

# PARTICIONADO DE ELEMENTOS EN DOS CARBONES DEL SUR-OCCIDENTE COLOMBIANO

## PARTITIONING OF ELEMENTS IN TWO COALS FROM SOUTH WEST OF COLOMBIA

ANDRÉS F. ROJAS

*Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, afrojasgo@unal.edu.co*

JUAN M. BARRAZA

*Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, jubarraz@univalle.edu.co*

Recibido para revisar 3 de Julio de 2006, Aceptado 16 de Febrero de 2007, versión final 16 de Marzo de 2007

**RESUMEN:** Se presentan los resultados del particionado de elementos al beneficiar dos carbones del Sur-Occidente Colombiano mediante separación ciclónica en medio denso. Las fracciones beneficiadas de carbón se obtuvieron empleando dos etapas de separación en serie. Tanto las fracciones de alimento de la primera etapa como las fracciones de fondo de la segunda etapa se analizaron por Fluorescencia de Rayos X (XRF) para determinar la concentración de 33 elementos. A partir de estos datos se determinó el factor de partición elemental con el fin de conocer su afinidad hacia las fases ricas en materia orgánica o materia mineral. Se encontró que cuando el tamaño de partícula de las fracciones de carbón disminuye se aumenta la afinidad de los elementos hacia la materia mineral.

**PALABRAS CLAVE:** Elementos, factor de partición, carbón beneficiado, separación ciclónica.

**ABSTRACT:** Results of partitioning of elements observed during beneficiation of two Colombian coals from South West using dense media separation are presented. Beneficiated coal fractions were obtained using two series separation stages. Both, feed coal from first stage and bottom from second stage were analyzed by X Ray Fluorescence (XRF) to determine the concentration of 33 elements. From those data, elementary partition factor was determined in order to know the affinity toward the phases organic or mineral matter. It was found that the affinity of elements increases toward the mineral matter when the particle size of coal fractions decreases.

**KEYWORDS:** Elements, partition factor, beneficiated coal, cyclone separation

### 1. INTRODUCCIÓN

A nivel industrial y principalmente en los procesos de combustión, la materia mineral presente en los carbones genera grandes problemas de contaminación atmosférica, oxidación, obstrucción y pérdida de eficiencia térmica. Los elementos presentes en el carbón salen al ambiente con las cenizas volantes y en fase gaseosa, con los gases de combustión, de tal manera que afectan el crecimiento de la vegetación, y la salud tanto de animales como de los humanos. Por tal motivo se hace imprescindible retirar la materia mineral del carbón por medio de procesos químicos, como lixiviaciones con ácido, o físicos, como

precipitación electrostática, flotación, o en ciclones con medios. En este último se aprovecha la fuerza centrífuga que se produce dentro del equipo, con el fin de obtener fracciones ricas en materia orgánica que salen por la parte superior (fracción liviana) y fracciones ricas en materia mineral (fracción pesada), que se obtiene por la parte inferior del equipo [1]. Se ha encontrado [2] que en los procesos de beneficio se presenta cierta distribución de los elementos presentes en el carbón, distribuyéndose en las fracciones livianas y pesadas que se obtienen de dicho proceso. La facilidad de un elemento en concentrarse en una de las dos fracciones o en ambas, depende de la afinidad que exista entre

el elemento y la fase orgánica o inorgánica. De igual manera se ha reportado [3] que la afinidad hacia alguna de las dos fracciones depende de factores como el modo de ocurrencia de los elementos, tamaño de partícula y el tipo de técnica de beneficio usada.

La determinación de los elementos en las diferentes fracciones de carbón generalmente se lleva a cabo empleando equipos de Fluorescencia de Rayos X (XRF), en los que se irradia la muestra con un haz de rayos X que provienen de un tubo de Coolidge o de una fuente radiactiva, de tal manera que los elementos de la muestra se excitan por absorción del haz primario emitiendo sus propios rayos X de fluorescencia característicos [4]. Esta técnica de análisis se caracteriza porque no destruye la muestra, analiza múltiples elementos en pocos minutos, puede determinar bajas concentraciones, no se requiere eliminar la materia orgánica y analiza tamaños de muestra que varía desde una partícula apenas visible hasta objetos de tamaño considerable [5].

El objetivo del estudio fue determinar el particionado de elementos de dos carbones del Sur-Occidente Colombiano usando un proceso de separación ciclónico.

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se seleccionaron dos carbones de la región Sur Occidental Colombiana de las minas Guachinte (Cauca) y Golondrinas (Valle del Cauca), los cuales se redujeron de tamaño en un molino de bolas y se clasificaron respecto a su tamaño empleando tamices estándar de la serie Taylor en tres fracciones de tamaño de pasante  $1000\mu\text{m}$  y retenido  $600\mu\text{m}$  ( $-1000+600\mu\text{m}$ ), pasante  $600$  y retenido  $425\mu\text{m}$  ( $-600+425\mu\text{m}$ ), y pasante  $425\mu\text{m}$  y retenido  $250\mu\text{m}$  ( $-425+250\mu\text{m}$ ).

