

## DETERMINACIÓN DEL USO INDUSTRIAL POTENCIAL DE LAS ARCILLOLITAS DE LA FORMACIÓN GUADUAS PARA LA EMPRESA COLCARBÓN S.A

---

---

*Jorge Iván Tobón<sup>1</sup>, Inés Carmona<sup>1</sup>, Luis Caro<sup>2</sup> y Yenny Montoya<sup>3</sup>*

*1. Profesores Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2. Ingeniero Geólogo, 3. Ingeniera de Minas  
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín  
jitobon@unal.edu.co, icarmona@unal.edu.co, ldcarog@unalmed.edu.co, yamontoy@unalmed.edu.co*

Recibido para evaluación: 01 de Diciembre de 2005 / Aceptación: 13 de Mayo de 2006 / Recibida versión final: 30 de Mayo de 2006

### RESUMEN

Este trabajo fue realizado en predios de la empresa Colcarbón S.A. C.I., ubicada en los municipios de Cucunubá (Cundinamarca) y Samacá (Boyacá) y geológicamente sobre la Formación Guaduas. El estudio comprende la caracterización de las arcillas de las zonas de Cucunubá (1), Cucunubá 2 (2), Castilla (3), Samacá (4) y Mortiño (5). Las zonas fueron muestreadas y las muestras analizadas mediante pruebas físicas (análisis granulométricos y determinación de la plasticidad), químicas (óxidos mayores), mineralógicas (DRX y DTA). Con las materias primas caracterizadas se elaboraron ladrillos de forma cúbica que fueron quemados en un horno eléctrico a 1.100 °C a los cuales se les determinó contracción lineal y volumétrica, composición mineralógica y resistencia a la compresión

Con base en estos resultados se determinaron las áreas potenciales para la obtención de materias primas para la elaboración de ladrillos refractarios, los cuales abastecerán los hornos de coquización con que cuenta la empresa. Se encontró que las zonas de Cucunubá (1), Castilla (3) y Cucunubá 2 (2), en este orden, son las que presentan los materiales con mejores propiedades para ser utilizadas en la industria de ladrillos refractarios. Samacá (4) y Mortiño (5) necesitan de medidas correctivas para mejorar sus propiedades refractarias.

**PALABRAS CLAVES:** Arcillas, Formación Guaduas, Arcillas Refractarias, Materiales Refractarios.

### ABSTRACT

This research was done in the COLCARBON S. A. Company, located in Cucunubá (Cundinamarca) and Samacá (Boyacá) and geologically on Guaduas Formation. The clays from Cucunuba (1), Cucunuba 2 (2), Castilla (3), Samacá (4) and Mortiño (5) areas were characterized. The areas were sampled and the samples were analyzed using physical (granulometric analyses and determination of plasticity), chemical, mineralogical (DRX and DTA) testes. After the characterization with the raw materials cubic bricks were made, that were burned in an electrical furnace at 1.100°C, which were measured the lineal and volumetric contraction, mineralogical composition and strength resistance.

The potential areas for the raw material for refractory bricks manufacturing were determined with these results, which will supply the company kilns. It was found that Cucunubá (1), Castilla (3) and Cucunubá 2 (2) areas have the better materials for the refractory industry. Samacá (4) and Mortiño (5) areas need to improve their refractory properties.

**KEY WORDS:** Clays, Guaduas Formation, Fireclay, Refractory Materials.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de coquización consumen gran cantidad de ladrillos refractarios, encareciendo el proceso de producción del coque. En algunas partes del mundo se aprovechan las arcillas que están en los respaldos de los mantos de carbón (*Under clays*) o las cercanas a ellos como materias primas para la fabricación de este tipo de ladrillos. Para empresas de gran volumen de producción de coque, como COLCARBÓN S.A., se justifica en muchos casos hacer los montajes para producir sus propios refractarios. Es por esto que se decidió adelantar un proyecto de investigación para evaluar preliminarmente el potencial para producir ladrillos refractarios de las arcillolitas presentes en las concesiones mineras de la compañía.

Las áreas están ubicadas en los municipios de Cucunubá (Cundinamarca) y Samacá (Boyacá). El trabajo comprendió la caracterización de las arcillas de las zonas de Cucunubá (1), Cucunubá 2 (2), Castilla (3), Samacá (4) y Mortiño (5), para definir las calidades de los materiales y establecer su potencialidad para la fabricación de ladrillos refractarios y en la evaluación del desempeño de ladrillos elaborados a escala de laboratorio. Por lo cual, los análisis de laboratorio fueron divididos en dos etapas, la primera se realizaron a la materia prima y la segunda al producto terminado. El análisis incluyó los tópicos mineralógicos, granulométricos y químicos, así como los comportamientos físico-mecánicos y térmicos de las piezas terminadas, la cual es una metodología aplicada en los trabajos internacionales más recientes como los de El Yakoubi, Aberkan y Ouadia (2006) y Lisboa et al, (*in press*). Con base en los resultados se determinaron las áreas de interés para la explotación de las arcillolitas.

Las áreas seleccionadas o de mayor interés serán sometidas a trabajos posteriores de refinamiento de la información obtenida, como son: determinación de la variabilidad de la calidad de la materia prima, cálculos de reserva, diseños mineros, análisis económicos, entre otros.

