



Empleo del residuo agroindustrial del plátano como sustituto parcial del feldespato en la formulación de pasta cerámica

Use of agro-industrial residues of bananas as a partial substitute for feldspar in the formulation of ceramic paste

Jessica V. Sánchez-Zúñiga ^{1a}, Jorge Sánchez-Molina ^{1b}, Anderson Flórez-Vargas ^{1c}

¹ Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica, Departamento de Química, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia. Orcid: ^a 0000-0001-7831-127X, ^b 0000-0002-9080-8526, ^c 0000-0003-1946-3534. Correos electrónicos: ^a Jekasanchez94@hotmail.com, ^b jorgesm@gmail.com, ^c andersonflorez92@gmail.com

Recibido: 15 marzo, 2020. Aceptado: 1 junio, 2020. Versión final: 15 agosto, 2020.

Resumen


El objetivo de esta investigación fue analizar el uso de residuos agroindustriales del plátano como sustituto de feldespato para el desarrollo de baldosas cerámicas que cumplan con la Norma Técnica Colombiana - NTC 919. Para ello, se diseñaron probetas con diversas mezclas en harinas y cenizas del residuo agroindustrial y otras con la fórmula cerámica convencional (muestra patrón). En todas las mezclas se determinó las propiedades físico-cerámicas y densidad. La mezcla alternativa que mejor resultado mostró se continuó analizando con Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía por Barrido Electrónico (SEM, por sus siglas en inglés). Las propiedades físico-cerámicas evidenciaron una mejor aptitud en las probetas preparadas con 5% de harina de cascara de plátano. Los análisis del FRX muestran un predominio del silicio y el aluminio, probablemente asociado a la mullita, según el DRX; lo anterior, también se pudo observar en las imágenes por microscopía. Los resultados de los análisis revelan un producto con una calidad dentro lo permitido por la norma NTC 919.

Palabras clave: residuo agroindustrial del plátano; pasta cerámica; economía circular; feldespato; industria.

Abstract

The objective of this study was to develop ceramic tiles that comply with the Colombian Technical Standard - NTC 919, using agro-industrial banana residues as a feldspar substitute. To this end, test tiles were designed with various mixtures in flours and ashes from the agro-industrial residue and others with the conventional ceramic formula, called PATRON sample. In all the mixtures, the physical-ceramic properties and density were determined. The alternative mixture that showed the best results continued to be analyzed with X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction and Scanning Electron Microscope. The physical-ceramic properties showed a better suitability in the test tiles prepared with 5% banana peel flour. XRF analyses show a predominance of silica and aluminium, which probably associated with mullite, according to XRD; this was also observed in the microscopic images. The results of the analyses reveal a product with a quality within the NTC 919 standard.

Keywords: agroindustrial residue of banana; ceramic paste; circular economy; feldspar; industry.

ISSN impreso: 1657 - 4583. ISSN en línea: 2145 – 8456, **CC BY-ND 4.0** 

Como citar: J. V. Sánchez-Zúñiga, J. Sánchez-Molina, A. Flórez-Vargas, “Empleo del residuo agroindustrial del plátano como sustituto parcial del feldespato en la formulación de pasta cerámica,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 19, no. 4, pp. 157-166, 2020, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020014>

1. Introducción

La industria agrícola es uno de los sectores productivos de mayor importancia para Colombia, dentro de ella, el cultivo de plátano es de gran consideración [1] [2], pues su fruto rico en potasio [3] es uno de los alimentos más comercializados en el mundo [4]. La planta de nombre científico *Musa Paradisiaca* puede darse en una gran variedad de pisos térmicos, desde los 0 msnm hasta los 2000 msnm [5], sin embargo, la temperatura del ambiente de formación influye en el tiempo de maduración del fruto; en el que para climas fríos es común un atraso en el desarrollo fisiológico y consecuentemente en la cosecha, que en climas más cálidos. Se estima que un rango de temperaturas óptimo para el cultivo oscila entre los 18,5°C a 35°C [6], condiciones que se dan en el municipio del Zulia, Norte de Santander, reconocida por ser una región productora de plátano [7], perteneciente al área metropolitana de Cúcuta.

La cosecha del plátano genera residuos en gran proporción respecto a la plantación, ya que solo se utiliza entre un 20% a 30% de su biomasa [8]. Las partes de la planta restante suelen desecharse sin ningún control, siendo arrojadas a las vertientes hídricas más cercanas o incinerándolas, provocando graves afectaciones al medio ambiente como la emanación de dióxido de carbono (CO₂) o la propagación de plagas e incendios durante su descomposición [9] [10].

