

GEOLOGIA Y MINERALOGIA DE LOS CAOLINES DE LA VEREDA BARROBLANCO, OIBA (SANTANDER): CARACTERIZACION CON FINES INDUSTRIALES.

García, C.A.¹; Silva, A.²; Jerez, E.³

RESUMEN

Los caolines de la Vereda Barroblanco (Municipio de Oiba, Santander) fueron caracterizados desde el punto de vista geológico y mineralógico con el propósito de definir una gama más amplia de usos de esta materia prima mineral en la industria. En este trabajo también se determina el ambiente de depositación y se cuantifican los recursos de caolín. El depósito de caolín es de forma tabular y se localiza en un nivel intermedio de la Formación Cumbre en su Segmento D y aflora a lo largo del Anticlinal de Cerro Negro. Los minerales identificados en los siete niveles caoliníferos aparte de la caolinita son cuarzo, moscovita/illita, anatasa, gibsita y amorfos. Las propiedades mineralógicas y químicas del caolín determinadas sirvieron de base para definir su comportamiento durante el beneficio mineral. La calidad del caolín luego de ser beneficiado aumenta considerablemente y permite su uso en la fabricación de cemento blanco y de cerámica de calidad.

Palabras clave: Caolín, Vereda Barroblanco, niveles caoliníferos, recursos.

GEOLOGY AND MINERALOGY OF KAOLIN DEPOSITS AT VEREDA BARROBLANCO, OIBA TOWN (SANTANDER): CHARACTERIZATION FOR INDUSTRIAL USES

ABSTRACT

The Barroblanco (Oiba town, Santander) were characterized by geological and mineralogical studies with the purpose to define a great variety of industrial applications. In this paper also were determined the geological conditions of formation and the reserves were estimated. The kaolin deposit occur as a tabular body emplacement in the medium horizon of the La Cumbre formation and outcrops along the Cerro Negro anticline. The identified minerals by X-ray diffractometry in the seven kaoliniferous levels beside kaolinite are quartz, muscovite/illite, anatase, gibbsite and amorphous material. The determined mineralogical and chemical properties of kaolin defining its behavior during mineral processing. The kaolin quality after mineral processing was substantially improvement and define the most appropriate use for the production of white cement and high quality ceramics.

Key words: Kaolin, Vereda Barroblanco, kaoliniferous levels, resources.

INTRODUCCION

El depósito de caolines de la vereda Barroblanco esta ubicado 15 Kms al Este del Municipio de Oiba, departamento de Santander (FIGURA 1), y constituyen uno de los yacimientos de caolín más importante en este departamento. Este depósito de caolín viene siendo explotado rudimentariamente desde hace varios años y comercializado sin ningún tipo de beneficio, limitándose su uso a la industria del cemento.

En este trabajo se caracteriza geológica y mineralógicamente el depósito de caolín de la Vereda Barroblanco con el fin de determinar su potencial de recursos, su distribución espacial y definir el uso más apropiado de este material arcilloso, de acuerdo con sus propiedades geológicas, mineralógicas y químicas.

En el área de estudio o zonas adyacentes se han realizado estudios geológicos a diferente nivel. A continuación se presenta un análisis de estos trabajos.

¹ Profesor Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, A.A. 678, e-mail: cgarciar@uis.edu.co

² Geólogo, UIS, Grupo Investigación MINPETGEO.

³ Geóloga, UIS, Independiente.

Portilla (1989) realiza una descripción general de las arcillas ubicadas en el Anticlinal de Cerro Negro (Oiba), determinando cuatro sitios de acumulación del material arcilloso sobre el eje de la estructura, los cuales son: El Cairo, San Lorenzo, Macanal y Barroblanco mostrando su localización, tamaño, y ocurrencia geológica. Rodríguez y Rodríguez (1998), realizaron una evaluación geológico-económica para un sector del yacimiento de caolín de la Vereda Barroblanco, llegando a calcular reservas para un sector del área. Estos autores plantean un método de explotación y una planta modelo para el beneficio del mineral.

Otros trabajos desarrollados en zonas aledañas intentan caracterizar el mineral caolinífero y proponen alternativas de beneficio. Entre estos, se encuentran los trabajos de Castellanos (1989) quien realiza una prospectiva de procesos químicos para los minerales de caolín y yeso de la Provincia Guantánamo; Navarro (1991) caracterizó fisicoquímicamente el yacimiento caolinítico de la vereda Macanal (Municipio de Oiba, Santander) y propuso una aplicación industrial para el mismo; Villanueva (1992) realizó el diseño de un sistema de beneficio para el caolín de Oiba, enfocado hacia la industria del cemento blanco. Berdugo (1993), realizó una evaluación geológico-minera de los yacimientos de arcilla de la vereda Gámbita Vieja (Municipio de Gambita, Santander), cuya importancia radica en la relación y proximidad a la zona de estudio.

Los trabajos mencionados constituyen aportes importantes al conocimiento de los depósitos de caolín en el departamento de Santander ya sea, en sus aspectos geológico o de procesamiento mineral. Sin embargo, hasta el presente no se han realizado estudios por parte de grupos multidisciplinarios. El presente trabajo es parte de un proyecto multidisciplinario, en el cual participaron Geólogos, Ingenieros Químicos, Ingenieros Metalúrgicos, Trabajadores Sociales de la Universidad Industrial de Santander con el propósito de caracterizar el depósito de caolines de la vereda Barroblanco y presentar alternativas de beneficio, uso industrial y organización empresarial para la explotación y comercialización de esta materia prima mineral. En este estudio presentamos los resultados de los trabajos geológicos así como las conclusiones y recomendaciones del Grupo de Biohidrometalurgia con respecto al beneficio mineral.

METODOLOGIA

La metodología de trabajo consistió en una etapa de precampo, durante la cual se recopiló y analizó la información bibliográfica existente. El trabajo de campo consistió en un mapeo geológico escala 1:10.000 de un área de 20Km², acompañado de un muestreo sistemático. El muestreo se realizó mediante perforaciones con barrenos manuales dentro del área de la licencia minera N° 070 – 68 de la Cooperativa Agrominera de Barroblanco. Se realizaron siete perforaciones (S4 – S10) con una distancia de aproximadamente 197m y profundidad promedio de 5,5m. (FIGURA 1). También se muestrearon mediante la técnica de canal todos los frentes de explotación a cielo abierto (M1 – M3) (FIGURA 1).

En total se tomaron 130 muestras distribuidas así: 64 muestras de las perforaciones, 38 muestras de los frentes de explotación, 27 muestras de afloramientos y una muestra del molino de caolín de la Cooperativa Agrominera de Barroblanco.

Las muestras recolectadas fueron analizadas en los laboratorios del Grupo de Investigaciones en Mineralogía, Petrología y Geoquímica (MINPETGEO) y en Biohidrometalurgia de las escuelas de Geología e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguará.