## 2. UBICACIÓN GEOLÓGICA

El área estudiada hace parte de la Cuenca Carbonífera Táusa - Samacá. Las arcillolitas que acompañan a los yacimientos carboníferos pertenecen al Miembro Medio de la Formación Guaduas, y se encuentran ubicadas en el flanco NE del sinclinal Checua-Lenguazaque, que va de Bogotá hasta el Valle de Samacá (Ujueta, 1962 en Pérez, 1987; Ramos y Suescún, 2001)

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. En el trabajo de campo

Se elaboró una cartografía generalizada de las unidades sedimentológicas de las zonas, lo cual, permitió definir los sitios apropiados para la realización de apiques para la prospección. En los afloramientos y los apiques se levantaron columnas estratigráficas a escala 1:50 con el ánimo de definir el muestreo.

El método de muestreo empleado fue el de canales perpendiculares a la estratificación. Del conjunto de muestras obtenidas se seleccionaron trece (13) para la realización de los diferentes análisis, luego de las inspecciones macroscópicas y de acuerdo con los intereses de la compañía: cinco en Cucunubá, dos en Cucunubá 2, una en Castilla, tres en Samacá y dos en Mortiño.

### 3.2. La materia prima

Fue sometida a los siguientes ensayos: Determinación de materia orgánica de acuerdo con la norma I.N.V.E-121. Análisis granulométricos mediante tamizado en húmedo de acuerdo con las Normas AASHTO T87-70, AASHTO T88-

70 y los finos fueron analizados con un Coulter LS 130 para definir el porcentaje de arcillas y limos. Análisis químicos mediante absorción atómica para cuantificar  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . Análisis mineralógico usando difracción de Rayos-X (DRX) sobre muestras totales (*bulk*) en un equipo *Rigaku Miniflex*, fuente de cobre, longitud de onda igual a 1.5418, las muestras fueron corridas a  $2^\circ/\text{min}$  hasta  $60^\circ$ , con un máximo en intensidad de 4000cps (para el análisis de los difractogramas se usó la base de datos de JCPDS -*International Center for Diffraction data.2001*) y Termo-Diferencial (ATD) con un T. A. INSTRUMENTS, modelo DTA: 1600 DTA, con portamuestra de Platino. La plasticidad se determinó mediante los límites de Atterberg (normas ASTM 463-66 y ASTM D424-59).

Una vez caracterizadas las materias primas se definió la temperatura de quema en el horno con base en los resultados del DTA (formación de mullita) y se procedió a formar cubos de 5 cm de arista, los cuales fueron secados durante 48 horas al aire para posteriormente ser quemados a  $1.100^\circ\text{C}$ .

### 3.3. Pruebas realizadas al producto terminado

Fueron: difracción de Rayos-X (DRX), Contracción volumétrica y lineal, absorción de agua (Norma ICONTEC 4052/95) y resistencia a la compresión mecánica.

El tamizado y la determinación de la plasticidad se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia. El análisis granulométrico de la fracción fina se hizo en el Laboratorio de yacimientos y Fluidos de Perforación de la misma Facultad. Los análisis químicos en el Laboratorio Químico del INGEOMINAS (Instituto Colombiano de Geología y Minería). La DRX y los análisis térmicos (DTA) en el laboratorio de Catalizadores y Absorbentes de la Universidad de Antioquia. Las muestras de los ladrillos se fallaron en el laboratorio de Estructuras de la Facultad de Minas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Materias primas

Los contenidos promedio de materia orgánica más altos se presentaron en las muestras de Samacá (4) y Mortiño (5) (Figura 1). Esto es desfavorable en las arcillas cuando van a ser utilizadas en la fabricación de ladrillos porque aumentan su plasticidad y retracción y porque cuando se queman se produce porosidad y manchas negras en el producto terminado.

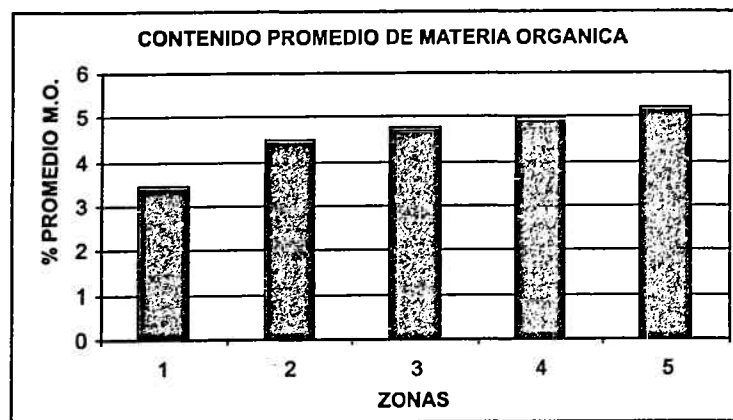


Figura 1.  
Contenido de materia orgánica promedio por zona.

El análisis granulométrico mostró que el mayor contenido de arena gruesa lo presenta la zona de Cucunubá (6.4%) y el menor la zona de Castilla (1%). Las muestras de Cucunubá (1), Cucunubá 2 (2), y Castilla (3) son las que mayor cantidad de finos presentan.

