

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA PARA LA EVALUACIÓN DEL USO INDUSTRIAL DE DIATOMITAS, SECTOR TUNJA-CHIVATÁ (BOYACÁ, COLOMBIA)

María Yaneth Flórez (1), Sandra Rocío Manosalva (2), Wilson Naranjo (3)
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Sogamoso,
Grupo de investigación de Ingeniería Geológica

(1) E-mail: jannethfl@hotmail.com
(2) E-mail: srmanosalva@hotmail.com
(3) E-mail: Wilsonnaranjo@hotmail.com

RESUMEN

La presente publicación contiene los resultados obtenidos en la caracterización química y mineralógica de los depósitos de diatomita del sector Tunja - Chivatá (Boyacá, Colombia)", desarrollados por el Grupo de investigación "Ingeniería Geológica Uptc" en apoyo con COLCIENCIAS. Fueron identificados trece depósitos de diatomita en el área, los cuales han sido evaluados a partir de análisis químicos y mineralógicos, obteniéndose resultados que se ajustan a los estándares de otros yacimientos en el mundo actualmente explotados.

Palabras claves: diatomita, caracterización química y análisis mineralógico.

ABSTRACT

The present publication contains the results obtained in the chemical and mineralogical characterization of the deposits of diatomite of the sector Tunja - Chivatá (Boyacá, Colombia) ". In development for the investigation Group: "Geologic engineering Uptc" in support with COLCIENCIAS. Thirteen diatomite deposits were identified in the area, which have been evaluated starting from chemical and mineralogical analysis, obtaining you results that they are adjusted at the moment to the ranges of other locations in the world exploited.

Key words: diatomites, chemical characterization and mineralogical analysis

INTRODUCCIÓN

La diatomita es un mineral de origen sedimentario y organogénico, de composición silícea, formado esencialmente por frústulas de diatomeas (algas microscópicas del orden Bacillaria). La diatomita pura está compuesta por ópalo, que en caso de ser suficientemente antigua pasa a cuarzo, tratándose en ambos casos de polimorfos (distinta estructura cristalina con la misma composición química y forma exterior) de SiO₂. En su estructura cristalina se ubican pequeñas cantidades de álcali, (Na₂, CaO₂, K₂O), alúmina (Al₂O₃), hierro (Fe₂O₃). Además se presentan impurezas entre las frústulas, tales como materia orgánica, sales solubles, granos de arena, arcillas diversas y carbonatos.

LOCALIZACIÓN

El proyecto se desarrolla en la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia departamento de Boyacá, entre los municipios de Tunja y Chivatá, en un área de 225 Km².

CARACTERÍSTICAS DE LA DIATOMITA

ASPECTOS TAXONÓMICOS. Las diatomeas se caracterizan por su pared celular denominada frústula, conformada por dos unidades esculturales denominadas valvas (Flórez & Lozano, 1999). Las

diatomeas pertenecen principalmente a la clase Bacillariophyceae (Bradbury, 1986; Krammer et al, 1991). (Fig. 1).

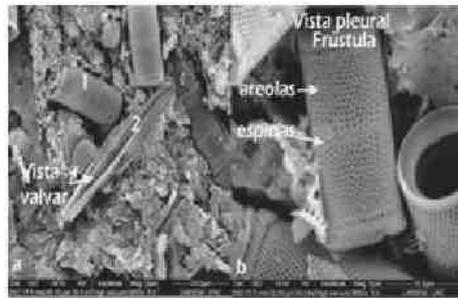


Figura 1. Imágenes en el microscopio electrónico de barrido (MEB) de diatomeas fósiles del área de Chivatá. a. Diatomita compuesta por fragmentos de frústulas de diatomeas y minerales arcillosos, 1-diatomea del orden centrales y 2-diatomea del orden pennales. b. Vista pleural de la frústula de diatomea en donde se observan las areolas y espinas que unen a las dos valvas.

Los Aspectos morfológicos de la estructura valvar determinan su clasificación, separándose en dos órdenes principales, uno con simetría radial (diatomeas centrales, fig. 2-a-1) y otro con simetría axial (diatomeas pennales, fig. 2-a-2-b) (Flórez & Lozano, 1999).

