

ASPECTOS GEOLOGICOS Y MINERALOGICOS DE LOS CAOLINES DE
OIBA (SANTANDER): CARACTERIZACION CON FINES INDUSTRIALES.

Autores:

EDITH KATHERINE JEREZ HEREDIA

ALEJANDRO SILVA ARIAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
GRUPO DE INVESTIGACION MINPETGEO
BUCARAMANGA

2005

ASPECTOS GEOLOGICOS Y MINERALOGICOS DE LOS CAOLINES DE
OIBA (SANTANDER): CARACTERIZACION CON FINES INDUSTRIALES.

Autores:

EDITH KATHERINE JEREZ HEREDIA

ALEJANDRO SILVA ARIAS

Trabajo de Grado como requisito para optar al Titulo de
GEOLOGO

Director:

CARLOS ALBERTO GARCIA R.

Geólogo, PhD en Geología y Mineralogía

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
GRUPO DE INVESTIGACION MINPETGEO
BUCARAMANGA

2005

A Dios, por iluminarme y darme fortaleza

A mi mami, por apoyarme siempre

A Johis, por su sabiduría y comprensión

A mis amigas, Lili, Juli, Anama por tantos momentos agradables y bien vividos

A Yeso, por confiar y creer en mi...

CON CARIÑO

EDITH KATHERINE JEREZ HEREDIA

El eterno agradecimiento a mis padres Eladio Silva Murcia y Margarita Arias de Silva, a mis hermanos y mi familia por el cariño, el ejemplo, la motivación, el apoyo y el esfuerzo realizado para que pudiera alcanzar los objetivos planteados durante esta etapa de mi vida.

A Carolina Rey por ser el motivo que me impulsa a seguir adelante, y que me fortalece para alcanzar mis metas.

ALEJANDRO SILVA A.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y Colciencias por haber financiado este proyecto.

Al Profesor Carlos Alberto García R. por sus indicaciones, consejos, sugerencias y tiempo dedicado durante la realización del presente trabajo de grado.

Al Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente por haber facilitado sus instalaciones y equipos. De igual forma se agradece a todo el equipo interdisciplinario por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

A los pobladores de la Vereda Barroblanco y la Cooperativa Agro-minera de Barroblanco por facilitarnos la actividad de campo vital para la culminación del proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO	19
2. ANTECEDENTES	24
3. OBJETIVOS	30
3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	30
4. METODOLOGÍA	31
4.1 PRE – CAMPO	31
4.2 CAMPO	31
4.2.1 Frentes de explotación	31
4.2.2 Perforaciones con barreno	32
4.3 LABORATORIO	36
4.4 OFICINA	37
5. MARCO GEOLOGICO REGIONAL	38
5.1 ESTRATIGRAFÍA	40
5.2 ESTRUCTURAS	46
6. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	50
6.1 ESTRATIGRAFIA	51
6.1.1 Formación Cumbre	51
6.1.2 Formación Rosablanca	53
6.1.3 Formación Paja (Miembro arenoso)	54
6.1.4 Depósito Aluvial	55
6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	56
6.2.1 Pliegues	56

6.2.2 Fallas	56
6.2.3 Diaclasas	57
7. GEOLOGIA DEL DEPOSITO DE CAOLIN	58
7.1 NIVEL A	59
7.2 NIVEL B	60
7.3 NIVEL C	63
7.4 NIVEL D	64
7.5 NIVEL O	67
7.6 NIVEL E	70
7.7 NIVEL F	72
8. CUANTIFICACION DE RECURSOS	74
9. CONDICIONES DE FORMACION DEL DEPOSITO	80
9.1 CARACTERIZACIÓN GENETICA	80
9.2 CARACTERIZACIÓN PALEOAMBIENTAL	87
10. METODO DE EXPLOTACION	100
11. USOS PARA EL CAOLIN	105
12. CONCLUSIONES	111
13. RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFIA	114
ANEXOS	118

