



## Mineralogía y Geoquímica de Diatomitas (Boyacá, Colombia)

### Diatomite Mineralogy and Geochemistry (Boyacá, Colombia)

WILSON NARANJO-MERCHÁN <sup>1</sup>

SERGIO GAVIRIA-MELO <sup>2</sup>

SANDRA MANOSALVA-SÁNCHEZ <sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Geología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Cargo: Asistente de investigación. Carrera 9ª No.27A -29 Sogamoso, Tel. 313-3085757

E-mail: wilsonaranjo@hotmail.com

<sup>2</sup>Ph.D. Pedología, Universidad Nacional de Colombia, Cargo: Docente, Departamento de Geociencias

E-mail: sgaviriam@unal.edu.co

<sup>3</sup>M.Sc. Geología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Cargo: Docente, Escuela de Ingeniería Geológica

E-mail: srmanosalva@hotmail.com

Naranjo-Merchán, W., Gaviria-Melo, S., Manosalva-Sánchez, S. (2007): Mineralogía y Geoquímica de Diatomitas (Boyacá, Colombia). - GEOLOGÍA COLOMBIANA, 32, pp. 77-88, 12 Figs., Bogotá.

#### RESUMEN

Esta investigación presenta los resultados de la caracterización química y mineralógica realizada en un depósito de diatomitas ubicado en la Cordillera Oriental de Colombia. Provee información valiosa para la exploración y futuro aprovechamiento de éste y otros depósitos cercanos con características similares.

La caracterización se ejecutó en muestras colectadas de afloramiento y perforación mediante diferentes análisis de laboratorio, como: Espectrometría por fluorescencia de rayos X, microscopía petrográfica, difracción de rayos X, microsonda electrónica de barrido y de transmisión. El análisis de los resultados determinó que el depósito está compuesto principalmente por ópalo, constituyente de las frústulas de diatomeas y en menor proporción por caolinita, illita, esmectita y cuarzo. La especie predominante en el depósito es la *Aulacoseira granulata*, diatomea de forma cilíndrica, con longitudes entre 10 y 24 µm. La mineralogía está en concordancia con los análisis químicos, que muestran concentraciones de sílice en promedio del 75%, seguido de alumina con un 20% y de hierro y potasio con un 5%.

Esta investigación hace parte del proyecto titulado: "Evaluación del uso industrial de diatomitas, sector Tunja-Chivatá (Boyacá, Colombia)" desarrollado por la UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA en convenio con COLCIENCIAS, código: 195-06.

Palabras Clave: *Diatomita, diatomeas, mineralogía, Chivatá, Boyacá.*

#### ABSTRACT

This investigation presents the results of the chemical and mineralogical characterization carried out in a diatomites deposit located in the Eastern Cordillera of Colombia. You provide valuable information for the exploration and future use of this and other near deposits with characteristic similar.

The characterization was executed in collected samples from outcrop and drilling by different laboratory analysis, as: Spectrometry by X-Ray fluorescence, microscopic petrographic, X-Ray diffraction, scanning and transmission electronic microscopic. The analysis of the results determined that the deposit is compound mainly for opal, constituent of the diatomeas frustules and in smaller proportion for kaolinite, illite, smectite and quartz. The *Aulacoseira granulata* is predominant species, diatom of cylindrical form, with the longitude between 10 and 24 µm. The mineralogy is in agreement with chemical analysis, they show concentrations of 75% of average of silice, followed by 20% of alumina and an 5% of potassium and iron.

This investigation makes part of project: "Evaluation industrial use of diatomites, Tunja - Chivatá

(Boyacá, Colombia) of the sector". Developed by: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA in agreement with COLCIENCIAS, code: 195-06.

Key words: *Diatomite, diatoms, mineralogy, Chivatá, Boyacá.*

## INTRODUCCIÓN

En la Cordillera Oriental de Colombia, departamento de Boyacá, municipio de Chivatá (Fig. 1), se determinó la presencia de diatomitas, roca sedimentaria silíceo de origen biogénico, compuesta por caparazones fosilizados de plantas acuáticas unicelulares, eucariontes y fotosintéticas denominadas diatomeas.

Las diatomeas poseen una pared celular denominada frústula, conformada por dos valvas que poseen abundantes areolas (microporos) (Fig. 2). Estas estructuras fosilizadas son de composición opalina ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).

En Colombia estudios detallados de caracterización mineralógica de diatomitas, no se tienen referenciados, se tiene conocimiento de la existencia de éste material en los departamentos de Putumayo, Nariño, Valle del Cauca, Caldas, Tolima y Boyacá. En Boyacá se han ubicado manifestaciones en: Tunja, La Uvita, Chinavita y Oicatá. En el área de estudio éste es el primer proyecto de caracterización de éste material.

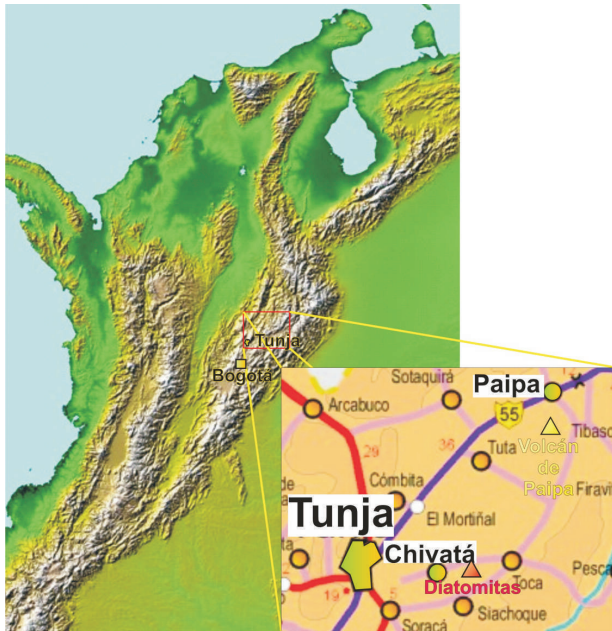


Fig. 1. Localización depósito de diatomitas, departamento de Boyacá, Colombia. En el carretable Chivatá-Toca.