AMBIENTE DE FORMACIÓN

Con base en el estudio de crecimiento de diatomeas modernas, se sabe que estas proliferan tanto en aguas dulces como marinas, las de agua dulce en cauces y lagos, formando parte del plancton o del bentón. Las diatomeas son autótrofas, es decir crecen sintetizando sus materiales a partir de sustancias inorgánicas sencillas, como el CO₂. (Flórez & Lozano, 1999). Estos organismos tienen la capacidad de extraer de su hábitat natural acuoso la sílice con la que forman sus frústulas y el fósforo principal nutriente. La sílice puede provenir de diferentes fuentes: Por solución en corrientes, por reacción de las rocas adyacentes con el agua del lago y por el influjo de cenizas volcánicas. El fósforo en su mayoría procede de la meteorización de rocas adyacentes. Cuando éste organismo muere se hunde dentro del medio acuoso formando un sedimento de carácter orgánico.

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

La diatomita es una roca de color blanco a crema, suave, con una apariencia similar a la tiza; químicamente inerte en la mayoría de químicos y gases; finamente porosa (microporos <1µm), con alta capacidad absorbente y baja densidad aparente (<1g/cm³), permitiéndole flotar en el agua cuando no está saturada. El punto de fusión está entre 1500 y 1600°C, en ciertas calidades impuras el punto de fusión desciende hasta los 1200°C.

METODOLOGÍA

Los análisis químicos y mineralógicos fueron hechos en muestras de diatomitas recolectadas de afloramientos y perforaciones realizadas en los depósitos identificados.

ANÁLISIS QUÍMICO POR ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

EQUIPOS, MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el espectrómetro de fluorescencia de rayos X, MagixPro PW-2440 Philips, perteneciente al centro de equipos interfacultades de la Universidad Nacional de Colombia. Las muestras fueron homogenizadas por agitación y se prepararon en forma de perlas fundidas con relación muestra: fundente de 1:10. Como fundente se utilizó una mezcla de Tetraborato de Litio y Metaborato de Litio y como antiadherente se añadió Yoduro de Litio. Se realizaron análisis semicuantitativos a veinte muestras y los resultados se procesaron con el software IQ.

RESULTADOS CHIVATA 1

Los resultados de los análisis químicos semicuantitativos de las muestras analizadas se presentan en la Tabla 1. A partir del análisis químico se determinó que los elementos mayores son: Sílice, alúmina, hierro y potasio (>1%). Como elementos menores (entre 0,1 y 1%) están: Titanio, magnesio, sodio y calcio. Y como elementos traza (<0,1%) están: P, S, Ni, Zn, Rb, Zr, Cu, Sr y Bi.

Tabla 1. Resultados de análisis químico semicuantitativos por FRX de Chivatá 1 (área piloto), de afloramiento 1 (DA1) y perforación 1 (DP1).

Compuesto	DA1-TOT	DA2-TOT	DA1 (1-4)	DA1 (5-7)	DA1 (8-9)	DP1 (1-3)	DP1 (4-6)	DP1 (7-8)	DP6 (1-3)	DP6 (4-6)	DP6-7	DP6 (8-9)
SiO ₂	66.223	73.446	68.29	58.602	65.771	76.302	72.058	77.114	77.718	78.186	73.900	72.992
Al ₂ O ₃	19.961	18.020	13.30	22.598	16.458	17.010	19.817	16.745	16.236	16.051	17.623	18.418
K ₂ O	2.965	2.240	1.239	2.342	1.607	1.802	2.813	2.345	1.384	1.228	2.595	1.885
Fe ₂ O ₃	2.197	4.218	2.807	6.189	2.281	3.301	3.505	1.895	2.909	2.781	3.648	4.788
TiO ₂	0.702	0.677	0.533	0.569	0.503	0.540	0.735	0.900	0.562	0.538	0.764	0.590
MgO	0.422	0.667	0.272	0.420	0.334	0.390	0.476	0.351	0.529	0.497	0.737	0.597
Na ₂ O	0.279	0.360	-	-	0.316	0.305	0.233	0.331	0.246	0.304	0.399	0.322
P ₂ O ₅	0.049	0.060	0.069	0.074	0.080	0.078	0.101	0.050	0.085	0.075	0.053	0.068
CaO	-	0.183	0.060	0.115	0.174	0.156	0.114	0.144	0.231	0.219	0.169	0.198
S	0.011	0.046	-	0.028	0.168	0.061	0.071	0.028	-	0.035	0.031	0.062
Ni	0.017	0.020	-	-	-	-	0.021	0.020	0.039	0.035	0.020	0.019
Zn	0.010	0.010	-	0.001	0.015	0.014	-	-	0.012	0.011	0.007	0.014
Rb	0.020	0.014	0.014	0.018	0.012	0.013	0.018	0.015	0.016	0.010	0.016	0.012
Zr	0.017	0.027	0.033	0.019	0.019	0.010	0.025	0.052	0.022	0.020	0.030	0.023
Cu	-	-	-	-	-	0.018	-	-	-	-	-	-
Sr	-	0.012	-	-	-	-	0.014	0.009	0.009	0.011	0.010	0.013

