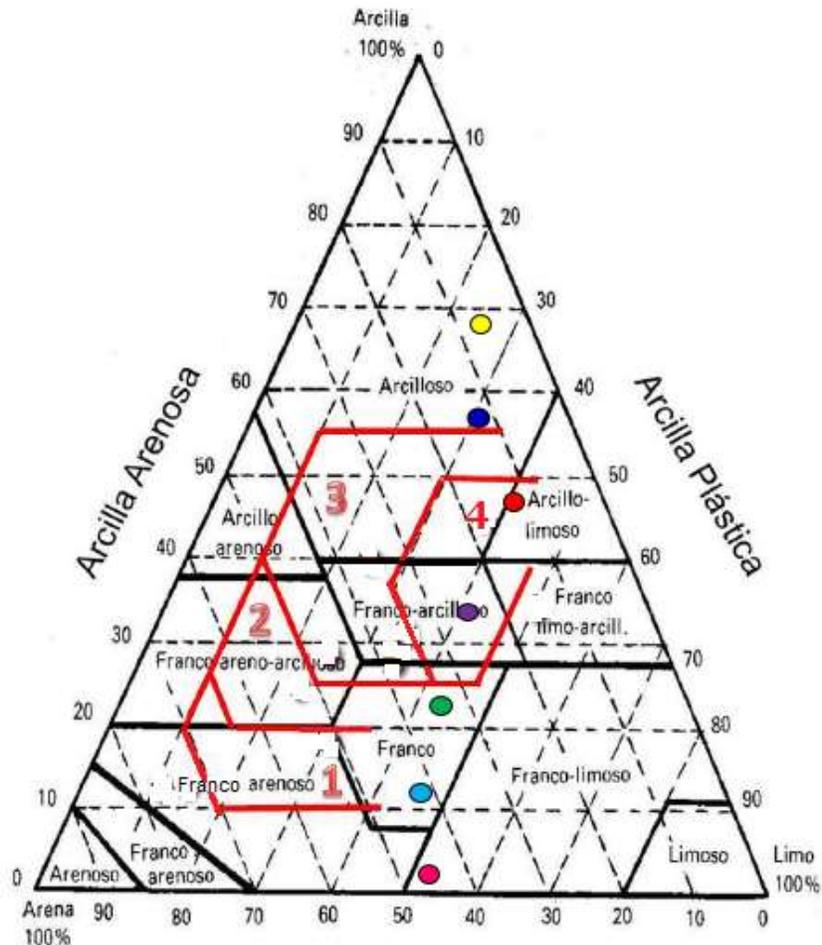
prototipos de cada formulación para el desarrollo de los ensayos. Los prototipos conformados, se sometieron a un secado a temperatura ambiente durante 96 h, para evitar fisuras o problemas geométricos; después se llevaron a la estufa de secado de laboratorio por un tiempo de 24 h a una temperatura de  $60\pm 5$  °C. Finalmente, se incrementó gradualmente la temperatura en 3 °C/h, hasta alcanzar  $100\pm 5$  °C, manteniéndolas 24 h en esa temperatura y así eliminar el agua intersticial (agua de poro) de las formulaciones, a cada espécimen se le tomó dimensiones y masa después de cada etapa (es decir, conformado, secado y cocción).

### **Comportamiento húmedo y seco de las mezclas**

Para identificar el tamaño de grano del material se realizó un ensayo de granulometría por hidrómetro el cual consistió en tomar una cantidad de arcilla seca colocándola en un recipiente durante 12 horas, transcurrido ese tiempo es transferido al recipiente con agitador mecánico en el cual se mezcló por 1 minuto, luego se colocó la muestra en un cilindro de sedimentación graduado y agregamos agua destilada hasta una medida indicada, tapando con la mano o un tapón adecuado agitamos vigorosamente por 60 segundos, activamos el cronometro e introducimos el hidrómetro en la muestra en suspensión, se procede a tomar lecturas con el hidrómetro en diferentes intervalos y luego se extrae colocándolo en un recipiente con agua limpia; permitiendo identificar los porcentajes de arcilla, limos y arenas presentes en la muestra.

Un material es plásticamente mayor en la parte superior del triángulo y menos plástico en los puntos inferiores. Entre mayor presencia de arcilla más plástico es el material. El residuo de café es un producto de textura similar a los suelos arenosos, su efecto en una pasta cerámica puede llegar a reemplazar a los materiales utilizados como fundentes y desgrasantes que comúnmente

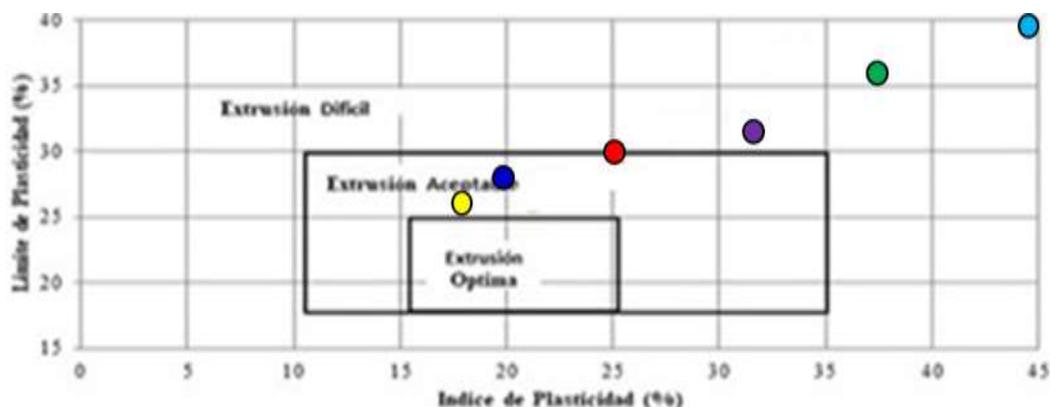
utilizan a los feldespatos, el cuarzo, la plagioclasa, rocas graníticas, arenas, polvo de tiestos de barro cocido (chamota), pajas varias, plumas, lutita, escorias granuladas, conchas molidas etc. en sus formulaciones.



**Figura 4.** Triángulo de actitudes de Winkler.

En el triángulo de aptitudes de winkler se clasifica cada una de las muestras y se conoce la zona de la que se extrajo mediante el porcentaje identificado de arenas limos y arcillas que tiene el material cerámico, permitiendo determinar el tipo de suelo al que pertenece dando como resultado el tipo de producto que se puede fabricar. En la gráfica se muestra que la pasta P se ubica en la

zona de suelo arcilloso, la pasta R suelo Arcillo-Limoso identificado en la zona 4 del triángulo de winkler.



**Figura 5.** Pronóstico de extrusión.

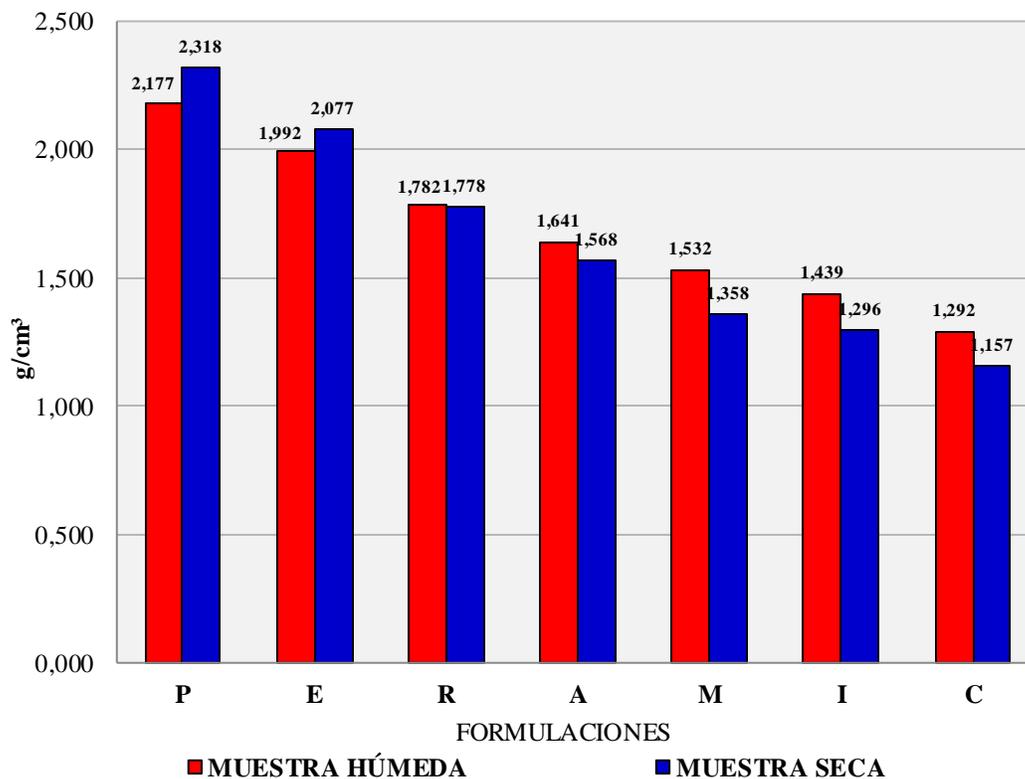
Según la norma ASTM D4318-17 se puede determinar el pronóstico de extrusión, donde existe una extrusión óptima, aceptable y difícil según el índice de plasticidad y el límite de plasticidad de cada muestra, en la figura 4 se identifica que para las formulaciones (P), (E), y (R) se pueden clasificar en extruido aceptable donde las muestras se conformaron con facilidad, para las formulaciones (A), (M) e (I) se clasifican en un extrusión difícil y para la formulación (C) no se pudo clasificar un tipo de extrusión ya que se sale completamente de los estándares.