La industria cerámica, al igual que muchas otras, se está proyectando hacia la economía circular [11] [12] [13], dada la necesidad de minimizar los problemas ambientales relacionados a su producción, por lo tanto, propuestas que ayudan a mejorar la sostenibilidad y reducir la huella de carbono, como, por ejemplo, la utilización de desechos agroindustriales en calidad de aditivo para la formulación de la pasta cerámica, son de gran valor para sustituir el uso de materiales no renovables [14]. Elías [15] expone los resultados de la utilización de nutrientes tecnológicos orgánicos en la elaboración de productos cerámicos, mostrando resultados favorables, con la posibilidad de conseguir piezas aligeradas, con una baja densidad, baja conductividad térmica y ahorro energético al momento de la cocción.

La pasta cerámica es una mezcla en la que se distinguen tres componentes: plásticos (que otorgan maleabilidad), no plásticos (que controlan la contracción o deformación) y fundentes, estos últimos ayudan a bajar la temperatura de cocción, densificando más rápido el producto [16]. Un ejemplo de este último y que tiene gran aplicación en el gremio es el feldespatos, material que favorece la vitrificación de la pieza debido a su alto contenido en

óxidos alcalinotérreos, no obstante, su uso requiere de una explotación de recursos no renovables, afectando directamente al medio ambiente, además de que suele ser costosa su adquisición [17]. En vista a lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo analizar la formulación de una pasta cerámica en la que se disminuye la concentración de feldespatos, sustituyéndolo por harinas o cenizas provenientes de los residuos agroindustriales del plátano (especialmente las cascara), debido a su constitución rica en potasio y que dicha mezcla proporcione un producto que cumpla con los estándares de calidad y resistencia, señalados por la norma, en el caso colombiano aplica la NTC 919 [18].

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

El proceso de obtención de harinas inició con la recolección y limpieza de los desechos de la zona productora de plátano en el municipio del Zulia, Norte de Santander, incluyendo las cascara ya que de todo el fruto, lo único que es consumido por el ser humano es la pulpa [3]. Seguido, estos residuos fueron secados de forma natural durante 6 horas, luego, artificialmente en un secadero marca Gabrielli por 48 horas o hasta peso constante en un ambiente de 105°C. Una vez removida el agua libre, las muestras fueron molturadas en un molino de disco, hasta alcanzar un tamaño de partícula menor a 5 mm. Finalmente, se calcinó una parte de las harinas para producir cenizas, basados en las normas ISO 2171 [19] y la NTC 282 [20], en las que se establece rangos de cocción que van de 550±10°C a 900±25°C. Para el presente estudio se obtuvieron cenizas a 850°C.

Se realizaron probetas de 10 cm de largo por 6 cm de ancho y 0,6 mm de alto, inicialmente, preparadas de acuerdo a la fórmula convencional de pasta cerámica utilizada por el respectivo gremio en el área metropolitana de Cúcuta, a estas muestras se les denominó muestra patrón, sirviendo de grupo de control en los resultados de los ensayos que se hicieron en las mezclas prototipos. Su constitución es 80% arcilla, 16% feldespatos, 2% rotura cocida, 1% de caliza y 1% de rotura cruda. A partir de lo anterior, se diseñaron mezclas prototipo reduciendo la participación del feldespatos en diferentes concentraciones y reemplazándolo con harinas o cenizas de la cascara de plátano, aunque también se desarrolló una mezcla con las cenizas de los residuos que produce una sola planta de plátano (su preparación fue una proporción másica respecto a cada constituyente de los residuos de la planta). La tabla 1 menciona la composición de las mezclas analizadas:

Tabla 1. Composición de las mezclas analizadas

Abreviatura	Mezcla
P	Patrón: 80% Arcilla + 16% Feldespato + 1% Caliza + 1% Rotura cruda + 2% Rotura Cocida
HCP5	80% Arcilla + 11% Feldespato + 1% Caliza + 1% Rotura cruda + 2% Rotura Cocida + 5% Harina de Cascara de Plátano
HCP10	80% Arcilla + 6% Feldespato + 1% Caliza + 1% Rotura cruda + 2% Rotura Cocida + 10% Harina de Cascara de Plátano
HCP2.5	80% Arcilla + 13.5% Feldespato + 1% Caliza + 1% Rotura cruda + 2% Rotura Cocida + 2.5% Harina de Cascara de Plátano
CZHCP2.5	80% Arcilla + 13.5% Feldespato + 1% Caliza + 1% Rotura cruda + 2% Rotura Cocida + 2.5% Cenizas de Harina de Cascara de Plátano
CZMEZCLAP	80% Arcilla + 13.5% Feldespato + 1% Caliza + 1% Rotura cruda + 2% Rotura Cocida + 2.5% Cenizas de Harina de los residuos de una Planta de Plátano

Fuente: elaboración propia.