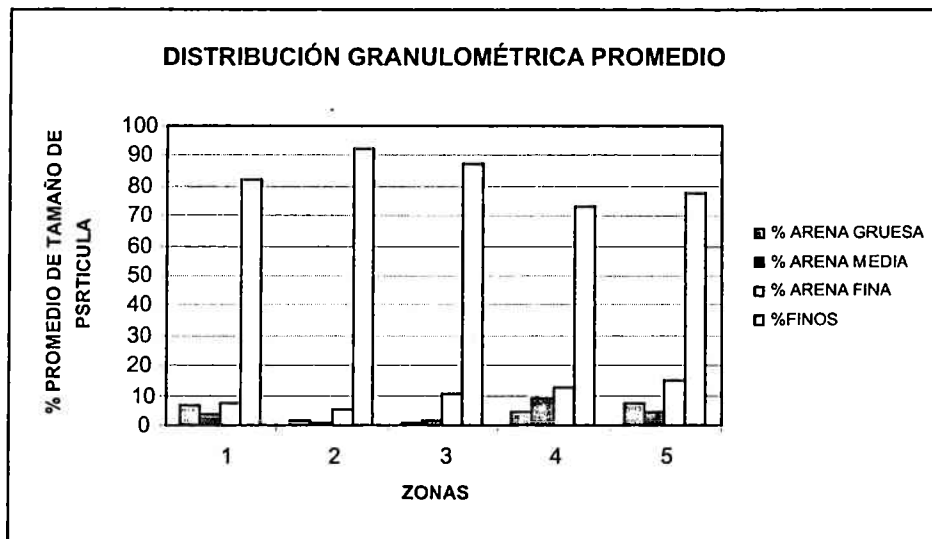


Figura 2.  
Distribución Granulométrica Promedio

La fracción correspondiente al material fino (pasante malla 200) fue llevado al contador de partículas COULTER. En las zonas de Cucunubá (1), Castilla (3), Samacá (4) y Mortiño (5) el 90% del material corresponde a partículas tamaño arcilla ( $\leq 2 \mu\text{m}$ ). En Cucunubá 2 (2) sólo el 50% del material fino corresponde a este tamaño y el resto pertenece a tamaño limo (Figura 3).

La granulometría de las muestras, en general, es muy favorable para su uso en cerámicos porque garantiza una buena plasticidad y baja porosidad del producto quemado (baja absorción de agua). Se destacan las zonas de Cucunubá (1), Castilla (3), Samacá (4) y Mortiño (5). Los materiales muy arcillosos demanda especial cuidado en la etapa de secado, el cual se debe hacer lentamente y durante un período suficiente para evitar defectos de las piezas durante la cocción.

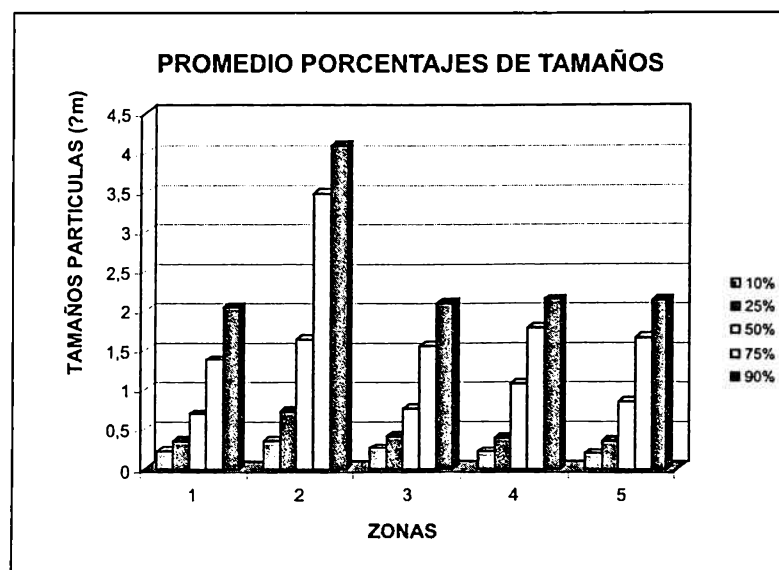


Figura 3.

La cantidad de material fino refleja el comportamiento plástico de las muestras, en general, son más plásticas las muestras a mayor porcentaje de partículas tamaño arcilla. Según el contenido de arena y finos, la zona que presentaría mejor comportamiento cerámico es Castilla y Cucunubá, aunque el comportamiento de las otras zonas es también aceptable.

La Plasticidad se determinó a partir del índice de plasticidad y el límite líquido encontrados, siguiendo los procedimientos descritos en las normas ASTM 463-66 y ASTM D424-59 respectivamente, para luego clasificar el suelo (clasificación unificada de suelos). Graficando ambos puntos para cada una de las muestras, se encontró según, Casagrande su clasificación correspondiente (Figura 4), ubicándose todas entre las categorías CL (arcillas magras) y CH (arcillas grasas), las arcillas grasas son de más alta plasticidad que las magras. De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que en las zonas de Cucunubá, Cucunubá 2 y Castilla existen arcillas inorgánicas medianamente plásticas las cuales pueden ser denominadas como arcillas magras. En las zonas Samacá y Mortiño las arcillas son de alta plasticidad, las cuales pueden ser denominadas como arcillas grasas aunque localmente se puede ver arcillas de mediana plasticidad.