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Composición mineralógica de la Formación Cumbre.	53
TABLA 2. Análisis mineralógico de la fracción lodosa del Nivel A.	59
TABLA 3. Análisis químico del Nivel A.	60
TABLA 4. Análisis mineralógico del Nivel B.	62
TABLA 5. Análisis químico del Nivel B.	63
TABLA 6. Análisis mineralógico del Nivel C.	64
TABLA 7. Análisis químico del Nivel C.	64
TABLA 8. Análisis mineralógico del Nivel D.	66
TABLA 9. Análisis químico del Nivel D.	66
TABLA 10. Análisis mineralógico del Nivel Orgánico.	69
TABLA 11. Análisis químico del Nivel Orgánico (O).	69
TABLA 12. Análisis mineralógico del Nivel E.	71
TABLA 13. Análisis químico del Nivel E.	71
TABLA 14. Análisis mineralógico del Nivel F.	73
TABLA 15. Análisis químico del Nivel F.	73
TABLA 16. Calculo de recursos minerales medidos en el área de la Vereda Barroblanco.	77
TABLA 17. Calculo de recursos minerales indicados en el área de la Vereda Barroblanco	77
TABLA 18. Calculo de recursos minerales inferidos en el área de la Vereda Barroblanco	78
TABLA 19. Clasificación del tamaño de los depósitos de caolín.	79
TABLA 20. Composición mineralógica y química de caolines en bruto.	81

TABLA 21. Tipos de depósito de caolín.	82
TABLA 22. Composición Mineralógica para los niveles del depósito de caolín.	89
TABLA 23. Características de un proceso de meteorización química (hidrólisis).	91
TABLA 24. Resultados del proceso de disgregación y sedimentación.	107
TABLA 25. Resultados del proceso de flotación y lixiviación.	108

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Localización del área de estudio.	20
FIGURA 2. Esquema de explotación por terraceo del frente S11; a) ejemplo del canal realizado para la toma de muestras en los frentes de explotación.	32
FIGURA 3. Localización de las perforaciones realizadas en la Vereda Barroblanco (S4 – S10); además de algunos frentes de explotación (S14 y S15).	33
FIGURA 4. A) Equipo de perforación manual, con sus 5 segmentos de tubería; B) Detalle del Barreno Helicoidal.	34
FIGURA 5. Mapa geológico generalizado de la Cordillera Oriental.	39
FIGURA 6. Esquema estratigráfico de la sección sedimentaria del Jurásico Medio y Cretácico Inferior en el Municipio de Oiba.	50
FIGURA 7. Espesor de la Formación Rosablanca en la Vereda Barroblanco, determinada mediante el método de la poligonal.	54
FIGURA 8. Ocurrencia de los Niveles B, C, D y lente limo arcilloso gris oscuro en el frente de explotación S11.	61
FIGURA 9. Ocurrencia de los niveles D, O y E en el frente de explotación S13.	68
FIGURA 10. Categorización de recursos minerales para el depósito de caolines de la Vereda Barroblanco.	78
FIGURA 11. Relación caolinita/moscovita(-illita) y sus implicaciones ambientales.	94

FIGURA 12. Composición mineralógica y relación de caolinita/moscovita(illita) para los niveles de la perforación S9.	95
FIGURA 13. Composición mineralógica y relación de caolinita/moscovita(illita) para los niveles de la perforación S5.	96
FIGURA 14. Frente de explotación S11 previamente descapotado.	101
FIGURA 15. Explotación en el Frente S13 de la Vereda Barroblanco.	102
FIGURA 16. Frente de Explotación Abandonado.	104
FIGURA 17. Esquema del sistema de beneficio evaluado a nivel de laboratorio.	109

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Mapa topográfico (Esc 1:10.000) con localización de perforaciones, sitios de muestreo y frentes de perforación.	119
Anexo B. Mapa geológico del área de estudio.	120
Anexo C. Difractogramas e intensidades de las muestras obtenidas en la Formación Cumbre y depósitos aluviales.	121
Anexo D. Cortes geológicos del depósito de caolines de la Vereda Barroblanco.	128
Anexo E. Perfiles de perforación.	129
Anexo F. Difractogramas e intensidades de las muestras obtenidas por perforación del depósito de caolines.	141

TITULO: ASPECTOS GEOLOGICOS Y MINERALOGICOS DE LOS CAOLINES DE OIBA (SANTANDER): CARACTERIZACION CON FINES INDUSTRIALES. *

AUTORES: EDITH KATHERINE JEREZ HEREDIA
ALEJANDRO SILVA ARIAS **

PALABRAS CLAVES:

Caolín, Vereda Barroblanco, Descripción Geológica, Recursos.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente los caolines de la Vereda Barroblanco (Municipio de Oiba, Santander) son explotados rudimentariamente y se comercializan sin ningún tipo de beneficio que aumente el valor agregado de esta materia prima mineral. Por este motivo se planteó la necesidad de caracterizar desde el punto de vista geológico y mineralógico este depósito de caolines, lo que finalmente permitió definir un uso más apropiado de este mineral dentro de la industria. Este objetivo se logró mediante la descripción geológica y mineralógica del depósito, la definición de su ambiente de depositación y la cuantificación de los recursos de caolín dentro del área de estudio.