2.2. Métodos de análisis

Por cada mezcla descrita en la tabla 1, se realizaron 10 probetas a las que se les hicieron ensayos físicos cerámicos en los laboratorios del Centro de Investigación en Materiales Cerámicos-CIMAC en Cúcuta, Colombia; a fin de conocer la competencia cerámica de cada fórmula y ser comparadas con la mezcla tradicional. El procedimiento de fabricación, testeo y análisis fue el mismo para todas las mezclas. El método de conformación fue por prensado, usando una prensa GABTEC a presión de 26,7bar. Se tomaron medidas de peso y longitud en crudo, después, se llevaron al secadero Gabrielli por 24 horas o hasta peso constante a una temperatura de 105°C, deshidratados los especímenes fueron nuevamente medidos, determinando así las características en seco. Finalmente, las probetas se trasladaron hasta una planta de producción de baldosas cerámicas esmaltadas, sometiendo a monococción por 40 minutos, hasta alcanzar una temperatura máxima de 1140°C y sosteniéndola durante 3 minutos, obteniendo de esa forma 10 piezas representativas por cada mezcla, a las que se les determinó datos promedios de las características en cocido, el porcentaje de contracción en cocido, la absorción de agua llevado a cabo según

normatividad NTC 4321-3 [21] y resistencia a la flexión de acuerdo a la NTC 4321-4 [22]. Adicionalmente, se determinó el peso específico mediante el ensayo de porosimetría por intrusión en mercurio [23].

En función de los resultados de los ensayos físico-cerámicos, se seleccionó la mezcla que mejores propiedades mostró respecto a las demás e incluso en algunos aspectos frente a la muestra patrón, por lo que a dicha mezcla se le practicaron análisis más detallados como DRX, FRX y SEM para conocer su naturaleza. Cabe señalar que esto se hizo al producto terminado (probeta) y no a la materia prima.

La difracción por rayos X se hizo molturando la probeta hasta homogeneizarla a una granulometría menor a 38 µm. Los datos fueron registrados en un difractómetro de polvo marca BRUNKER modelo D8 ADVANCE con geometría DaVinci (Radiación CuKα1) realizando barrido paso a paso en las condiciones de 40 kV y 40 mA, paso de 0,02035° (2θ) y tiempo de muestreo de 0,6 s. La cuantificación y normalización al 100% de las fases minerales se hizo con la técnica Rietveld, la cual brinda una identificación cualitativa y cuantitativa de los cambios e imperfecciones existentes en la estructura [24], cuando no se tuvo un reconocimiento de la estructura cristalina, la fracción se clasificó como amorfo.

La fluorescencia de rayos X se logró en un equipo especializado con la aplicación de WROXI (perla fundida: 0.74 gramos de muestra y 8.0 gramos de fundente), previamente a los 105°C se realizó el ensayo de LOI (950°C). Adicionalmente, la mezcla seleccionada fue analizada en un Microscopio Electrónico de Barrido marca FEI modelo QUANTA FEG 650, dotado con la tecnología Field Emission para la emisión de electrones, que cuenta con detectores ETD, BSED, LFD, GSED para adquisición de imágenes y sonda SDD APOLLO X para la detección de rayos X. Las muestras fueron recubiertas con oro para una mayor definición de la imagen, para ello se empleó un equipo QUORUM Q150R ES. Con lo anterior se obtuvo un estudio de la composición superficial del producto y también la de algunas manchas que se hacían frecuentes.

3. Resultados y discusión

3.1. Propiedades físico-cerámicas de las probetas

Los resultados de la tabla 2 muestran unas pérdidas de peso en el secado (%PMS) según lo esperado, pues como se observa, las mezclas con mayor concentración en harinas de cascara de plátano fueron las que alcanzaron los mayores niveles de reducción en peso, esto es posible debido al carácter orgánico del aditivo, que, en

comparación con las cenizas, no sufrieron una quema previa por lo que su composición original había sido muy poco alterada. Por otro lado, a menores concentraciones de la harina de cascara de plátano, las pérdidas en secado estuvieron muy cerca al de la mezcla patrón, probablemente por la diminuta sustitución en el feldespató, no mayor a 2.5%. Algo similar se observa en las pérdidas por calcinación (%PMC), al ser sometidos a mayores temperaturas algunos componentes se evaporan o se transforman en el caso de la oxidación química de fases orgánicas, o la descomposición de la caliza, cambiando la constitución de las muestras [25]. Como se explicó anteriormente, los especímenes HCP5 y HCP10, los cuales contienen mayor proporción de compuestos volátiles frente a las otras mezclas, sufrieron las pérdidas en pesos más grandes, especialmente las muestras con 10% en harina de cascara de plátano. Contrario a lo anterior, la muestra patrón, la cual no contiene ningún tipo de residuo agroindustrial, mostró las menores pérdidas por calcinación, algo razonable, dado su contenido inorgánico [26].