RESULTADOS DE OTROS DEPÓSITOS ESTUDIADOS. Fueron analizados los depósitos de Chivatá 2 (DSC2), Siachoque 1 y 2 (DSS1 y DSS2) y los de Tunja 1,2 y 3 (DST1, DST2 y DST3). (Tabla 2).

Compuesto	DSC2 (%)	DSS1 (%)	DSS2 (%)	DST1 (%)	DST2 (%)	DST3 (%)
SiO ₂	77.50	73.12	89.78	88.45	81.59	79.35
Al ₂ O ₃	17.20	20.40	9.22	8.97	14.56	16.06
TiO ₂	0.54	0.59	0.12	0.25	0.42	0.52
K ₂ O	1.46	1.89	0.44	0.30	0.87	0.86
CaO	0.27	0.22	0.11	0.06	0.05	0.23
P ₂ O ₅	0.06	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05
Fe ₂ O ₃	2.66	2.18	0.84	1.69	1.81	2.30
MgO	0.63	0.59	0.27	0.30	0.42	0.46
Na ₂ O	0.36	0.44	0.16	0.19	0.14	0.17
MnO	0.05	-	-	-	-	-
Ni	0.018	0.015	0.025	-	0.019	-
S	0.04	0.032	0.028	0.046	0.016	0.035
Zr	0.016	0.018	0.006	0.009	0.009	0.020
Sr	0.011	0.010	-	-	-	0.012
Rb	0.010	0.018	-	-	0.009	0.010
Zn	-	0.020	-	0.011	-	-

Tabla 2. Resultados de análisis químico semicuantitativos por FRX de otros depósitos estudiados

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Luego del muestreo, se realizó una separación de 5Kg de material por afloramiento, el cual se sometió a un proceso de cuarteo, trituración, homogenización y deshidratación para finalmente seleccionar 50 gr de este material y proceder a elaborar las probetas.

ELABORACIÓN DE DOS SECCIONES DELGADAS POR AFLORAMIENTO

A partir de las probetas se confeccionaron las secciones delgadas, con un espesor de roca de 25 micras.

ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE CADA UNA DE LAS SECCIONES

Se utilizó un microscopio binocular con el fin de identificar sus constituyentes y la evaluación porcentual por medio del contador de puntos. La cuantificación se realizó mediante conteo de 500 puntos. Con la interpretación de los análisis efectuados a partir de los datos obtenidos en la fase anterior se procedió a definir la viabilidad de explotación de los afloramientos en estudio.

RESULTADOS

La petrografía permitió la identificación y cuantificación de las frústulas de diatomeas y minerales asociados, como: minerales arcillosos, micas, cuarzo, feldspatos y goethita; además de material carbonoso. Adicionalmente suministró una descripción textural, en cuanto a forma y tamaño promedio de cada uno de los minerales identificados; en algunos casos fue posible indicar el género de la diatomea. A continuación se presenta principales minerales identificados en los depósitos de diatomeas:

Ópalo

Minerales arcillosos

Cuarzo (Qz)

Goethita (g)

Feldspatos (F)