Las muestras fueron descritas macroscópicamente según la clasificación de Folk (Friedman & Sanders, 1981), empleando un estereomicroscopio marca Carl Zeiss. A las muestras obtenidas de los frentes de explotación se le realizaron análisis granulométricos y microgranulométricos, según la norma ASTM C-77-79 (1985) empleando hidrómetro y pipeta. Los análisis químicos se llevaron a cabo en un espectro-fotómetro de absorción atómica marca Perkin – Elmer y siguiendo la norma ASTM C-573-81 (1990). Los análisis por difracción de rayos X (DRX) se realizaron en la Escuela de Química, de la Universidad Industrial de Santander; empleando un equipo Rigaku modelo D-MAX-III/B. En esta etapa de laboratorio se realizaron análisis de DRX cuantitativos en muestra total a aquellas muestras obtenidas por medio de perforaciones (S5 y S9); y se realizaron análisis de DRX cualitativos y cuantitativos en muestra lodosa, a las muestras tomadas de los frentes de explotación.

MARCO GEOLOGICO

El yacimiento de caolín se localiza en el Macizo de Santander en la Cordillera Oriental Colombiana, cuyo basamento metamórfico es de edad Precámbrica y Paleozoica. Las rocas de éste basamento están cubiertas por una espesa secuencia de rocas sedimentarias de edad Mesozoica y Cenozoica, las cuales fueron deformadas durante el Neógeno, por la Orogenia Andina. (Taboada, 2000).

Las rocas sedimentarias son principalmente de edad Jurásica y Cretácica. Las rocas Jurásicas, son de ambiente continental y están agrupadas en las formaciones Girón y Arcabuco; mientras las rocas Cretácicas son de ambiente marino, y constituyen las formaciones Cumbre, Rosablanca, Paja, Tablazo, Simití, Chiquinquirá y La Luna.

A nivel regional, las principales estructuras son la falla Bucaramanga – Santa Marta y la falla del Suárez, entre estas dos grandes estructuras se encuentran una serie de pliegues anticlinales y sinclinales amplios con dirección preferencial N20– 40E, y de vergencia variable como la falla Confines, el anticlinal y sinclinal de Oiba, el anticlinal de Cerro Negro y la falla Amansagatos.

GEOLOGIA DE YACIMIENTO DE CAOLIN

Estratigrafía

Las rocas Cretácicas aflorantes en el área del depósito están relacionadas con el Anticlinal de Cerro Negro, sobre cuyo núcleo se localiza el depósito de caolín. (FIGURA 1).

Este núcleo está conformado por la Formación Cumbre (FC), suprayaciéndola se encuentran las formaciones Rosablanca y Paja (Miembro Arenoso), que constituyen los flancos de la estructura. Se destaca también un depósito aluvial Cuaternario relacionado con el cauce de la Quebrada La Santuaría.

Formación Cumbre. Las rocas de la (FC) afloran principalmente en el flanco W del anticlinal de Cerro Negro, sobre la vía que conduce de la Vereda Barroblanco hacia la Vereda Portachuelo (hacia el W) y Pie de Alto (hacia el SW). En esta parte del anticlinal, la formación está constituida principalmente por

arcillolita limosa de color blanco a gris claro, moderadamente calibrada, con porosidad secundaria debida al múltiple diaclasamiento que ha generado fracturas, en su mayoría rellenas por óxidos de hierro (FIGURA 1). También es común la presencia de halos concéntricos de aproximadamente 10cm de diámetro formados por óxidos de hierro.

Hacia la parte más cercana al eje del Anticlinal, se encuentra una arcillolita limosa, moderadamente calibrada, de color gris–amarillento claro, fácilmente deleznable, en la que sobresalen halos concéntricos y elípticos de óxidos de hierro, los cuales alcanzan dimensiones de hasta 70cm de diámetro. Estructuralmente la roca posee laminación plana, no paralela, difusa, definida principalmente por láminas limo – arcillosas de color gris.

La FC también aflora en el flanco E del Anticlinal de Cerro Negro, sobre la vía que conduce de la Vereda Barroblanco hacia la Vereda Amansagatos (FIGURA 1). En esta sección se observa que un depósito aluvial de edad cuaternario cubre gran parte de la zona. Sin embargo en la parte expuesta de la formación, ésta consta de un limo arcilloso de color anaranjado muy meteorizado y de una arena lodosa muy fina de color rojizo. Ambas litologías presentan una laminación plana, no paralela, difusa, de color vinotinto.

Hacia la parte NE del área de estudio, cerca de la Falla Amansagatos, la FC consiste de arenisca lodosa de color gris claro, con partículas finas a muy finas, moderadamente calibrada, y de porosidad muy baja principalmente debida al alto fracturamiento de la roca. La arenisca esta constituida por cuarzo, moscovita y minerales arcillosos. Estructuralmente posee una laminación ondulosa, no paralela y difusa de color gris oscuro. La FC en el área de estudio presenta moldes de pequeños bivalvos no desarticulados.

Formación Rosablanca. La Formación Rosablanca (FR) aflora en ambos flancos del Anticlinal de Cerro Negro. En el Flanco W, la formación se presenta como una franja de aproximadamente 130m de ancho con un rumbo de N20°E, que hacia el Norte gira con un rumbo de N50°E hasta encontrarse con la Falla Amansagatos. Y hacia el flanco E, sobre la vía que conduce de la Vereda Barroblanco a la Vereda Amansagatos, después de la Falla Amansagatos, la FR se

encuentra muy cubierta y aflora ocasionalmente. (FIGURA 1).

Litológicamente la FR está constituida por caliza micrítica de color gris oscuro, bien cementada, y con superficies de meteorización de color gris claro, en la que se observan microcristales de espar y moldes de pequeños fósiles, principalmente conchillas de bivalvos desarticulados (también rellenos de espar). Estructuralmente la formación posee estratificación plana, paralela, continua, en capas de 20 a 30cm de espesor y presenta un rumbo N30°E, buzando 27° hacia el NW.

Formación Paja (Miembro Arenoso). Es la formación mas ampliamente expuesta en el área de estudio. Al W del Anticlinal de Cerro Negro, el Miembro Arenoso de la Formación Paja aflora desde la Vereda Portachuelo hasta las cercanías del Municipio de Oiba. (FIGURA 1)

El Miembro Arenoso esta constituido por arenisca lodosa siliciclástica de color anaranjado, muy fina, moderadamente calibrada, con una porosidad secundaria debida al fracturamiento de la roca y fácilmente deleznable. La arenisca está compuesta por cuarzo, moscovita, óxidos de hierro y minerales arcillosos; además posee una laminación plana paralela, y ondulosa paralela, de color rojizo. En algunos sectores se aprecia la intercalación de láminas de arenisca muy fina blanca – rojiza, con láminas de lodolitas anaranjadas, enriquecidas con óxidos de hierro. Dentro de la formación se aprecian pequeños bivalvos de entre 0.5 a 1.0cm de diámetro.

Deposito Aluvial. El depósito aluvial se manifiesta principalmente sobre el margen izquierdo de la Quebrada La Santuaría, aumentando su distribución hacia el S, a medida que el cauce de la Quebrada La Santuaría se desplaza hacia el W (FIGURA 1). El depósito aluvial esta compuesto por una arena lodosa de color gris claro y con una fuerte zonificación de color anaranjado. El depósito posee partículas arenosas de tamaño fino a medio, de forma esférica y angular. En términos generales es un depósito mal calibrado.

Estructuras

Anticlinal de Cerro Negro: El anticlinal de Cerro Negro es un pliegue ligeramente asimétrico, donde el

buzamiento de sus flancos varía entre 15 y 30°, el eje del anticlinal en el área de estudio tiene una dirección aproximada de N30E, y se ha estimado una longitud total cercana a los 30Km.