El índice de plasticidad identificado para cada mezcla permite conocer la cantidad de agua necesaria que se debe agregar al material para realizar un correcto conformado, al agregarle café a la arcilla se pudo identificar que se necesita mayor cantidad de agua para conformar el producto tornando menos compleja la extrusión y facilitando la manipulación de los especímenes, esto debido a la baja densidad del café. Se detalló que, a mayor cantidad de café en la matriz arcillosa, mayor cantidad de agua se necesitó para el conformado, Sin embargo, este comportamiento tiene un límite, y es que al llegar al 50% de borra de café, el conformado se dificulta y las piezas toman

cierta ductilidad lo que no permite una fácil manipulación; este comportamiento en este rango de residuo se debe posiblemente a que existe un exceso de agua. Además, a esta difícil manipulación, se debe agregar que los productos con mayor cantidad de borra de café arrojaron mayores contracciones en seco y una importante reducción de la resistencia mecánica en seco, puntualmente cuando se adiciona un 40% de borra de café como se mostrará más adelante. Otro detalle importante para mencionar es que el color de los productos en las formulaciones se iba oscureciendo a mayor porcentaje de borra de café adicionada. Como alternativa hasta este punto, considerando solo el tema de la plasticidad, se puede contemplar el agregar una cantidad de borra de café a la formulación de arcilla con el fin de mejorar la plasticidad y facilitar la manipulación y conformado de los productos debido a que se observa que el adicionar borra de café influye positivamente a la plasticidad del material cuando este porcentaje no excede el 40% p/p de borra de café.

#### **4.3 Evaluación del comportamiento físico de las formulaciones**

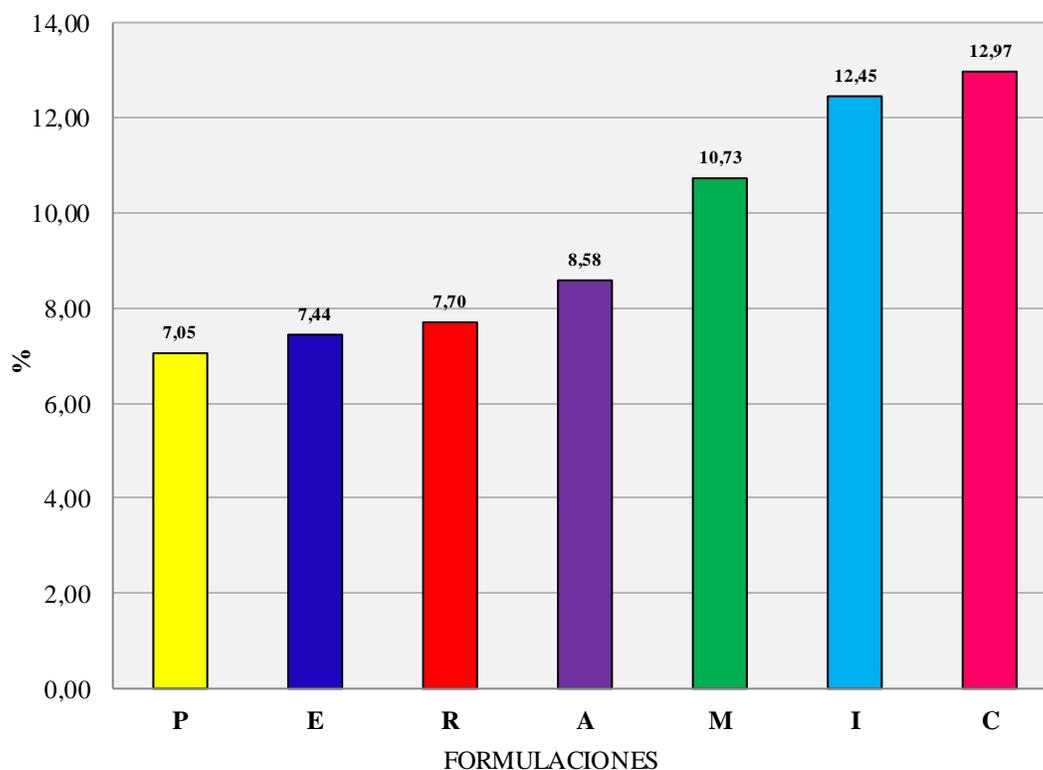
Una vez conformadas las probetas se caracterizaron en condición húmeda y seca, análisis como densidades, contracción lineal, pérdidas de masa y resistencia mecánica a la flexión fueron desarrollados.



**Figura 6.** Densidad de las formulaciones.

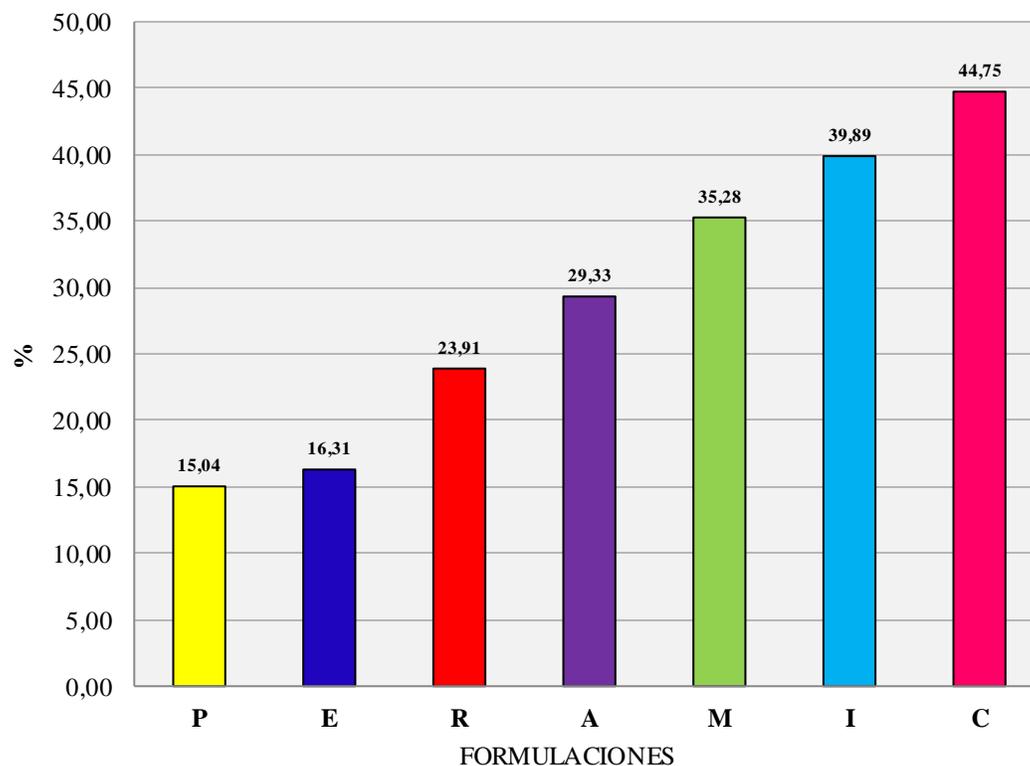
La densidad es la relación entre la masa y el volumen ocupado por la misma, en la figura 5 se puede observar que, a mayor proporción de borra de café menor es la densidad en las dos condiciones, esto indica que el residuo agregado es menos denso que la arcilla y al ocupar un espacio en la estructura interna de la pasta genera esta reducción en la densidad, esto se puede confirmar, observando el comportamiento durante el proceso de conformado, donde a mayor proporción de borra de café, mayor es la cantidad de agua necesaria para cohesionar la masa plástica que se va a extruir, todo esto genera incrementos en la contracción seca y en las pérdidas de peso en seco como se verá más adelante.