Las muestras con el aditivo agroindustrial presentaron contracciones (%CC) más altas después de la quema, especialmente la muestra HCP10, que es la de mayor concentración de harina de cascara plátano, con una contracción de 7.492% de su volumen inicial, posiblemente relacionado con las cifras de pérdidas por calcinación, en el que la misma muestra fue la que más peso redujo, esto como consecuencia de poseer la mayor cantidad de materia orgánica [27]. Llama la atención que la muestras HCP5 exhibe una de las más bajas contracciones con un comportamiento cercano al de la muestra patrón. Una hipótesis que podría explicar lo anterior, estaría asociado a la vitrificación de la superficie antes de que gases del interior de la probeta generados a partir de la descomposición de algunas sustancias lograran salir, quedando atrapados y haciendo que se pierda poco volumen. Una investigación más específica se hace necesario para confirmar o negar dicho planteamiento.

3.2. Resistencia a la flexión de las piezas

De acuerdo con la figura 1, la muestra HCP10 posee la menor resistencia frente a las demás mezclas, solo alcanzando a soportar 388,02 N, aproximadamente 100 N menos que el siguiente más bajo, CNMEZCLAP2.5. Los resultados también dejan ver que ninguna de las mezclas con cenizas alcanzó valores aceptables, todas por debajo de los 500 N. Por otro lado, la muestra patrón llegó a resistir 676.24 N, valor bastante alto que lo convierte en la probeta de mayor capacidad a soportar esfuerzos, seguido se encuentra la muestra con 5% de harina de cascara de plátano (HCP5), cuya resistencia

promedio estuvo en los 585,24 N, un nivel adecuado para la producción de baldosas cerámicas.

En consideración con la norma técnica que califica el cumplimiento de estándares de calidad en los productos cerámicos, las piezas fabricadas a partir de la mezcla HCP5, es la que mejor cumple con la NTC 919 después de la muestra patrón, teniendo en cuenta que se halla en el grupo BIIb y con una capacidad portante de hasta 585,24 N, superando a las demás mezclas y el valor mínimo requerido [18]. Además, posee una menor densidad lo que le permite producir piezas cerámicas aligeradas respecto a los productos tradicionales, es decir, un menor tonelaje de producto para una misma medida superficial de baldosa. Además, le hace interesante su baja contracción en cocido, que evita defectos en la calidad del producto como grietas o fisuras, o incluso problemas con el esmalte [29].

3.3. Composición química

Se realizó un análisis más detallado a las muestras de la mezcla HCP5, a fin de tener un mayor conocimiento de estas, debido a su probabilidad para reemplazar el feldespató en la pasta cerámica. El ensayo de fluorescencia de rayos X-FRX (ver tabla 3) mostró al silicio como el elemento más predominante, alcanzado un pico superior al 60%, su presencia se asocia a la existencia de cuarzo y fases arcillosas documentada en artículos anteriores [29] [30], dado que el silicio es uno de sus principales componentes, esta sustancia contribuye a reducir las contracciones fuertes que ocurren en las piezas durante la cocción. Después del silicio, el aluminio es el de mayor concentración con 22.47%, los niveles de aluminio favorecen a las propiedades refractarias de la pasta, que le permite resistir altas temperaturas [31].

3.4. Composición mineralógica

La aparición de mullita en los resultados de DRX se debe probablemente a que los ensayos se practicaron sobre probetas cocidas. La estructura es común en productos cerámicos, originada a partir de la transformación de las fases arcillosas especialmente la caolinita que a altas temperaturas (por encima de los 1000°C) se convierten en mullita acompañado de un líquido silíceo.

Lo anterior, es congruente con los resultados del FRX, pues, la suma del silicio y el aluminio representan más del 85% de la composición elemental en la mezcla de estudio, de ahí que la mullita como reacción entre ambos elementos sea el mineral de mayor concentración, su presencia otorga resistencia mecánica y química a las piezas [32] y también frente a las altas temperaturas [33].