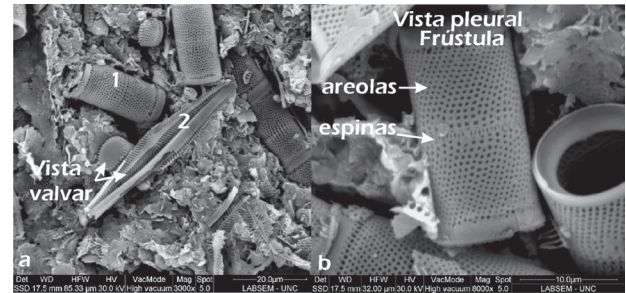


Fig. 2. Imágenes en el microscopio electrónico de barrido (MEB) de diatomeas fósiles del área de Chivatá. a. Diatomita compuesta por fragmentos de frústulas de diatomeas y minerales arcillosos, 1-diatomea del orden centrales y 2-diatomea del orden pennales. b. Vista pleural de la frústula de diatomea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

El desarrollo de ésta investigación, en su etapa inicial comprendió trabajos de oficina que permitieron la revisión y actualización de la información existente sobre diatomitas; seguido de trabajos de campo que involucraron: Descripción de las unidades litoestratigráficas aflorantes y del depósito de diatomita, muestreo mediante perforaciones y canales, con el fin de realizar la caracterización del material.

Los análisis químicos y mineralógicos permitieron la identificación y cuantificación de las diatomeas y minerales presentes, además de determinar aspectos texturales, como: Tamaño, forma y distribución de sus constituyentes, punto de partida para su explotación y beneficio. Mediante análisis petrográfico se determinó el contenido de ópalo, los minerales arcillosos se identificaron con difracción de rayos X y se realizó el análisis micromorfológico de las diatomeas con microscopía electrónica.

## METODOLOGÍA

Se realizó un reconocimiento geológico, descripción estratigráfica a escala 1:2000 y muestreo del depósito de diatomitas. Las muestras fueron recolectadas en forma secuencial, cada 55 cm de longitud, en canales de dos afloramientos (DA1 y DA2) y en núcleos de seis perforaciones (DP1 a DP6). El material tomado de cada intervalo fue triturado, homogenizado, cuarteado y almacenado para cada uno de los análisis. Las técnicas de laboratorio utilizadas,

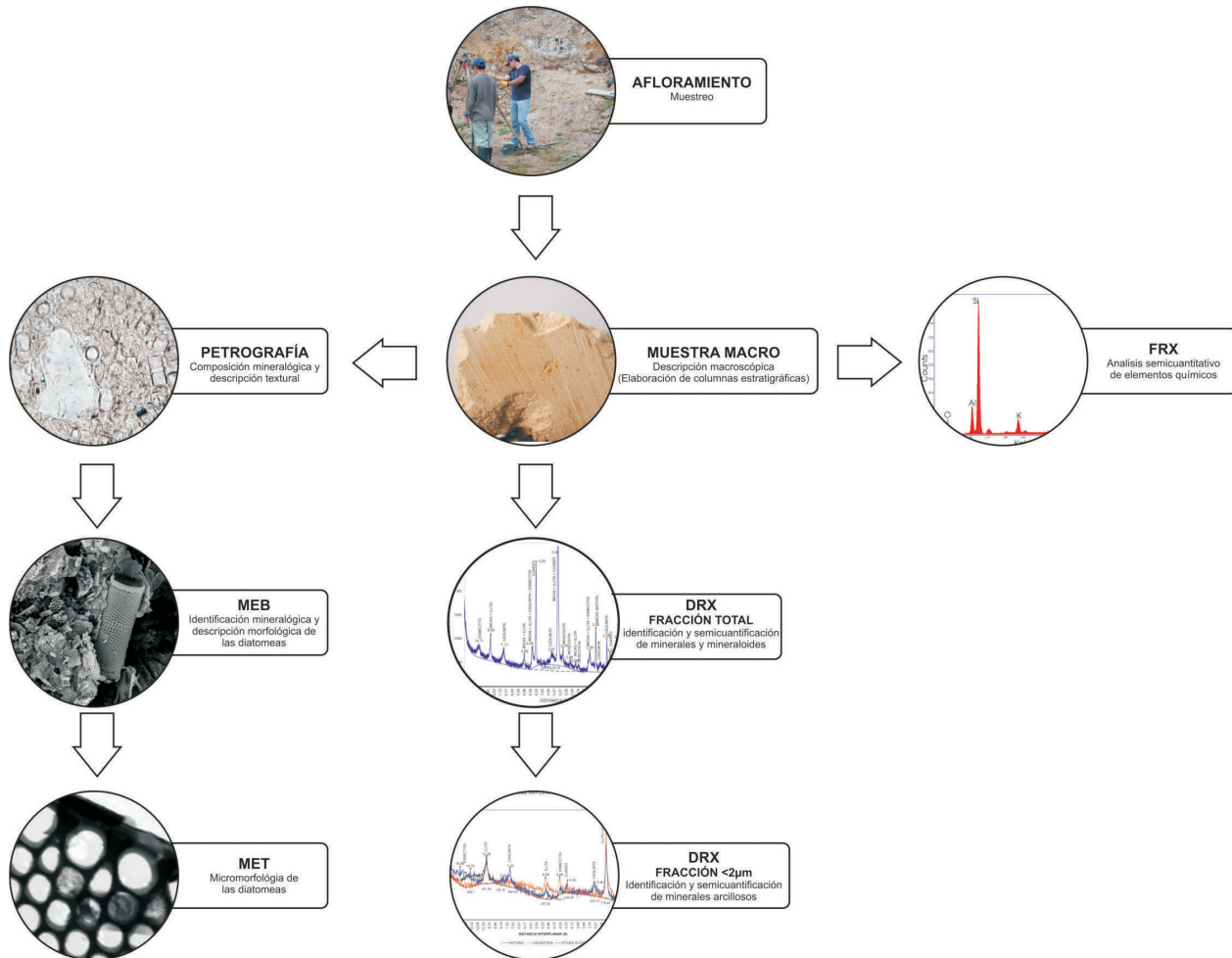


Fig. 3. Proceso de caracterización química y mineralógica de diatomitas.

fueron: Espectrometría por fluorescencia de rayos X (FRX), petrografía en sección delgada, microscopía electrónica de barrido (MEB) y de transmisión (MET), análisis químico por energía dispersiva de rayos X (EDX) y difracción de rayos X en fracción total y menor a  $2\mu\text{m}$  (DRX) (Fig. 3).

### MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se encuentra regionalmente entre las fallas de Soapaga y Boyacá, la primera al oriente y la segunda al occidente respectivamente. En el área más próxima y siguiendo el lineamiento nororiente de las fallas principales se encuentran las fallas de Chivatá al occidente y la Falla de Siachoque al oriente, ambas de tipo inverso.