Circón (Z). $ZrSiO_4$

Turmalina (T). $Na(Mg, Fe)_3Al_6((OH)_4(BO_3)_3Si_6O_{18}$

Líticos de pedernal y lodolitas silíceas

Los minerales arcillosos identificados por DRX, fueron en orden de abundancia: Caolinitas, illitas y esmectitas. Estos minerales se encuentran mezclados con las frústulas de las diatomeas, obstruyendo su microporosidad. Procesos de separación granulométricos de las frústulas y minerales arcillosos pueden resultar eficientes, sin embargo otros procesos en donde se involucren comportamientos fisicoquímicos tendrán que realizarse para cada mineral de manera separada dadas sus propiedades marcadamente diferentes.

Elementos traza de S, Sr, Rb, Zn y minerales como: Plagioclasas zonadas, anortoclasas y cuarzos ehuedrales, son indicadores del aporte de material volcánico. Material que junto con las lodolitas silíceas procedentes de la Formación Plaeners, produjeron la fuente de sílice necesaria para la proliferación de las diatomeas en el área.

ANÁLISIS DE LA TAXONOMIA

Se realizó una identificación de las principales familias de diatomeas fósiles halladas en los diferentes depósitos (Tabla 3 y Fig. 2), su sistemática taxonómica se estableció según Sipniello, (1996), Flórez & Lozano, (1999) (Tabla 3).

Tabla 3. Sistemática taxonómica de algunas diatomeas fósiles identificadas.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIES
COSCINODISPHYCEAE: Diatomeas céntricas.	AULACOSEIRALES (CENTRALES)	AULACOSEIRACEAE	<i>Aulacoseira</i> . Thawaites, 1848	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen.
FRAGILARIOPHYCEAE: Diatomeas pennadas sin rafe	FRAGILARIALES	FRAGILARIACEAE	<i>Staurosirella</i> Williams & Round 1987	<i>Staurosirella pinnata</i> Ehrenberg <i>Fragilaria pinnata</i> . <i>Staurosirella</i> sp1 <i>Staurosirella leptostauron</i> (Ehrenberg).
BACILLARIOPHYCEAE: Diatomeas pennadas con rafe	NAVICULALES	PINNULARIACEAE	<i>Pinnularia</i> . Ehrenberg. 1843.	<i>Pinnularia cf major</i> (Nitzsch) Ehrenberg
		NAVICULACEAE	<i>Navicula</i> . Bory de St. Vincent, 1822.	<i>Navicula radiosa</i>
	CYMBELLALES	CYMBELLACEAE	<i>Cymbella</i> . Agardh. 1830.	<i>Cymbella naviculiformis</i> (Averswald) Cleve
		GOMPHONEMA	<i>Gomphonema</i> Ehrenberg nom. Cons. Agardh. 1832	<i>Gomphonema</i> sp3.
BACILLARIALLES	BACILLARIA	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i> sp.	
ACHNANTHALES	ACHNANTHACEAE	<i>Achnanthes</i> Bory de St. Vincent. 1822.	<i>Achnanthes</i> sp.	

En todas las muestras analizadas, se observó el predominio de diatomeas cilíndricas del orden Centrales, correspondientes al género *Aulacoseira* de manera ocasional se observaron diatomeas Pennales, de los géneros *Fragilaria*, *Gomphonema* y *Staurosirella*. (Fig.2).

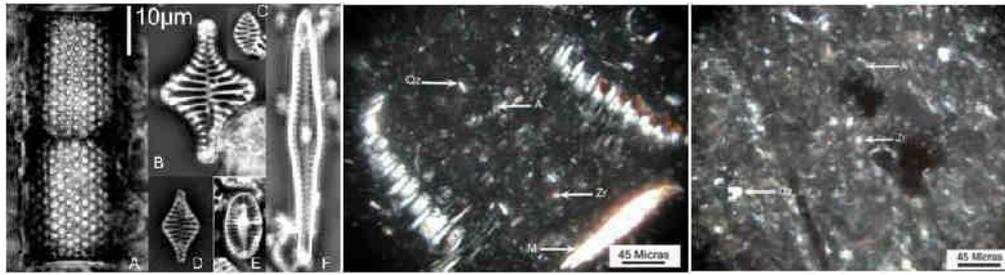


Figura 2. Imágenes en sección delgada de las diferentes especies de diatomeas fósiles identificadas .A. Aulacoseiragranulata (Ehrenberg). B. Staurosirella leptostauron (Ehrenberg). C. Staurosirella pinnata (Ehrenberg). D. Staurosirella sp1. E. Achnantes sp1. F. Gomphonema.