El depósito de caolín de la Vereda Barroblanco forma parte de un nivel intermedio caolinífero de la Formación (Fm.) Cumbre (Segmento D) compuesto por una secuencia de areniscas cuarzosas con un 30% de matriz caolinítica, lodolitas y arcillolitas caoliníticas y aflora a lo largo del Anticlinal de Cerro Negro. Los minerales identificados son: Cuarzo, moscovita/illita, caolinita, Anatasa, gipsita y amorfos.

El depósito presenta una forma tabular regular y está constituido por siete niveles. Debido a las características texturales, espesor, color y distribución; existen dos niveles que pueden ser explotados y que presentan una cantidad de recursos estimada en cerca de los 16 millones de toneladas.

Las propiedades mineralógicas y químicas del caolín después de procesos de beneficio desarrollados en el laboratorio, muestran que dicho material puede ser empleado en la fabricación de cemento blanco y de cerámica de calidad.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Físico-Químicas, Escuela de Geología, PhD. Carlos Alberto García R.

TITLE: GEOLOGIC AND MINERALOGICAL ASPECTS OF THE KAOLINS OF OIBA (SANTANDER): CHARACTERIZATION WITH INDUSTRIAL PURPOSES. *

AUTHORS: EDITH KATHERINE JEREZ HEREDIA
ALEJANDRO ARIAS SILVA * *

KEY WORDS:

Kaolin, Vereda Barroblanco, Geologic Description, Resources.

DESCRIPTION:

Nowadays the kaolin of the Vereda Barroblanco (Municipio de Oiba, Santander) are rudimentarily exploited and marketed without any kind of benefit that may increase the added value of this mineral raw material. For this reason, we established the necessity to characterize from a geologic and mineralogical approach this deposit of kaolin, which finally allowed us to define a more appropriate use of this mineral inside industry. This objective was achieved by means of a geologic and mineralogical description of the deposits, the definition of its environmental deposit, and the quantification of the kaolin resources inside the area of study.

The deposit of kaolin at the Vereda Barroblanco is part of an intermediate kaolinitic level of the Cumbre Formation composed of a sequence of quartz sandstones with 30% of kaolinitic matrix, mudstones and kaolinitic clays and that outgrows along the Cerro Negro Anticline. The identified minerals are: quartz, muscovite/illite, kaolinite, anatase, gibbsite and amorphous.

The deposit presents a regular tabulate shape and constituted by seven levels. Due to the textural characteristics, thickness, color and distribution, there exists two levels that can be exploited and that presents a great deal of resources estimated in about 16 million tons.

The mineralogical and chemical properties of the kaolin after processes of benefit develop in the laboratory show that such material can be used in the production of white cement and ceramic of quality.

*Project of Grade

** Faculty of Physical-chemical Engineering, School of Geology, PhD. Carlos Alberto García R.

INTRODUCCION

En Colombia se conocen mineralizaciones de caolín en diferentes lugares de nuestra geografía. En el Departamento de Santander se encuentran yacimientos y manifestaciones de caolín, en los municipios de: Aratoca, Bucaramanga, California, Charalá, Gámbita, Lebrija, Los Santos, Oiba, Piedecuesta, Toledo y otros.

Uno de los depósitos que más ha llamado la atención es el yacimiento de caolín localizado en el Municipio de Oiba. Desde hace varios años el caolín de esta región ha sido extraído rudimentariamente y comercializado sin ningún proceso de beneficio que mejore su calidad; por este motivo, sus aplicaciones son muy limitadas.