El depósito de diatomita, se encuentra discordante sobre lodolitas silíceas (liditas) de la Formación Plaeners y lodolitas grises fisiles de la Formación Conejo. El límite occidental está marcado por un bloque levantado de la

Formación Plaeners. (Fig. 4).

En superficie el depósito presenta una morfología alargada en dirección N-S, sobre una ladera, en pendientes inclinadas a suaves (promedio del 15%). El área del depósito es de 3,5Ha, delimitado por apiques a 1,5 m de profundidad (A-1 hasta A-20) (Fig. 4). El espesor del depósito varía entre 5 y 15m. Se han realizado dos descapotes de 5 m de altura, referenciados en el plano de muestreo como DA1 y DA2 (Figs. 4 y 5) y seis perforaciones, dos de las cuales presentaron diatomita (P-1 y P-6) hasta 5,2m.

El depósito está constituido por diatomitas de color blanco amarillento, siendo más claras en el techo y más oscuras en la base, en general presenta frecuentes inclusiones de cuarzo, moscovitas, limonita y materia orgánica. La sucesión es en su mayoría homogénea, no se observa estratificación, se presenta un incremento a profundidad en la granulometría del cuarzo de fracción arena fina a

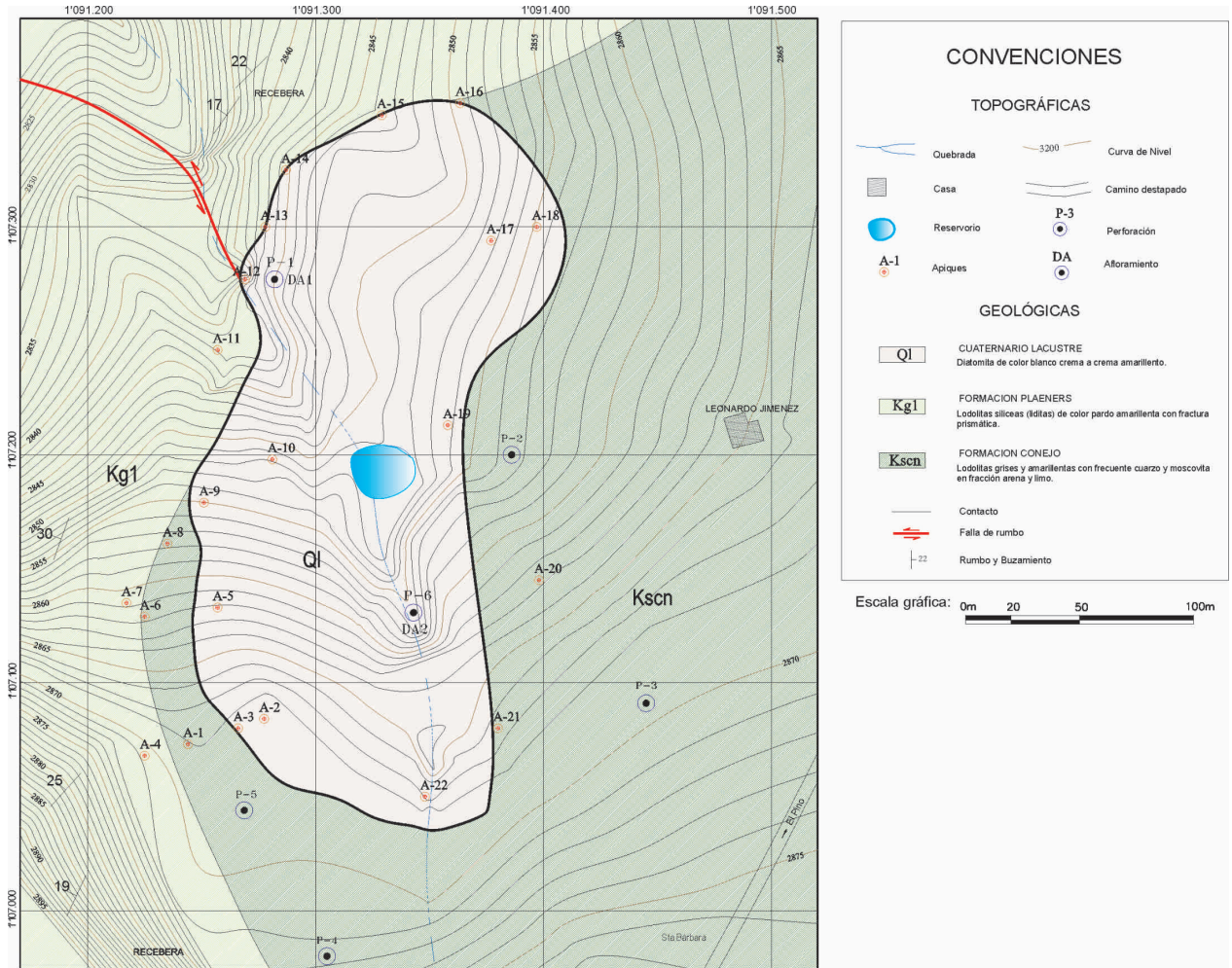


Fig. 4. Delimitación del depósito de diatomitas, realizada mediante apiques.



Fig. 5. Panorámica del depósito de diatomitas limitado por lodolitas silíceas de la Formación Plaeners. DA1 y DA2, son afloramientos 1 y 2.

muy gruesa. Localmente en la perforación 6 (P-6), a 3 m de profundidad se encontraron fragmentos de pedernal de hasta 3 cm de diámetro, mezclados con diatomita (Fig. 6). Hacia la base se encuentran lodolitas limosas amarillentas, que constituyen el límite estéril del depósito.

## RESULTADOS

### Análisis químico por espectrometría de fluorescencia de rayos x (frx)

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 (Fig. 7). Y como

elementos traza (<0,1%) están: P, S, Ni, Zn, Rb, Zr, Cu, Sr y Bi.

Analizadas veinte muestras colectadas de dos afloramientos y de dos perforaciones se obtuvo que la sílice es el elemento más abundante, en promedio se encuentra en un (75%), seguido del aluminio (20%), hierro (3%) y potasio (2%).

Comparando el rango de la composición química del depósito de diatomitas en Chivatá, con otros yacimientos a nivel mundial (Tabla 1), se determinó que la diatomita analizada presenta una composición, que encuadra dentro de los rangos de composición de otros yacimientos explotados, representando así un interés comercial.