En la Vereda Barroblanco el núcleo del anticlinal de Cerro Negro esta conformado por la FC. Hacia el N del área de estudio, el eje del anticlinal está desplazado hacia el NW debido a la falla Amansagatos. (FIGURA 1).

Falla Amansagatos: Esta es una falla normal de alto ángulo con dirección N55W que tiene un desplazamiento en la horizontal hacia el NW; este desplazamiento afecta el eje del anticlinal de Cerro Negro. El bloque ubicado hacia el NE del plano de falla es el bloque levantado, es por esta razón que tenemos rocas de la FC enfrentadas en superficie con rocas de las formaciones Rosablanca y Paja, ubicadas en el bloque hundido al SW del plano de falla. (FIGURA 1).

Diaclasas: En el área de estudio y en especial en la FC se ha observado gran cantidad de diaclasas verticales con una dirección preferencial N80W. Estas diaclasas se encuentran espaciadas entre 0,10 y 0,25m, y en muchas ocasiones se encuentran rellenas por óxidos de hierro. Otras familias de diaclasas menos comunes presentan direcciones N25W, N50W y N75W; estas diaclasas son más delgadas, difusas y menos continuas.

CARACTERISTICAS DEL DEPOSITO

El depósito de caolín de la Vereda Barroblanco forma parte del nivel intermedio de la FC (segmento D), constituido por una secuencia de areniscas cuarzosas con un 30% de matriz caolinítica, lodolitas y arcillolitas caoliníticas (Mendoza, 1985). Los minerales identificados en el depósito mediante DRX son cuarzo (49,98%), moscovita/illita (21,12%), caolinita (14,58%), anatasa (1,78%), gibsita (1,11%) y amorfos (11,43%). El depósito posee una forma tabular regular y un espesor de 5m hacia el SW que aumenta en dirección NE hasta los 9,5m. Este depósito de caolín está constituido por gran cantidad de capas y lentes; estas capas se han agrupado según sus características texturales y composicionales en niveles de mayor espesor, de tal forma que sea posible el seguimiento de estas a mayores distancias. En el depósito se han reconocido siete niveles de base a techo (FIGURA 2).

En las FIGURAS 3 y 4 se presentan los difractogramas de los niveles caoliníferos de las perforaciones S5 y S9.

A continuación se describen los diferentes niveles del depósito caolinífero.

Nivel A: Este nivel se observa hacia el SW del depósito (S11) (FIGURA 2), está constituido por una arena limosa muy fina de color café que cambia a una coloración más grisácea hacia el NE (S5); también posee lentes de arena limosa de color gris oscuro de 20cm de espesor, muy ricos en cristales de pirita. El nivel presenta una laminación plana paralela a no paralela de color vinotinto, debida a la presencia de óxidos de hierro.

Nivel B: Este nivel está constituido por una arcilla limosa de color blanco – grisáceo, que presenta hacia la parte inferior cristales de moscovita de tamaño muy fino; además posee lentes de limo arcilloso de color gris oscuro de 20 a 30cm de espesor, muy ricos en cristales euhedrales de pirita de tamaño muy fino. Hacia la parte superior se presentan partículas de cuarzo y fragmentos de shale oxidados de tamaño muy fino. El nivel posee un espesor promedio de 2,35m y una laminación plana paralela a no paralela debida a unas láminas amarillentas, hacia la parte superior aparecen lentes arcillosos de color café – amarillento, estratos arcillosos de color blanco de hasta 10cm de espesor y capas areno limosas muy finas de color gris (FIGURA 2).

Nivel C: Está conformado por una arena limosa de color gris, aunque localmente puede presentar una coloración café – amarillenta. Existen partículas cuarzosas muy finas a gruesas, de formas esféricas y angulares; en menor cantidad presenta moscovita y fragmentos de shale oxidados. En la parte intermedia del nivel se presenta un estrato limo arcilloso blanco, con una laminación plana paralela continua de color gris. El nivel tiene un espesor promedio de 0,36m (FIGURA 2).

Nivel D: Este nivel es una secuencia grano–decreciente que inicia a partir del nivel C. La parte inferior del nivel esta constituida por un limo arcilloso de color blanco o gris, que presenta partículas de cuarzo y fragmentos de shale de tamaño medio a muy fino;

posee una laminación plana paralela a no paralela continua de arcilla café clara, además de lentes limo arenosos muy finos de color gris. La parte superior está compuesta por una arcilla limosa blanca, con fragmentos muy finos de cuarzo, moscovita y shale. El nivel tiene un espesor promedio de 1,86m, aunque en algunos sitios puede alcanzar los 3,05m.

Nivel O: Está conformado por un limo arenoso de color café oscuro muy rico en materia orgánica (fragmentos vegetales); presenta partículas de tamaño medio a muy fino de cuarzo, moscovita, fragmentos de shale, pirita y ámbar. La parte inferior posee una coloración más clara y el material orgánico esta conformado por pequeños y delgados fragmentos leñosos de 0,5 a 2cm de longitud; esta parte posee la mayor cantidad de cristales de pirita de tamaño fino a muy fino. La parte superior presenta fragmentos leñosos (truncos) de entre 15 y 20cm de longitud, los cuales poseen una superficie bien conservada pero su estructura interna se encuentra muy homogeneizada. La presencia de hojas dentro del nivel es muy escasa. El espesor promedio del nivel es de 1,36m (FIGURA 2).

Nivel E: Está compuesto por un limo arenoso de color blanco – grisáceo que hacia el NE se torna más amarillento; presenta abundantes partículas de cuarzo de tamaño granulo a arena muy fina y de formas esféricas y angulares, además de moscovita y fragmentos de shale muy oxidados. El nivel tiene un espesor promedio de 1,15m (FIGURA 2).

Nivel F: Este nivel forma parte de un conjunto grano–decreciente que se inicia con el nivel E. Está constituido por un limo arcilloso de color blanco que algunas veces presenta coloraciones amarillentas o grisáceas; posee partículas de cuarzo, moscovita y fragmentos de shale muy oxidados de tamaño muy fino. Muestra una laminación plana paralela a no paralela de arcilla de color café – amarillento y delgados lentes arenosos muy finos de color blanco. Hacia el SW el nivel presenta un enriquecimiento en material arenoso y se clasifica como un limo arenoso de color blanco. El espesor promedio es de 0,84m (FIGURA 2).

La composición mineralógica (en muestra total) y química (en muestra lodosa) de los niveles que componen el depósito de caolín se presenta en la TABLA 1.