Para que este yacimiento de caolines sea rentable, debe ser explotado y beneficiado con el fin de generar un producto de caolín más puro, fino, de mejor calidad y con un contenido considerable de caolinita. Con estas consideraciones, el caolín puede ser usado como materia prima mineral dentro de una gran variedad de industrias con elevados requerimientos de materiales arcillosos de alta calidad (cerámicas de alta calidad, papel, etc.)

El presente trabajo de grado es parte integral del proyecto de investigación "Mejoramiento de la calidad de los caolines de Oiba (Santander), para la fabricación de cemento blanco, cerámicas y papel" (Proyecto 8469), el cual fue financiado por Colciencias y tiene carácter interdisciplinario, agrupando especialistas de las escuelas de ingeniería química, ingeniería metalúrgica y geología (Grupo MINPETGEO).

El aporte del área de la geología consistió en la caracterización geológica del depósito, determinación de su mineralogía, condiciones de formación y cálculo de recursos.

1. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

El Municipio de Oiba se encuentra localizado a 151Km al S de Bucaramanga y forma parte de la Provincia Comunera del Departamento de Santander. Al municipio se puede llegar a través de la vía B/manga – Tunja, en un viaje de aproximadamente de 3 horas desde la capital santandereana. El Municipio de Oiba tiene un área de 287Km² y se encuentra dentro del cuadrángulo I-12, plancha 151. (Figura 1)

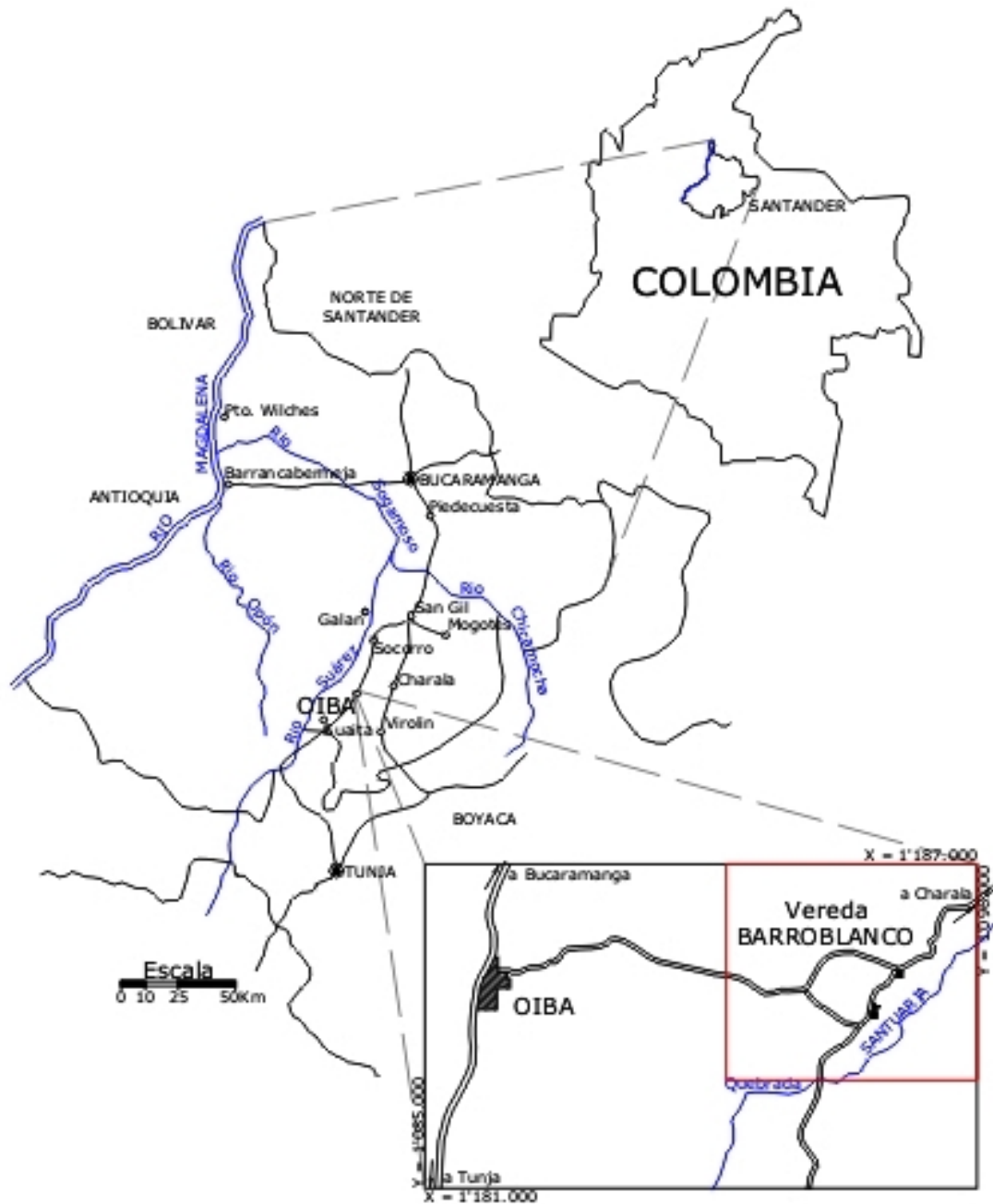
La Vereda Barroblanco se encuentra hacia el E del Municipio de Oiba, y esta ubicada en las planchas 151-II-C-1 y 151-II-C-3 del IGAC y limitada por las coordenadas X: 1'183.000 – 1'187.000 y Y: 1'091.000 – 1'096.000. La altura promedio sobre el nivel del mar de esta zona es de 1750m. La principal vía de acceso es la carretera que une el Municipio de Oiba con el Municipio de Charalá, situado hacia el E (Figura 1). Esta vía atraviesa el área de estudio en dirección W – E y no se encuentra pavimentada, razón por la cual puede ser difícil de transitar debido a la alta pluviosidad del área y a la composición arcillosa del carreteable.