Tabla 2. Parámetros físico-cerámicos de las mezclas estudiadas

Mezcla	PMS (%)	PMC (%)	CC (%)	AA (%)	Clasificación según NTC 919	ρ (g/cm ³)
CZHCP2,5	4,948	6,534	7,464	6,119	Absorción media BIIb	2,189
CZMEZCLAP2.5	4,911	6,535	7,443	6,768	Absorción media BIIb	2,162
HCP2.5	4,854	8,513	6,958	6,878	Absorción media BIIb	2,185
HCP5	5,213	10,493	6,795	9,871	Absorción media BIIb	2,035
HCP10	5,152	14,911	7,492	13,784	Absorción alta BIII	2,257
PATRON	4,984	6,413	6,266	6,185	Absorción media BIIb	2,21

PMS: Perdidas de Masa en el Secado, PMC: Perdidas de Masa en la Cocción, CC: Contracción en Cocido, AA: Absorción de Agua; ρ : densidad. Fuente: elaboración propia.

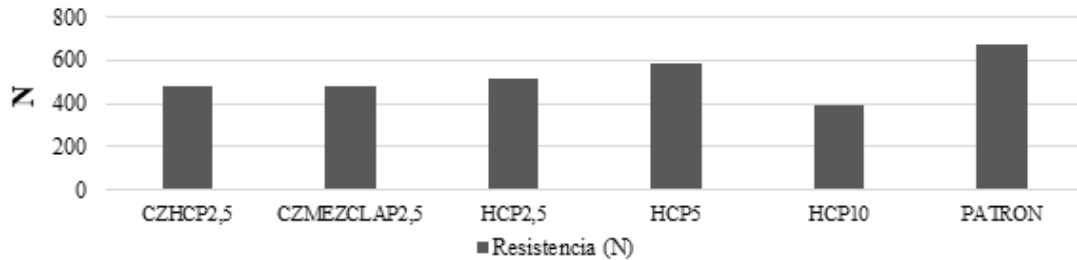
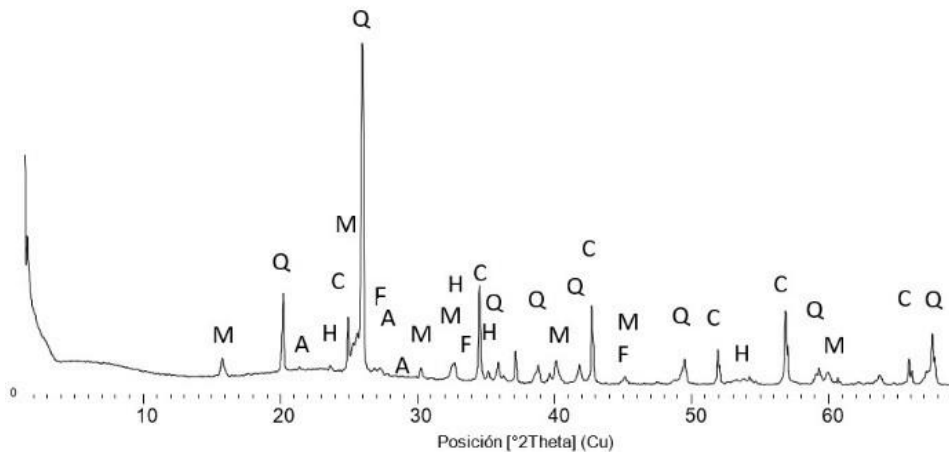


Figura 1. Resistencia a la flexión de las muestras estudiadas. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Composición elemental por óxidos en probeta de mezcla HCP5

Composición Química de la mezcla alternativa									
Oxido	%	Oxido	%	Oxido	%	Oxido	%	Oxido	%
SiO ₂	66.25	Mn ₃ O ₄	0.017	Na ₂ O	1.042	SO ₃	0.050	SrO	0.034
Al ₂ O ₃	22.47	MgO	0.77	K ₂ O	2.690	V ₂ O ₅	0.051	ZrO ₂	0.032
Fe ₂ O ₃	4.15	CaO	1.10	P ₂ O ₅	0.131	Cr ₂ O ₃	0.011	BaO	0.083
TiO ₂	0.795	HfO ₂	0.053	ZnO	0.028	PbO	0.002	LOI	0.24

Fuente: elaboración propia.



Q:cuarzo; M:mullita; H: hematita; A:anortita; F:microclina; C:corindón

Figura 2. Difractograma de la mezcla alternativa

Tabla 4. Composición mineralógica de las piezas de mezcla HCP5

Cristalino	% de Participación
Cuarzo	14.8
Cuarzo α	12.7
Mullita	37.7
Anortita, sódica	3.5
Microclina	<1.0
Hematita	1.7
Total cristalinos	70.5%
Amorfos y otros	29.3%

Fuente: elaboración propia.