La plasticidad es una propiedad que se debe manejar con sumo cuidado porque regula el moldeo y es directamente proporcional a la retracción o contracción de la arcilla al ser quemada.

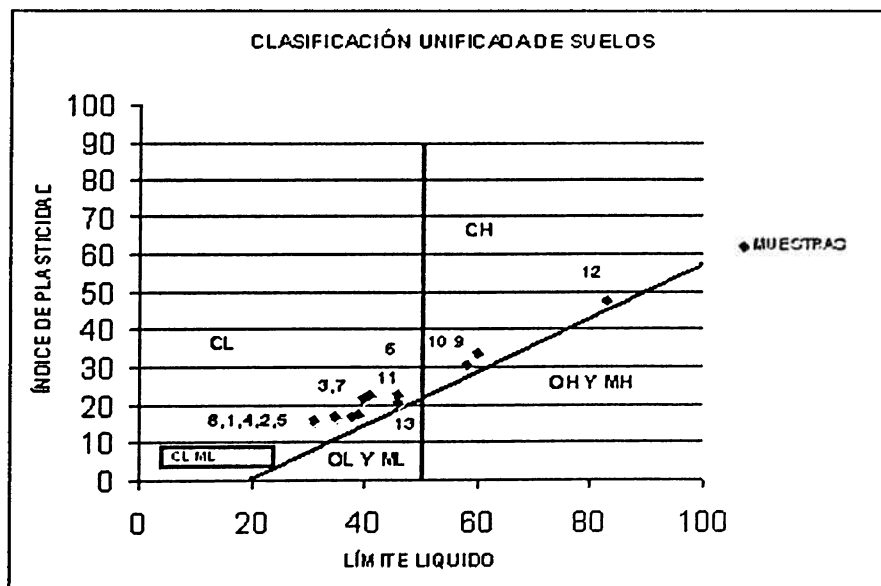
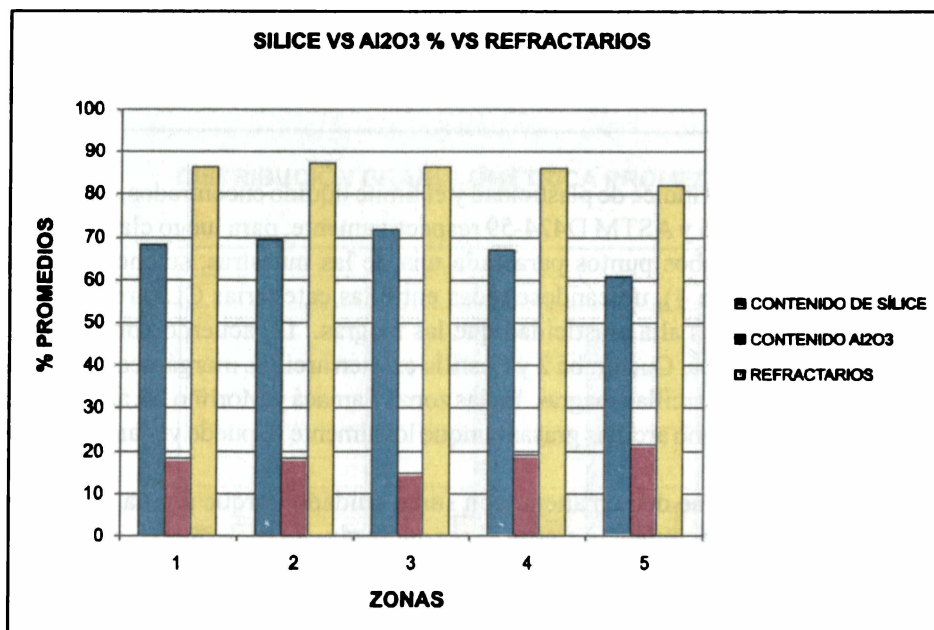


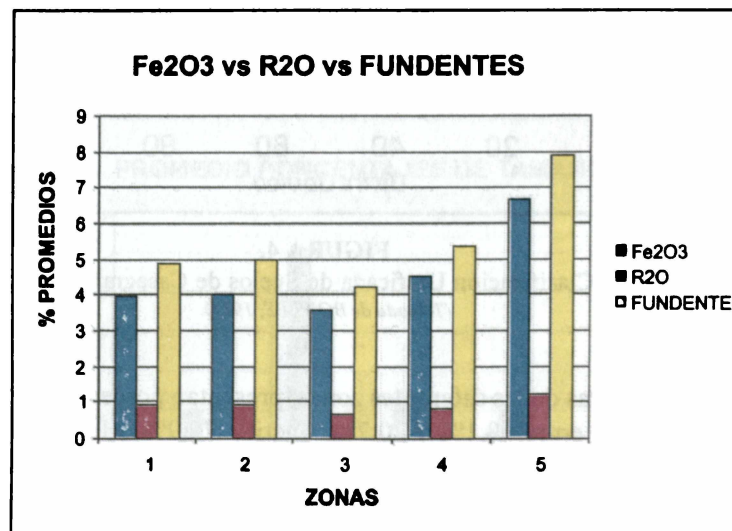
FIGURA 4.  
Clasificación Unificada de Suelos de Casagrande.  
(Tomada de BOWLES, 1981).