Vegetación Silvestre

El Municipio de Oiba corresponde al Orobioma de Selva Subandina. Este comprende las selvas Subhigrofiticas del Cinturón Cafetero y Marginal Cafetero del Departamento de Santander. La singular conformación topográfica y la presencia del óptimo pluviométrico propicia la proliferación de Epifitas vasculares, presencia de troncos rectos, cortezas lisas, estrato arbustivo y herbáceo con predominancia de helecho común y arbóreo (Casafranco & Carrizosa, 1991). Estos bosques nativos han sido reemplazados en la actualidad por pastos para

ganadería y por pequeños cultivos de caña de azúcar destinados a la producción panelera.

FIGURA 1. Localización del área de estudio.



Modificado de Portilla (1989), y Rodríguez & Rodríguez (1998).

Clima

El Municipio de Oiba pertenece al Piso Bioclimático Subandino – Subhúmedo, el cual se caracteriza por pendientes $>25^\circ$ y por presentar procesos erosivos de reptación, escurrimiento superficial hipodérmico, disección de surcos y movimientos de masa superficiales; además forma parte de la Provincia Subhúmeda Alta caracterizada por una precipitación anual para el Municipio de Oiba, de 3200 a 3500mm y una humedad relativa del 70 – 80%. La temperatura ambiental varía entre 17 y 22°C. El municipio posee un Balance Hídrico de Consumo (Casafranco & Carrizosa, 1991).

Hidrogeología

El Régimen Hidrogeológico (de circulación) es de tipo Superficial – Intenso, e Impermeable. Este se caracteriza por filtraciones mínimas y circulación superficial de agua de carácter torrencial.

La esorrentía acelerada de esta zona es la causa de las grandes avenidas del Río Suárez; y determina que el río mantenga casi siempre una carga sólida abundante. Este tipo de régimen causa los mayores problemas de inestabilidad, como en el sector de la carretera Barbosa – Oiba o Velez – Landazuri. Este régimen de circulación para el Municipio de Oiba, está dominado por rocas sedimentarias arcillosas impermeables, (Formación Paja) que ocupan áreas topográficas suaves, generadas por su misma constitución litológica (Casafranco & Carrizosa, 1991).

Cuencas Hidrográficas

El Municipio de Oiba forma parte de la Cuenca del Río Suárez y de la Subcuenca del Río Oibita.

La Cuenca del Río Suárez posee una extensión total de 982.300Has y al Departamento de Santander le corresponden 348.256Has o sea el 35,25% del área total de la cuenca. El 64,75% restante pertenece al Departamento de Boyacá. El cauce tiene una pendiente Media desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Río Sogamoso, y una altura máxima de 3700m y mínima de 700msnm. El caudal multianual es de 195m³/seg (Casafranco & Carrizosa, 1991).

