

CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA PARA ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: ESTUDIO PRELIMINAR

CANE BAGASSE ASH FOR MANUFACTURE OF BUILDING MATERIALS: PRELIMINARY STUDY

Diana V. Vidal¹, Janneth Torres², Luis O. González³

¹ Diseñadora Industrial, Grupo de Investigación Materiales y Medio Ambiente GIMMA. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia

² Ing. Materiales, Ph.D., Profesora Asociada, Facultad de Ingeniería y Administración, Grupo de Investigación Materiales y Medio Ambiente GIMMA. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

³ Ing. Civil, M.Sc., Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería y Administración. Grupo de Investigación Materiales y Medio Ambiente GIMMA. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

(Recibido: Mayo/2014. Aceptado: Junio/2014)

Resumen

El Valle del Cauca, por sus condiciones ambientales, tiene alta presencia de cultivos azucareros. Un residuo del procesamiento de la caña, poco explorado es la ceniza del bagazo (CBC), objetivo del presente estudio. El bagazo de caña de azúcar una vez es utilizado en las calderas industriales, da lugar a la CBC, este material al igual que los residuos del carbón o cenizas volantes es considerado un material con carácter puzolánico por algunos investigadores. Se estudiaron tres cenizas procedentes de ingenios azucareros del Valle del Cauca, por medio de composición química, difracción de rayos X y actividad puzolánica. Se encontró que las CBC analizadas contienen Sílice (SiO_2) y Alúmina (Al_2O_3), en diferentes proporciones, y que poseen amorficidad en su estructura, lo cual favorece la reactividad con cemento. Las muestras fueron tratadas térmicamente debido al alto contenido de inquemados, y se les determinó la actividad puzolánica, encontrándose índices hasta del 97%, cumpliendo a cabalidad con la norma ASTM C618. Con los resultados se concluye, que éste residuo puede ser adicionado al cemento para la elaboración de materiales de construcción. Se sugiere hacer estudios adicionales de resistencias mecánicas y de durabilidad.

Palabras Clave: Bagazo de caña, cenizas, actividad puzolánica, adiciones cementicias.

Abstract

Valle del Cauca, for the environmental conditions, has suitable the sugar-cane-crops. A residue of cane processing, little explored is the ash from bagasse, objective of this study. The cane bagasse ash (CBA) is a by-product from the cane processing, so is poorly explored, being an interesting field to research. Once is used in industrial boilers, leads to the CBA, the material waste like a coal or fly ash is considered a material with pozzolanic character by some researchers. Three ashes from sugar industries from Valle del Cauca, through chemistry composition, X-ray diffraction and pozzolanic activity were studied. The ashes analyzed, are composed of silica SiO_2 and alumina Al_2O_3 in different proportions and with amorphicity in its structure, which favors the reactivity with cement. The samples were thermally treated due to the high content of unburned, and were determined pozzolanic activity index, which value (until 98%) is complying with the ASTM C618. With the results it was concluded that this residue may be added to the cement for construction materials. It is suggested further study of mechanical strength and durability.

Keywords: Cane bagasse, ashes, pozzolanic activity, additions to cement.

Introducción

La caña se procesa principalmente para la fabricación de alcohol y de azúcar, presenta un contenido de sacarosa que oscila entre 11% y 16% [1]. Durante el procesamiento de la caña se pueden obtener múltiples productos, como bebidas refrescantes de consumo local, materia prima, energía alternativa, abonos orgánicos, alimento para ganado, alcohol, productos alimenticios y biocombustibles [2].

A nivel internacional el país que más produce y exporta azúcar es Brasil (primer productor mundial) con un 20%, seguido por India (segundo productor mundial), Tailandia y China, que con otros países asiáticos conforman el 40% de la producción mundial [3].