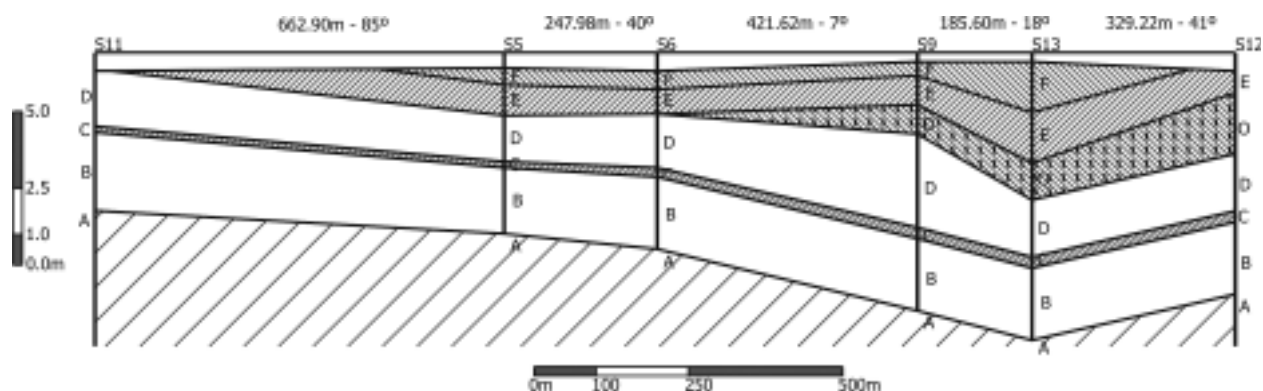


FIGURA 2. Corte geológico del depósito de caolín de la Vereda Barroblanco.

Actualmente, los niveles que vienen siendo explotados por la Cooperativa Agrominera de Barroblanco son principalmente los niveles B y D. Hacia el NE del depósito se explotan los niveles E y F, aunque estos son menos apreciados por los mineros debido a su

coloración, mayor cantidad de material arenoso, menor extensión y espesor; este aspecto contrasta con el mayor contenido de caolinita presente en estos niveles en comparación con los niveles B y D, como se aprecia en la TABLA 1.

TABLA 1. Composición mineralógica y química de los niveles del depósito de caolín de la Vereda Barroblanco.

NIVEL	A	B	C	D	O		E	F
					con M.O.	sin M.O.		
Composición Mineralógica (%)								
Cuarzo	54,11	52,66	76,35	47,20	49,08	47,67	35,33	39,01
Moscovita/Ililita	12,32	26,08	18,82	29,62	-	27,58	24,24	27,98
Caolinita	13,96	10,55	-	8,50	19,77	13,22	21,29	27,39
Anatasa	0,94	-	-	1,43	3,13	5,36	2,23	3,86
Gibbsite	-	-	-	-	1,63	*	-	5,00
Pirita	*	*	-	-	-	-	-	-
Amorfos	18,94	10,72	4,83	13,25	26,39	2,66	16,92	7,24
Composición Química (%)								
SiO ₂	72,86	63,68	73,35	62,51	45,10		63,88	46,30
Fe ₂ O ₃	0,36	1,19	0,35	0,97	1,46		1,75	1,42
Al ₂ O ₃	13,53	20,12	18,46	24,28	26,47		27,01	33,38
K ₂ O	0,62	5,24	2,71	4,96	2,41		3,11	8,64
CuO	0,05	0,12	0,16	1,17	0,12		0,14	0,08
MgO	0,09	1,58	0,88	0,43	0,06		0,05	0,04
PPI	5,09	7,37	5,03	5,95	24,22		6,00	9,64

PPI: Perdidas por Ignición; (*): Trazas del mineral. M.O.: Materia orgánica.

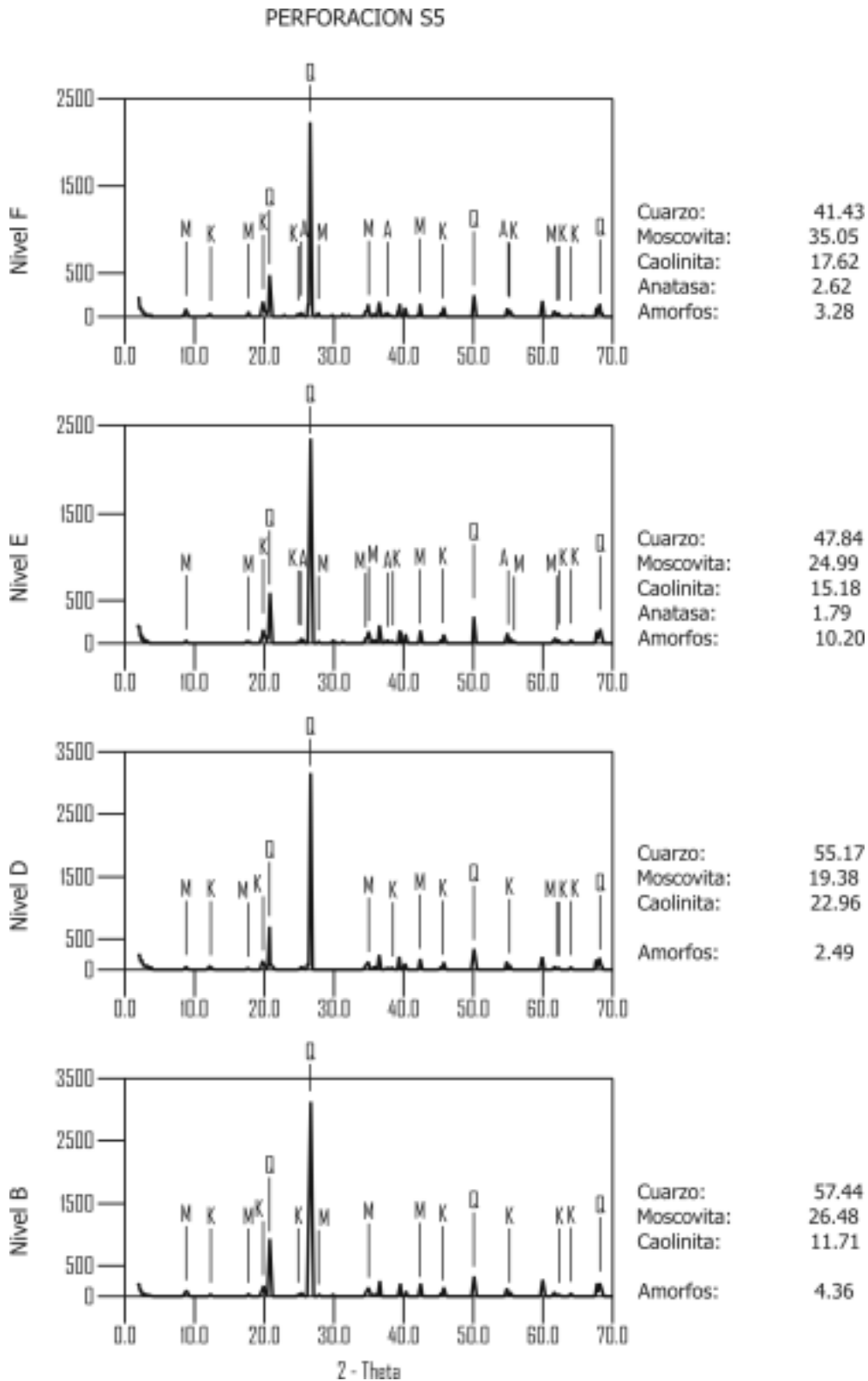


FIGURA 3. Difractogramas de los niveles presentes en la perforación S5.