La subcuenca del Río Oibita tiene un área de 59.400Has y el Municipio de Oiba cubre el 44,42% de la subcuenca. Su altura máxima es de 3800m y la mínima es de 1050msnm. El caudal medio del Río Oibita es de 47m³/seg (caudal máx. 151,98m³/seg y caudal min. 14,93m³/seg). La longitud total del drenaje es de 120km (longitud de la corriente: 50Km) (Casafranco & Carrizosa, 1991).

Suelos

En el Municipio de Oiba se encuentran suelos de tipo DYSTROPEPTS y TROPORTHENTS (Uf), que se caracterizan por ser suelos de clima medio, húmedo y muy húmedo, en relieve quebrado, modelados estructuralmente con influencia torrencial, moderados a poco evolucionados, superficiales, pedregosos, con contenido medio de materia orgánica, ácidos, enriquecidos en Al, desaturados, lavados y bien estructurados (Casafranco & Carrizosa, 1991). Estos tipos de suelos corresponden a unidades geomorfológicas de frentes de planos estructurales y depósitos coluviales, con relieves entre 25 – 50%.

Geomorfología

La geomorfología del Municipio de Oiba se debe a un modelado Torrencial en rocas sedimentarias (RTH), que genera procesos erosivos

de intensidad media de tipo: coluvión, cono, reptación, solifluxión, nichos y hundimientos. La unidad geomorfológica es de tipo coluvión y conos sobre planos estructurales inclinados. Topográficamente el área se puede clasificar como: plana – ondulada (7 – 12%).

La zona posee depósitos no consolidados sobre lutitas y areniscas; la alteración presente en la zona es: bioquimismo, hidrólisis, carbonatación y complejación. El tipo de transporte es masivo por infiltración (Casafranco & Carrizosa, 1991).

Fisiografía

El área del Municipio de Oiba se encuentra entre la Falla del Suárez al W y el Macizo de Santander hacia el E. Posee un relieve montañoso constituido por colinas y montañas elongadas en dirección aproximada N – S siguiendo el tren estructural regional con pendientes transversales rectilíneas inclinadas y simétricas, pues en general siguen el plano de estratificación y buzamiento de las capas (Portilla, 1989). Los cerros sobresalientes en esta zona corresponden a la presencia de un subsuelo conformado por rocas sedimentarias del Cretácico Inferior (Ki) como las formaciones: Rosablanca y Paja (VMM) que son resistentes a la erosión. Los cauces de los principales ríos de la zona corren paralelos a las estructuras regionales, excepto el río Oibita que lo hace en dirección E – W. En el área de la Vereda Barroblanco (Anticlinal de Cerro Negro) debido al carácter litológico arcilloso, el drenaje es dendrítico y densamente espaciado; por el contrario, tanto al W como al E de Cerro Negro es subparalelo, siguiendo los plano de estratificación de las rocas presentes (Portilla, 1989).

2. ANTECEDENTES

Los caolines y las arcillas en general, dadas sus múltiples aplicaciones han sido objeto de numerosos trabajos de investigación. A continuación examinaremos el estado del arte en lo relacionado con los aspectos geológicos y mineralógicos de los caolines, en el contexto internacional y nacional.

A nivel mundial se destacan los trabajos de: Lorenz, W. (1999), quien trata tópicos generales sobre minerales industriales, como clasificación de los depósitos según su origen, procesos de producción, mercados, describe los diferentes tipos de extracción y beneficio de minerales industriales, sus usos y algo de su implicación ambiental. Realiza además un apartado sobre arcillas, tratando temas como el origen de depósitos caoliníticos, sus rangos de aplicación, requerimientos para el procesamiento de caolines en las diferentes áreas de la industria, clasificaciones según su tamaño de grano y propiedades físicas de las arcillas.

Gómez I., Bellinfante N. y Mesa J., investigadores de la Universidad de Sevilla encontraron nuevas alternativas para la fabricación de loza blanca, creando una nueva pasta industrial, mezcla de pizarras aluminicas con elevado contenido de pirofilitas, materias arcillosas plásticas (caolín) y no plásticas (cuarzo, talco, dolomita y carbonato de calcio), que posee contenidos de óxidos de hierro y de titanio menores o iguales al 1%, sus propiedades no exceden en más del 3% de las de la pasta original normalmente empleada en la industria cerámica.