Las fracciones de carbón se obtuvieron en un circuito ciclónico (ver figura 1), utilizando nitrato de calcio,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  como medio denso de separación a densidades específicas de 1.3 y 1.4. Se alimentó 1 kilogramo de carbón de cada tamaño de partícula, el cual se adicionó al tanque de alimentación que contiene 20 litros de solución de nitrato de calcio. Mayores detalles del

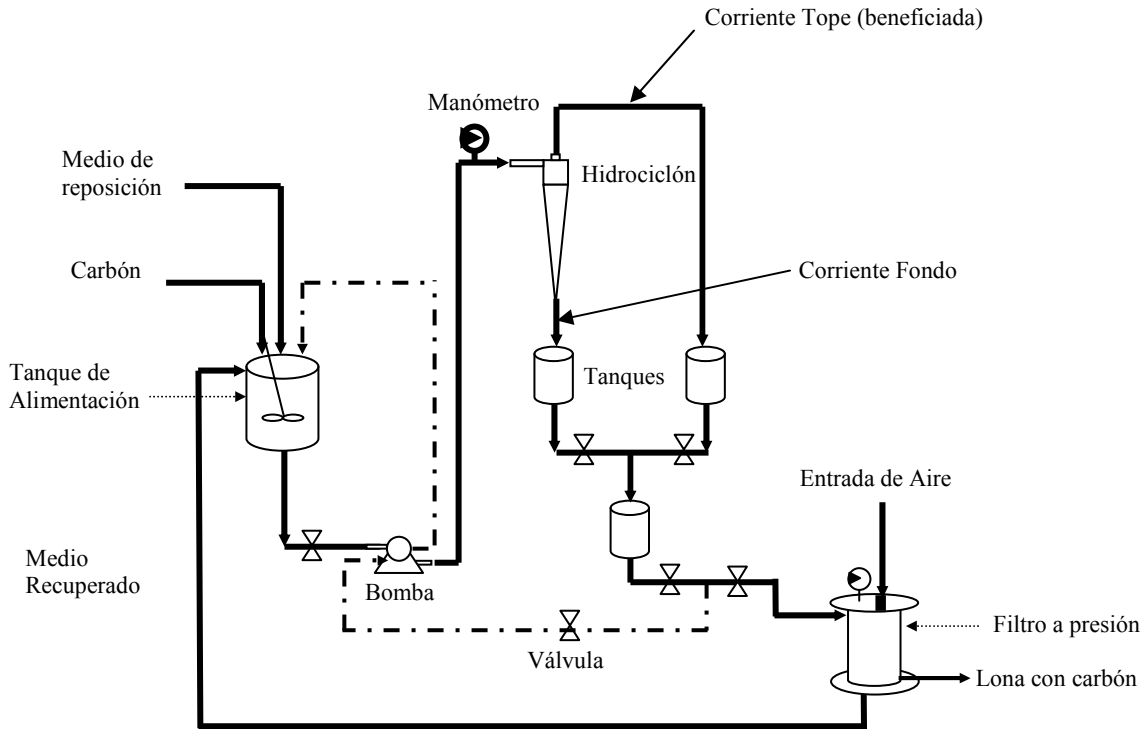
procedimiento usado en el circuito ciclónico se encuentra en el trabajo desarrollado por Caicedo [6]. El carbón beneficiado se separó del medio a través de un filtro a presión con aire, luego se lavó y se secó con aire en el filtro. El producto de fondo se recirculó al tanque de alimentación para realizar la segunda etapa de beneficio. Posteriormente el flujo de fondo final y al igual que el de tope de la segunda etapa se filtró para recuperar el medio, se lavó con agua y se secó con aire a presión. Finalmente los carbones beneficiados (flujos de tope) de las dos etapas y el flujo de fondo final se terminaron de secar al aire libre, se pesaron y se les hizo análisis de humedad, cenizas y azufre. Se asume que las aguas de lavado no presentan trazas de elementos solubles.

La determinación de 33 elementos presentes en las fracciones de carbón alimentadas al sistema ciclónico y en las fracciones de fondo de la segunda etapa del proceso de beneficio se realizó por Fluorescencia de Rayos X (XRF).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis Próximo De Carbones Originales

En la Tabla 1 se presenta el análisis próximo de las muestras originales (tal como se recibieron de las minas) y el de las fracciones de carbón de tres tamaños de partículas alimentados al hidrociclón. Los resultados muestran que ambos carbones originales presentan relativamente iguales contenidos de cenizas, pero hay diferencias apreciables en el contenido de azufre total. El carbón proveniente de la mina Guachinte tiene mayor contenido de azufre total que el carbón de la mina Golondrinas. Este es un comportamiento característico encontrado en investigaciones anteriores [6-8] donde se observó que los carbones del Cauca poseen alta concentración de azufre comparativamente con los carbones del Valle.