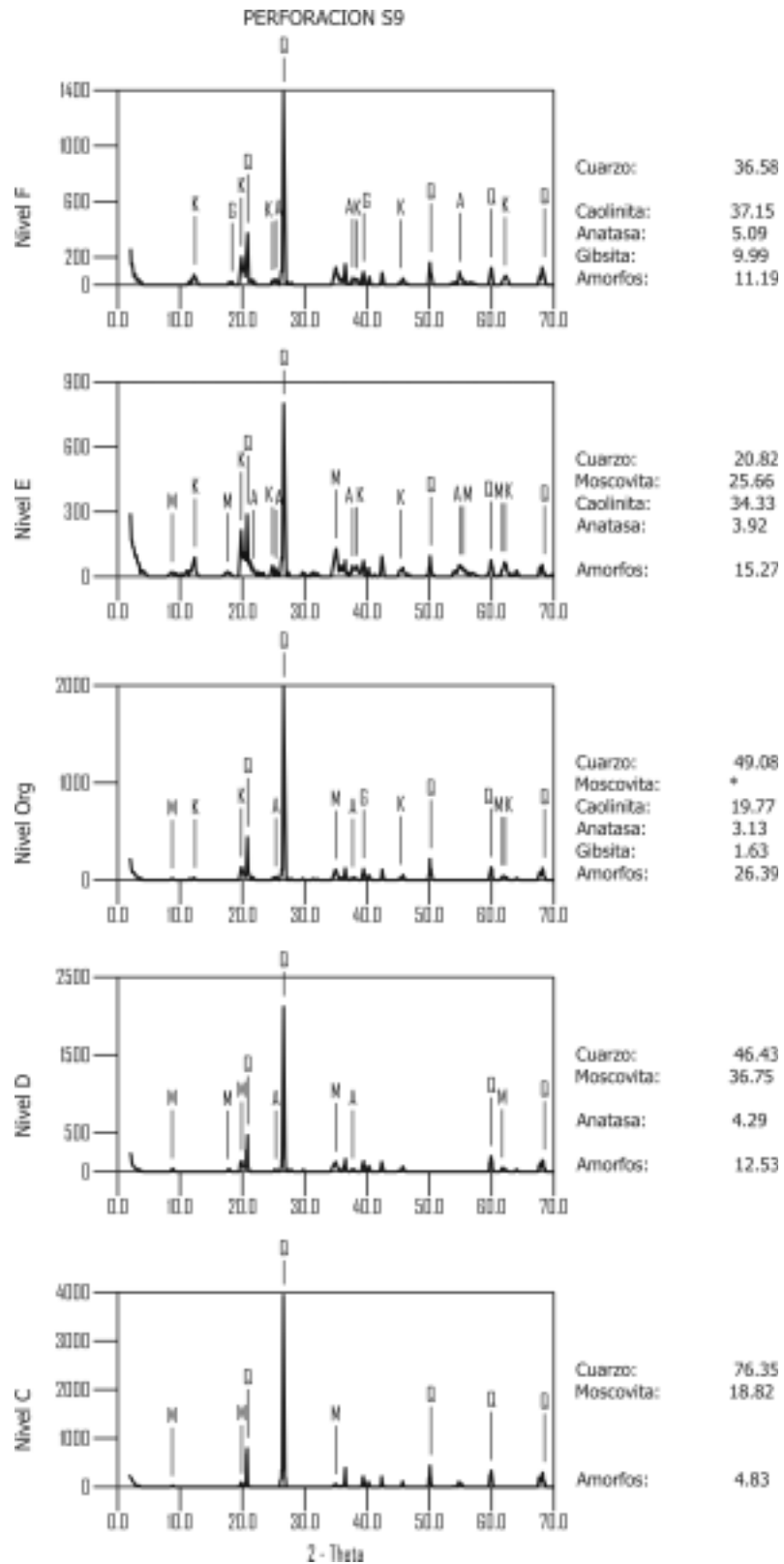


FIGURA 4. Difractogramas de los niveles presentes en la perforación S9.

RESERVAS

Las características geológicas de un recurso mineral son estimadas a partir de evidencias y conocimientos geológicos específicos. El conocimiento geológico del depósito en estudio está basado en observaciones directas de campo, realización de perforaciones, documentación y muestreo sistemático de los frentes de explotación y de las perforaciones. El cálculo de recursos se realizó mediante el método de áreas.

El uso de la Clasificación Internacional de Recursos Minerales y Reservas Minerales (Vaughan & Felderhof, 2002), permitió definir tres categorías a saber: Recursos Minerales Medidos, Recursos Minerales Indicados y Recursos Minerales Inferidos. Debe aclararse, que el termino reserva no fue empleado en este caso, debido a que no se han realizaron estudios de factibilidad que eleven la categoría de recurso a reserva. En la FIGURA 5 se presenta el mapa de categorización de recursos.

Recursos Minerales Medidos: Los recursos minerales medidos comprenden el área contorneada por todos los sitios de muestreo (perforaciones y frentes de exploración).

Recursos Minerales Indicados: Los recursos minerales indicados se localizan en la zona comprendida entre los sitios de muestreo (perforaciones y frentes

de exploración) y los frentes de explotación abandonados.

Recursos Minerales Inferidos: Este tipo de recursos se ubican en la zona más externa y su contorneo se basó principalmente en las características geomorfológicas del depósito y en una serie de transversas realizadas, las cuales podrían indicar una continuidad de los niveles caoliníferos.

En la TABLA 2 se presentan los resultados de la cuantificación de recursos caoliníferos para los niveles B y D, principales niveles de interés en el depósito.

CONDICIONES DE FORMACION DEL DEPOSITO

El depósito de caolín de la Vereda Barroblanco fue clasificado genéticamente con base en la composición mineralógica, química y granulométrica. Esta información fue comparada con los datos reportados por Lorenz (1999) para diferentes tipos de caolín (TABLA 3).

En los caolines de la Vereda Barroblanco prevalecen características de un depósito primario, entre estas tenemos la relación mica/illita, los contenidos de cuarzo, SiO₂, MgO, K₂O y LOI, sin embargo, otros indicadores como el contenido de caolinita evidencian

TABLA 2. Calculo de recursos minerales para el depósito de caolín.

Nivel	RECURSOS MINERALES MEDIDOS			
	Espesor (m)	Area (m ²)	Volumen (m ³) (espesor x área)	Recursos (Ton) (volumen x densidad)
D	1,86	163.753,78	304.582,03	798.004,92
B	2,35		384.821,38	1'008.232,02
Nivel	RECURSOS MINERALES INDICADOS			
	Espesor (m)	Area (m ²)	Volumen (m ³)	Recursos (Ton)
D	1,86	856.471,68	1'593.037,32	4'173.757,79
B	2,35		2'012.708,45	5'273.296,13
Nivel	RECURSOS MINERALES INFERIDOS			
	Espesor (m)	Area (m ²)	Volumen (m ³)	Recursos (Ton)
D	1,86	422.074,19	785.057,99	2'056.851,94
B	2,35		991.874,35	2'598.710,79