Esta pasta de nueva formulación disminuye los costos de producción y mejora los resultados de fabricación. (www.investigacion.us.es)

Galán, E. (2001) en su publicación sobre materias primas y métodos de producción de materiales cerámicos, desarrolla un capítulo enfocado a caolines cerámicos y arcillas caoliníticas; en el 2003 realiza diversas publicaciones de mineralogía aplicada sobre arcillas especiales: caolines y arcillas caoliníticas, bentonitas, palygorskita y sepiolita. (www.investigacion.us.es)

Hart R., Pierre T. y Gilkes R., (2002). Estudian los caolines provenientes de Indonesia y el W de Australia, empleando espectroscopia de Mossbauer, resonancia paramagnética electrónica (EPR), espectroscopia y magnetometría. Según los resultados obtenidos por el espectro Mossbauer el hierro presente en los caolines está en estado de oxidación de +3, y una larga fracción de hierro está presente como átomos dispersos dentro de los octaedros de la estructura cristalina de la caolinita. La susceptibilidad magnética de los caolines de Indonesia, indican un comportamiento paramagnético a temperaturas por debajo de 5°K. Por otra parte los caolines del W de Australia, mostraron la presencia de un material algo magnético a temperaturas de 200 a 250°K.

Chandrasekhar S. y Ramaswamy M., (2002). Tratan las propiedades de los caolines de China que por su fino tamaño de grano, brillantez, blancura, propiedades químicas y estructurales son empleados en múltiples industrias. Especifica que las impurezas presentes en el caolín (ferruginosas y titano-ferruginosas) afectan sus propiedades.

Propone que el caolín sea tratado termalmente, pues cuando es sometido a una temperatura específica, genera productos de significado industrial llamado "caolín calcinado" con características como alta brillantez, hidrofobicidad, abrasivo natural y mejoran sus propiedades eléctricas. Realiza también la comparación de muestras de caolines de la India que poseen génesis diferentes, uno proveniente del distrito de Thiruvananthapuram (Kerala) y el otro del distrito Kutch (Gujarat) concluyendo que éste último es de menor calidad debido a las impurezas ferruginosas y titano-ferruginosas, sujetas a altos gradientes de separación magnética. Las muestras fueron calcinadas a 1100°C, para determinar sus propiedades ópticas, pH, densidad verdadera y aparente, y la distribución del tamaño de partícula.

Hart R., Wiriyakitnateekul W. y Gilkes R., (2003) caracterizaron los caolines de Tailandia, por medio de análisis de muestras con microscopio electrónico, difracción de rayos X, análisis ferro-gravimétricos y análisis químicos. Los caolines muestran una variedad de morfologías cristalográficas. Reporta contenidos de hierro total amorfo u orgánico y vermiculita en menor cantidad. Con base en lo anterior los autores realizan una comparación entre los caolines de Tailandia, Australia e Indonesia, concluyendo que los caolines de Tailandia presentan diferente origen a los de Australia e Indonesia.

Los principales trabajos realizados en el ámbito nacional y regional se destacan a continuación.

Portilla M. (1989), describe arcillas en el Anticlinal de Cerro Negro (Oiba, Santander), determinando en esta estructura cuatro sitios de acumulación del material arcilloso, los cuales son: El Cairo, San Lorenzo,

Macanal y Barroblanco mostrando su localización, tamaño y ocurrencia geológica. Sobre los depósitos de la Vereda Barroblanco, describe un perfil general del depósito de arcilla; elige de éste perfil, cuatro muestras a las que les realiza análisis físico-químicos, determina límites líquido y plástico en mezcla de muestras de Barroblanco y Macanal, y con base en esto determina sus aplicaciones industriales. El cálculo de reservas está dado por el método geométrico de Áreas y Factores promedio; se calculan reservas probables por medio de observaciones geológicas de campo realizadas a distancias de 300 a 500m, y en el que se carece de perforaciones. Total de reservas probables in situ: El Cairo 4.972,00Ton; San Lorenzo 172.972,80Ton; Macanal 32'834.140,63Ton; Barroblanco 22'171.875Ton dando un total de reservas probables de 55'183.960,00Ton. Así mismo, en este trabajo se realizaron por el mismo método de cálculo de reservas probables in situ de yeso para el borde NW de La Mesa de Barichara, principalmente en los depósitos de Mina Vieja (1'713.413,461Ton) y Mina Nueva (1'148.094,985Ton).