En la muestra P y E se puede observar que, después del proceso de secado la densidad seca se incrementa generando una mayor contracción, lo que posiblemente generará una mayor resistencia debido a una mejor unión de las partículas.



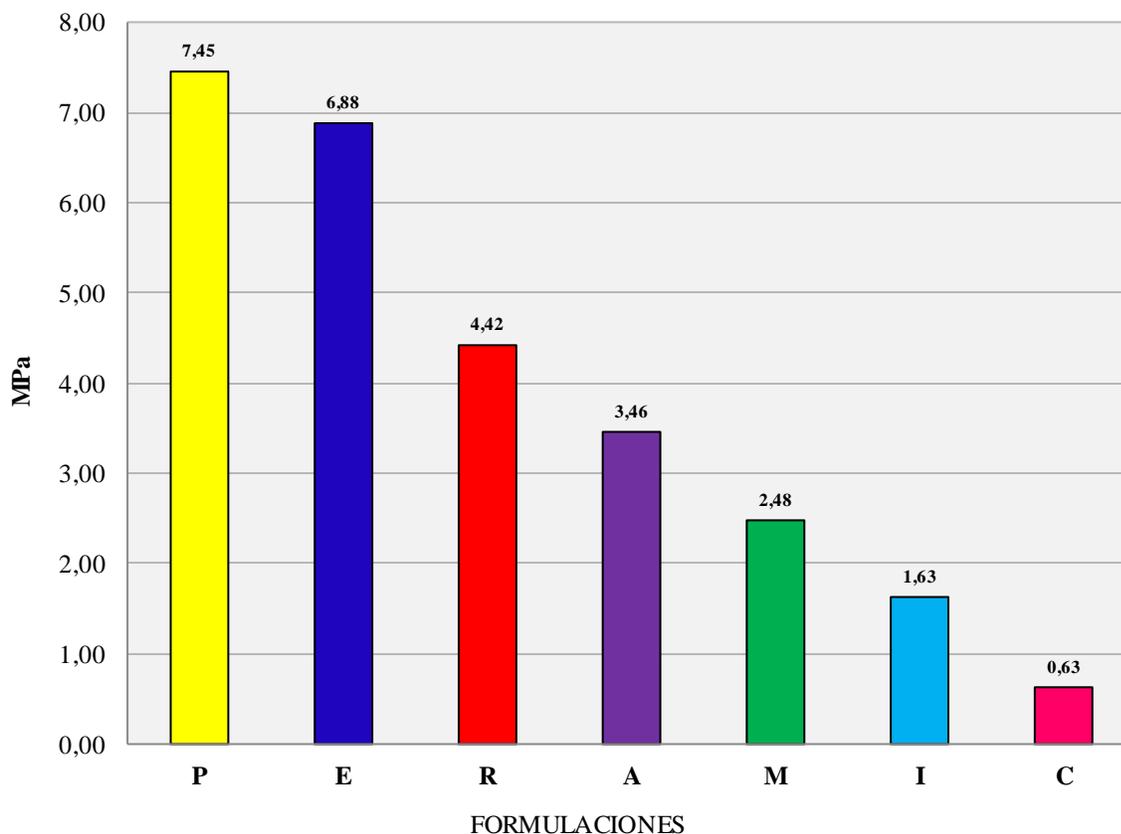
**Figura 7.** Contracción lineal seca.

En la Figura 7 se puede observar que a mayor cantidad de borra de café mayores contracciones se generan, esto es debido a la gran cantidad de agua que se necesita para el conformado y el espacio que ocupa entre las partículas. El agua al ser eliminada permite la unión de las partículas haciendo que se muevan y se unan. Para evitar algún defecto dimensional o estructural el secado debe ser lento ya que si existe un secado brusco el producto puede fisurarse.



**Figura 8.** Perdidas de masa en seco.

La figura 8 muestra que al aumentar la proporción del residuo mayores son las pérdidas de masa, esto es debido a lo comentado anteriormente que, al incrementar la proporción de residuo, las formulaciones necesitan mayor cantidad de agua para conformarse generando mayores pérdidas de masa.



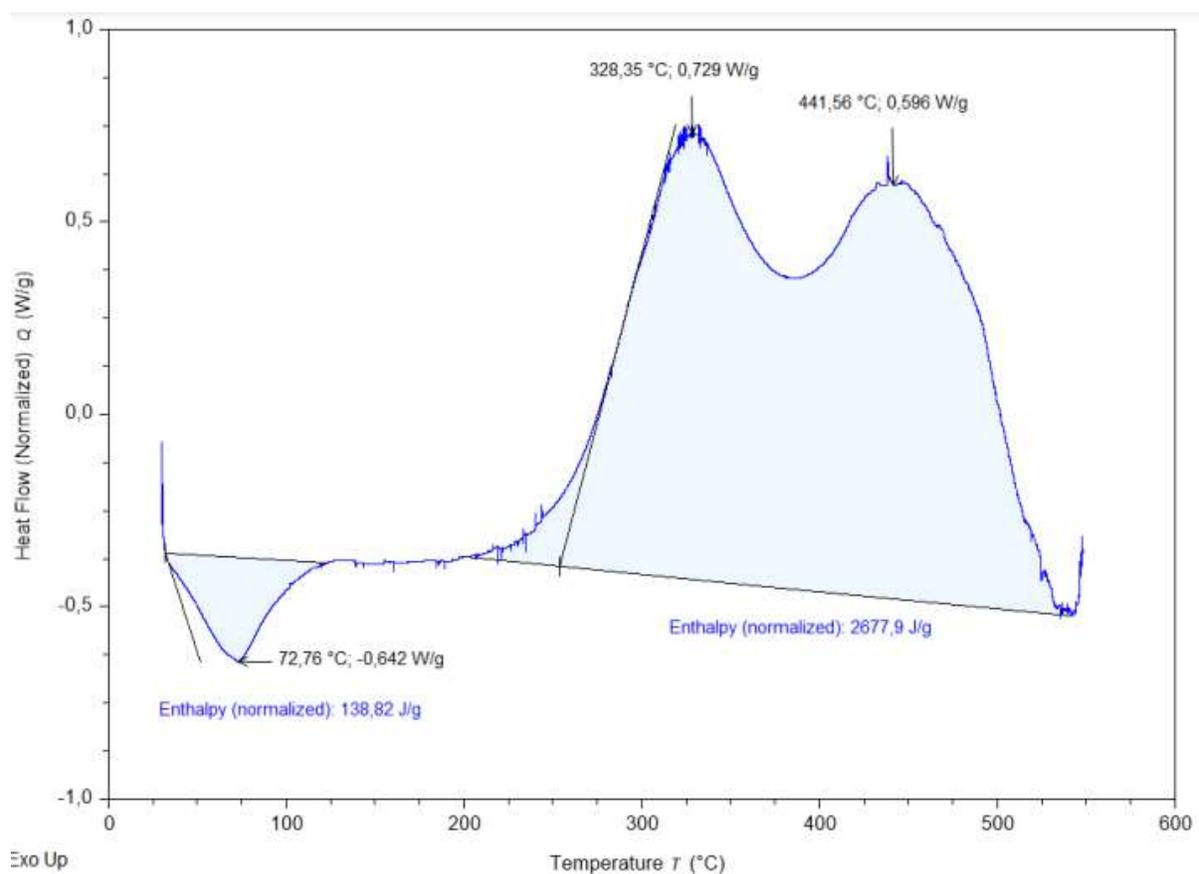
**Figura 9.** Resistencia mecánica a la flexión en seco.

