

## ESTUDIO COMPARATIVO DE CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA COMO ADICIÓN PUZOLÁNICA

*Diana V. Vidal V<sup>1</sup>, Janneth Torres A<sup>2\*</sup>, Ruby Mejía de G<sup>3</sup>, Luis O. González S<sup>4</sup>*

1: Diseñadora Industrial, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia

2: Ph.D. Ingeniera de Materiales, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia

3: Ph.D. Química, Universidad del Valle. Cali, Colombia

4: M.Sc. Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia

\*Contacto: jtorresa@unal.edu.co

### RESUMEN

En el presente estudio, se analizaron dos tipos de ceniza de bagazo de caña denominadas CBC1 y CBC2, procedentes de un ingenio Vallecaucano. Las muestras se caracterizaron a través de las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX); adicionalmente se aplicó la técnica de granulometría láser para determinar el tamaño medio de partícula. Las muestras se trataron térmicamente a temperaturas entre 500°C y 700°C durante 3 horas, con el fin de eliminar el material inquemado. Los productos resultantes fueron caracterizados por las técnicas de DRX y se les determinó la actividad puzolánica de acuerdo a la norma ASTM C311. Del estudio se concluye que la reactividad de la ceniza de bagazo de caña es función de las características del proceso de combustión y acorde a su calidad puede ser utilizada como adición al cemento Portland.

**Palabras Clave:** *Material amorfo, Actividad puzolánica, Adiciones cementicias, Cemento, cenizas, Tratamiento térmico*

### ABSTRACT

In the present study, two types of cane bagasse ash called CBC1 and CBC2 from Valle del Cauca were analyzed. The samples were characterized by the techniques of X-ray fluorescence and X-ray Diffraction (XRD); additionally the laser granulometry technique was applied for determining average particle size. The samples were heat treated at temperatures between 500 ° C and 700 ° C for 3 hours in order to remove unburned material. The resulting products were characterized by XRD techniques and pozzolanic activity was determined according to ASTM C311. The study concludes that the reactivity of bagasse ash is a function of the characteristics of the combustion process and according to its quality can be used as an addition to Portland cement.

**Keywords:** *Amorphous material, Pozzolanic, Cementitious additions, Cement, ashes, Heat treatment*

### 1 INTRODUCCIÓN

Un gran volumen de residuos sólidos de tipo vegetal y agroindustrial se generan y acumulan en la naturaleza cada año, lo que acarrea consigo una serie de implicaciones negativas tanto en la salud humana como en el medio ambiente, desperdiciando además, una fuente potencial de productos

de alto valor agregado [1]. La industria de la caña de Azúcar genera una parte importante de estos residuos.

En el año 2012 los ingenios azucareros colombianos produjeron 20.823.629 toneladas de caña de azúcar [2]. Además de los residuos en el campo, el procesamiento de ésta genera como residuo el bagazo, el cual posteriormente es usado en las calderas, ya sea solo o en conjunto con carbón para la generación de energía. Este proceso de utilización del bagazo como combustible genera un volumen de ceniza de bagazo de caña (CBC), con un nivel de inquemados apreciable debido al reducido control del proceso de combustión [3]. El contenido de sílice aproximado de CBC es del 89%, y ha sido reportado como un material que posee características puzolánicas apto para su utilización en mezclas con cemento [4-6].

En el presente estudio, se analizan dos tipos de ceniza de bagazo de caña (CBC1 y CBC2), las cuales fueron tomadas del fondo del multiciclón y precipitador de un ingenio Vallecaucano, respectivamente. Dichas muestras fueron caracterizadas tanto física como químicamente. Adicionalmente se realizó un tratamiento térmico a temperaturas entre 500°C y 700°C y los productos resultantes fueron analizados por la técnica de DRX. Se determinó además el índice de actividad puzolánica de acuerdo a la norma ASTM 311, tanto para las muestras originales como para las tratadas térmicamente.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