**Tabla 1. Composición química de diatomitas en bruto de yacimientos en el mundo. Fuente: LORENZ *et al.* 2004 y datos del presente estudio.**

	Dethlingen Alemania	Guadalquivir. España	New South Wales Australia	Nevada USA	Palmira Ecuador	Sechura Perú	Chivatá Colombia
SiO <sub>2</sub>	52,4-78,4	53,80-83,92	60,3-92,6	79,55-86,00	66,58-90,14	38,59-67,36	72,11 – 78,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,94-4,16	1,14-4,13	2,20-21,9	1,82-5,27	1,14-14,25	3,91-13,80	16,30 – 19,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,60-8,00	0,76-9,92	0,57-6,15	0,44-2,12	0,33-4,12	0,99-4,20	1,89 – 4,78
TiO <sub>2</sub>	0,10-8,00	-	0,10-0,97	0,07-0,73	0,03-0,48	0,17-0,75	0,48 – 0,93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02-1,08	-	0,05-0,27	0,06-0,13	0,01-0,25	0,06-5,53	0,05 – 0,10
CaO	0,22-1,48	5,53-17,69	0,05-11,70	0,34-1,26	0,15-2,50	1,95-11,54	0,06 – 0,10
MgO	0,01-0,76	0,56-1,03	0,26-1,54	0,39-1,30	0,14-2,47	1,06-4,01	0,27 – 0,88
Na <sub>2</sub> O	0,00-0,56	0,21-3,13	0,05-0,87	0,24-1,31	0,20-1,57	3,32-8,18	0,00 – 0,48
K <sub>2</sub> O	0,23-1,13	0,31-0,65	0,11-1,51	0,22-0,41	0,08-1,21	1,13-2,11	1,54 – 2,97
S	0,00-6,00	-	0,10-1,30	-	-	-	0,00 – 0,17

### Análisis petrográfico

La petrografía permitió la identificación y cuantificación de las frústulas de diatomeas y minerales asociados, como: minerales arcillosos, micas, cuarzo, feldespatos, limonita 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 y especie de la diatomea.

La diatomita está compuesta en orden de abundancia por: Ópalo (compuesto de las frústulas de diatomeas) con un contenido promedio del 66%, minerales arcillosos y sericita con un 28%, cuarzo con un 4%, goethita y limonita con un 1% (Fig. 8). Como minerales trazas (menores al 1%) se encontraron: Plagioclasa, anortoclasa, circón y turmalina; en la perforación 6 se presentaron líticos de pederrenal en el nivel entre 3,4 a 5m (DP6-7).

La presencia de plagioclasas zonadas (Fig. 9-b), anortoclasas (Fig. 9-a) y cuarzos euhedrales y con bahías (Fig. 9-c), en diferentes muestras de diatomita, permiten sugerir un aporte de material volcánico (cenizas) hacia el lago. Aporte que pudo provenir del vulcanismo de Paipa, dada la clara asociación mineralógica con los fenocristales de anortoclasa observados en las tobas de composición riolítica alcalina de acuerdo con HERNANDEZ & OSORIO 1990 y PARDO *et al.* 2005.

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 generos *Fragilaria*, *Gomphonema* y *Staurosirella*.

Los resultados de composición mineralógica fueron comparados con datos de otros yacimientos de diatomita, explotados a nivel mundial (Tabla 2).

Industrialmente la diatomita en estudio puede denominarse como tierra de moler, por tener minerales arcillosos en cantidades mayores al 19% (LORENZ *et al.* 2004).

### Análisis por microscopía de barrido electrónico (MEB) y microscopía electrónica de transmisión (MET)

La microscopía electrónica de barrido se utilizó para la determinación de: Morfoespecies, tamaño de las frústulas y diámetro de las areolas (poros) de las diatomeas, así como la identificación de minerales asociados. A través de la microsonda electrónica (EDX) se realizaron análisis químicos puntuales.

Con la microscopía electrónica de transmisión (MET) se obtuvo una mayor resolución de la forma y tamaño de las areolas en las diatomeas, en comparación con el MEB, así mismo se logró obtener información química de las frústulas, ya que durante la preparación, se eliminó la

**Tabla 2. Composición mineralógica del material en bruto de yacimientos en el mundo. TR= Trazas, RTR= Raras trazas. Fuente: LORENZ *et al.* 2004 y datos del presente estudio.**

Composición mineralógica (%)	Alemania (Dethlingen)	España (Guadalquivir)	Australia (New South Wales)	Perú (Segura)	Colombia (Chivatá)
Ópalo	44 – 72	38 – 70	26 – 74	30 – 60	55 – 73
Cuarzo	5 – 27	7 – 10	1 – 28	10 – 20	2 – 7
Minerales arcillosos	0 – 1	TR – 32	4 – 50	0 – 30	19 – 38
Feldespato	1 – 6	TR	TR	0 – 17	RTR - 1
Calcita	-	8 - 46	TR	0 – 18	-

fracción arcillosa de la muestra.

**Taxonomía:** Se realizó una identificación de las principales familias de diatomeas fósiles halladas en el depósito de Chivatá (Tabla 3 y Fig. 10), (SPNIELLO 1996, FLÓREZ & LOZANO 1999, OLIVA *et al.* 2005, C. RIVERA com. Pers.). Se describió la especie más abundante, *Aulacoseira granulata* (Fig. 11), con el propósito de obtener una preliminar caracterización taxonómica y realizar mediciones geométricas del manto, valvas y en especial de las areolas, parámetros importantes en el análisis de porosidad.

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen. (Fig. 11). Es la especie de diatomea más abundante en el depósito. Las frústulas son cilíndricas, están unidas formando cadenas rectas y largas (Fig. 11, A) y poseen valvas circulares. La unión entre valvas vecinas se da mediante espinas que se encuentran en el borde (Fig. 11, B y D), las espinas están ensanchadas en la base y se incrustan en

la valva adyacente. Existen espinas largas de 15 a 22µm (Fig. 11, E) las cuales se acoplan en surcos longitudinales que se encuentran entre las líneas de las areolas del manto de la diatomea vecina. Las areolas del manto están dispuestas en hileras diagonales, con una densidad de 15 a 20 areolas en 10µm. El diámetro de las areolas es menor a 0,5µm, siendo en promedio del orden de 0,2µm. La superficie de la valva es plana o con areolas dispersas (Fig. 11, D). El diámetro de la valva está en el rango de 10 a 15µm y la longitud de la frústula está entre 10 y 24µm.