La figura 9 muestra que, a mayor cantidad de borra de café en la muestra, menor la resistencia mecánica a la flexión en seco, indicando que el residuo de borra de café es un material que disminuye la resistencia mecánica ya sea por ser un material orgánico o por no tener elementos en su composición química que aporten positivamente a la resistencia. Los óxidos como lo son la alúmina, la sílice, el óxido de hierro, óxido de potasio y óxido de magnesio. En la literatura se menciona que la borra de café tiene metales alcalinos y alcalinotérreos como lo son el potasio, el sodio, el magnesio y el calcio que permitirán reemplazar los fundentes comúnmente utilizados en la industria de la cerámica, esto se aplicaría a las arcillas a las que se necesiten agregar fundentes para mejorar la cocción. Por otra parte, la adición de borra de café disminuye la resistencia mecánica del producto debido a la baja compactación del material.

#### 4.4 Evaluación térmica, mecánica y estructural del producto cerámico fabricado con las diferentes pastas cerámicas de mejor comportamiento

El análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) muestra (Anexo 5) que la borra de café fue sometida a un barrido de temperatura con una atmósfera de aire controlada siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D3418-15, con el fin de determinar las transiciones térmicas.

El análisis, del material se trabajó desde 30 °C y una Rampa de Temperatura: 5 °C/min hasta 550 °C. Los análisis se registraron con atmósfera de aire sintético seco a un flujo de 50 mL/min.



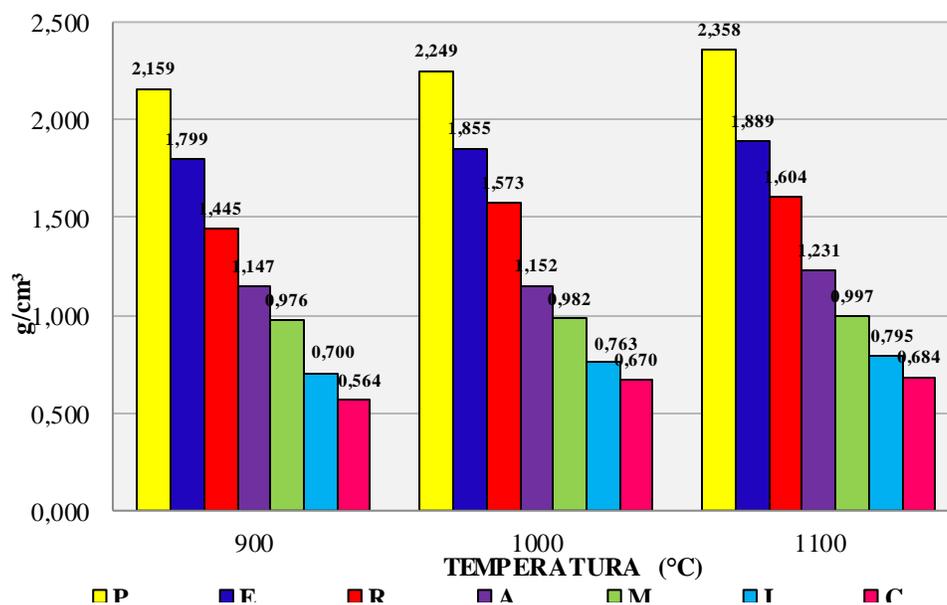
**Figura 10.** Comportamiento térmico de la muestra borra de café – arcilla

De la Figura 10 pueden observarse dos transiciones térmicas que sufre el material con la temperatura como se enuncia a continuación:

Primer cambio: Pico endotérmico alrededor de 72.76 °C. Posiblemente relacionado con la evaporación de humedad o algún solvente contenido en la muestra.

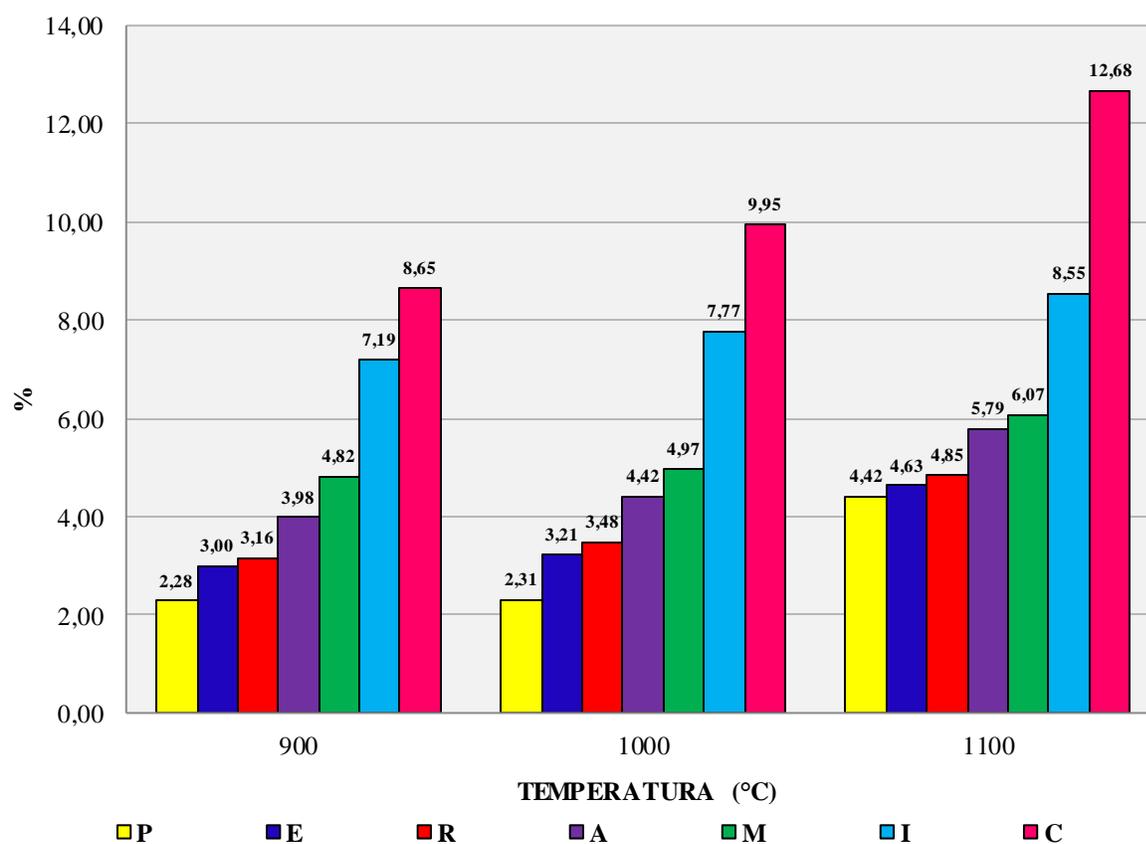
Segundo cambio: Pico exotérmico compuesto, con dos máximos locales en 328.35 y 441.56 °C.

El proceso de cocción se realizó en un horno colmena, Los productos fueron ubicados en diferentes zonas del horno con el objetivo de evaluar el comportamiento en tres temperaturas, estas temperaturas fueron, temperatura baja 900 °C, temperatura media 1000 °C y la temperatura alta 1100 °C. El proceso de cocción se realizó siguiendo los lineamientos preestablecidos por la empresa ladrillera El Topacio, empresa en la que se realizó la cocción de las probetas. Luego de la cocción se midieron nuevamente dimensiones y masa y se realizaron los respectivos análisis para el desarrollo de la investigación.