Los análisis químicos de las muestras de las diferentes zonas, presentan porcentajes elevados de  $\text{SiO}_2$ , así: Cucunubá entre 73.2% y 62.8%, Cucunubá 2 entre 68.1% y 70.7%, Castilla 71.9%, Mortiño entre 57.5% y 63.7% y Samacá entre 65.4% y 68.8%. El mayor contenido lo tiene Castilla y el menor Mortiño. De acuerdo con el contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , inferior al 45%, ninguna de estas muestras se puede clasificar como *fireclay* (AGS, 2002 citado por El Yakoubi, Aberkan & Ouadia, 2006). Sin embargo, sumando la sílice y la alúmina (refractarios) se ve que todos están por encima del 80% (Figura 4). Según la Norma NTC 623/73 Castilla (3) y Cucunubá (2) se pueden clasificar como materiales refractarios tipo semi-sílice. Las otras excepto Mortiño (5) no están lejos de los valores requeridos.



**Figura 4.**  
Contenido de sílice y alúmina por sectores.

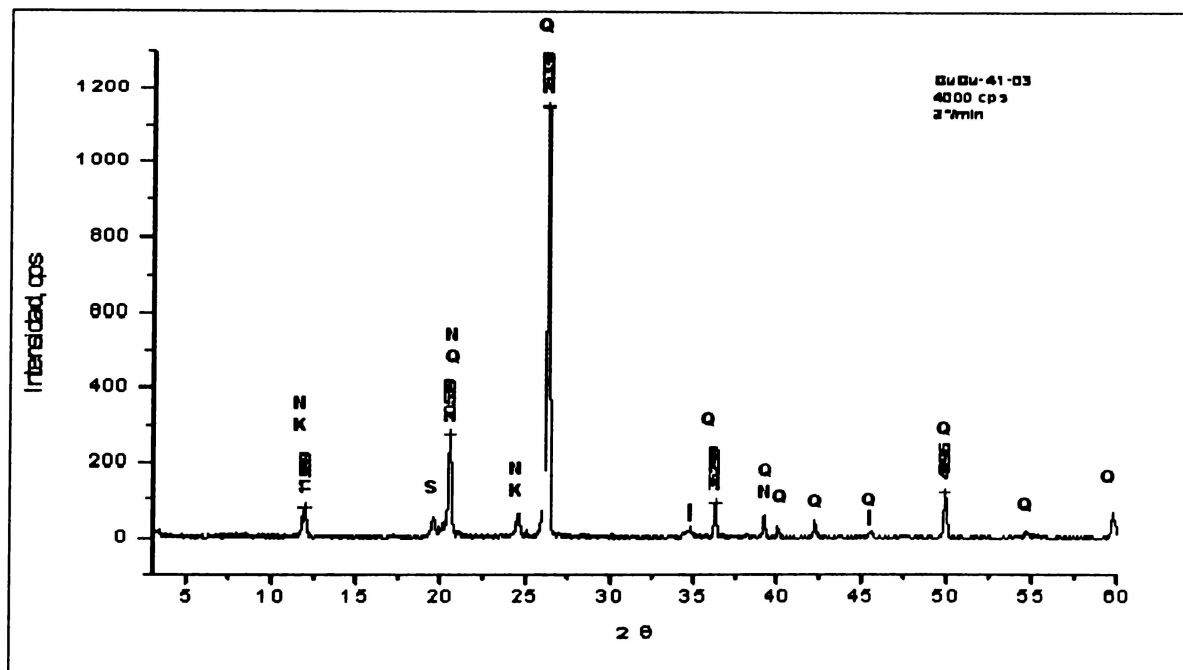
La influencia del  $Fe_2O_3 + R_2O$  ( $K_2O$  y  $Na_2O$ ) en los procesos de sinterización del ladrillo toma mucha importancia, ya que ellos actúan como materiales fundentes, los cuales reducen la cantidad de poros en la pieza cocida, además generan materiales mucho más resistentes al ataque atmosférico (Nandi, 1987). En promedio, la zona que mayor contenido de materiales fundentes presenta es la zona de Mortiño, y la de menor contenido es Castilla (Figura 5). El bajo contenido de este compuesto en Castilla podría ocasionar fragilidad en las piezas cocidas. De otro lado, el  $Fe_2O_3$  actúa como un cromóforo en los ladrillos.



**Figura 5.**  
Contenido de fundentes por sectores.

Cuando los óxidos menores (MgO, CaO), superan un valor del 6% del total pueden generar problemas en la fabricación del refractario (Nandi, 1987). Los resultados presentan contenidos menores del 6% excepto para la zona de Mortiño.

Los análisis mineralógicos (DRX) para las diferentes zonas, presentan altos contenidos de: cuarzo (Q), caolinita (K) y nacrita (N) y bajos de: illita (I) y sericita (S) (Figura 6). En Cucunubá se encontró además moscovita (Mc) y en Castilla albita (A).