**Figura 1.** Esquema del circuito ciclónico  
**Figure 1.** Cyclone test rig diagram

Se observa que las fracciones alimento de ambos carbones de tamaño de partícula  $-600+425$  y  $-425+250 \mu\text{m}$ , presentan menor porcentaje de cenizas que los carbones originales. Este comportamiento es contrario al esperado, en donde usualmente la materia mineral se concentra en las

fracciones de menor tamaño (Caicedo 2000). Al comparar el contenido de materia volátil en las dos minas se observa que hay mayor concentración en las fracciones de carbón de menor tamaño de partícula.

**Tabla 1.** Análisis próximo de carbones originales y fracciones alimento  
**Table 1.** Proximate analysis of original and feed coal fractions

Mina	Cenizas, % bs	Materia. Volátil, % bs	Carbón Fijo, % bs	Azufre Total. % bs
<b>Guachinte</b>				
Original	41.84	29.43	28.73	2.27
-1000+600	43.29	29.65	27.06	2.90
-600+425	33.69	33.65	32.66	2.32
-425+250	23.69	38.74	37.57	2.23
<b>Golondrinas</b>				
Original	41.09	33.55	25.36	0.54
-1000+600	42.88	33.41	23.71	0.52
-600+425	38.18	34.65	27.17	0.67
-425+250	39.36	34.19	26.45	0.56

% bs: Porcentajes en base seca

De igual manera, este comportamiento se presenta en el carbón fijo presente en dichas fracciones. En cuanto al contenido de azufre, se puede observar que hay alguna reducción en el contenido de azufre total en las fracciones de carbón de menor tamaño de partícula en el carbón Guachinte. Para el carbón Golondrinas, el azufre se concentró en la fracción de tamaños de partículas intermedio (-600+425 $\mu$ m). El anterior comportamiento ilustra que la distribución de tamaño tiene un importante efecto sobre la distribución de elementos de partícula y por ende sobre la afinidad de los mismos.

### 3.2 Concentración de elementos en carbones originales y fondos

Los elementos se han agrupado en varias categorías según Valkovic [9]. Elementos mayores son aquellos que presentan concentraciones superiores a 5000 ppm, elementos menores los que tienen concentraciones entre 200 y 5000 ppm, y elementos trazas los que presentan concentraciones menores a 200 ppm. En las Tablas 2 y 3 se presentan las concentraciones de los elementos en función del tamaño de partícula y densidad del medio de separación de las fracciones alimento y fracciones de fondo para los carbones Golondrinas y Guachinte, respectivamente.

De los resultados de estos análisis y teniendo en cuenta la anterior clasificación, se encontró (Tablas 2 y 3) que en ambos carbones se detectaron elementos mayores como Fe, Mg, Ca y Ti; elementos menores como Mn, Ba, Ni, Sb, Sr, V y Zr; y como elementos trazas como As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, La, Mo, Nb, Pb, Se, W, Y y Zn. Algunas diferencias de concentración de elementos se detectaron en los dos carbones. El elemento Boro, B, se detectó como elemento menor en el carbón Guachinte, mientras que en el carbón Golondrinas aparece como elemento traza. Por el contrario, el Ni aparece como traza en el carbón Guachinte y como elemento menor en el carbón Golondrinas.

También se encontró en el carbón Guachinte (Tabla 3) que los elementos Fe, Mg, Ti, Mn, B, Co, Cr, Ga, La, Nb, Ni, Sb, Sc, Sr e Y presentan, para la mayoría de los casos, mayor concentración

en los alimentos, comparativamente con la concentración en las fracciones de fondo obtenidas a las dos densidades específicas de separación y tres tamaños de partícula. Otros elementos como As, Bi, Cd, Ba, Sn, Zn, W y V presentan similar concentración en las fracciones alimentos y en los fondos, mientras que los elementos Ca, Pb, Cu, Zr y Mo presentan mayor concentración en los fondos que en las fracciones alimentos.

Para el carbón Golondrinas (Tabla 2) se encontró que los elementos Ca, Sc, Sr, Y y Zr, presentan mayor concentración en los alimentos, comparativamente con la concentración en las fracciones de fondo obtenidas a las dos densidades específicas de separación y tres tamaños de partícula. Otros elementos tales como Ti, Mn, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Ga, La, Pb, Sb, Sn, W y Zn, presentan similar concentración en las fracciones alimentos y en los fondos, mientras que los elementos Fe, Mo y Ni, presentan mayor concentración en los fondos que en las fracciones alimentos.