**Figura 11.** Densidad en cocido

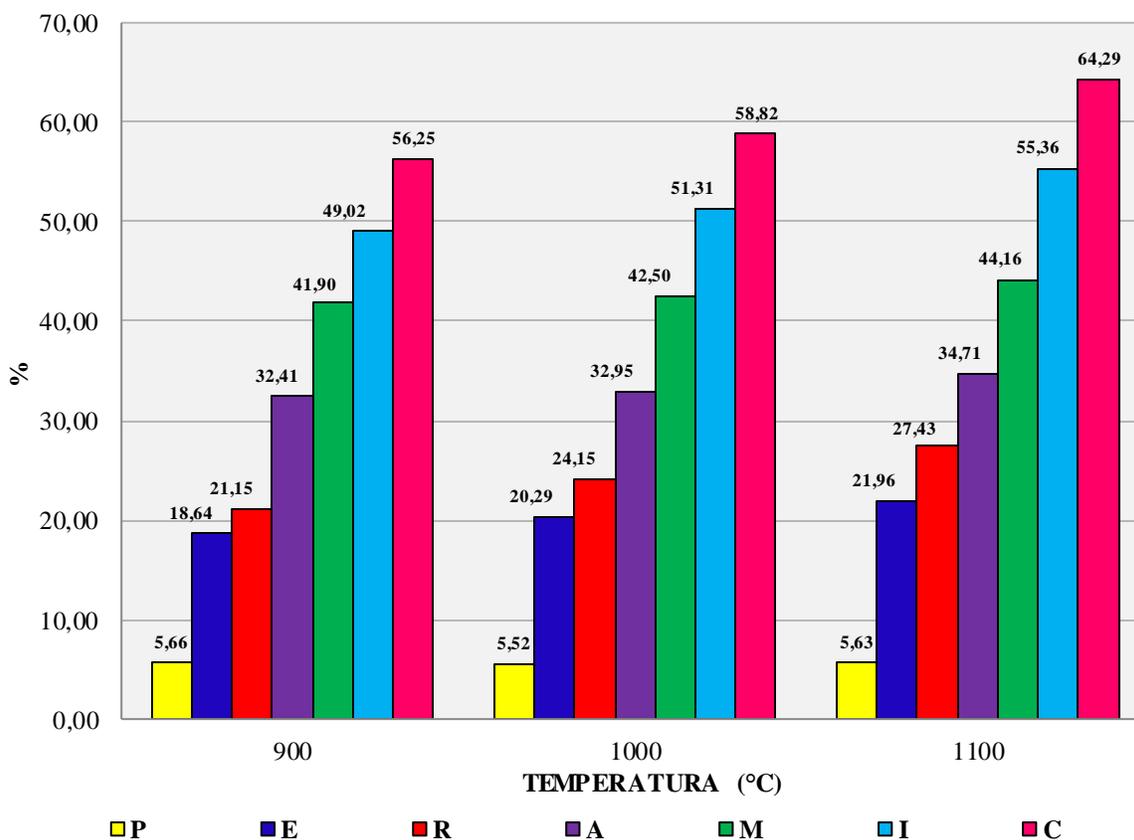
En la figura 11 se puede observar dos efectos, el primero que la densidad aumenta al incremento de la temperatura, comportamiento típico en materiales que contienen suelos arcillosos y que se densifican a mayor temperatura. Y el segundo, que las muestras reducen su densidad al incremento de la borra de café, esto debido a que la borra de café es un material menos denso que el resto de los materiales presentes en la formulación y al ser un material orgánico tiende a ser eliminado en el proceso de cocción, dejando espacios internos generados por la reacción de la quema de la borra.



**Figura 12.** Contracción lineal en cocido.

En la figura 12, se observa que, a mayor temperatura mayores contracciones, esto sucede a la pérdida del material orgánico (borra de café) en el producto, a la pérdida de el agua que se

evapora en la fase denominada deshidratación la arcilla, y posiblemente a la liberación de energía endotérmica que se puede atribuir a la descomposición de la dolomita y la calcita.

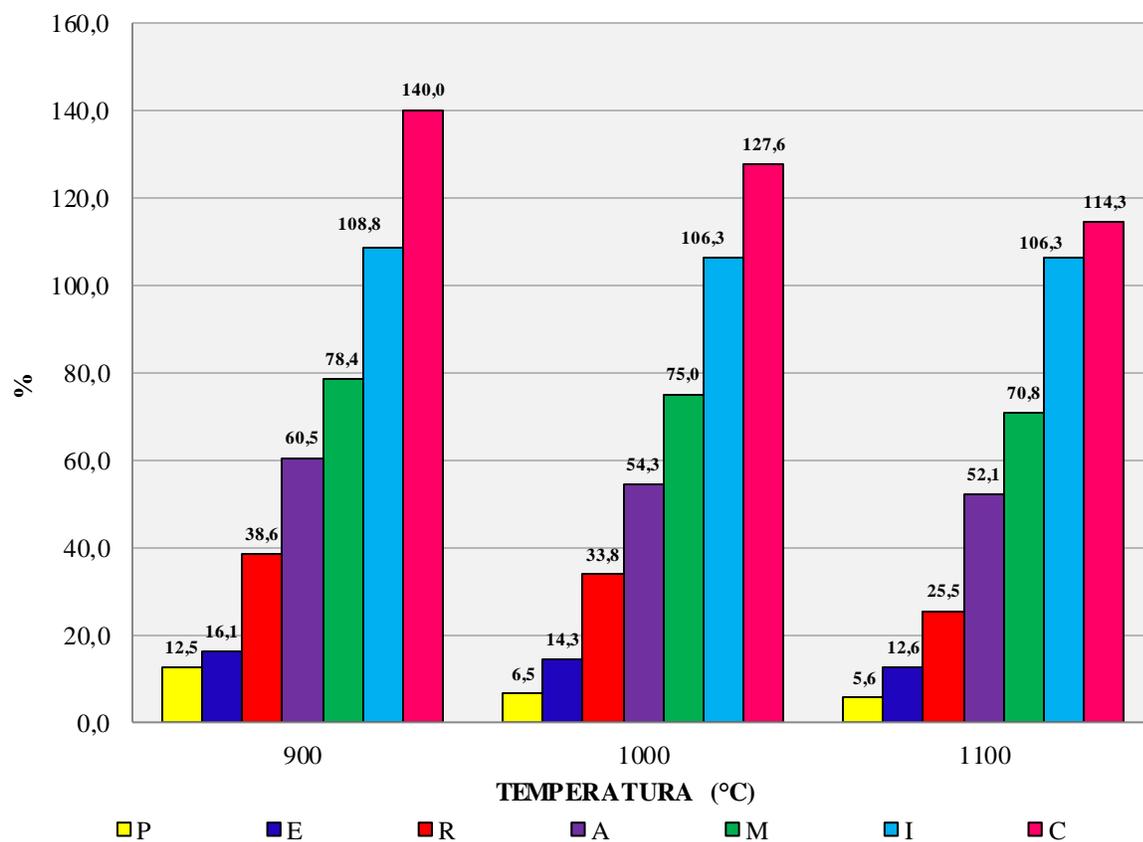


**Figura. 13** Pérdidas de masa en cocido.

La figura 13 muestra las pérdidas de masa en cocido a diferentes temperaturas, a medida que se aumenta la temperatura mayor son las pérdidas de masa en cocido debido a la materia orgánica eliminada, a las reacciones de descomposición, liberación de óxidos, descomposición de carbonatos. Lo importante es que en ningún porcentaje los productos presentaron cambios de color en la superficie, ni tampoco corazón negro uno, lo que demuestra que la reacción, aunque es violenta se desarrolló de manera completa y el gas desprendido salió por completo de la matriz, además, visualmente no se observaron grietas en la superficie del producto.

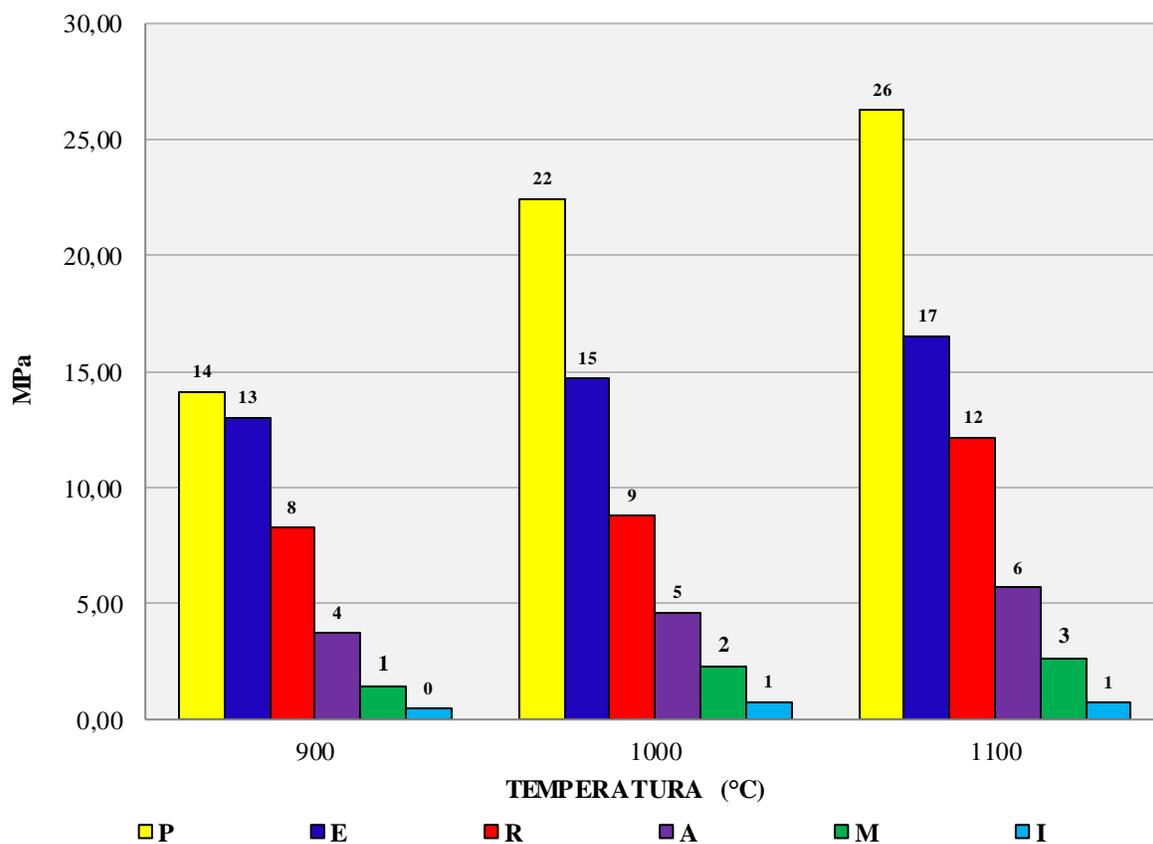
Las elevadas pérdidas de masa, es un aspecto interesante, ya que, se pueden fabricar materiales ligeros, incluso mezclando formulaciones en proporciones bajas, esto reduciría el costo de transporte y mejoraría el costo del producto (mayor cantidad de productos por el mismo costo del flete), especialmente en aquellas empresas artesanales o alfareras donde sus productos son pesados