**Figura 6.**  
Difractograma General materia prima.

Los picos correspondientes a la Caolinita son esbeltos, es decir, está bien cristalizada, además esta fase mineral aparece en buena cantidad. Los resultados obtenidos en la prueba del DRX corroboran los obtenidos en la composición química, ya que en ambos se muestra que la fase mineral en mayor cantidad es el Cuarzo. De acuerdo con esta mineralogía las muestras se pueden clasificar dentro del Grupo del caolín, el cual es un material muy apetecido en la industria cerámica.

En la Tabla 1 se presenta el resumen de los resultados del análisis térmico, resaltándose la aparición de la mulita. Con temperaturas mínimas de 914 °C en Cucunubá y máximas de 1.027 °C para Samacá. Este análisis ayuda a definir la temperatura de cocción de las muestras la cual debe estar alrededor de los 1.050 °C, para garantizar la aparición de la mullita en todas ellas.

**Tabla 1.**  
Resultados DTA.

ZONA	ELIMINACIÓN AGUA (°C)	CUARZO α-β	METACAOLINITA	MULITA
Cunubá	65-215	545-576	527-827	914-995
Cunubá 2	75-213	534-600	505-765	925-1000
Castilla	55-108	535	540	967
Samacá	57-217	533-567	519-820	940-1027
Mortiño	57-221	563-587	510-610	957-974

El análisis granulométrico y la mineralogía sugieren la presencia de un importante contenido de especies mineralógicas correspondientes a las arcillas.

#### 4.2 Producto terminado

La composición mineralógica, mediante DRX, muestra en general sólo dos fases minerales; Cuarzo (Q) y Mulita (M). Los picos correspondientes al cuarzo son de alta intensidad, por ser la fase mineral presente en mayor cantidad (Figura 7). Estos difractogramas indican que la transformación de la caolinita a la fase mulita se ha alcanzado satisfactoriamente durante el proceso de cocción de las muestras en el laboratorio.