El comportamiento anterior sugiere que algunos elementos se distribuyen preferiblemente (presentan afinidad) hacia las corrientes de fondo, o corrientes de tope o en algunos casos hacia ambas corrientes; lo cual indica que algunos elementos pueden tener afinidad con la materia mineral, con la materia orgánica o con las dos fases. La afinidad se puede obtener por medio de un parámetro conocido como el factor de partición elemental (P) [2,9], el cual se evaluará a continuación.

### 3.3 Factor de partición elemental

El factor de partición elemental es un parámetro utilizado para determinar la afinidad de un elemento hacia la fase orgánica o mineral [2]. Este parámetro se define como la relación entre la concentración elemental en la fracción beneficiada y la concentración elemental en la fracción alimento, y está dada por la siguiente ecuación:

**Tabla 2.** Concentración de Elementos en Fracciones Alimento y Fondos del Carbón Golondrinas.  
**Table 2.** Elementary concentration of feed and bottom coal fractions from Golondrinas coal.

Determinación			Alimento			Fondo 1.3			Fondo 1.4		
			-1000+600	-600+425	-425+250	-1000+600	-600+425	-425+250	-1000+600	-600+425	-425+250
Hierro	Fe	%	5	7	5	5	7	7	7	7	5
Magnesio	Mg	%	7	7	5	7	7	3	3	2	3
Calcio	Ca	%	1	1	1	0.7	0.7	2	0.5	0.7	0.7
Titanio	Ti	%	2	2	2	2	2	3	2	2	2
Manganeso	Mn	Ppm	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Plata	Ag	Ppm	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Arsénico	As	Ppm	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200
Oro	Au	Ppm	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Boro	B	Ppm	20	20	20	15	20	15	20	20	20
Bario	Ba	Ppm	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Berilio	Be	Ppm	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Bismuto	Bi	Ppm	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Cadmio	Cd	Ppm	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20
Cobalto	Co	Ppm	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Cromo	Cr	Ppm	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Cobre	Cu	Ppm	70	70	70	70	70	70	70	70	50
Galio	Ga	Ppm	50	70	70	70	70	70	70	70	70
Lantano	La	Ppm	20	20	20	20	20	20	20	30	30
Molibdeno	Mo	Ppm	L 5	L 5	7	L 5	L 5	5	5	7	5
Niobio	Nb	Ppm	10	10	10	L 10	L 10	L 10	10	10	10
Niquel	Ni	Ppm	200	200	200	150	150	150	150	150	150
Plomo	Pb	Ppm	10	10	10	10	10	10	10	10	20
Paladio	Pd	Ppm	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Platino	Pt	Ppm	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Antimonio	Sb	Ppm	200	300	200	200	300	200	200	200	300
Escandio	Sc	Ppm	70	100	100	70	70	70	70	70	70
Estaño	Sn	Ppm	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Estroncio	Sr	Ppm	300	300	200	150	100	200	200	200	200
Vanadio	V	Ppm	1000	1000	1500	1500	1500	1500	700	700	1000
Tungsteno	W	Ppm	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50
Ytrio	Y	Ppm	50	70	70	20	20	30	30	30	30
Circonio	Zr	Ppm	200	200	150	150	150	150	150	200	200
Zinc	Zn	Ppm	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200

N = Elemento no detectado en el límite de detección

L = Elemento detectado pero por debajo del límite de detección

**Tabla 3.** Concentración de Elementos en Fracciones Alimento y Fondos del Carbón Guachinte.  
**Table 3.** Elementary concentration of feed and bottom coal fractions from Guachinte coal.

Determinación			Alimento			Fondo 1.3			Fondo 1.4		
			-1000+600	-600+425	-425+250	-1000+600	-600+425	-425+250	-1000+600	-600+425	-425+250
Hierro	Fe	%	10	10	7	7	7	7	7	10	7
Magnesio	Mg	%	7	7	7	1,5	1,5	2	1	1,5	1,5
Calcio	Ca	%	2	15	15	10	15	15	10	15	15
Titanio	Ti	%	2	2	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1,5
Manganeso	Mn	ppm	200	200	100	100	100	100	50	100	100
Plata	Ag	ppm	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Arsénico	As	ppm	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200
Oro	Au	ppm	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Boro	B	ppm	300	500	300	200	200	300	150	150	200
Bario	Ba	ppm	300	300	300	300	200	300	300	300	300
Berilio	Be	ppm	1	2	1,5	1,5	1	3	1	1	1
Bismuto	Bi	ppm	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Cadmio	Cd	ppm	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20	L 20
Cobalto	Co	ppm	50	30	15	20	20	30	20	30	30
Cromo	Cr	ppm	150	150	150	150	100	100	100	150	150
Cobre	Cu	ppm	50	30	30	50	50	50	30	50	30
Galio	Ga	ppm	70	70	30	50	50	50	30	70	70
Lantano	La	ppm	50	50	50	50	30	50	30	70	50
Molibdeno	Mo	ppm	7	7	7	7	7	10	10	10	15
Niobio	Nb	ppm	15	10	10	10	10	10	10	10	10
Niquel	Ni	ppm	100	100	30	30	50	50	20	50	30
Plomo	Pb	ppm	30	15	20	20	15	30	30	30	30
Paladio	Pd	ppm	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Platino	Pt	ppm	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Antimonio	Sb	ppm	200	200	100	200	L 100	200	100	100	100
Escandio	Sc	ppm	70	70	30	30	30	30	30	30	30
Estaño	Sn	ppm	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Estroncio	Sr	ppm	500	500	500	300	300	500	200	300	300
Vanadio	V	ppm	500	500	500	500	300	500	500	500	300
Tungsteno	W	ppm	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50	L 50
Ytrio	Y	ppm	70	70	70	70	30	70	20	30	30
Circonio	Zr	ppm	200	300	200	300	300	300	300	300	200
Zinc	Zn	ppm	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200	L 200