RESULTADOS ÁREA PILOTO

Las diatomeas están compuestas en orden de abundancia por: Ópalo (compuesto de las frústulas de diatomeas) con un contenido promedio del 66% de minerales arcillosos y sericita con un 28%, cuarzo con un 5%, goethita y limonita con un 2%. Como minerales trazas (menores al 1%) se encontraron: plagioclasa, anortoclasa, circón y turmalina.

Los datos promedio presentados son de la perforación 6, exceptuando el nivel entre 3,4 a 5m (DP6-7), nivel en donde se presentaron predominantemente líticos de pedernal. Las muestras del afloramiento, presentaron un contenido menor en ópalo y mayor en minerales arcillosos, debido a que fueron muestras superficiales en las cuales ocurrió contaminación por la presencia de suelo. (Tabla 4)

Tabla 4. Composición en porcentaje de las muestras analizadas.

COMPOSICIÓN	DP6 (1-3) %	DP6 (4-6) %	DP6 (6-7) %	DP6 (8-9) %	DA1 (1-4) %	DA1 (5-7) %	DA1 (8-9) %	Prom. %	σs
ÓPALO	72	71	25	73	59	55	58	66	7.5
SERICITA Y MIN.ARCILLOSOS	25	24	22	19	32	38	33	27.6	6.3
CUARZO	3.0	4.0	5.0	2.0	7.0	5.0	7.0	5.2	1.5
GOETHITA Y LIMONITA	TR	1.0	2.0	2.0	TR	TR	TR	1.7	0.5
LÍTICOS DE PEDERNAL Y LODOLITAS SILICEAS	-	-	45	4.0	-	-	-	-	-
FELDESPATOS	RTR	RTR	1.0	-	1.0	-	-	-	-
CIRCÓN	RTR	RTR	-	TR	-	-	TR	-	-
LEUCOXENO	RTR	RTR	-	-	1.0	1.0	2.0	-	-
MATERIAL CARBONOSO	-	-	-	-	TR	1.0	TR	-	-

TR=TRAZAS; RTR=RARAS TRAZAS, Prom.=promedio σs= Desviación estándar.

RESULTADOS DEPÓSITOS SIACHOQUE

Se analizaron muestras de todos los depósitos identificados en el municipio de Siachoque. En el depósito DSS8 fueron analizadas muestras de la base y el techo. A nivel general estos depósitos presentan una acumulación sedimentológica en la cual el material fue depositado de forma masiva. Tan solo en el depósito ocho se observan variaciones considerables en la composición, presentándose en la base un nivel arcilloso y hacia el techo un nivel más silíceo, pero conservando el carácter masivo de su textura. (Tabla 5).

Tabla 5. Composición en porcentaje de las muestras analizadas.

COMPOSICIÓN	DSS1 %	DSS2 %	DSS3 %	DSS4 %	DSS5 %	DSS6 %	DSS7 %	DSS8b %	DSS8t %	Prom %	σs
DIATOMEAS	65	76	26.5	57	34.5	44	24	34	63	53.3	14.9
MIN. ARCILLOSOS	26	8.0	48	27	47.5	50	43.5	47	22	38.9	10.9
CUARZO	2.5	TR	8.5	8.5	1.5	TR	5.0	7.5	4.0	6.7	1.8
GOETHITA Y LIMONITA	4.5	2.5	2.0	1.5	5.5	1.0	11	4.5	4.0	5.9	2.6
FELDESPATOS	1.0	TR	5.0	3.5	TR	1.0	5.0	1.5	2.0	3.4	1.5
ESPICULAS	1.0	9.0	7.5	TR	8.5	TR	5.5	3.0	3.0	6.0	2.4
CIRCÓN	-	-	-	TR	TR	-	-	-	TR	-	-
LEUCOXENO	RTR	-	TR	RTR	RTR	-	-	-	-	-	-

TR=TRAZAS; RTR=RARAS TRAZA σs= Desviación estándar

La mayoría de estos depósitos se encuentra con grandes contenidos de minerales arcillosos 53% en promedio. El depósito más favorable es DSS2 presenta un 76% de diatomeas y un 8% de minerales arcillosos posiblemente caolinita los cuales están impregnados de óxidos de hierro. Como minerales trazas (menores al 1%) se encontraron: feldespatos y circón.