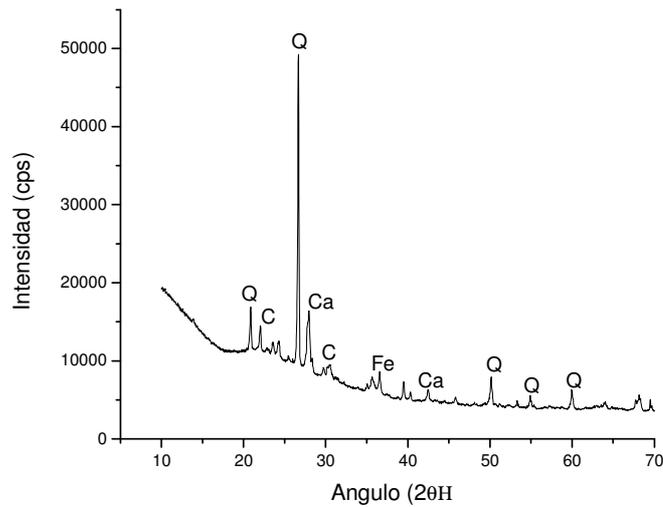
Para adecuar las muestras, se realizaron procesos de lavado y tamizado con la finalidad de homogenizar las CBC. Por medio de la técnica de fluorescencia de Rayos X se evaluó la composición química de ambas cenizas, identificando un contenido de Sílice de 72,8% y 61,3%, para la CBC1 y la CBC2 (tabla 1), respectivamente. Este contenido de SiO<sub>2</sub> es alto según reportes de diversos autores [7-9]. La pérdida por ignición para la CBC1 fue del 3,7% y de 11% para la CBC2, lo que indicó una baja presencia de material inquemado en la primera, lo cual se atribuye a que la muestra corresponde a una caldera donde se utiliza exclusivamente bagazo y aparentemente hay un mayor control en el proceso de quema [10]. Como método para reducir el nivel de inquemados, algunos autores utilizan tratamientos térmicos previo a su utilización en mezclas de cemento cuando estos materiales superan lo especificado en las normas (ASTM C618), del 6% máximo [11-13].

**Tabla 1.** Características de las cenizas estudiadas.

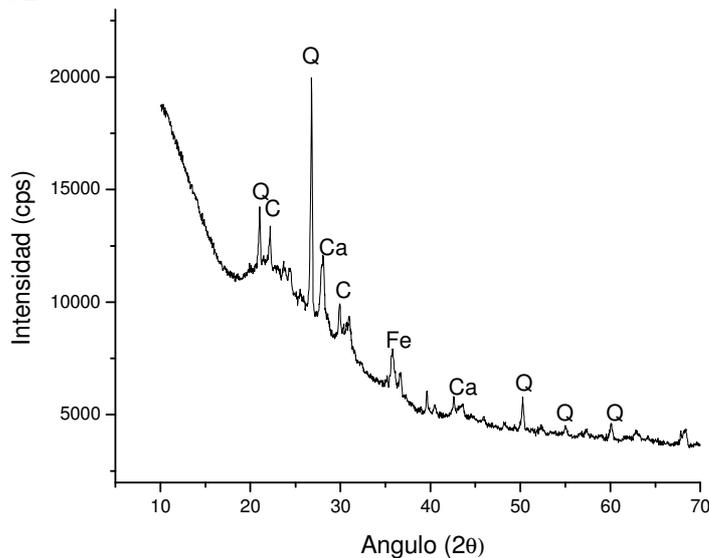
Características (%)	<b>CBC1</b>	<b>CBC2</b>
SiO <sub>2</sub>	72,8	61,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,4	5,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,5	5,6
CaO	3,8	3,9
MgO	2,3	3,2
K <sub>2</sub> O	2,7	5,0
Na <sub>2</sub> O	1,2	0,9
Pérdidas por ignición	3,7	11
Tamaño de partícula (µm)	79,8	41,5

La composición mineralógica se analizó por la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), con un equipo Xpert-Pro con lámpara de cobre; en la figura 1 se presentan los difractogramas. Se observa que ambas cenizas presentan características amorfas debido al levantamiento de la línea base entre 15 y 35 ( $2\theta$ ). Se destaca la presencia de Cristobalita y Cuarzo, este último se identifica como la fase cristalina predominante; estos resultados coinciden con diferentes autores [14, 15].

**a. CBC1**



**b. CBC2**



**Figura 1.** Difractogramas de Rayos X. Q: Cuarzo, C: Cristobalita, Ca: Calcita, Fe:  $Fe_2O_3$ .

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Tratamiento térmico (Análisis por DRX)

Teniendo en cuenta que la pérdida al fuego o contenido de inquemados fue relativamente alta (ver tabla 1), se tomó la determinación de realizar un tratamiento térmico a las dos cenizas a temperaturas de 500, 600 y 700° C durante tres horas, a una velocidad de calentamiento de 10°C/min. En la figura 2 se presentan los difractogramas para las dos cenizas a las diferentes temperaturas de tratamiento. Se observa de manera general que el tratamiento térmico no generó un cambio significativo para los compuestos presentes en las cenizas originales, igualmente el carácter amorfo se siguió conservando. Este comportamiento coincide con los estudios realizados por Cordeiro et al [13].