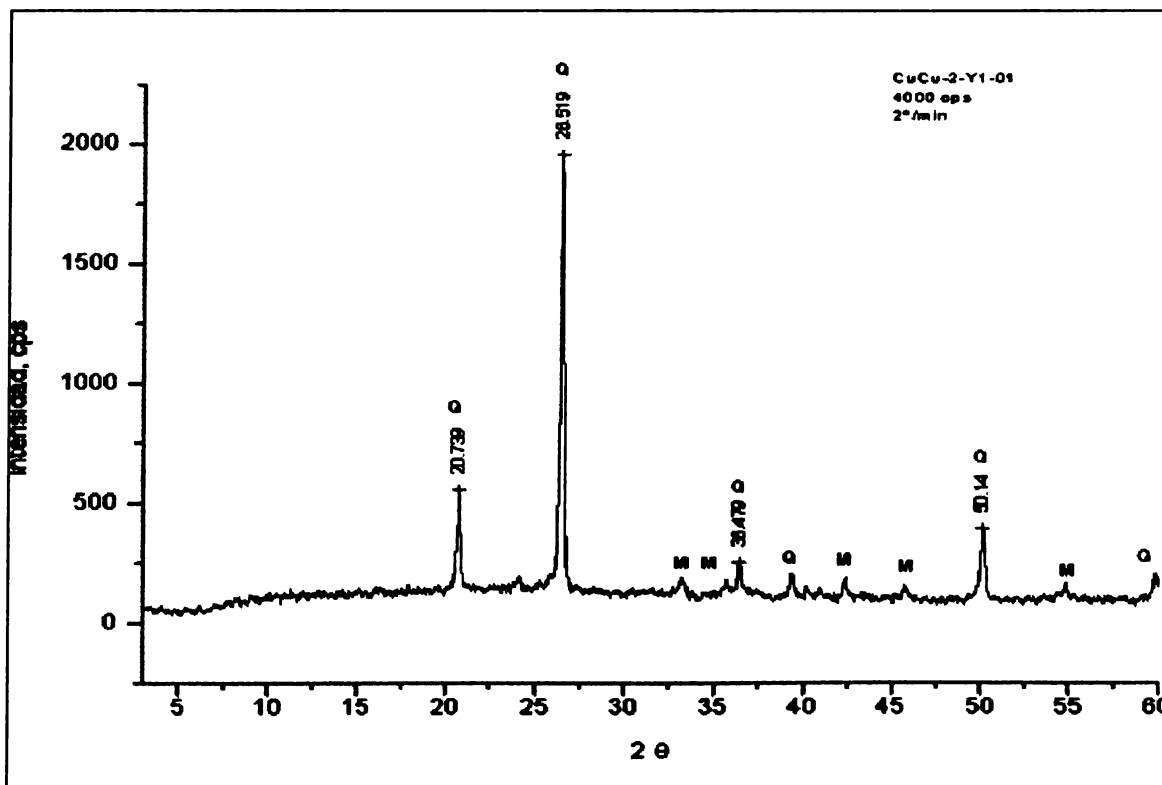


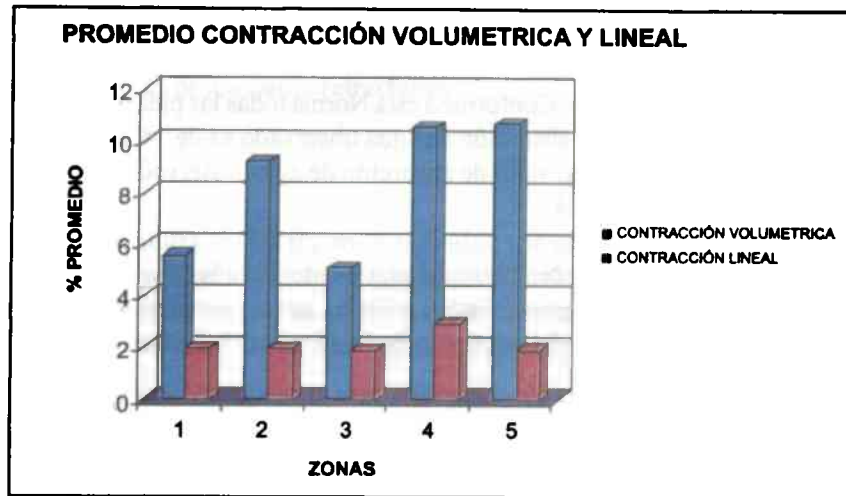
Figura 7.  
Diffractograma General material quemado

En las piezas cocidas se encontró que las muestras con mayor porcentaje de contracción volumétrica y lineal corresponden a: Samacá (4), Mortiño (5) y Cucunubá 2 (2) (Figura 8).

Se evidencia que las materias primas con mayor grado de plasticidad y contenido de materia orgánica producen ladrillos con mayores porcentajes de contracciones lineales y volumétricas (Figura 9).

De acuerdo a los bajos porcentajes de absorción de agua presentados en las piezas (Tabla 2) se evidencia un alto grado de sinterización y vitrificación, indicando una buena cocción a los 1.100 °C y que el contenido de fundentes es adecuado.





**Figura 8.**  
Contracción Volumétrica y Lineal promedio por zonas.



**Figura 9.**  
Contracción vs Materia Orgánica (M.O).

**Tabla 2.**  
Porcentaje de Absorción de Agua

ZONAS	MUESTRA	PESO INICIAL	PESO FINAL	% ABSORCIÓN	PROMEDIO
Cucunubá	Ladrillera	274.9	310.1	11.3	
	Cucu-YL-01	220.1	249.1	11.2	
	Cucu-YL-02	221.6	249.2	11.1	
	Cucu-YL-03	251.1	285	11.9	
	Cucu-YL-05	240.3	270.1	11.0	11,3
Cucunubá 2	Cucu2-YL-01	146	158.9	8.1	
	Cucu2-YL-02	290.1	310.9	6.7	7,4
Castilla	Castilla	159.7	180.4	11.5	11,5
Samacá	Samacá-YL-01	190.4	220.9	13.8	
	Samacá-YL-02	129.2	137.9	6.3	
	Samacá-YL-03	166.5	191.7	13.5	11,2
Mortiño	Mortiño	238.5	277.88	14.2	
	M. uso Mortiño	208.1	240.6	13.5	13,8

Como no existe una norma que defina los porcentajes mínimos o máximos permisibles de absorción de agua para ladrillos refractarios, se hicieron comparaciones con los requisitos técnicos exigidos para ladrillos de mampostería establecidos en la Norma ICONTEC 4052/95. Conforme a esta Norma todas las piezas cocidas presentan un porcentaje de absorción aceptable. El máximo valor de absorción de agua observado es de 14.2%, correspondiente a la muestra M.uso mortíño, de la zona Mortíño; y mínimo valor de absorción de agua observado es de 6.3%, correspondiente a la muestra de Samacá-YL-02 de la zona Samacá.

Los ladrillos refractarios de tipo semi-sílice deben presentar una resistencia a la compresión entre 70 - 210 Pa (Arbelaez, 1976). En la Tabla 3 se puede apreciar que en promedio todas las zonas cumplen. El valor promedio más alto es de 284.9 Pa, perteneciente a la zona Cucunubá y el mínimo registrado pertenece a la zona de Samacá con 187.8 Pa.

**Tabla 3.**  
Resistencia a la compresión promedia por zonas

Zona	Resistencia a la Compresión (Pa)
1	248.9
2	269.2
3	246.3
4	187.6
5	253.3

## 5. DISCUSIÓN

La Tabla 4, muestra una síntesis de los resultados obtenidos de las diferentes pruebas tanto a la materia prima como a las piezas terminadas. Se aprecia que en general todas las zonas tienen buenas características cerámicas (plasticidad entre media y alta, materia orgánica baja, buen comportamiento químico, alta resistencia mecánica y baja absorción de agua). Las Zonas de Cucunubá (1), Cucunubá 2 (2) y Castilla (3) son las que presentan los más altos porcentajes de sílice, pudiéndose clasificar como materiales refractarios tipo semi-sílice, además, estas zonas son las que presentan un mayor contenido de óxidos refractarios, sin embargo, ninguna de las muestras se puede clasificar como fireclay porque su contenido de alúmina ( $Al_2O_3$ ) está por debajo del 45%. Las muestras de Samacá (4) y Mortíño (5) muestran deficiencia de sílice, por lo cuál no podrían clasificarse ni siquiera como aptas para la producción de piezas refractarias del tipo semi-sílice, pero gracias a su alta plasticidad se les podría adicionar sílice como material desgrasante para que de esta manera se incremente la refractariedad del material. También, se observa que la zona de Castilla (3) presenta el más bajo contenido de fundentes lo cual podría generar fragilidad en las piezas terminadas.