Esta especie, crece en sustrato lodoso, sobre y alrededor de vegetación acuática sumergida. Vive en lagos, estanques y ríos, en ambientes de agua dulce, con concentraciones de sal muy restringido. El pH se sitúa entre 6.3 y 9, en ambientes con alta concentración de nutrientes (Eutrófica) y temperaturas entre 15 y 30°C (OLIVA *et al.* 2005). En general la *Aulacoseira granulata* tiene una distribución muy amplia. En Europa la reportan mucho

**Tabla 3. Sistemática taxonómica de algunas diatomeas fósiles identificadas.**

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIES
COSCINODISCOPHYCEAE: Diatomeas céntricas.	AULACOSEIRALES (CENTRALES)	AULACOSEIRACEAE	<i>Aulacoseira</i> . Thawaites, 1848	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen
FRAGILARIOPHYCEAE: Diatomeas pennadas sin rafe	FRAGILARIALES	FRAGILARIACEAE	<i>Stausirella</i> Williams & Round 1987	<i>Stausirella pinnata</i> Ehrenberg (=Fragilaria pinnata).
				<i>Stausirella 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> sp.
	BACILLARIALLES	BACILLARIA	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i> sp.
	ACHNANTHALES	ACHNANTHACEAE	<i>Achnanthes</i> Bory de St. Vincent, 1822.	<i>Achnanthes</i> sp.



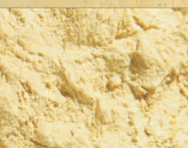






EDAD	FORMACIÓN	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	MUESTRA	COLOR	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
PLIOCENO - PLEISTOCENO? LACUSTRINA	E	0,57		DP6 - 1	HUE 2.5Y 7/2	Diatomita blanco crema con ocasionales parches pardo amarillentos de limonita. Frecuente moscovita y ocasionales cuarzos de tamaño limo hasta arena de grano medio. Presenta materia orgánica (restos de raíces de hasta 2 cm de longitud). Moderadamente consolidada. Terrosa.	Presenta fracturas rellenas de limonita
		1,14		DP6 - 2	HUE 2.5Y 7/3		
		1,71		DP6 - 3	HUE 2.5Y 8/2		
		2,28		DP6 - 4	HUE 2.5Y 8/6		
		2,85		DP6 - 5	HUE 5Y 8/2		
		3,42		DP6 - 6	HUE 2.5Y 7/2		
		3,99		DP6 - 7	HUE 2.5Y 8/1		
		4,56		DP6 - 8	HUE 2.5Y 8/2		
		5,13		DP6 - 9	HUE 2.5Y 7/2		

Fig. 6. Columna estratigráfica – Perforación 6 (P-6). En la columna estratigráfica se muestra el color representativo en cada segmento analizado. Los colores quedaron definidos por inspección visual de las muestras, mediante la carta de colores de Munsell.

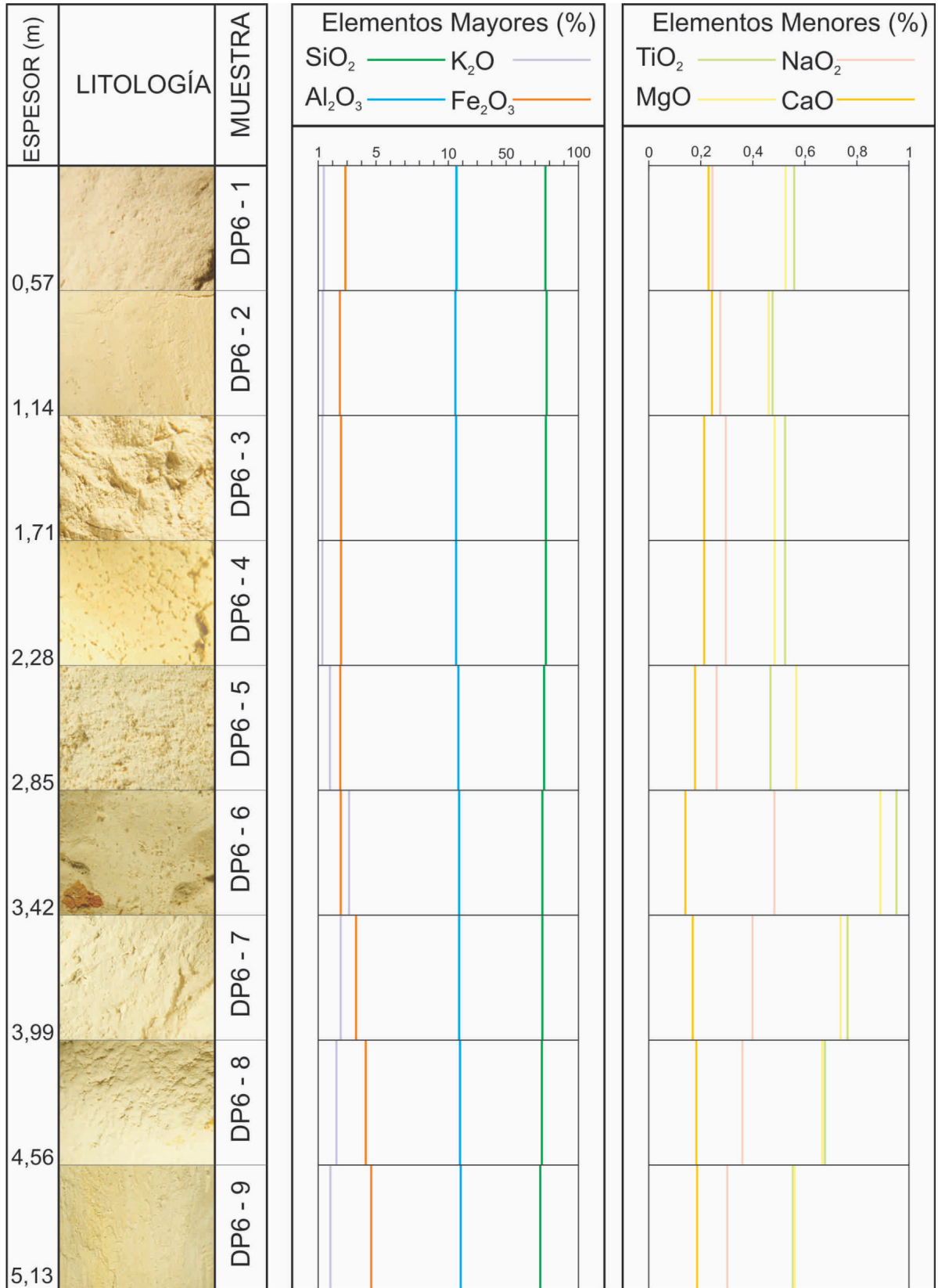


Fig. 7. Representación de elementos mayores y menores en muestras analizadas de perforación 6.