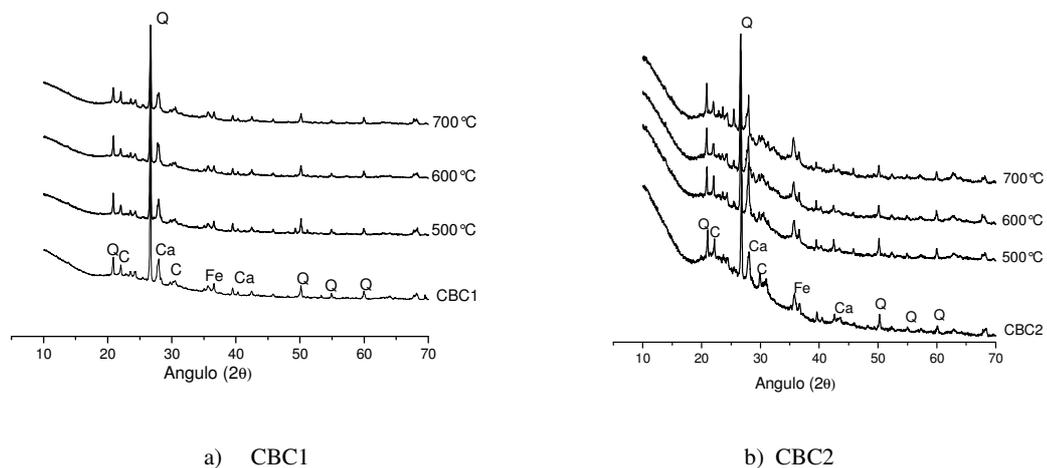


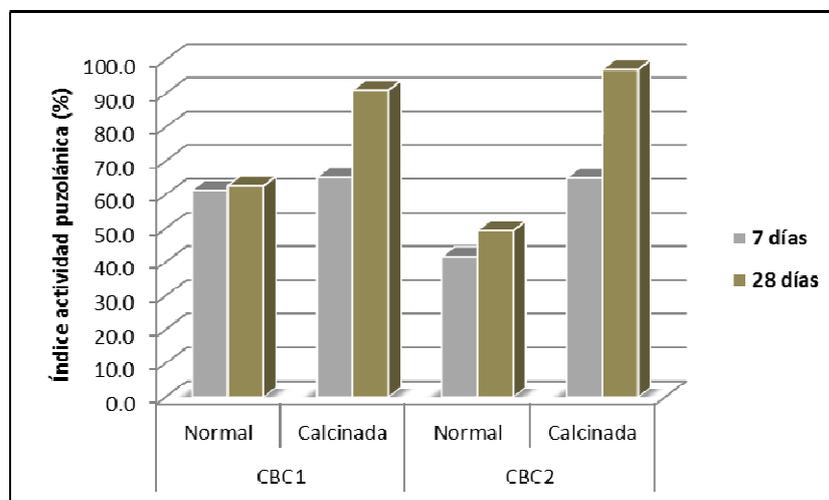
Figura 2. Difractogramas CBC calcinada. Q: Cuarzo, C: Cristobalita, Ca: Calcita, Fe: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 3.3 Actividad puzolánica

La actividad puzolánica se evaluó a través de la resistencia a la compresión, según la norma ASTM C311, esta evaluación se realizó a la CBC normal o sin tratamiento térmico y a la tratada térmicamente a 700 °C por tres horas. En la figura 3 se presentan los resultados para 7 y 28 días de curado. Para el análisis de dicha gráfica se debe tener en cuenta que la norma ASTM C618 establece un valor mínimo de índice de actividad puzolánica (IAP) del 75% a 28 días de curado, para considerar a un material como una puzolana.

En la figura 3 se aprecia que ambas cenizas sin tratamiento térmico reportaron un IAP inferior al 75% para 28 días de curado, siendo del orden de 62,7 y 49,4% para CBC1 y CBC2 respectivamente. Por el contrario, para las muestras tratadas a 700°C, el IAP se incrementó alcanzando valores de 91,1 y 97,3 para las muestras CBC1 y CBC2 respectivamente. Estos valores son superiores a los reportados por otros autores, quienes han reportado índices alrededor

del 83% [16]. El mayor IAP para la CBC2 puede ser atribuido al menor tamaño de partícula (ver tabla 1).