$$P = \frac{(C_b * Cz_b)}{(C_a * Cz_a)} \quad (1)$$

Donde  $P$  es el factor de partición elemental;  $C_b$  es la concentración elemental determinada en el carbón beneficiado, mg elemento / mg de ceniza;  $C_a$  la concentración elemental determinada en el

carbón alimento, mg elemento / mg de ceniza;  $Cz_b$  el contenido de ceniza en el carbón beneficiado, mg de ceniza / mg carbón beneficiado; y  $Cz_a$  el contenido de ceniza en el

carbón alimento, mg ceniza / mg carbón alimento. Conzemius [2] estableció que si  $P$  es mayor que 2, el elemento se retiene en la matriz carbonosa, o sea que se encuentra en mayor proporción en el carbón beneficiado, indicando que tiene afinidad con la materia orgánica; si  $P$  está entre 0.5 y 2 indica que no hay partición del elemento, es decir se distribuye hacia la materia mineral y hacia la materia orgánica (tiene afinidad hacia la materia orgánica y materia mineral); pero si  $P$  es menor que 0.5 indica que el elemento está en mayor proporción en la fracción de fondo rica en materia mineral (afinidad a la materia mineral). Dado que en este trabajo se conocen las concentraciones de los elementos en las fracciones alimento y de fondo del ciclón, y por analogía con el anterior factor se propuso el siguiente factor de partición:

$$P = \frac{(C_f * C_{z_f})}{(C_a * C_{z_a})} \quad (2)$$

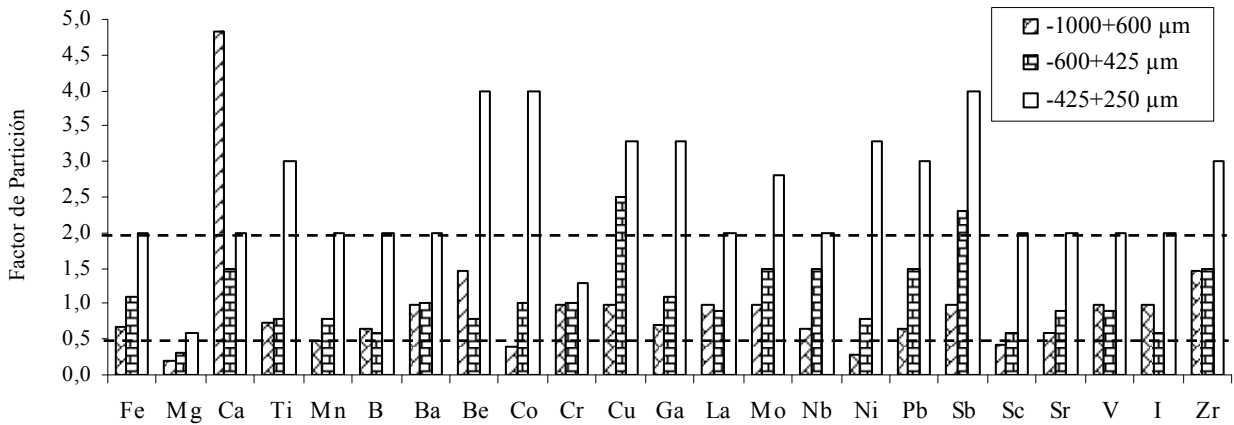
Donde  $C_f$  y  $C_{z_f}$  son la concentración elemental y el contenido de ceniza, respectivamente, determinados en la fracción de fondo del ciclón. En este caso, el factor de partición significa que si  $P$  es mayor que 2, el elemento tiene afinidad con la materia mineral; si  $P$  está entre 0.5 y 2 indica que hay afinidad hacia la materia mineral y la materia orgánica; mientras que si  $P$  es menor que 0.5 indica que presenta afinidad con la materia orgánica. Los resultados del factor de partición se muestran en las Figuras 2 a 5 para las fracciones de carbón de la mina Guachinte a densidades específicas de separación Guachinte y Golondrinas a densidades específicas de separación de 1.3 y 1.4. El valor del factor de partición de algunos elementos no se reportó dado que su concentración está por debajo del límite de detección del equipo o porque no se detectaron rastros del elemento como en el caso de los elementos Ag, Au, Pd y Pt.