RESULTADOS DEPÓSITO TUNJA

El material silíceo arcilloso presenta gran homogeneidad en cuanto a su textura, la cual es de carácter masivo sin presentar variaciones laterales. Los minerales como cuarzo y feldespatos presentan diferentes formas y se encuentran embebidos sin presentar tendencia alguna dentro de la roca. Las diatomeas se presentan en promedio un 53%, los minerales arcillosos 28% y el cuarzo un 3.0% como trazas tenemos óxidos de Fe, feldespatos.

RESULTADOS DEPÓSITO CHIVATA

Se presentan fisuras producto de la inclusión de raíces delgadas lo que posiblemente favoreció la expansión del material. La textura aunque se tiene un porcentaje considerable de minerales arcillosos 23%, la forma es principalmente tabular y de tipo caolinita, los cuales al igual que las frústulas de las diatomeas están siendo impregnados por limonita representando el 1 % del total de la muestra, diatomeas 68% y cuarzo 3.0 %.

CONCLUSIONES

1. Los porcentajes de diatomeas obtenidos representan una parte importante de la roca diatomita constituyendo un potencial fuente de recurso económico para la región. La diatomita al natural, su uso es limitado, sirve como relleno para bloques aliviados; otras aplicaciones están condicionadas a la implementación de procesos de beneficio, por vía seca o húmeda, que eliminen la materia orgánica, disminuyan el contenido de óxidos de hierro y minerales arcillosos, con el fin de cumplir con las especificaciones requeridas por la industria nacional e internacional.
2. La especie de diatomea predominante en el depósito es la *Aulacoseira granulata*; diatomea con una morfología de frústulas cilíndricas, de longitud entre 10 y 24 μm , densidad de 15 a 20 areolas en 10 μm y diámetro de areolas entre 0,4 μm y 2 μm ; características que generan propiedades físicas de alta microporosidad efectiva (>50%) y elevada capacidad de absorción (>100%), que junto con su composición química silícea inerte son de interés para la industria, en procesos de filtración y relleno, entre otros
3. Para trabajos de beneficio se ha establecido que minerales como Cuarzo y Feldespatos son de fácil separación, el inconveniente radica en la separación de minerales arcillosos y óxidos de hierro.
4. La geometría de los cristales de algunos minerales dan indicio, que contemporáneo a la depositación de la diatomeas la zona fue afectada por actividad volcánica hecho que se corrobora con la presencia de vidrio volcánico.
5. Se puede establecer por medio de las especies encontradas en los depósitos que los yacimientos no tienen más de quince mil años de edad, ya que las especies encontradas son relativamente recientes y están cronológicamente ligadas a este tiempo.
6. El material presenta gran susceptibilidad a fracturamiento de las frústulas en la etapa de preparación de la muestra.

REFERENCIAS

- Bradbury, J. Diatom analysis, In: Handbook of Holocene Palaeoecology and Paleohydrology. Ed. B.E. Buerglund. 1986. p. 527-570.
- Cepeda, H. Diatomitas. Recursos Minerales de Colombia. Publicaciones Especiales del Ingeominas. Bogotá, 1978. p. 173 – 177.
- Farelo, E. & Parra, G. 2004. Estudio de la neotectónica y su influencia en el corredor industrial de Boyacá. Tesis de grado: Ingeniería Geológica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Florez, M & Lozano, G. 1999. Silicofósiles altoandinos. Universidad Nacional de Colombia – COLCIENCIAS - BID.

Spiniello, P. 1996. Las diatomeas marino-costeras de Venezuela. *Caribbean Journal of Science*. Vol. 32, No. 4, p. 331 - 347.