Para productos de revestimiento el análisis de la propiedad estructural se llevó a cabo mediante el ensayo de absorción de agua por el método de ebullición.



**Figura 14.** Absorción de agua

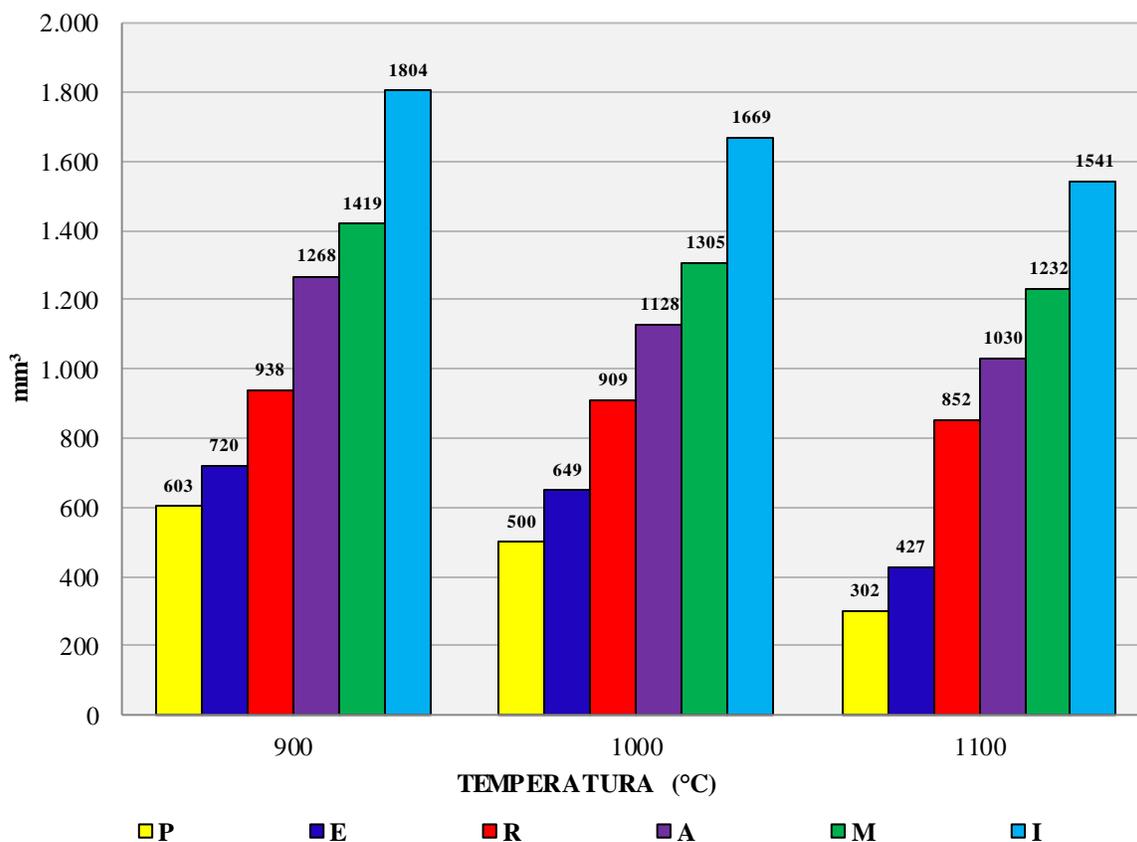
Como se detalla en la figura 14, a mayor temperatura de cocción menor es la absorción de agua en cada muestra, a menor porcentaje de absorción de agua mejor resultará el producto y sus características finales. Por otra parte, a mayor cantidad de borra de café, más poroso será el material y esto implica una resistencia mecánica baja y disminución de conductividad térmica; la conductividad térmica baja es una característica positiva resultante de esta mezcla de arcilla-borra de café, ya que este material tiene gran capacidad para oponerse al paso del calor



**Figura 15.** Resistencia mecánica a la flexión en cocido

La resistencia mecánica a la flexión es una de las propiedades más importantes de los productos cerámicos, la figura 15 muestra que el residuo de café disminuye la resistencia mecánica a la flexión en comparación con el material 100% arcilloso, sin embargo, en los porcentajes de 10 y 20% de café, aun es técnicamente posible la adición de borra de café que permite clasificar el

producto final dentro de las normas técnicas establecidas (ISO 13006) como se puede observar en la (Tabla 1. Propiedades de baldosas cerámicas extruidas).



**Figura 16.** Abrasión profunda

La figura 16, muestra la tenacidad que tiene el producto final al indicar el grado de cohesión interna de las moléculas del material, se observa que a mayor temperatura de cocción menor es el desgaste que sufre el material, esto indica que a mayor temperatura, mayor la resistencia a la abrasión del material generando mayor compactación; la presencia de la borra de café en la mezcla disminuye la resistencia a la abrasión del material dejando una huella más amplia, disminuyendo la compactación de las partículas. La influencia de la borra de café en la disminución de la resistencia a la abrasión profunda es debido a la quema de la materia orgánica agregada.

#### **4.5 Determinar el tráfico de los revestimientos extruidos fabricados con la pasta cerámica elegida.**

El tráfico de baldosa se identifica Según la norma ISO 13006 teniendo en cuenta el tipo de baldosa y la (Tabla 3. Tipo de trafico de baldosas), permitiendo analizar baldosas esmaltadas y no esmaltadas. El producto analizado fue un producto no esmaltado.

En las tablas 10, 11 y 11 (ver anexos 6,7 y 8) se identificó el tráfico de cada uno de los productos realizados con las diferentes muestras y sus porcentajes de arcilla y borra de café logrando clasificar el uso de cada una; la mejor mezcla identificada con porcentaje de borra de café fue E, quemada a 900 °C permite ser utilizada como paramento y al quemarse a 1000 o 1100°C se logra clasificar como uso para suelo tránsito peatonal medio. Así mismo la muestra R quemada a 1000 y 1100°C también tiene buenas propiedades consiguiendo ser utilizada en paramento y suelos de tránsito peatonal moderado, respectivamente. Las mezclas E Y R utilizadas como paramento permitirán decorar las paredes de los hogares, muros, andenes y grandes edificios dándoles un bonito acabado; Los productos fabricados con la mezcla E y R para tránsito peatonal moderado son perfectos para ser ubicados en la sala y habitación del hogar generando un ambiente acogedor, los productos fabricados con la mezcla E son perfectos para ubicarlos en zonas como el porche o anden de la casa permitiendo resistir el transito moderado de las personas y objetos que se suelen colocar en esos lugares. La adición de borra de café permite obtener productos con baja conductividad térmica siendo un punto positivo, en lugares de clima caliente donde se ubiquen estos productos no absorberá el calor generado por el ambiente y se sentirá un ambiente fresco dentro del hogar. El acabado superficial de estos productos es bueno para quienes buscan darle un toque rustico y

tradicional a sus hogares, es un producto fácilmente accesible por el consumidor a diferencia de otros productos con las mismas características que se encuentran actualmente en el mercado.