**Figura 3.** Actividad puzolánica de las CBC para 7 y 28 días.

#### 4 CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en el presente estudio resaltan la importancia de un adecuado control de calidad de los residuos previo a su utilización como materiales de adición en el cemento. Específicamente el control del proceso de combustión para reducir el nivel de inquemados y el tamaño de partícula.
- Los índices de actividad puzolánica de los dos tipos de CBC utilizados en el presente estudio, luego de un tratamiento térmico a 700°C para reducir el nivel de inquemados, fue superior al 91%, superando lo especificado en la Norma ASTM C618 para materiales puzolánicos; esto muestra el potencial aprovechamiento de este tipo de materiales.
- Es importante la ejecución de un estudio que determine los porcentajes óptimos de adición y la influencia de este en las propiedades de desempeño del material cementicio a largo plazo.

#### 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chovau, S., Gaykawad, S., Straathof, A., Van der Bruggen, B., "Influence of fermentation by-products on the purification of ethanol from water using pervaporation". Bioresource Technology, Vol. 102, No. 2, páginas 1669-1674, 2011.
2. Asocaña, "Balance azucarero colombiano Asocaña 2000 - 2012 (en tmvc)", [Base de datos en Excel], Cali, Colombia, diciembre 2012, <http://www.asocana.org/modules/documentos/vistadocumento.aspx?id=5528&url=/documentos/8112012-3dc07003-2d2d2d,b9b9b9.xls&urlzip=/documentos/8112012-3dc07003-2d2d2d,b9b9b9.xls>.
3. Rodríguez, J. M. Prieto, J. O. Molinas, S. Villanueva, G. Curbelo, A. Mollineda, A., "Depuración de iones cromo (III) presentes en soluciones acuosas usando como material

- adsorbente ceniza de bagazo de caña”, revista Cubana de química, Vol. 17, No. 3, páginas 96-97, 2005.
4. Rincón, J. Ma. Teixeira, S. R. Romero, M., “Cristalización de vidrios obtenidos a partir de ceniza de bagazo de caña de azúcar”, [Texto electrónico en PDF], Brasil, 2010, [http://www.upv.es/contenidos/VALOR10/info/Resumen\\_005.pdf](http://www.upv.es/contenidos/VALOR10/info/Resumen_005.pdf).
  5. Payá, J. Monzó, J. Borrachero, M. V. Díaz, L. Ordóñez, L. M., “Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production”, revista Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Vol. 77, No. 3, páginas 321-325, Marzo 2002.
  6. Cordeiro, G. C. Toledo, R. D. Tavares, L. M. Rego, E. M., “Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete”, Cement and concrete research, Vol. 39, páginas 110-115, 2009.
  7. Jiménez, V.G., León, F.M., Montes, P., Gaona, C., Chacón, J.G., “Influence of sugar-cane bagasse ash and fly ash on the rheological behavior of cement pastes and mortars”, Construction and Building Materials, Vol. 40, páginas 691-701, Marzo 2013.
  8. Frías, M., Villar, E., Savastano, H., “Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture”, Cement and Concrete Composites, Vol. 33, No. 4, páginas 490-496, Abril 2011.
  9. Cordeiro, G.C., Toledo, R.D., Tavares, L.M., Fairbairn, E.M.R., “Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars”, Cement and Concrete Composites, Vol. 30, No. 5, páginas 410-418, Mayo 2008.
  10. Tovar, J., “Entrevista ceniza de bagazo”, [Estudio de campo], Ingenio Providencia, Cerrito, Colombia, febrero 2012.
  11. Morales, E.V., Villar, E., Frías, M., Santos, S.F., Savastano, H., “Effects of calcining conditions on the microstructure of sugar cane waste ashes (SCWA): Influence in the pozzolanic activation”, Cement and Concrete Composites, Vol. 31, No. 1, páginas 22-28, Enero 2009.
  12. Chusilp, N., Jaturapitakkul, C., Kiattikomol, K., “Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete”, Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 11, páginas 3352-3358, Noviembre 2009.
  13. Cordeiro, G.C., Toledo, R.D., Fairbairn, E.M.R., “Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash”, Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 10, páginas 3301-3303, Octubre 2009.
  14. Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K., “Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material”, Cement and Concrete Composites, Vol. 29, No. 6, páginas 515-524, Julio 2007.
  15. Frías, M., Villar, E., Valencia, E., “Characterisation of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: Calcining temperature and kinetic parameters”, Waste Management, Vol. 27, No. 4, páginas 533-538, 2007.
  16. Oliveira de Paula M., et al, “Sugarcane Bagasse ash as a partial-Portland-cement-replacement material”, Revista Dyna, Vol. 77, páginas 47-54, 2010.