Analizando el carbón Guachinte se observa que para la fracción de fondo obtenida a una densidad específica 1.3 (Figura 2) y con un tamaño de partícula  $-1000+600 \mu\text{m}$ , se encontró que el calcio fue el único elemento que presentó afinidad hacia la materia mineral de acuerdo con su factor de partición ( $P = 4.84$ ). Sin embargo, se observó que los elementos Mg, Mn, Co, Ni y Sc presentaron un

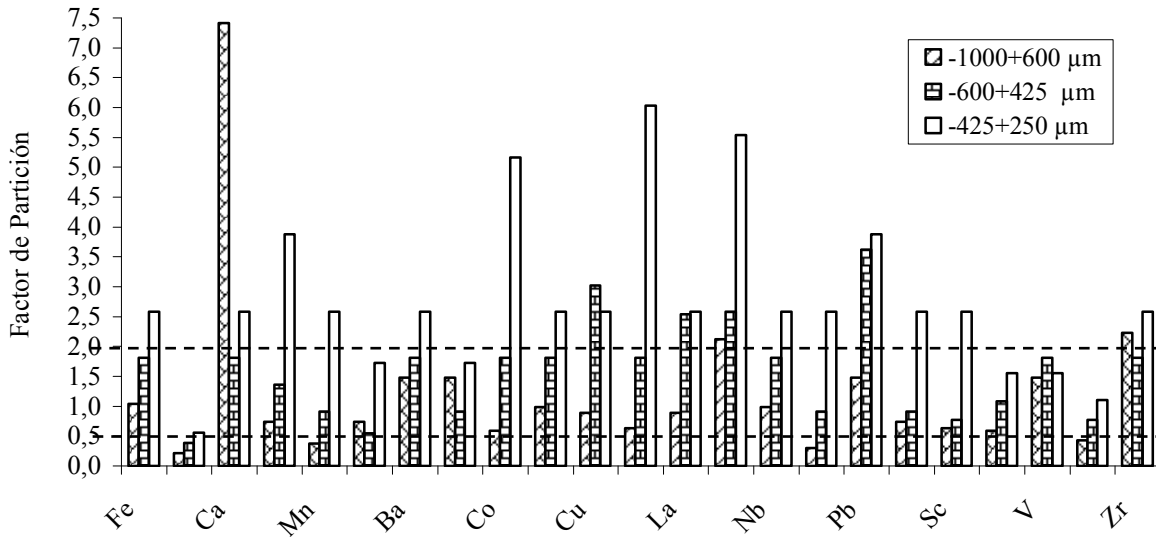
factor de partición inferior a 0.5, indicando que tienen afinidad hacia la materia orgánica. Para el caso de la fracción de tamaño de partícula  $-600+425 \mu\text{m}$  obtenida a una densidad específica de 1.3, el Cu presenta afinidad hacia la materia mineral, y el Mg sigue presentando afinidad hacia la materia orgánica. El resto de elementos se distribuyeron entre la materia mineral y la materia orgánica. En la fracción de tamaño de partícula  $-425+250 \mu\text{m}$  obtenida a una densidad específica de 1.3 todos los elementos detectados presentaron afinidad con la materia mineral, exceptuando el Mg y el Cr los cuales se distribuyeron entre la materia mineral y la materia orgánica.

Ahora, analizando las fracciones de fondo obtenidas a una densidad específica de 1.4 (Figura 3) se encontró que en la fracción de tamaño de partícula  $-1000+600 \mu\text{m}$  el Ca, Mo y Zr, presentaron afinidad hacia la materia mineral; mientras que el Mn, Mg, Ni e I, presentaron afinidad hacia la materia orgánica. En esta fracción se encontró el mayor factor de partición ( $P = 7.4$ ) el cual lo mostró el Ca indicando que tiene alta afinidad hacia la materia mineral; lo que sugiere que las fracciones de fondo son ricas en minerales como la calcita, dolomita, anquerita y yeso los cuales presentan en su estructura este elemento.