Las condiciones ambientales en la región del Valle del Cauca, permiten cultivar la planta durante los 365 días del año; esta situación ha permitido el establecimiento de 13 ingenios, los cuales contribuyen con la producción colombiana. Aunque estas empresas ayudan a satisfacer el consumo de azúcar nacional, no mitigan la problemática ambiental; la cual también se encuentra

alterada por la fabricación de cemento, pues este requiere alto gasto energético de combustibles ($\approx 4,000$ KJ/kg cemento, 25% de pérdidas) y gran emisión de contaminantes ($0.85-1$ kg CO_2 /kg cemento) por descarbonatación de la caliza, y empleo de combustibles [4].

El residuo de la ceniza de bagazo de caña (CBC) se obtiene en el fondo de la caldera y como cenizas volantes, este material es considerado puzolánico por algunos investigadores por presentar en su composición gran cantidad de SiO_2 [5-6]. Entre sus características principales se destacan las partículas ultrafinas las cuales se obtienen por procesos de molienda. Entre las aplicaciones de la CBC, se encuentran la obtención de materiales vitrocerámicos, como material adsorbente para la eliminación de iones cromo (III), como material de cama para la crianza de pollos de engorde en piso y como adición al cemento Portland, entre otros [6-9].

De acuerdo a la información suministrada por algunos Ingenios del Valle, actualmente la ceniza de bagazo regional no es utilizada en la fabricación de productos que beneficien directamente a la comunidad vallecaucana, la cual es afectada por este tipo de cultivo que altera al ecosistema, además de influir en problemas respiratorios. Adicionalmente, el residuo azucarero está siendo almacenado a cielo abierto y sus partículas finas permiten que se desplace por las corrientes de aire, al igual que con la intervención de las aguas lluvia [5].

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación se enfoca en un estudio preliminar del uso de la CBC, como remplazo parcial del cemento Portland, que incluye un análisis de la actividad puzolánica para el material original y tratado térmicamente. Se espera que este residuo pueda contribuir al diseño y elaboración de elementos de construcción que satisfagan la necesidad de hábitat para la población vallecaucana.

Materiales y Métodos

Se utilizaron tres (3) tipos de ceniza de bagazo de caña, denominados CBC1, CBC2 y CBC3, provenientes de dos ingenios azucareros del Valle del Cauca, resultado de la combustión del bagazo en calderas a temperaturas aproximadas entre 700 y 900°C . La ceniza denominada CBC1 se obtuvo de un vertedero a cielo abierto, la CBC2 y la CBC3 proceden del fondo de un multiciclón y un precipitador, respectivamente. Para obtener las muestras óptimas de estudio, se realizaron procesos de lavado y tamizado utilizando tamices N°140, 170 y 200, con la finalidad que el material quedara libre de residuos.

En la tabla 1 se presentan las características físicas y químicas de las cenizas y del cemento usado para los respectivos ensayos de adición al mismo. De acuerdo a la tabla, los compuestos con mayor presencia en las CBC son SiO_2 , Al_2O_3 y también Fe_2O_3 . Según la norma ASTM C618 en las puzolanas clase N, la suma de éstos debe ser igual o superior al 70%. Diversas investigaciones han reportado que la suma de estos tres compuestos representa más del 70% de la composición química de la ceniza de bagazo de caña [7, 10-12]. La pérdida al fuego para las muestras CBC1 y CBC3, son altas, lo cual se atribuye a que CBC1 corresponde a una muestra tomada de un vertedero a cielo abierto y la CBC3 fue tomada del fondo de precipitador de una caldera donde se utiliza también carbón para el proceso de quema. Para el caso de la ceniza CBC2, ésta corresponde a una muestra de caldera donde se exclusivamente bagazo y aparentemente hay un mayor control en el proceso de quema. Algunos autores indican que la pérdida por ignición puede disminuirse sometiendo las muestras a procesos térmicos donde se incremente la temperatura de quema [13-14].