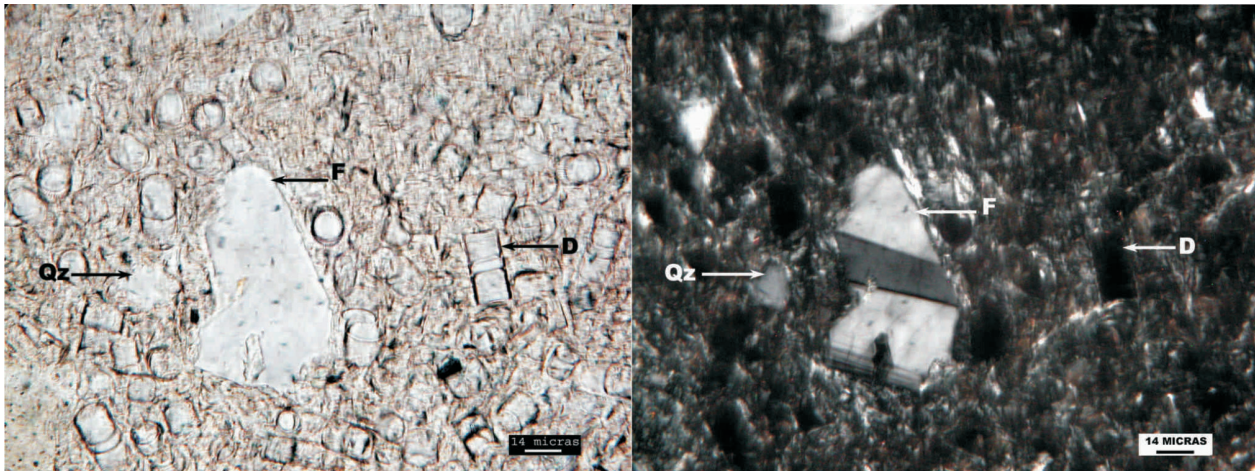


Fig. 8. Imágenes en sección delgada, muestra de perforación 6, DP6(3-6). En el centro se observa una plagioclasa. D=Diatomea, Qz=Cuarzo, F=Feldespato.

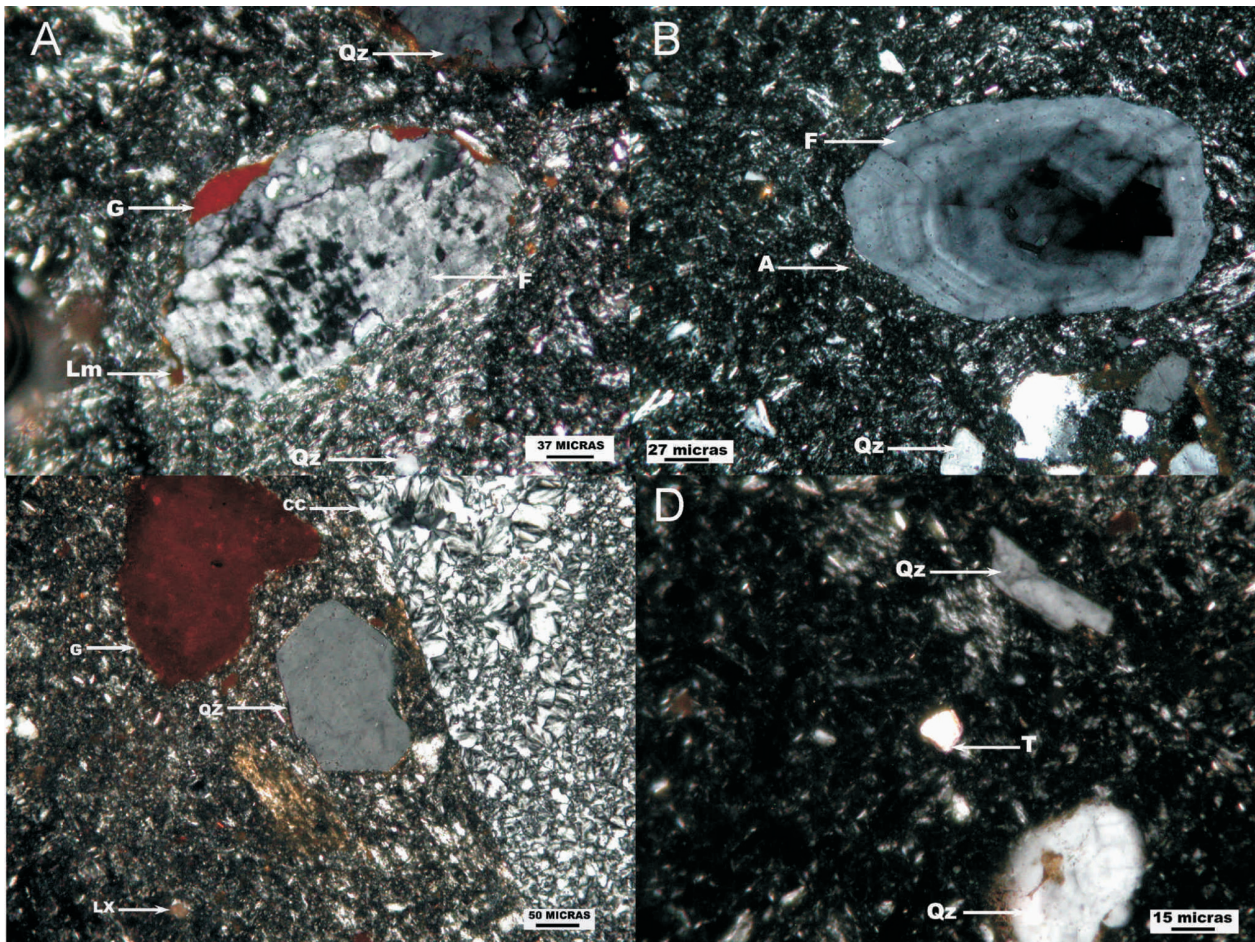


Fig. 9. A, B y D son imágenes de DP6(8-9); C es una imagen de DP6(6-7). A. Anortoclasa (F=feldespato) con superficies de disolución, inclusiones de cuarzo (Qz) e impregnaciones de goethita (G) y limonita (Lm). B. Plagioclasa zonada (F=feldespato), típico mineral de origen volcánico, (A=minerales arcillosos). C. Cuarzo euhedral (Qz), notese a la derecha lítico de pedernal compuesto por calcedonia (cc), leucoxeno (LX). D. Cuarzo euhedral (Qz) y turmalina (T) en el centro.