Para la fracción de tamaño de partícula  $-600+425 \mu\text{m}$  obtenidas a una densidad específica de 1.4, los siguientes elementos presentaron afinidad hacia la materia mineral: Cu, La, Mo y Pb, en cambio el Mg y B son afines a la materia orgánica. Los demás elementos no presentaron afinidad hacia la materia mineral y hacia la materia orgánica. La fracción de tamaño de partícula  $-425+250 \mu\text{m}$  obtenidas a una densidad específica de 1.4, muestra que ningún elemento presenta afinidad con la materia orgánica, y se encontró que los elementos Mg, B, Be, Sr, V e I no presentaron preferencia hacia ninguna de las fracciones (fracción rica en materia mineral y la fracción rica en materia orgánica). Los demás elementos tienen afinidad con la materia mineral.



**Figura 2.** Factor de partición de elementos para el carbón Guachinte procesado a una densidad específica de 1.3  
**Figure 2.** Elementary partitioning factor for Guachinte coal processed to specific density of 1.3

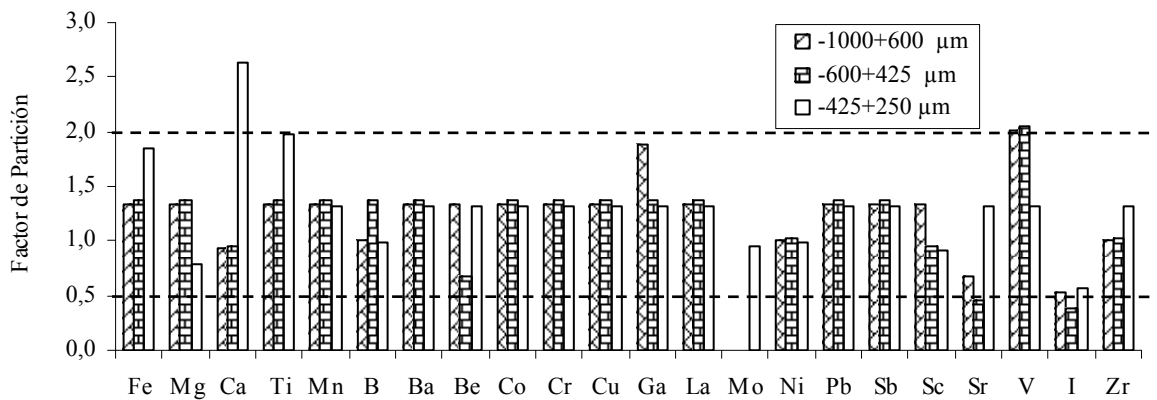


**Figura 3.** Factor de partición de elementos para el carbón Guachinte procesado a una densidad específica de 1.4  
**Figure 3.** Elementary partitioning factor for Guachinte coal processed to specific density of 1.4

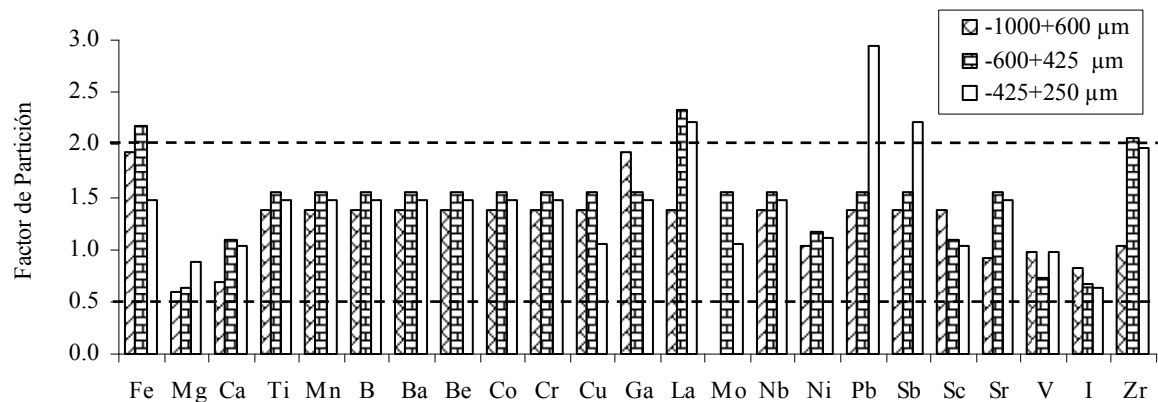
En general se encontró que para las dos densidades específicas de separación, la mayoría de los elementos presentan incremento en su factor de partición a medida que disminuye el tamaño de partícula. Lo anterior podría deberse a que al obtener fracciones finas de carbón, los elementos se liberan de la matriz carbonosa, los cuales se concentran con las fracciones de fondo ricas en materia mineral.

Analizando el comportamiento de los elementos en el carbón Golondrinas en las fracciones de fondo obtenidas a una densidad específica de 1.3 (Figura 4) y tamaño de partícula -1000+600  $\mu\text{m}$  se encontró que el Va es el único elemento que presentó afinidad con la materia mineral y el Y es el único elemento con afinidad hacia la materia orgánica.