TABLA 1. *Características físicas y químicas de las cenizas y el cemento.*

Características (%)	CBC1	CBC2	CBC3	Cemento
SiO_2	58,6	76,4	63,2	24,3
Al_2O_3	11,8	5,8	8,5	4,3
Fe_2O_3	5,8	4,5	6,4	3,0
CaO	3,0	3,3	3,9	58,8
MgO	2,2	2,3	4,3	1,4
K_2O	2,0	4,2	7,3	0,7
Na_2O	1,3	1,2	1,1	0,8
Pérdidas por ignición	10,0	2,0	11,0	4,0
Tamaño de partícula (μm)	38,7	79,8	41,5	16,0

La composición mineralógica de las cenizas fue evaluada por la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), con un equipo Xpert-Pro con lámpara de cobre a una velocidad de escaneo de $5^\circ/\text{min}$ con un paso de 0.020 grados. En la fig. 1 se presentan los difractogramas. Se observa que las tres cenizas presentan características amorfas debido al levantamiento de la línea base entre 15 y 35 (2θ); esta amorficidad le confiere actividad puzolánica a las cenizas, que la hacen aptas para ser adicionadas al cemento portland [15]. Se destaca la presencia de cristobalita y cuarzo, este último se identifica como la fase cristalina predominante; estos resultados coinciden con los presentados por diferentes autores [16-17]. La presencia significativa de cristobalita indica que la temperatura de la combustión del bagazo fue superior a 800°C , coincidiendo con diferentes autores, [5, 11, 14, 18 -19].

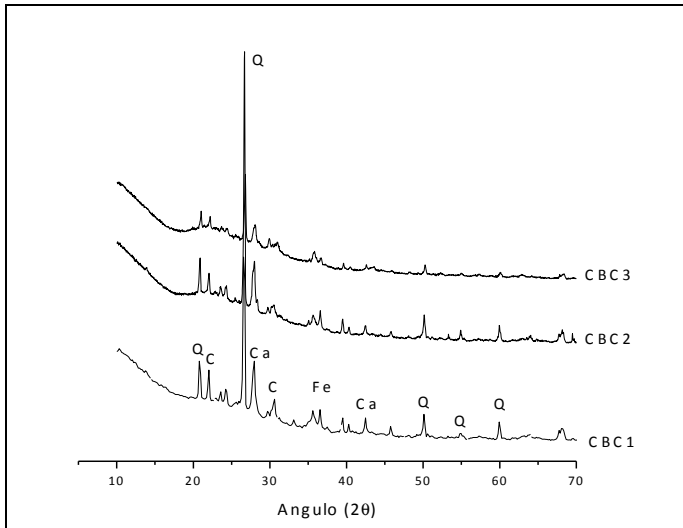


FIGURA. 1. Difractogramas de rayos X para las cenizas estudiadas. Q: Cuarzo, C: Cristobalita, Ca: Calcita, Fe: Fe_2O_3 .

A las cenizas se les determinó el índice de actividad puzolánica (IAP) a través de la resistencia a la compresión, según la norma ASTM C311 y C642, la cual consiste en preparar morteros de cemento con una adición del 20% con respecto a la cantidad de cemento, y un mortero patrón (0% adición). A partir de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta datos como la composición química, la pérdida al fuego, y el reporte de otros autores [6-9, 15], se tomó la determinación de realizar un tratamiento térmico a las cenizas, a temperaturas entre 500 y 700°C durante 3 horas. A estas muestras tratadas también se les determinó el IAP.

También se realizó un estudio por difracción de rayos X para las muestras que presentaron la mayor actividad puzolánica a diferentes temperaturas de tratamiento. En este caso se utilizó el equipo un equipo Xpert-Pro con lámpara de cobre a una velocidad de escaneo de 5°/min con un paso de 0.020 grados.

Resultados y Análisis

Actividad puzolánica

La actividad puzolánica se refiere a la capacidad que tiene el material o puzolana, en este caso la CBC, de reaccionar con el hidróxido de calcio proveniente de la hidratación del cemento, generando mayores productos de

reacción y por lo tanto mejorando las propiedades mecánicas de los materiales de construcción base cemento. Esta propiedad depende de la naturaleza y proporción de las fases activas presentes, de la relación cal:puzolana, de la finura de la puzolana y de la temperatura a la que ocurra la reacción [20].