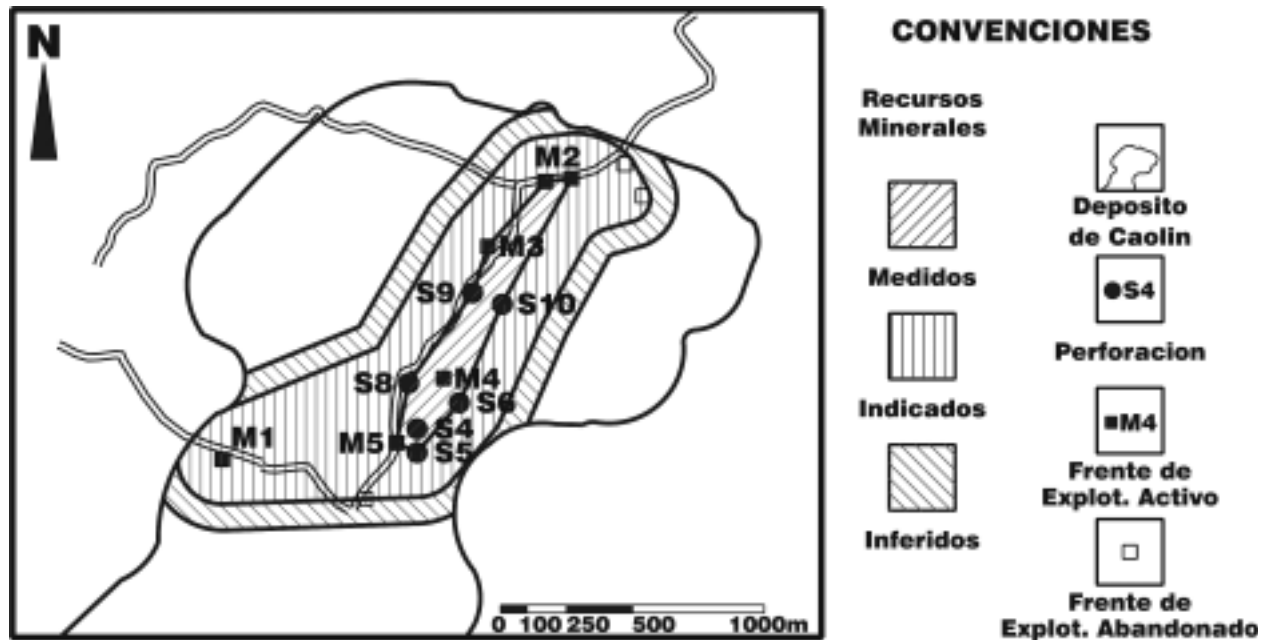


FIGURA 5. Categorización de los recursos del depósito de caolín.

TABLA 3. Composición mineralógica y química de caolines en bruto (Lorenz, 1999).

	Tipo de Depósito		Depósito de Caolín de la Vereda Barroblanco
	Primario (In Situ) ²⁾	Secundario (redepositado)	
Contenido de Caolín (= contenido de arcilla) (%):	20 – 40	50 - >90	76,3
Composición mineralógica del contenido de "arcilla" ¹⁾ (%):			
Caolinita	40 – 80	>80(!)	15
Illita/mica	3 – 20	3	33,05
Feldespato	1 – 30		
Cuarzo	10 – 45		35,4
Mezcla de minerales laminados	3 – 11		
Composición química (%):			
SiO ₂	62 – 87	43.7 – 44.8	60,15
Al ₂ O ₃	12 – 23	38.4 – 39.9	24,12
TiO ₂	0.1 – 1.2	1.4 – 1.8	-
Fe ₂ O ₃	0.2 – 4.5	0.2 – 1.9	1,15
CaO	0.2 – 4.7	*	0,13
MgO	0.1 – 1.5	*	0,38
Na ₂ O	<0.1	*	-
K ₂ O	0.2 – 4.7	0.1 – 0.5	3,92
LOI	2.5 – 9.5	*	9,59
Ejemplos:	Caolines residuales (Caolín)	Caolines Sedimentarios	

¹⁾ = fracción <20um (Limo Grueso) ²⁾ = a menudo solo económicamente explotable con la utilización simultanea de minerales acompañantes

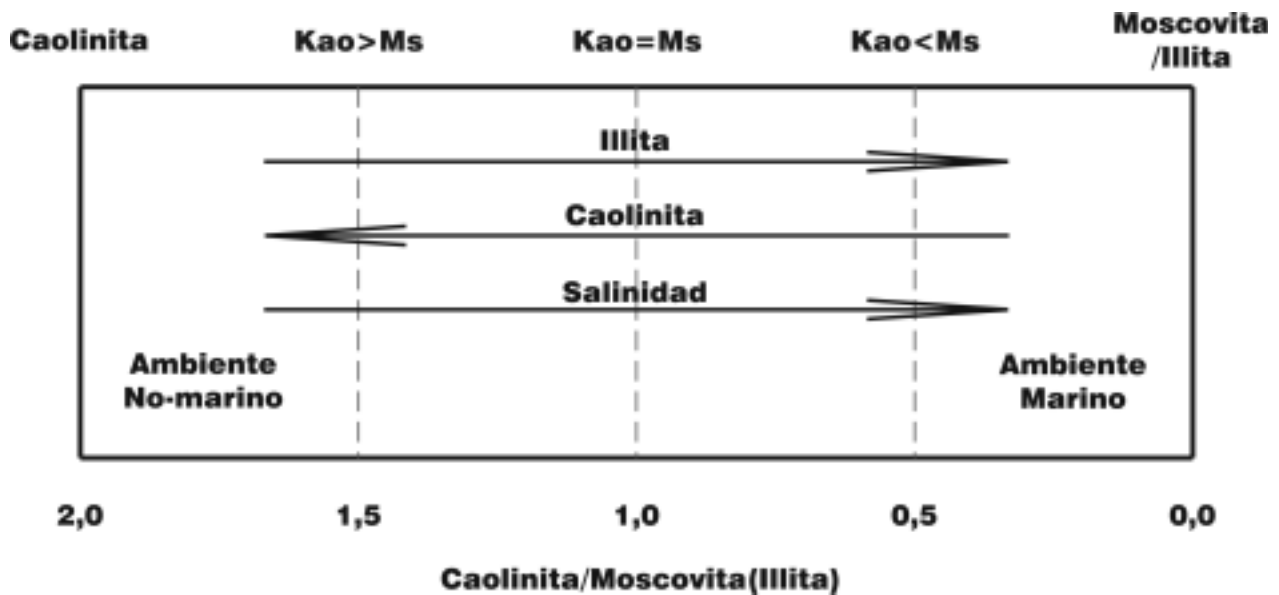


FIGURA 6. Relación caolinita/moscovita y sus implicaciones ambientales, (Páez, et al. 1982).

un origen secundario; mientras que componentes como Al, Fe no permiten una diferenciación precisa. Debido a lo anterior, no se puede definir a partir de los datos obtenidos con exactitud el tipo de depósito.

Para la determinación de las condiciones de formación de los niveles caoliníferos se tomaron en cuenta algunas particularidades del depósito como la relación en el contenido de caolinita y moscovita/illita, y el contenido de cuarzo, pirita y gibsita.

De acuerdo con Páez et al. (1982), el cambio en las concentraciones relativas de caolinita e illita pueden ser explicados por la transición de un ambiente marino a otro no marino. Este cambio en la depositación se refleja en un decrecimiento de la caolinita y en un incremento de la illita resultado de un proceso de floculación diferencial relacionada con el aumento de la salinidad.