3.5. Microscopia de superficie del producto de la mezcla alternativa

Las imágenes en la superficie de la probeta HCP5 (ver figura 3 y tabla 4) exhiben como elementos principales al silicio, al aluminio y al oxígeno, con participaciones en peso de 32.27%, 14.00% y 35.16%, respectivamente. Los resultados son parecidos a la composición elemental determinada en el FRX, donde el silicio seguido del aluminio son los principales constituyentes, lo que a su vez puede estar asociado con la mullita en la composición mineralógica, que es un mineral producto de la transformación de estos dos elementos, y que se ubica con la concentración más alta respecto a las demás estructuras cristalinas. Existen también trazas de potasio (3.27), hierro (3.00) y sodio (1.30), los cuales pueden estar relacionados a algunas estructuras cristalinas que pudieron identificarse en el DRX como la microclina, hematita y minerales sódicos, respectivamente, aunque también pueden estar asociados en la fase vítrea o amorfa.

La figura 4 es la microscopia por barrido electrónico sobre una de las manchas que se presenta con frecuencia en la superficie del producto de la mezcla HCP5. Allí (ver figura 4 y tabla 6) el hierro es el elemento de mayor concentración en la mancha con 47.94% en peso, acompañado del oxígeno en un 25.12%, el silicio 9.46% y trazas de oro (este último hace parte del recubrimiento de la prueba para mejorar la visualización de los resultados). Como se aprecia en el porcentaje atómico en peso y de acuerdo con los resultados del DRX es posible que una parte del hierro se presente en estructuras de óxido férrico en forma de hematita, este mineral comúnmente acompaña la arcilla en los depósitos naturales de la región.

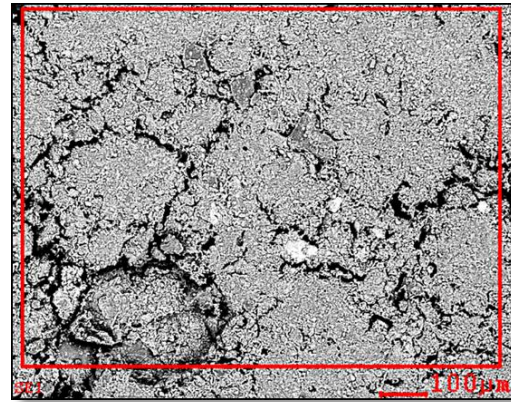


Figura 3. Imagen microscópica de la superficie en general de la probeta HCP5. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Composición elemental en la superficie de la probeta HCP5

Elemento	Wt%	At%
CK	01.52	02.94
OK	35.16	51.10
NaK	01.30	01.31
MgK	00.76	00.73
AlK	14.00	12.06
SiK	32.27	26.72
AuM	06.61	00.78
..KK	03.27	01.95
CaK	01.51	00.88
TiK	00.59	00.29
FeK	03.00	01.25
Matrix	Correction	ZAF

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Composición elemental de un punto específico en la pieza HCP5

Elemento	Wt%	At%
CK	01.99	05.03
OK	25.12	47.61
NaK	00.39	00.52
MgK	01.10	01.38
AlK	05.97	06.71
SiK	09.46	10.22
AuM	05.86	00.90
..KK	01.03	00.80
CaK	00.58	00.44
TiK	00.55	00.35
FeK	47.94	26.03
Matrix	Correction	ZAF

Fuente: elaboración propia.

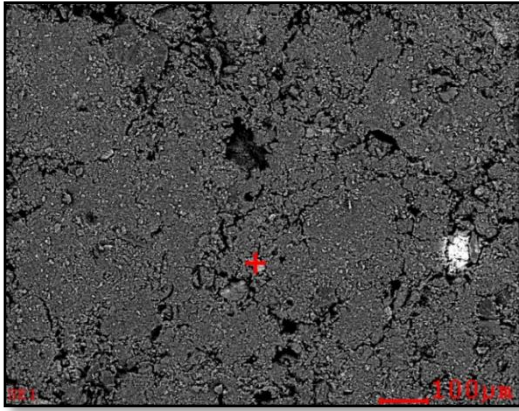


Figura 4. Imagen microscópica puntual de una mancha en la superficie de la pieza HCP5. Fuente: elaboración propia.

4. Resultados y discusión

Los resultados de la investigación dieron a conocer importantes contribuciones relacionados a la sustitución del feldespato por el residuo agroindustrial del plátano.