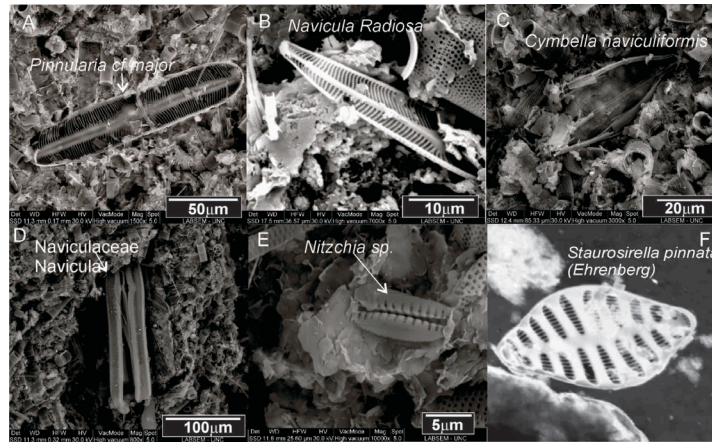


Fig. 10. Diferentes especies de diatomeas fósiles identificadas.

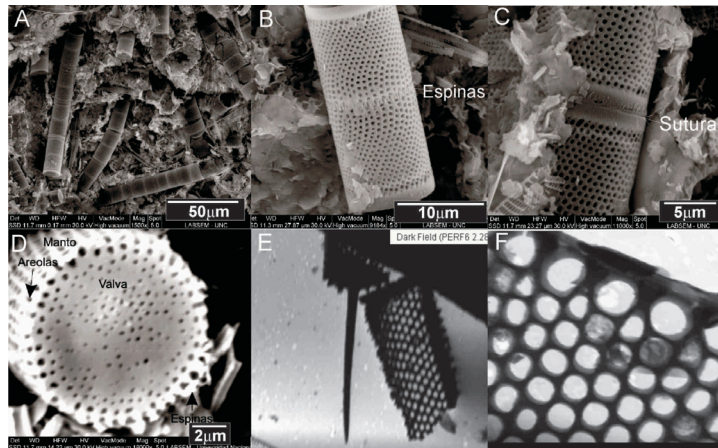


Fig. 11. *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen. A, B, C y D (Imágenes MEB), E y F (Imágenes MET). A. *Aulacoseira granulata*, especie dominante, diatomeas cilíndricas que forman cadenas largas. B. Vista pleural, detalle de las espinas cortas que unen las valvas. C. Vista pleural en donde se observa la sutura o cíngulo. D. Areolas del manto y de la valva, en el borde de la valva se observan espinas cortas. E. Tipo de espina larga. F. Detalle de las areolas en el manto.

en lagos profundos, mientras que en Colombia se ha encontrado más en lagos relativamente someros (C. RIVERA, com. pers.).

En el microscopio de transmisión mediante EDX se determinó que las frústulas de diatomeas están compuestas por sílice, en concentraciones mayores al 98% con trazas de aluminio (Fig. 12), la presencia de este último elemento en las otras muestras analizadas por MEB, indica una clara asociación a minerales arcillosos.

#### Análisis por difracción de rayos x (DRX)

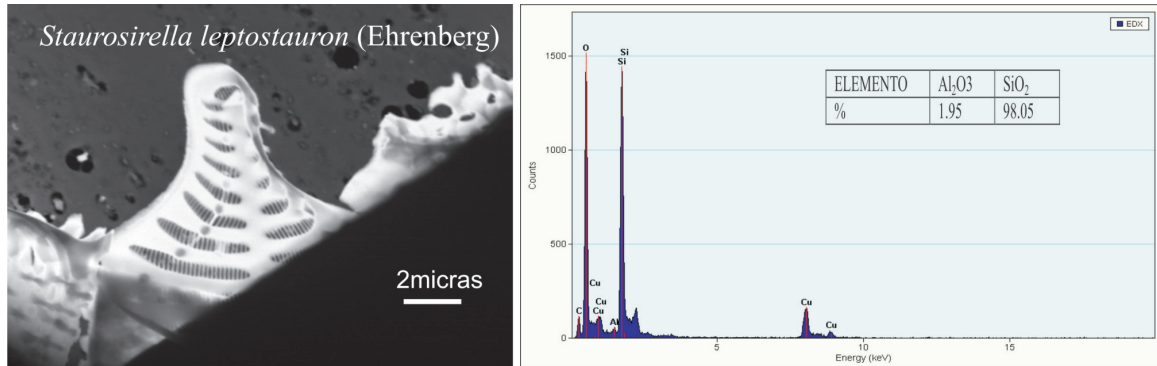
Las muestras para el análisis fueron previamente pulverizadas y la difracción se realizó en dos tipos de montajes:

- Muestra en polvo para la identificación de todos los

minerales presentes, sin previo ordenamiento de los planos cristalográficos.

- Muestra orientada para la identificación de los minerales arcillosos, analizando la fracción menor a 2μm.

Los difractogramas de las muestras en polvo se registraron de manera continua, con un ángulo de incidencia de rayos X, entre 2 y 70° (2θ), a una velocidad de 2° 2θ/min. Los difractogramas de las muestras orientadas se registraron en forma continua con un ángulo de incidencia entre 2 y 30° (2θ) a velocidades de 2θ/min. En este trabajo se siguió la rutina de análisis propuesta por THOREZ (2003) trabajando para cada muestra, un montaje y tres tratamientos de la fracción menor a 2μm orientados: Natural, solvatado con etilén glicol y calentada a 500°C. Se analizaron cinco muestras naturales, dos muestras de



**Fig. 12.** Análisis químico puntual (EDX) de la frústula de diatomea en el MET. El cobre es de la rejilla en la cual está colocado el material.

afloramiento (DA1-T y DA2-T) y tres de perforación (DP1-8, DP6-3-4 y DP6-T).