La FIGURA 6 presenta las características mineralógicas y ambientales asociadas a la relación caolinita/moscovita (illita) bajo condiciones de salinidad. Cuando la relación caolinita/moscovita es menor de 1,0 entonces existe una predominancia del ambiente marino, y si la relación es mayor de 1,0 habrá mayor influencia del ambiente no-marino. (Páez, et al. 1982) La FIGURA 7 presenta la relación caolinita/mosco-

vita(illita) para dos de las perforaciones realizadas en el área de estudio, una ubicada hacia el SW (perforación 5) y otra ubicada al NE del depósito de caolín (perforación 9). El depósito se comporta de la misma manera desde el nivel A hasta el nivel D y representa condiciones uniformes de depositación para todo el yacimiento; a partir del nivel D inician las diferencias y es la razón por la cual podemos dividir el depósito en dos zonas, una hacia el SW y otra hacia el NE.

El Nivel A posee una relación de caolinita/illita de 1,13, lo cual indicaría un ambiente de influencia no-marina, y señala el cambio hacia un ambiente de influencia más marina que inicia con la depositación del Nivel B, cuya relación caolinita/illita es de 0,40 (FIGURA 7). Estos dos niveles presentan lentes limo arcillosos de color gris oscuro que poseen cristales de pirita, posiblemente formados por reducción bacteriana de materia orgánica acumulada. La máxima influencia del ambiente marino se presenta en el Nivel C, este, carece de caolinita, pero es más rico en cuarzo, evidenciando que el ambiente marino tenía la energía suficiente para depositar las partículas de cuarzo y mantener en suspensión las partículas de moscovita y más aun la caolinita. La influencia marina disminuye a partir del Nivel C, mientras que la depositación del Nivel D presenta unas características similares a la del Nivel B; siendo la relación caolinita/illita del Nivel D igual a 0,29.

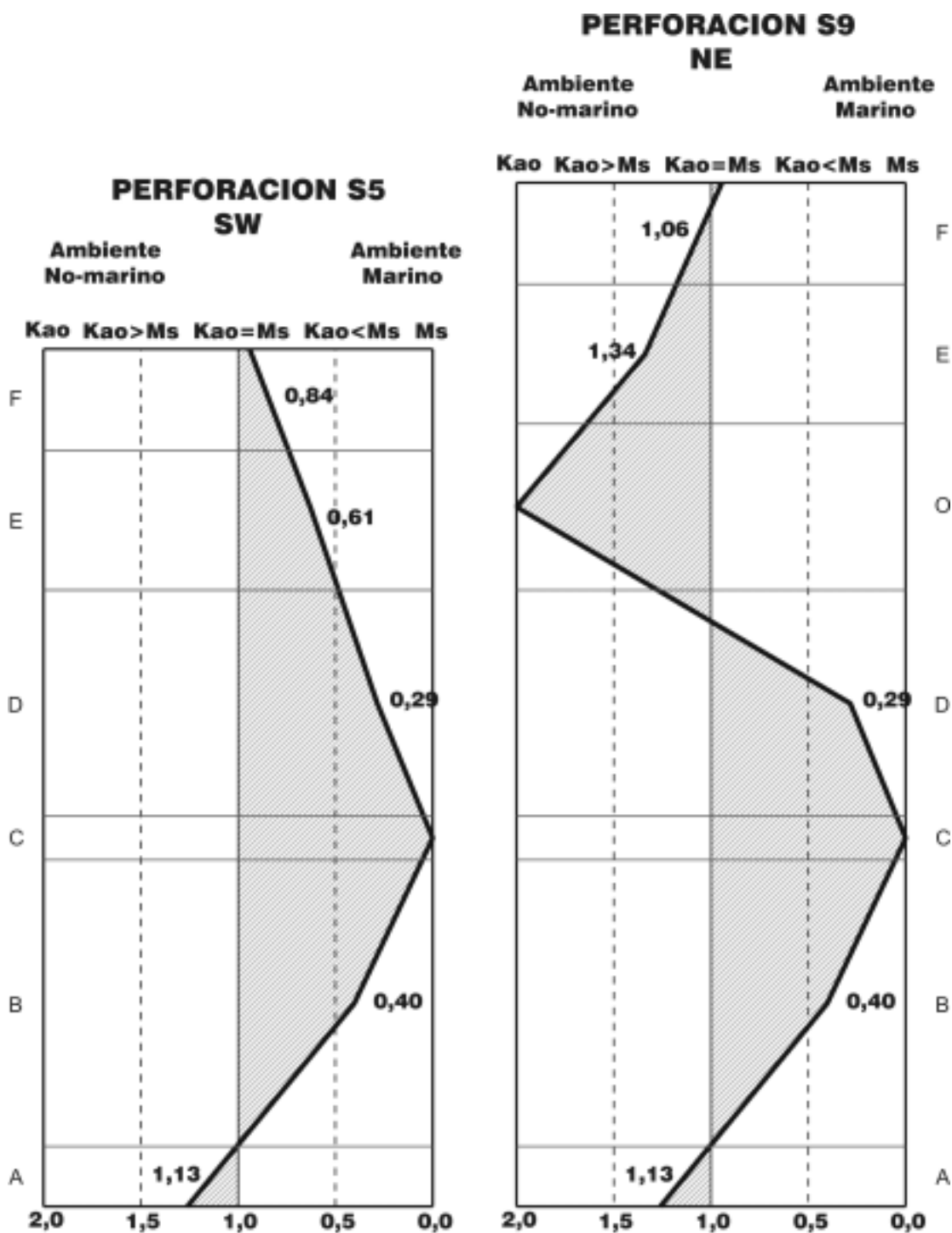
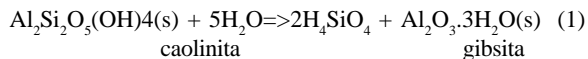


FIGURA 7. Relación caolinita(Kao)/moscovita(Ms) para cada uno de los niveles que componen el depósito de caolín de la Vereda Barroblanco (perforaciones S5 y S9).

Posterior a la depositación del Nivel D se establecen dos condiciones diferentes dentro del depósito de caolines; al NE se presenta la sedimentación de un Nivel Orgánico, mientras que al SW se deposita directamente el Nivel E sobre el Nivel D.

La depositación del Nivel Orgánico (O) ocurrió en condiciones continentales (FIGURA 7). La depositación del Nivel E se presentó en un ambiente marino hacia el SW (relación caolinita/illita de 0,61); mientras hacia el NE es más influenciado por un ambiente no marino (relación caolinita/illita de 1,34). La depositación del Nivel F tiende a homogenizarse, aunque hacia el SW la influencia marina es mayor que hacia el NE, siendo la relación caolinita/illita de 0,84 en el SW y de 1,06 en el NE.

De otro lado, la presencia de gibsita en los niveles O y F evidencia que estos, pudieron haber sido expuestos localmente a la acción de aguas lluvias, proceso que meteorizó intensamente el material depositado y en especial a la caolinita, lo que permitió la formación de gibsita mediante la reacción (1).



La descomposición bacteriana de la materia orgánica también produce un ambiente favorable para la cristalización de la caolinita y la pirita. Existe cierta correlación entre la formación de caolín y periodos de formación de carbón, porque supone que el CO₂ atmosférico que llega al suelo por acción de las lluvias reacciona con los materiales que favorecen la caolinización y la lixiviación del hierro en áreas pantanosas (Renzoni, 1985). La descomposición de la materia orgánica debe aumentar las condiciones de acidez, haciéndolas todavía más propicias para la reducción bacteriana del sulfato disuelto en un medio ambiente anóxico y reductor, y favoreciendo la formación de pirita (FeS + S⁰ => FeS₂).