En la fig. 2 se presentan los resultados de la actividad puzolánica a 7 y 28 días de curado, para las tres muestras de CBC. La norma ASTM C311 indica como valor mínimo el 75% de índice de actividad, para considerar un material como una puzolana. En el caso de la CBC1 para los 7 y 28 días de curado, se reportaron valores de 32 y 33%, lo cual no da cumplimiento a la norma en mención. Probablemente esta situación se presentó porque la CBC1 contiene carbón, el cual fue adicionado durante el proceso de combustión del bagazo, razón por la cual la pérdida al fuego es alta (10%). Adicionalmente, la quema de esta ceniza pudo superar los 1000° C dentro de la caldera, modificando la estructura amorfa de la sílice [17] y por la presencia de partículas del suelo como cuarzos, que alteran las propiedades puzolánicas de la CBC1. Para las otras cenizas CBC2 y CBC3, los valores obtenidos también están por debajo del límite que indica la norma.

Por lo anterior y teniendo en cuenta datos como la composición química, la pérdida al fuego, y el reporte de otros autores [6-9, 15], se tomó la determinación de realizar un tratamiento térmico a las cenizas CBC2 y CBC3, a temperaturas de 500, 600 y 700°C durante 3 horas. Este tratamiento se realizó en un horno eléctrico a una velocidad de calentamiento de 10°C/min. En la fig. 3 se presentan los resultados obtenidos del IAP para cada una de las temperaturas de tratamiento.

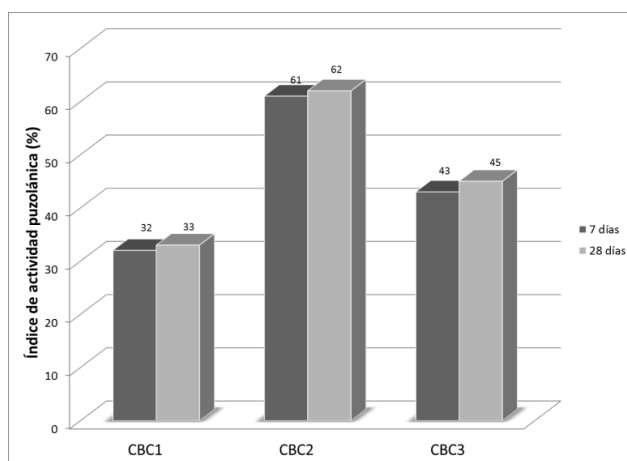


FIGURA 2. Índice de actividad puzolánica.