**Figura 4.** Factor de partición de elementos para el carbón Golondrinas procesado a una densidad específica de 1.3  
**Figure 4.** Elementary partitioning factor for Golondrinas coal processed to specific density of 1.3



**Figura 5.** Factor de partición de elementos para el carbón Golondrinas procesado a una densidad específica de 1.4  
**Figure 5.** Elementary partitioning factor for Golondrinas coal processed to specific density of 1.4

Los demás elementos no presentan particionamiento. En las fracciones de tamaño de partícula  $-600+425 \mu\text{m}$  obtenidas a una densidad específica de 1.3, al igual que en la fracción  $-1000+600 \mu\text{m}$  el Va es el único elemento que tiene afinidad con la materia mineral, el Y es afín a la materia orgánica; los demás elementos se distribuyen en las dos fracciones. Para las fracciones de tamaño de partícula  $-425+250 \mu\text{m}$  obtenidas a una densidad específica de 1.3, el Ca y Ti son afines a la fracción rica en materia mineral, no se presentó elemento alguno con afinidad hacia la fracción rica en materia orgánica.

En las fracciones obtenidas a una densidad específica 1.4 (Figura 5) de tamaño de partícula

$-1000+600 \mu\text{m}$  se observó que ninguno de los elementos encontrados en ella se presenta preferencia hacia la fracción orgánica o mineral, o sea que no presentaron partición. En las fracciones de tamaño de partícula  $-600+425 \mu\text{m}$  obtenidas a una densidad específica 1.4 la afinidad hacia la materia mineral la presentaron el Fe, La, y el Zn; los demás elementos se distribuyeron entre las corrientes concentradas en materia orgánica y en materia mineral. Para el caso de las fracciones de tamaño de partícula  $-425+250 \mu\text{m}$  obtenidas a una densidad específica 1.4, el La, Pb, Sb y el Zr, presentaron afinidad hacia la materia mineral. Al igual que en la fracción anterior, en esta fracción no se presentó

afinidad del resto de los elementos hacia la materia orgánica.

Al comparar los factores de partición de los elementos de los dos carbones, se observó que en las fracciones  $-425+250 \mu\text{m}$  la mayoría de los elementos del carbón Guachinte, tienden a concentrarse en las fracciones ricas en materia mineral, mientras que los elementos del carbón Golondrinas se distribuyen entre las fases mineral y orgánica.

#### 4. CONCLUSIONES

Se encontró para la mayoría de los elementos que a medida que el tamaño de partícula disminuye se aumenta la afinidad de los elementos hacia la materia mineral. Lo anterior se debe a que al obtener fracciones finas de carbón, los elementos se liberan de la matriz carbonosa, los cuales se concentran en las fracciones de fondo ricas en materia mineral.

La mayoría de los elementos del carbón Guachinte presentaron mayor factor de partición comparativamente con los elementos presentes en el carbón Golondrinas, lo cual indica que los elementos del carbón Guachinte tienden a concentrarse en las fracciones ricas en materia mineral, mientras que los elementos del carbón Golondrinas se distribuyen entre las fases mineral y orgánica.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a COLCIENCIAS por el apoyo financiero y a INGEOMINAS por los análisis de XRF realizados para la determinación de los elementos.

#### REFERENCIAS

[1] ROJAS, A. Reactividad en la combustión de carbones beneficiados. Tesis de Maestría. Escuela de Ingeniería Química. Universidad del Valle, 2001.

[2] CONZEMIUS, R., CHRISWELL, C. JUNK, G. The partitioning of elements during physical cleaning of coals. *Fuel Processing Technology*, 19, 95-106, 1988.

[3] WANG W., QIN Y., SANG S., JIANG B., GUO Y., ZHU Y. FU X. Partitioning of minerals and elements during preparation of Taixi coal, China. *Fuel* 85, 57-67, 2006.

[4] WEST, D. Análisis instrumental. México: McGraw-Hill, 1989.

[5] SKOOG, D., HOLLER, J. NIEMAN A. Principios de análisis instrumental. España: McGraw-Hill, 2001.

[6] CAICEDO, M. Remoción de cenizas y azufre de carbones mediante separación hidrociclónica. Tesis de Maestría. Escuela de Ingeniería Química. Universidad del Valle., 2000.

[7] BARRAZA, J., CAICEDO, M., Reducción de cenizas y azufre en carbones de la región sur-occidental colombiana usando separación ciclónica. Memorias XX Congreso Colombiano de Ingeniería Química, Bogotá, 61-63, 1999.

[8] BARRAZA, J., CAICEDO, M., BOTACHE, C. Colombian Coal Beneficiation using Hydrocyclone Separation. Proceedings 17th. Annual International Pittsburgh Coal Conference. Pittsburgh, 1-10, 2000.

[9] VALKOVIC, V. Trace elements in coal. Vol I y II. Florida: CRC Press, Inc. Boca Ratón.