**Tabla 4.**  
Síntesis de los resultados obtenidos.

ZONA	MATERIA PRIMA					LADRILLO QUEMADO		
	PLAST	M.O	SiO <sub>2</sub>	REFRACT.*	FUNDENTE**	RESISTENCIA COMPRESIÓN	ABSOR	CONTRA
1	M	3.5	68.4	86.6	4.9	284.9	11.3	5.56
2	MA	4.5	69.4	87.5	4.95	269.2	7.4	9.2
3	M	4.8	71.9	86.7	4.23	246.3	11.5	5.1
4	A	5	66.9	86.1	5.34	187.6	11.2	10.5
5	A	5.2	60.6	82.1	7.65	253.3	13.8	10.7

M: Media MA:mediana/alta A:alta. \* SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. \*\*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+R<sub>2</sub>O

Las zonas de Cucunubá (1), Castilla (3) Cucunubá 2 (2), en este orden, son las que presentan los materiales con mejores propiedades para ser utilizadas en la industria de ladrillos refractarios. Samacá (4) y Mortiño (5) necesitan de medidas correctivas para mejorar sus propiedades refractarias.

## 6. CONCLUSIONES

- Las arcillas de la Formación Guaduas, en los tramos estudiados, son aptas para la elaboración de refractarios semi-sílice (baja refractariedad). Este potencial se incrementaría sustancialmente sometiendo al material a un proceso de beneficio que permitiera incrementar la concentración de caolinita. Además, es claro que este material, entonces, es apto para ser utilizado en las otras líneas de producción de la industria cerámica
- La zona que mejor cumple con los requerimientos técnicos establecidos en la industria de ladrillos refractarios semi-sílice es Cucunubá (1) y en segundo lugar Castilla (3). En esta última su bajo contenido de fundentes puede generar problemas en las piezas terminadas, ya que presentarían un regular grado de vitrificación generando fragilidad en ellas
- La zona de Cucunubá 2, se les debe adicionar arenas silíceas para aumentar su contenido de sílice y su grado de plasticidad permiten esta adición.
- Las zonas de Samacá y Mortiño, por su alta plasticidad y gran contenido de materia orgánica, presentan una alta contracción, lo que implicaría problemas con el control de las dimensiones y agrietamientos en las piezas terminadas. Mortiño es la única zona que presenta óxidos menores (MgO, CaO) por encima del 6%, lo cual es una desventaja. Todo lo anterior hace que esta zona sea la menos apta para su utilización en la industria de ladrillos refractarios

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Amaris, J. J., 2004. Caracterización y sedimentación de arcillas blancas de la región de Arcabuco Boyacá. UdeA. Medellín.
- Arbeláez, D., 1976. Los refractarios. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Benites, L. y SALCEDO, L., 1993. Evaluación físico-térmica de las arcillas del stock de Altavista con aplicabilidad en la industria ladrillera. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Besoain, E., 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. Instituto Iberoamericano de Cooperación para la Agricultura: San José de Costa Rica.
- Bowles, J., 1981. Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil. McGraw-Hill. México D.F.
- Brown, G., 1961. The x-ray identification and crystal structures of clay minerals. Reino Unido.
- EL Y., N., ABERKAN, M' y OUADIA, M., 2006. Potentialité d'utilisation d'argiles marocaines de Jbel Kharrou dans l'industrie céramique. C. R. Geoscience 338. pp 693 – 702.
- Gómez, B. H., 1989. Caracterización de Arcillas. Medellín. Universidad de Antioquia,.
- Grim, R., 1968. Clay mineralogy. EEUU. McGraw Hill.
- Jaramillo, M. e Isaza, G., 1949. Estudio sobre arcillas. Fabricación de ladrillos: métodos y maquinarias, mampostería de ladrillo reforzado y tablas para su cálculo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Lisboa, J.V., Carvalho, J.M.F., Oliveira, A., Carvalho, C. y Grade, J., 2006. A preliminary case study of potential ceramic raw materials in the Aileu area of Timor Leste. Journal of Asian Earth Sciences, *in press*. Disponible <on line> [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Nandi, D.N., 1987. Handbook on refractories. McGraw Hill.

Pérez, F., 1987. Caracterización de carbones colombianos Checua – Lenguazaque. INGEOMINAS. Boletín Geológico. Bol 28, N°2.

Ramos, V. y Suescun, J., 2001. Cartografía geológica, caracterización y cálculo de reservas para los carbones pertenecientes al nivel KTG2 y KTG3 de la formación Guaduas sobre el flanco occidental del sinclinal Checua – Lenguazaque entre los municipios Raquira-Samacá. UPTC. Sogamoso..

Sarmiento, G., 1993. Paleocología de la Formación Guaduas. INGEOMINAS. Boletín Geológico Vol. 32.

Sarmiento, G., 1993. Estratigrafía y Medios de depósito de la Formación Guaduas. INGEOMINAS. Boletín Geológico Vol. 32.