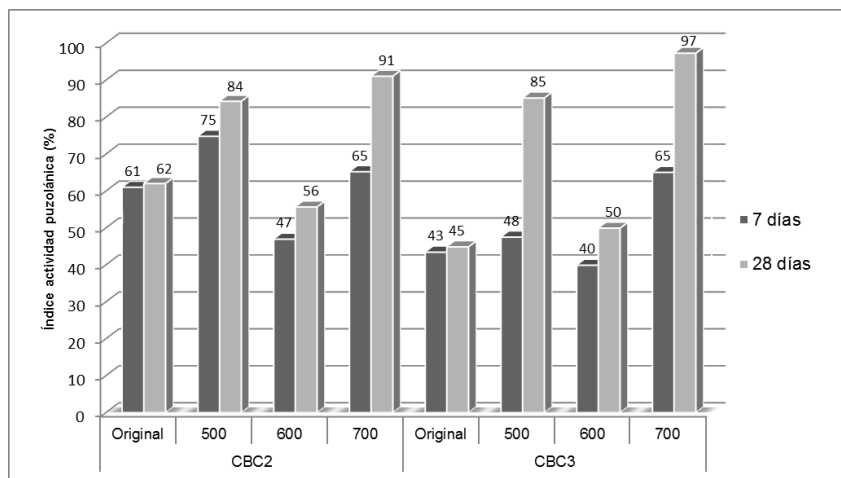


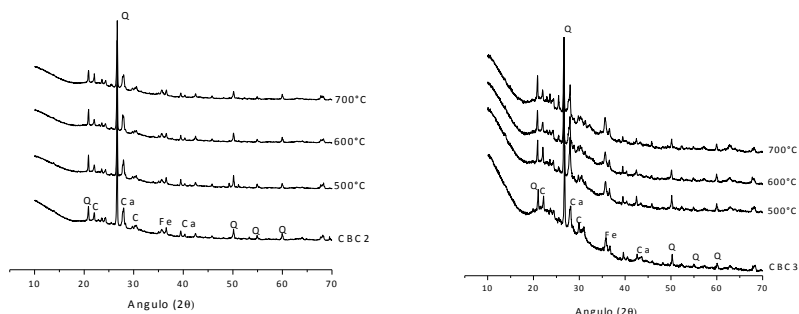
FIGURA 3. Índice de actividad puzolánica para las cenizas tratadas térmicamente.

En la fig. 3 se observa que las muestras CBC2 y CBC3 reportaron índices altos de actividad puzolánica cuando fueron tratadas térmicamente a 700°C; valores que superan lo reportado por otros autores [21], los cuales han obtenido índices alrededor del 83%. Es importante mencionar que las muestras CBC2 y CBC3 son el resultado de calcinación única de bagazo; por lo anterior es probable la diferencia entre los resultados en la actividad puzolánica, en comparación con la CBC1. Estas muestras se caracterizaron por un gran contenido de sílice, lo cual pudo influir en su reactividad puzolánica.

También se observa que la muestra CBC3 reportó el IAP más alto, aunque este tipo de ceniza presentó menos contenido de sílice que la CBC2 (ver tabla 1), su tamaño de partícula es menor (41,5 μm), lo cual pudo incrementar su reactividad. Aunque la CBC3 presentó el mayor índice de actividad puzolánica, no es conveniente descartar el potencial de la CBC2, teniendo en cuenta su baja pérdida por ignición que es inferior al 10%, factor que podría incrementar la resistencia a la compresión de los materiales adicionados con esta cenizas [14].

Análisis del tratamiento térmico por Difracción de Rayos X

Teniendo en cuenta que el mejor comportamiento frente a la reactividad con cemento, lo presentaron las cenizas CBC2 y CBC3 tratadas térmicamente, se realizó un estudio a través de la técnica de DRX de los cambios que se presentaron en las cenizas. En la fig. 4 se presentan los difractogramas correspondientes.



a) CBC2

b) CBC3

FIGURA 4. Difractogramas de Rayos X para las cenizas tratadas térmicamente. *Q*: Cuarzo, *C*: Cristobalita, *Ca*: Calcita, *Fe*: Fe_2O_3 .

En las muestras tratadas térmicamente se observa nuevamente la presencia de cuarzo, lo cual se le atribuye a la arena adherida en la caña en el momento de la cosecha, debido a las características de origen del suelo. Luego de la calcinación de la materia orgánica durante la quema de las cenizas, la proporción de cuarzo en las muestras aumentó, esto coincide con el reporte de otros autores [13, 17]. En los difractogramas también se observa que el carácter amorfo de las muestras se sigue conservando.

A partir de los resultados se puede inferir que la mejor temperatura de tratamiento para las CBC del estudio, corresponde a 700°C, pues se reportó una mayor actividad puzolánica en ambas puzolanas y se conserva su carácter amorfo, según los resultados de DRX. En el estudio se destaca la reutilización de un residuo industrial, ya que su aplicación lograría disminuir el consumo de cemento, dándose así un efecto ambiental positivo, pues la producción de este último es altamente contaminante. Se sugieren hacer estudios adicionales de resistencias mecánicas y de durabilidad en materiales cementicios adicionados con este residuo.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se concluye que:

Las cenizas de bagazo estudiadas, requieren de un tratamiento térmico, ya que esto permite mejorar su reactividad frente al cemento Portland.

Vale la pena resaltar el aprovechamiento de un residuo industrial, que si bien debe hacerse un tratamiento adicional, su utilización lograría disminuir la cantidad de cemento, dándose así un efecto ambiental positivo, ya que la producción de este último es altamente contaminante.