Con base a la tabla 11 (ver anexo 8), se catalogaron los diferentes productos teniendo en cuenta cada una de las propiedades consideradas para poder clasificarlos, a que grupo pertenecen y comprobar si cumplen con los parámetros de exportación

En las tablas 11, 12 y 13 (ver anexos 8,9 y 10) se identifica la clasificación de cada uno de los productos realizados con las diferentes mezclas, se puede observar que los productos denominados P, E y R pueden ser clasificados como material de exportación tipo AIII quemados a 900, 1000 y 1100 °C, el producto P (solo arcilla) permite ser clasificado en el Grupo AIIa cuando se quema a 1100°C y en el grupo AIIb cuando se quema a 1000 °C.

Los productos clasificados en el grupo AIII se pueden emplear para decorar las paredes de los hogares, los productos del grupo AIIa podrán ser usados para sala, habitaciones, porches y andenes brindándoles un bonito acabado y un ambiente acogedor a estos espacios

## Conclusiones

A mayor presencia de cuarzo en la arcilla mejor será la compactación, debido a que está compuesto de dióxido de silicio, además se caracteriza por su dureza.

A mayor temperatura en el proceso de cocción se producen productos de mejor calidad volviendo más resistentes y generando mayores propiedades superficiales a estos.

En el ensayo de absorción de agua se logró conocer que a mayor temperatura de cocción menor es la absorción de agua, a menos porcentaje de absorción de agua mejor será el producto y sus características finales, a mayor cantidad de café presente es más poroso el material y mayor la absorción de agua generada.

Se clasificaron los porcentajes de 100%, 10% café-90 % arcilla y 20% café-80 % arcilla según la norma ASTM D4318-17 como extruido aceptable las cuales se pudieron conformar con mayor facilidad.

La mejor mezcla según su uso la cual fue la de 10 % café-90 % arcilla clasificada según su tráfico tipo IV. Suelo peatonal medio quemada a 1000 °C.

La proporción que mejor se comportó a la hora de realizar el conformado y los demás procesos mencionados fue la de 10 % café-90 % arcilla y seguidamente la mezcla de 20% café-80% arcilla.

En comparación con el material 100% arcilloso con las demás mezclas con adición de café se pudo observar que este material orgánico también disminuye la resistencia mecánica a la flexión en cocido, sin embargo, en la mezcla 10% café-90 % y 20% café-80% arcilla aun es aceptable la adición de borra de café y finalmente permite clasificar el producto final dentro de las normas técnicas establecidas.

Se logró establecer los usos que se le puede dar a este tipo de producto cerámico, encontrándose la mayoría de los productos en el tránsito peatonal medio.

Se clasificaron los productos según las propiedades de baldosas cerámicas extruidas, conociéndose así que pueden ser usadas en habitaciones, sala, porches y andenes.

A mayor cantidad de borra de café agregada a las muestras, disminuye la resistencia a la abrasión profunda debido a que por las altas temperaturas a las que se somete el producto se quema la materia orgánica.

Los minerales arcillosos y óxidos presentes en la arcilla y borra de café analizados cumplen con los requisitos para la fabricación de productos para la construcción ya que la presencia de cada uno aporta diferentes propiedades positivas en la plasticidad, resistencia mecánica, térmica y acabado superficial en el producto final.

De Las 6 mezclas borra de café - arcilla analizadas en el proceso de conformado, las de mejor comportamiento fueron 10, 20, 30 y 40% borra de café ya que a mayor cantidad de borra de café se permite una mejor manipulación y conformado del producto, sin embargo, el exceso de

borra de café requiere mayor cantidad de agua en el conformado causando aumento de los costos de producción y así mismo disminuye propiedades importantes como la resistencia mecánica en el producto final.

Se logra identificar que la adición de borra de café en una formulación de pasta cerámica es muy necesaria cuando la arcilla trabajada es bastante plástica ya que la borra de café reemplaza a los fundentes y desgrasantes permitiendo facilidad en el conformado, obtener productos menos porosos y un buen acabado superficial.

Teniendo en cuenta diferentes aspectos como costo de producción, normas técnicas y propiedades finales del producto, se clasificó como mejor mezcla a la formulación de 10 % café - 90 % arcilla, clasificada según su tráfico tipo IV, suelo peatonal medio quemada a 1000 °C, pueden ser utilizadas como paramentos, estar ubicadas en sala, comedor, porches o andenes del hogar cumpliendo con estándares mínimos de exportación.

## Recomendaciones

Se recomienda realizar el análisis (muestreo) siempre que se vaya a explotar algún frente para conocer e identificar las propiedades de la arcilla ya que nos permitirá conocer la materia prima de mejor calidad.

Emplear la formulación elegida como la de mejor comportamiento para la fabricación de productos cerámicos, estas proporciones equivalen a 10% café y 90% arcilla.

Utilizar la borra de café para la fabricación de productos cerámicos ya que se disminuiría la materia prima empleada en estos procesos, además de contribuir con la reducción de explotación de minas de arcilla sabiendo que esto lleva a un impacto negativo al medio ambiente.

Se sugiere alianzas estratégicas con las grandes cafeterías, este proyecto puede ser una solución al tema de desechos orgánicos de estas empresas.

Se recomienda utilizar los residuos de café con materiales arcillosos en proporción de 10 a 20% de residuo ya que este material posee componentes que logran reemplazar a Los feldespatos y fundentes comúnmente utilizados en las formulaciones cerámicas.

## Referencias

- Ahmed, M., Abdelilah, E., Iz-Eddine, E. E., Abdeslam, E., & Chaouki, S. (2019). Valorization of coffee waste with Moroccan clay to produce a porous red ceramics (class BIII). *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 58(5), 211–220.
- Alimentación, R. É. (2013). Presentan tendencias en el mundo del café. *É. Alimentación*. Recuperado el 13 de 07 de 2020, de <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/67071-presentan-tendencias-el-mundo-del-cafe>
- Angarita Daza, F. A. (2013). *Borra de café como material adsorbente para la remoción de cromo (III)*. Proyecto de grado, Universidad Libre - Bogotá, Bogotá. Recuperado el 15 de 05 de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11292/BORRA%20DE%20CAF%C3%89%20COMO%20MATERIAL%20ADSORBENTE%20PARA%20LA%20REMOCI%C3%93N%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ASCER - Asociación Española de Fabricantes de Azulejos, Pavimentos y Baldosas Cerámicas; Colegio Territorial de Arquitectos de Castellón. C.O.A.C.V.; Dirección General de Obras Públicas, Proyectos Urbanos y Vivienda. (2011). *Guía de la baldosa cerámica*. Comunidad Valenciana: Generalitat Valenciana.
- Barba, A., Beltrán, V., Feliu, C., García, J., Ginés, F., Sánchez, E., & Sanz, V. (2002). *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas* (2da ed.). Castellón de la Plana: Instituto de Tecnología Cerámica-Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas.

- BBC News Mundo - British Broadcasting Corporation. (s.f.). *7 empresarios que hacen dinero con inventos sacados de la borra del café*. Recuperado el 28 de 05 de 2020, de <https://www.bbc.com/mundo/vert-cap-37271915>
- Blog Candelas.com. (s.f.). *Orígenes del café: ¿De qué zona procede el café que consumes?* Obtenido de [cafescandelas.com/es/blog/origenes-cafe-consumo](https://cafescandelas.com/es/blog/origenes-cafe-consumo)
- Corporación Grupo Semillas. (2018). *Impactos socioambientales de la minería de arcilla en los municipios de Puerto Tejada, Guachené y Villa Rica - Cauca*. Fernando Castrillón.
- Cruz Zuluaga, M., Ortega, L., & Alonso Olazabal, A. (2012). Influencia de la naturaleza de los desgrasantes en la estimación de las temperaturas de cocción en cerámicas arqueológicas. *Macla*, 16, 30-31.
- Echecverri, D. (2005). Café para cardiólogos. *Rev Col Cardiol.*, 11(8), 357-365.
- El autentico café. (s.f.). *Las 8 etapas del proceso de producción del café*. Recuperado el 24 de 05 de 2020, de <https://elautenticocafe.es/las-8-etapas-del-proceso-de-produccion-del-cafe/#:~:text=La%20plantaci%C3%B3n%20es%20la%20primera,para%20la%20calidad%20del%20grano.>
- ESPECTROMETRIA. (20 de Octubre de 2020). *ESPECTROMETRIA*. Recuperado el 24 de Enero de 2021, de <https://espectrometria.com.mx/que-es-la-difraccion-de-rayos-x-xrd-y-por-que-es-tan-importante-para-la-industria/>
- Flórez Vargas, A. O., Sánchez Molina, J., & Blanco Meneses, D. S. (2018). Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional. *Rev.EIA.*, 15(30), 133-150. doi:doi.org/10.24050/reia.v15i30.1219
- Fuentes, R., Mejía, O., Caudillo, B., & De la Rosa, G. (2007). Introducción a las pastas y esmaltes cerámicos. *Enlace Químico*, 1(9), 338-345.