Los ensayos físico-cerámicos mostraron un comportamiento sobresaliente en las probetas preparadas con un 5% en harina de cascara de plátano (HCP5) frente a las demás mezclas, evidenciándose un resultado no muy distante de la muestra patrón, la cual es un espécimen preparado de acuerdo con la fórmula tradicional para la fabricación de baldosas cerámicas. La muestra HCP5 exhibió en ocasiones mejores propiedades como una menor densidad, haciendo un producto más liviano y ligero que al mismo tiempo cumple con los requerimientos en resistencia a la rotura dictados por la norma NTC 919. Así mismo, dichos estudios dieron a conocer que la sustitución en un 5% puede ser una cifra cercana a la cantidad justa para optimizar el proceso, por lo que futuras investigaciones podrían tomar un intervalo más detallado a la delimitada por ésta, encontrándose como límites inferior y superior los porcentajes del 2.5% y 10%, respectivamente, a partir de los cuales, concentraciones igual o más allá pueden perder viabilidad al revelar propiedades deficientes en la cerámica.

Los valores de los análisis complementarios más especializados sobre baldosas cocidas con la mezcla de HCP5 identificó una participación más pronunciada de minerales como la mullita, la cual es la fase cristalina predominante en el material, su presencia en un producto es beneficioso, ya que brinda resistencia química y a la flexión. No obstante, se observaron en las piezas

diminutos defectos en forma de manchas, las cuales, según el estudio de microscopía de superficie estaba principalmente constituida por hierro, elemento que puede estar asociado a la presencia de hematita, como lo revela el DRX, de ahí que se requiera un mayor control en la selección de las materias primas, especialmente la arcilla que contribuye en un 80% a la composición de la pasta cerámica y que es potencial portadora de minerales de hierro.

Financiación

El artículo de investigación científica es un producto derivado del proyecto de investigación “Desarrollo de revestimientos cerámicos empleando el residuo agroindustrial del plátano en sustitución del feldespato”, financiado por la Universidad Francisco de Paula Santander. Año de inicio: 2018, año de finalización: 2019.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos por su valioso y oportuna colaboración para la realización de la investigación a la Universidad Francisco de Paula Santander, al Centro de Investigación en Materiales Cerámicos-CIMAC, al sector cerámico de Cúcuta, a los productores del gremio platanero del municipio del Zulia y a todas las demás personas que con su apoyo permitieron la consecución de los resultados y solución de objetivos.

Referencias

- [1] P. Gañan, R. Zuluaga, A. Restrepo, J. Labidi, I. Mondragon, “Plantain fibre bundles isolated from Colombian agro-industrial residues”, *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 3, pp. 486-491, 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.01.012
- [2] M. Bucheli, “Enforcing Business Contracts in South America: The United Fruit Company and Colombian Banana Planters in the Twentieth Century”, *Business History Review*, vol. 782, pp. 181-212, 2004, doi: 10.2307/25096865
- [3] G. Blasco, F. Gómez, “Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp*)”, *Revista Médica de la Universidad de Veracruz*, vol. Jul – Dic, pp. 22-26, 2014.
- [4] M. R. Remolina, M. Ureña, “Situación Actual y Perspectivas del Mercado del Plátano – USAID”, ERS MIDAS CROPS, Bogotá, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/42138192-Situacion-actual-y-perspectivas-del-mercado-del-platano.html>.