Se recomiendan hacer estudios posteriores con cenizas producto de la combustión única del bagazo sin tratamiento térmico, lo cual permitirá economizar en tratamientos posteriores a la obtención del residuo, disminuyéndose el consumo de energía. Por otro lado, también se pueden realizar estudios con la CBC sometida a procesos de molienda, ya que éste es un factor importante en el desempeño puzolánico.

Agradecimientos

El grupo de investigación GIMMA agradecen al Dr. Juan Manuel Lizarazo coordinador del Laboratorio de Estructuras, de la Universidad Nacional de Colombia, por el apoyo en la realización de los ensayos de actividad puzolánica. A la Dra. Ruby Mejía de Gutiérrez, coordinadora del grupo Materiales Compuestos de la Universidad del Valle.

Referencias

- [1] F. Augstburger, J. Berger, U. Censkowsky, P. Heid, J. Milz, and C. Streit, http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Publication/Espanol/cana_de_azucar.pdf, (2000).
- [2] Manuelita S.A., *Así producimos azúcar alta pureza: Diagrama del proceso de elaboración de azúcar y sus derivados* (Folleto, Concepto visual, 2010).
- [3] V. Chacón Gálvez, <http://www.ratingspcr.com/boletin/main.php?K=3931&id=122>, (2011).
- [4] J. I. Escalante, *Materiales alternativos al cemento Portland. Avance y Perspectiva*. **21**, (2002),
- [5] J. Payá, J. Monzó, M. V. Borrachero, L. Díaz Pinzón, and L. Ordóñez, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. **77**, (2002).
- [6] G. C. Cordeiro, R. D. Toledo, Filho L. M. Tavares, and E. M. Rego Fairbairn. *Cement and concrete research*, **39**, (2008).
- [7] J. Rincón, S. R. Teixeira, and M. Romero, http://www.upv.es/contenidos/VALOR10/info/Resumen_005.pdf, (2010).

- [8] J. M. Rodríguez Díaz, J. O. Prieto García, and S. Revista Cubana de química, **17**, (2005).
- [9] A. Ortiz, M. Valdivié, and A. Elías, Revista Cubana de Ciencia Agrícola, **38**, (2009).
- [10] N. Chusilp, Ch. Jaturapitakkul, and K. Kiattikomol, Construction and Building Materials, **23**, (2009).
- [11] M. Frías, E. Villar, and H. Savastano, Cement and concrete Composites, **33**, (2011).
- [12] K. Montakarntiwong, N. Chusilp, T. Weerachart, and Ch. Jaturapitakkul, Materials & Design, **49**, (2013).
- [13] G.C. Cordeiro, R.D. Toledo, and E.M.R. Fairbairn, Construction and Building Materials, **23**, 10, (2009).
- [14] N. Chusilp, C. Jaturapitakkul, and K. KIattikomol, Construction and Building Materials, **23**, (2009).
- [15] J. F. Martirena Hernández, B. Middendorf, M. Gehrke, and H. Budelmann, Cement and Concrete Research, **28**, (1998).
- [16] K. Ganesan, , K. Rajagopal, , K. Thangavel, Cement and Concrete Composites, **29**, 6, (2007).
- [17] M. Frías, E. Villar, and E. Valencia, Waste Management, **27**, 4, (2007).
- [18] E.V. Morales, E. Villar-Cociña, M. Frías, S.F. Santos, and H. Savastano, Cement and Concrete Composites, **31**, (2009).
- [19] G.C. Cordeiro, R.D. Toledo Filho, L.M. Tavares, and E.M.R. Fairbairn, Construction and Building Materials, **29**, (2012).
- [20] R. Mejía de Gutiérrez, P. Rodríguez, *Durabilidad y corrosión en materiales cementicios*, (Cytel, 1999).
- [21] M. Oliveira de Paula, I. Ferreira, C. De Souza, and J. A. Osorio, Revista Dyna, **77**, 163 (2010).