- Galán, E., & Aparicio, P. (2005). Materias primas para la industria cerámica. En M. Á. García del Cura, & J. C. Cañaveras, *Utilización de rocas y minerales industriales* (Vol. 2, págs. 31-48). Alicante: Universidad de Alicante: Sociedad Española de Mineralogía.
- Ginés, F., Feliu, C., García Ten, J., & Sanz, V. (1997). Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 36(1), 25-30.
- Hecho en Café*. (s.f.). Obtenido de <http://www.hechoencafe.com/nuestros-clientes>
- International Organization for Standardization. (2010). ISO 10545-6. *Ceramic tiles — Part 6: Determination of resistance to deep abrasion for unglazed tiles, Segunda*, 4.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 10545-3. *Ceramic tiles — Part 3: Determination of water absorption, apparent porosity, apparent relative density and bulk density, Segunda*, 8.
- International Organization for Standardization. (2019). ISO 10545-4. *Ceramic tiles — Part 4: Determination of modulus of rupture and breaking strength, Cuarta*, 8.
- ISO - International Organization for Standardization. (2018). ISO 13006. *Ceramic tiles — Definitions, classification, characteristics and marking, Tercera*.
- Kaffeeform. (26 de 07 de 2020). *La idea de la forma del café*. Obtenido de <https://www.kaffeeform.com/de/story/>
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos* (2da ed.). México: Thomson Learning.
- La Crónica del Quindío. (s.f.). *Quindianos le apuestan a la producción de pisos en cerámica con borra de café*. Recuperado el 15 de 07 de 2020, de <https://www.cronicadelquindio.com/noticia-completa-titulo-quindianos-le-apuestan-a-produccion-de-pisos-en-ceramica-con-borra-de-cafe-nota-124286>
- La nota económica. (s.f.). *Estudiantes crean tazas hechas con borra de café*. Recuperado el 26 de 06 de 2020, de <https://lanotaeconomica.com.co/negocios/estudiantes-crean-tazas-hechas->



- Restrepo Baena, Ó. J. (2011). *Baldosas cerámicas y gres porcelánico: Un mundo en permanente evolución*. Medellín: Centro editorial facultad de minas - Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Reyes Jaramillo, I. (2000). Las arcillas: barro, creación, vida y arte. *ContactoS*, 36, 24-32. Obtenido
- Sánchez Molina, J., Álvarez Rozo, D., Gelves, J. F., & Corpas Iglesias, F. A. (2018). Cisco de café como posible material sustituto de arcilla en la fabricación de materiales cerámicos de construcción en el área metropolitana de Cúcuta. *Respuestas*, 23(1), 27-31. doi:<https://doi.org/10.22463/issn.0122-820X>
- Santos Amado, J. D., Malagón Villafrades, P. Y., & Córdoba Tuta, E. M. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *Dyna*, 78(167), 50-58.
- Tau Cerámica. (2020). *Plan de formación interna 2002*. Castelló: Tau Ceramica.
- Tejas Cobert. (s.f.). *Cerámica en la construcción - Un material tradicional con gran proyección de futuro*. Recuperado el 27 de 07 de 2020, de <https://promateriales.com/pdf/PM-95-6.pdf>
- Twenergy. (s.f.). *Los posos del café, el nuevo pavimento ecológico*. Recuperado el 27 de 06 de 2020, de <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/reciclaje/posos-cafe-pavimentar-carreteras/>
- Urribarrí, A., Zabala, A., Sánchez, J., Arenas, E., Chandler, C., Rincón, M., . . . Aiello Mazzarri, C. (2014). Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. *Multiciencias*, 14(2), 129-139.
- Vargas Lazo, A. M. (2018). *Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Velásquez Agudelo, C., & Trávez Velásquez, M. (2019). *Café especial, una alternativa para el sector cafetero en Colombia*. Universidad EAFIT. Medellín: Universidad EAFIT.

# ANEXOS

**Anexo 1** Muestreo del material arcilloso

**Anexo 2** Material arcilloso



**Anexo 3** Material orgánico

**Anexo 4** Índice de plasticidad de la arcilla.



**Anexo 5** Borra de café-arcilla

**Anexo 6** Trafico de baldosas quema 900°C

<b>900 °C</b>			
<b>Material</b>	<b>Carga (N)</b>	<b>Resistencia a la abrasión (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Trafico (USO)</b>
<b>P</b>	1305	603	IV. Suelos tránsito peatonal medio
<b>E</b>	1234	720	III. Suelos tránsito peatonal moderado
<b>R</b>	726	938	I. Paramento
<b>A</b>	351	1268	-
<b>M</b>	117	1419	-
<b>I</b>	39	1804	-
<b>C</b>	-	-	-

**Anexo 7** Trafico de baldosas quema 1000°C

<b>1000 °C</b>			
<b>Material</b>	<b>Carga (N)</b>	<b>Resistencia a la abrasión (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Trafico (USO)</b>
<b>P</b>	1533	500	IV. Suelos tránsito peatonal medio
<b>E</b>	1324	649	IV. Suelos tránsito peatonal medio
<b>R</b>	789	909	I. Paramento
<b>A</b>	399	1128	-
<b>M</b>	189	1305	-
<b>I</b>	59	1669	-
<b>C</b>	-	-	-

**Anexo 8.** Trafico de baldosas quema 1100°C

<b>1100 °C</b>			
<b>Material</b>	<b>Carga (N)</b>	<b>Resistencia a la abrasión (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Trafico (USO)</b>
<b>P</b>	1867	302	V. Suelos tránsito peatonal intenso
<b>E</b>	1496	427	IV. Suelos tránsito peatonal medio
<b>R</b>	1153	852	III. Suelos tránsito peatonal moderado
<b>A</b>	439	1030	-
<b>M</b>	208	1232	-
<b>I</b>	53	1541	-
<b>C</b>	-	-	-

**Anexo 9.** Propiedades baldosas extruidas quemadas a 900°C

<b>900 °C</b>							
<b>Propiedades de baldosas extruidas</b>							
<b>Propiedad</b>	<b>P</b>	<b>E</b>	<b>R</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>I</b>	<b>C</b>
Absorción de agua (%)	12,5	16,1	38,6	60,5	78,4	108,8	140
Resistencia mecánica a la flexión (N/mm <sup>2</sup> )	14	13	8	4	1	0	-
Abrasión profunda (mm)	603	720	938	1268	1419	1804	-
<b>Grupo</b>	<b>AIII</b>	<b>AIII</b>	<b>AIII</b>	-	-	-	-

**Anexo 10** Propiedades baldosas extruidas quemadas a 1000°C

<b>1000 °C</b>							
<b>Propiedades de baldosas extruidas</b>							
<b>Propiedad</b>	<b>P</b>	<b>E</b>	<b>R</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>I</b>	<b>C</b>
Absorción de agua (%)	6,5	14,3	33,8	54,3	75	106,3	127,6
Resistencia mecánica a la flexión (N/mm <sup>2</sup> )	22	15	9	5	2	1	-
Abrasión profunda (mm)	500	649	909	1128	1305	1609	-
<b>Grupo</b>	<b>AIIb</b>	<b>AIII</b>	<b>AIII</b>	-	-	-	-

**Anexo 11** Propiedades de las baldosas extruidas a 1100 °C

<b>1100 °C</b>							
<b>Propiedades de baldosas extruidas</b>							
<b>Propiedad</b>	<b>P</b>	<b>E</b>	<b>R</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>I</b>	<b>C</b>
Absorción de agua (%)	5,6	12,6	25,5	52,1	70,8	106,3	114,3
Resistencia mecánica a la flexión (N/mm <sup>2</sup> )	26	17	12	6	3	1	-
Abrasión profunda (mm)	302	427	852	1030	1232	1541	-
<b>Grupo</b>	<b>AIIa</b>	<b>AIII</b>	<b>AIII</b>	-	-	-	-