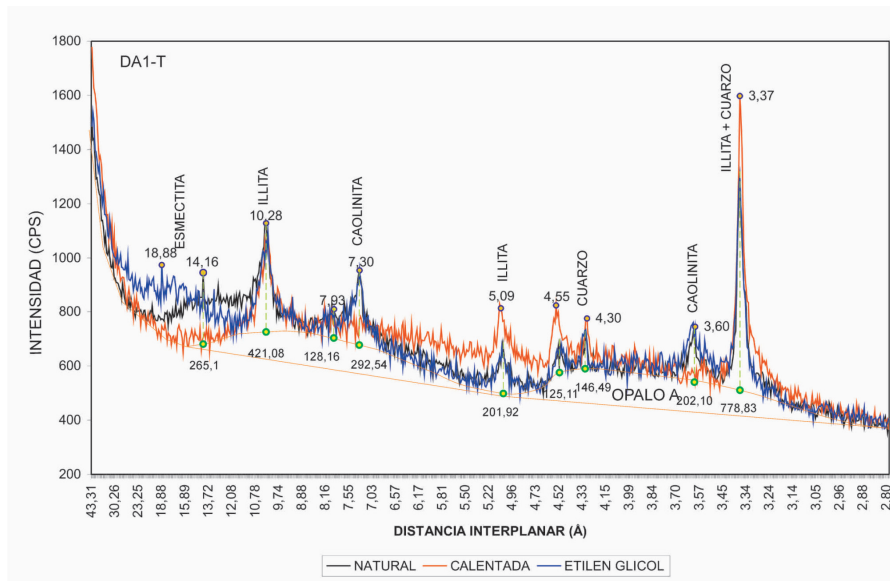
En los difractogramas se identificó ópalo y varios tipos de minerales arcillosos, como: Esméctita, caolinitas e illitas. También se determinó cuarzo y micas. El montaje en lámina orientada permitió determinar las diferentes fases y realizar una semicuantificación, (Fig. 13). El ópalo A fue reconocible por la elevación del background en la región entre 2.9Å y 4.6Å.

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El depósito de diatomitas es química y mineralógicamente homogéneo, con rangos estrechos en la variación porcentual de elementos y minerales. De los datos de las

perforaciones, se tiene que la sílice es el elemento más abundante (72 a 78%), compuesto esencial de las frústulas de diatomeas, cuarzo y minerales arcillosos. El Aluminio (16 a 20%), potasio (2 a 3%) y magnesio (0,4%) que son elementos marcadores de la caolinita, illita y esmectita. El hierro (2 a 5%) se encuentra principalmente como limonita.

Las frústulas de diatomeas, material de interés se encuentran en una proporción relativa del 66%; como contaminantes están: Minerales arcillosos y sericita con un 23%, cuarzo en un 10% y en cantidades menores del 1% limonita, goethita y feldespatos. La utilización de la diatomita en procesos industriales está estrechamente ligada a la pureza de ésta, haciéndose necesario disminuir el contenido de minerales arcillosos, que restringen su capacidad absorbente, porosidad y permeabilidad, propiedades físicas principales



**Fig. 13.** Identificación de minerales y mineraloides en muestra de afloramiento 1. Se presentan el valor de la intensidad para cada reflexión.

en las aplicaciones como material filtrante y de relleno.

Es necesario realizar una extracción selectiva en el intervalo de 2,2 a 2,8m, del afloramiento 1, debido al incremento en el contenido de hierro y alumina. La separación de este nivel deberá realizarse con el fin de no contaminar el resto del material.

En el análisis petrográfico y de microscopía electrónica, se observó poca diversidad en las especies de diatomeas, predominando siempre la *Aulacoseira granulata* (>90%). Esta especie presenta longitudes de las frústulas entre 10 y 24µm, con diámetro de valvas entre 10 a 15µm y areolas con diámetro de 0,2µm en promedio; este último valor determina la microporosidad del material importante en los procesos de filtración.

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 ehedrales, 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.

Además de la sílice, uno de los más importantes nutrientes para la proliferación de las diatomeas es el fósforo (WALLACE *et al.* 2006). Los niveles fosfáticos presentes en la Formación Plaeners constituyeron la fuente de este elemento hacia el antiguo lago.

## CONCLUSIONES

Geológicamente el área de estudio, se encuentra limitada regionalmente por la Falla de Soapaga al oriente y la falla de Boyacá al occidente, constituyéndose desde el Plioceno en un bloque tectónicamente hundido, que ha favorecido la formación de lagos y junto con el aporte de sílice del vulcanismo reciente de la Cordillera Oriental, contribuyeron a la formación de depósitos de diatomita.

El depósito de diatomitas de Chivatá es de origen lacustre, donde las diatomeas proliferaron en aguas ricas en sílice. Sílice procedente posiblemente de dos fuentes: 1. El vulcanismo de Paipa y 2. La Formación Plaeners; aportes identificados, el primero por plagioclasas zonadas, anortoclasas y cuarzos ehedrales y el segundo por líticos de lodolitas silíceas (illitas) dentro del material analizado.

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 10µm y diámetro de areolas entre 0,4µm y 2µm; 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.

Composicionalmente el depósito de diatomitas es homogéneo, contiene en promedio, ópalo constituyente de las frústulas de diatomeas en un 66%, minerales arcillosos en un 23%, cuarzo en un 10%, goethita, limonita y feldespatos en un 1%, y minerales traza (circón y leucóxeno). Para aplicaciones industriales, como filtración, es necesario disminuir el contenido de minerales arcillosos a cantidades <3% y los óxidos de hierro <1%.

Análisis químicos, mineralógicos y de granulometría, muestran un contenido de minerales arcillosos, menor al 23%; identificados, en orden de abundancia: Caolinita (9%), illita (8%) y esmectita (6%), generando éstas últimas por sus características hidratables y expansibles la mayor obstrucción de poros y disminución de la permeabilidad de éste material.

## REFERENCIAS

- CEPEDA, H. (1978): Diatomitas. Recursos Minerales de Colombia. Publicaciones Especiales del Ingeominas. Bogotá, pp. 173 – 177.
- FLOREZ, M & LOZANO, G. (1999): Silicofósiles altoandinos. Universidad Nacional de Colombia – COLCIENCIAS - BID.
- HERNANDEZ, G & OSORIO, O. (1990): Geología, análisis petrográfico y químico de las rocas volcánicas del suroccidente de Paipa (Boyacá, Colombia). Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. 100 pgs.
- LORENZ, W. & GWOSDZ, W. (2004): Manual para la evaluación geológica – técnica de recursos minerales de construcción. Hannover, Alemania.
- OLIVA, M. (2005): Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de Mexico, en: Hidrobiológica, volumen 15. México.
- PARDO, N., JARAMILLO, J.M. & CEPEDA, H. (2005): The Paipa Volcano, Eastern Cordillera of Colombia, South America (part II): Petrography and major elements petrology. Earth Sciences Research Journal. Vol. 9. No. 2, pp. 148-164.
- SPINIELLO, P. (1996): Las diatomeas marino-costeras de Venezuela. Caribbean Journal of Science. Vol. 32, No. 4, pp. 331-347.
- THOREZ, J. (2003): Seminario- Taller, "Practical XRD análisis of clay minerals".
- WALLACE, A. (2006): Freshwater diatomite deposits in the western United States. USGS.

Manuscrito recibido Noviembre 2007; aceptado Diciembre 2007