- [5] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, “El cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*), un importante alimento para el mundo”, Bogotá, vol. Abr., no. 22, pp. 1-52, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_abr_2014.pdf.
- [6] M. Ortega, P. Rincón, “Diseño técnico para la planta de procesos derivados de plátano en la empresa Asodept, municipio de Tibú, Norte de Santander”, trabajo de grado, Univ. Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia, 2008.
- [7] A. Pérez, “Plan Local de Salud del Municipio del Zulia, Norte de Santander”, Alcaldía Municipal del Zulia, El Zulia, Norte de Santander, 2004.
- [8] C. Belalcazar, M. Valencia, Z. Lozada, “La planta y el fruto”, en *El cultivo del plátano en el trópico Cali: Instituto Colombiano Agropecuario ICA*, 1991, pp. 43-89.
- [9] M. Mazzeo, León Libardo, L. Mejía, L. Guerrero, J. Botero, “Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas”, *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 15, no. 9, pp. 128-139, 2010, doi: 10.26507/rei.v5n9.14
- [10] K. Moreira, “Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (*Musa Paradisiaca*) y plátanos (*Musa Sapientum*) para la producción de alimentos destinados al consumo humano”, trabajo de grado, Univ. de Guayaquil, Ecuador, 2013.
- [11] A. Sarabia, J. Sánchez, J. C. Leyva, “Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular”, *Respuestas*, vol. 22, no. 1, pp. 6-16, 2017.
- [12] K. Dana, S. Das, “High strength ceramic floor tile compositions containing Indianmetallurgical slags”, *Journal of materials science letters*, vol. 22, no. 5, pp. 387-389, 2003, doi: 10.1023/A:1022657429358
- [13] F. Matteucci, M. Dondi, G. Guarini, “Effect of soda-lime glass on sintering and technological properties of porcelain stoneware tiles”, *Ceramics International*, vol. 28, no. 8, pp. 873-880, 2002, doi: 10.1016/S0272-8842(02)00067-6
- [14] X. Elias, “Aspectos ambientales de la valorización cerámica de fangos de EDAR (II)”, *Residuos: revista técnica*, vol. 15, no. 84, pp. 90-106, 2005.
- [15] X. Elias, “Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica” Disertación Ph.D, Dept. Ing. Quim. Amb. Mater. Univ. de Jaén, Linares, España, 2015.
- [16] Departamento Nacional de Planeación, “Cerámica”, en *Cadenas productivas. Estructura, comercio internacional y protección Bogotá: DNP*, 2004, pp. 379-390.
- [17] S.M. Rozo-Rincón, J Sánchez-Molina, J.F. Gelvez-Díaz, “Evaluación de minerales aluminio silicatos de Norte de Santander para fabricar piezas cerámicas de gran formato”, *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 24 no. 38, pp. 53-61, 2013, doi: 10.19053/01211129.3158
- [18] *Baldosas cerámicas. definiciones, clasificación, características y rotulado*, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 919. INCONTEC, Bogotá, Colombia, 2015.
- [19] *Cerals, pulses and by-products - Determination of ash yield by incineration*, International Organization for Standardization, ISO 2171, Suiza, 2007.
- [20] *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, Norma Técnica Colombiana NTC 282 INCONTEC, Bogotá, Colombia, 2002.
- [21] *Ingeniería civil y arquitectura. Baldosas cerámicas. Parte 3: Método de ensayo para determinar la absorción de agua, porosidad aparente, densidad relativa aparente y densidad aparente*, Norma Técnica Colombiana NTC 4321-3, INCONTEC, Bogotá, Colombia, 1998.
- [22] *Ingeniería civil y arquitectura. baldosas cerámicas. parte 4: método de ensayo para determinar el módulo de rotura y la resistencia a la flexión*, Norma Técnica Colombiana, NTC 4321-4, INCONTEC, Bogotá, Colombia, 2015.
- [23] J. Van Brakel, S. Modrý, M. Svatá, Mercury porosimetry: state of the art”, *Powder Technology*, vol. 29, no. 1, pp. 1-12, 1981, doi: 10.1016/0032-5910(81)85001-2
- [24] M. L. Ramón-García, “Introducción al Método de Rietveld”, Univ. Nacional Autónoma de México, 2007.
- [25] P. Velasco, M. Ortiz, M. Giró, D. Melia, J. Rehbein, “Development of sustainable fired clay bricks by adding kindling from vine shoot: Study of thermal and mechanical properties”, *Applied Clay Science*, vol. 107, pp. 156-164, 2015, doi: 10.1016/j.clay.2015.01.017

[26] C. Guillem, M. Guillem, “Materias Primas Cerámicas. Yacimientos de Arcillas y Caolines”, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 27, no. 4, pp. 201-206, 1988.

[27] P. Muñoz Velasco, M. Morales Ortiz, M. Mendivil Giró, L. Muñoz Velasco, “Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material—a review”, *Construction and Building Materials*, vol. 63, no. 30, pp. 97-107, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.03.045

[28] SACMI IBERICA S.A, *Tecnología cerámica aplicada, vol. I*. Faenza RA, Italia: Faenza Editrice Ibérica S.L., 2001.

[29] A. Florez-Vargas, J. Sánchez-Molina, D. Blanco-Meneses, “Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional”, *Revista EIA*, vol. 15, no. 30, pp. 133-150, 2018, doi: 10.24050/reia.v15i30.1219

[30] I. Reyes, “Las arcillas:barro, creación , vida y arte”, *Departamento de biología de la división deficiencias biológicas y de la salud*, vol. 36, pp. 24-32, 2000.

[31] A. Florez, J. Sánchez, F. Garcia, J. Bautista-Ruiz, “Technological characterization of Guayabo group clays from Cúcuta-El Zulia sector for use in ceramic industry”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1126, no. 012036, pp. 3-7, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1126/1/012036

[32] M. Fernandez, *Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos*. Barcelona, España: Beralmar, S.A., 2000.

[33] C. Sánchez, “La mullita y su identificación en materiales cerámicos”, *Boletín de la sociedad española de la cerámica y vidrio*, vol. 5, no. 1, pp. 79-106, 1996.