USOS INDUSTRIALES

Actualmente los caolines de la Vereda Barroblanco se comercializan en bruto, lo que significa que al mineral no se le realiza ningún tipo de beneficio para mejorar su calidad, razón por la cual su uso se ve restringido a

la industria del estuco y a la fabricación de cerámica artesanal.

Los estudios geológicos, mineralógicos y químicos sirvieron de base para el diseño de las pruebas metalúrgicas de los caolines para establecer el uso más apropiado. Este estudio de procesamiento mineral consta de una serie de análisis y procesos de laboratorio que fueron seleccionados según los procedimientos utilizados actualmente a nivel mundial para la industria de minerales arcillosos. Las pruebas de beneficio mineral se enfocaron a obtener un caolín más puro y apto para la fabricación de cemento blanco, cerámicos y papel, destacándose entre otros los procesos de disgregación y desarenamiento por sedimentación (Laverde, et al. 2005).

Por otra parte, el producto obtenido del proceso de flotación inversa de anatasa (no-flotados), mostró que la composición química y granulométrica es adecuada para la industria del papel, sin embargo la blancura obtenida no es la apropiada para este tipo de industria. No obstante, el valor de blancura del mineral obtenido posteriormente al proceso de remoción de materia orgánica, se aproximó al requerido por la industria de las pinturas, por tal motivo podría pensarse en este tipo de aplicación. (Laverde, et al. 2005)

DISCUSION DE RESULTADOS

El depósito de caolín de la vereda Barroblanco fue estudiado para establecer características a ser tenidas en cuenta durante el procesamiento mineral, cuantificar recursos y definir las condiciones de formación. El depósito caolinífero de Barroblanco presenta rasgos distintivos prevalecientes, aunque no concluyentes de un depósito primario de acuerdo con la clasificación de Lorenz (1999), por lo tanto es necesario realizar más análisis tendientes a esclarecer el tipo de depósito.

Las condiciones de formación del depósito muestran una variación en la depositación de los niveles productores. El cambio en la sedimentación de influencia marina presente en los niveles B, C y D hacia una sedimentación más fluvial o continental (no-marina) en los niveles O, E y F, es más acentuado hacia el NE del depósito y, corresponde al cambio ambiental des-

crito por Renzoni (1985) para los niveles caoliníferos de la Formación La Cumbre de condiciones marinas a ríos de alta sinuosidad, llanuras de inundación cubiertas de vegetación y localmente expuestas al aire, en donde se presenta un enriquecimiento en la depositación de la caolinita. Por otra parte, la diferencia en el contenido de caolinita de las zonas NE y SW del depósito demuestra la mayor depositación de la caolinita en ambientes de influencia fluvial (no-marina). Sin embargo, es necesario aclarar que aun en ambientes de predominancia fluvial es necesaria la presencia de aguas saladas (o marinas) para facilitar el proceso de floculación de la caolinita.

CONCLUSIONES

El depósito de caolines de la Vereda Barroblanco se localiza en la parte media de la Formación Cumbre y esta constituido por siete niveles de base a techo (A, B, C, D, O, E y F), todos ellos geológica y mineralógicamente diferenciables. Estos niveles además de caolinita presentan cuarzo, moscovita/illita, anatasa y ocasionalmente piritita y gipsita.

Los mejores niveles para la explotación de caolín, dados sus espesores, color y extensión son B y D, para los cuales se han calculado recursos medidos, indicados e inferidos cercanos a los 16 millones de toneladas.

Los niveles A, B, C y D fueron depositados en condiciones marinas; mientras que los niveles O, E y F fueron depositados en ambientes fluviales, como las presentadas en ríos de alta sinuosidad y llanuras de inundación expuestas al aire que permitieron la formación de cubiertas vegetales y gipsita.

La caracterización mineralógica de los caolines de Barroblanco fue tomada en cuenta para el diseño de los procesos de beneficio a partir de los cuales, se logró incrementar la calidad de esta materia prima mineral. El beneficio mediante disgregación y sedimentación determinan un uso más apropiado para este material en la producción de cemento blanco. La flotación mejora las propiedades del caolín permitiendo su aplicación en la industria de los cerámicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo financiero de la Universidad Industrial de Santander y COLCIENCIAS, mediante el proyecto de investigación 1102-06-14827 “Mejoramiento de la calidad de los caolines de Oiba (Santander) para la fabricación de cemento blanco, cerámicos y papel”. Igualmente, los autores agradecen a dos revisores anónimos, cuyos comentarios y observaciones ayudaron a mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- BERDUGO, C. (1993). Evaluación geológica – minera de los yacimientos de arcillas de la Vereda Gambita Viejo, Municipio de Gambita (Santander). Fondo de Desarrollo Industrial de Santander.
- CASTELLANOS, M. (1989). Prospectiva de procesos químicos para los minerales de caolín y yeso de la Provincia Guanentina. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander.
- FRIEDMAN, G. & SANDERS, J. (1981). Principles of Sedimentology. John Wiley and Sons. New Cork, 199p.
- LAVERDE, D., et al. (2005). Mejoramiento de la Calidad de los Caolines de Oiba (Santander), para la Fabricación de Cemento Blanco, Cerámicos y Papel. Colciencias. Proyecto 8469.
- LORENZ, W. (1999). Mineral Raw Material. Institut für Geologie und Paläontologie. Sigwartstr. Tunbingen, part. II. 136p.
- MENDOZA, H. (1985). La Formación Cumbre. Modelo de Tránsito Marina Rítmica de Comienzos del Cretácico. En: Etayo - Serna. Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales. Ingeominas. Bogotá. N° 16. Capítulo IX.
- NAVARRO, W. (1991). Caracterización físico-química del yacimiento caolinítico de Macanal (Santander) y su aplicación industrial. Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander.
- PAEZ, F., FERNANDEZ, H. & MANDELLI, E. (1982). Mineralogía de los sedimentos de un núcleo de la Laguna Mitla, Guerrero, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. Pp. 1-10.

- PORTILLA, M. (1989). Exploración Geológica y Cálculo de Reservas Probables de Arcilla y Yeso, con Fines Industriales en la Provincia de Guanenta. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander.

- RENZONI, G. (1985). Paleoambientes en las Formaciones Arcabuco y Cumbre de la Cordillera de Los Cobardes. En: Etayo - Serna. Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales. Ingeominas. Bogota. N° 16. Capítulo X.

- RODRIGUEZ, R. & RODRIGUEZ, D. (1998). Evaluación Geológico – Económica para un sector del Yacimiento de Caolín de la Vereda Barroblanco, Municipio de Oiba, Santander. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander.

- TABOADA, A. (2000). Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and Intracontinental Deformation (Colombia). *Tectonics*, Vol. 19. N° 5, pp. 787 - 813.

- VAUGHAN, W. & FELDERHOF, S. (2002). International Mineral Resource and Mineral Reserve Classification and Reporting Systems. In: 48th Annual Rocky Mountain Mineral Law Institute, Lake Tahoe, Nevada. July 24 - 26, 2002.

- VILLANUEVA, L. (1992). Diseño de un sistema de beneficio de caolines de Oiba (Santander), utilizados como materia prima en la utilización de cemento blanco. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander.

Trabajo recibido: agosto 10 de 2006
Trabajo aceptado: noviembre 3 de 2006