Además fueron levantadas columnas estratigráficas en las quebradas Garabateca y Guasarabara y en los depósitos de Mina Vieja y Mina Nueva para correlaciones estratigráficas.

El anterior trabajo está enfocado al cálculo de reservas probables e incluye nuestra área de estudio (Vereda Barroblanco); pero en el que no se ha realizado un estudio geológico más detallado, que proporcione variaciones físico-químicas en las dimensiones verticales y horizontales del yacimiento, tampoco se han realizado los suficientes análisis químicos y mineralógicos que caractericen el mineral, y no se propone un modelo geológico que explique detalladamente la génesis del depósito.

Rodríguez R. y Rodríguez D. (1998), realizan la evaluación geológico-económica para un sector del yacimiento de Caolín de la Vereda Barroblanco, efectúan una cartografía geológica a escala 1:500 para un sector del área de estudio, allí mismo realizan el cálculo de reservas probadas apoyadas en tres perforaciones cuya máxima distancia entre ellas no excede los 200m, cortes geológicos del yacimiento de hasta 6m de profundidad, finalmente plantean un modelo de explotación por medio de un sistema de terrazas y una planta modelo para el beneficio del mineral.

Otros trabajos a nivel local ubicados principalmente en zonas aledañas, intentan caracterizar el mineral y proponen cierto tipo de beneficio. Pueden citarse los trabajos de Castellanos M., (1989) que realiza una prospectiva de procesos químicos para los minerales de Caolín y yeso de la Provincia Guanentina; Navarro W., (1991) caracterizó fisico-químicamente el yacimiento caolinítico de Macanal y propone una aplicación industrial para el mismo, debido a que los depósitos de Macanal están muy cercanos a los de Barroblanco, es de gran interés analizar el origen y ambiente otorgado a dicho yacimiento. Villanueva L., (1992) realiza el diseño de un sistema de beneficio para los caolines de Oiba, enfocados hacia la industria del cemento blanco.

Berdugo C., (1993) para el Fondo de Desarrollo Industrial de Santander, realiza 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 nuestro estudio.

El análisis de la bibliografía existente para el área de estudio muestra que si bien se han realizado trabajos geológicos, estos se han centrado en descripciones generales de los depósitos de Caolín, análisis químicos cualitativos y cuantitativos realizados a pocas muestras representativas del depósito, cálculo de reservas, distribución del yacimiento, usos industriales, y algunas propuestas de explotación, por lo anterior, aun no se tiene un conocimiento profundo de la morfología del depósito, su continuidad lateral y profundidad. No existe una caracterización rigurosa de la composición mineralógica y química de los caolines que permita precisar su uso en la industria.

3. OBJETIVOS

Caracterizar desde el punto de vista geológico y mineralógico el yacimiento de caolín de Oiba (Santander); con el propósito de clasificar y caracterizar su uso en la industria.

3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir la composición mineralógica, de los caolines de Oiba (Santander).
- Establecer el ambiente de depositación y la distribución de los caolines del Municipio de Oiba (Santander).
- Determinar los recursos de caolín en la Vereda Barroblanco (Municipio de Oiba).
- Clasificar geológica y tecnológicamente los caolines de Oiba.
- Establecer el uso más adecuado de esta materia prima mineral dentro de la industria, de acuerdo con sus propiedades geológicas, geoquímicas y tecnológicas.

4. METODOLOGÍA

4.1 PRE - CAMPO

El trabajo de pre-campo comienza con la recopilación y el análisis de la información existente para el área de estudio (Municipio de Oiba) como: cartografía topográfica y geológica, fotografías aéreas, e informes y publicaciones geológicas; esto con el fin de programar el trabajo a desarrollar en campo, y de conocer los anteriores estudios realizados en el área.

4.2 CAMPO

Se realizó una primera etapa de campo que permitió desarrollar las actividades de: reconocimiento del área, recopilación de datos estructurales y de toma de muestras.

La base cartográfica empleada para el desarrollo de las perforaciones en el área, fue tomada del trabajo de Rodríguez R. & Rodríguez D. (1998), a escala 1:500.

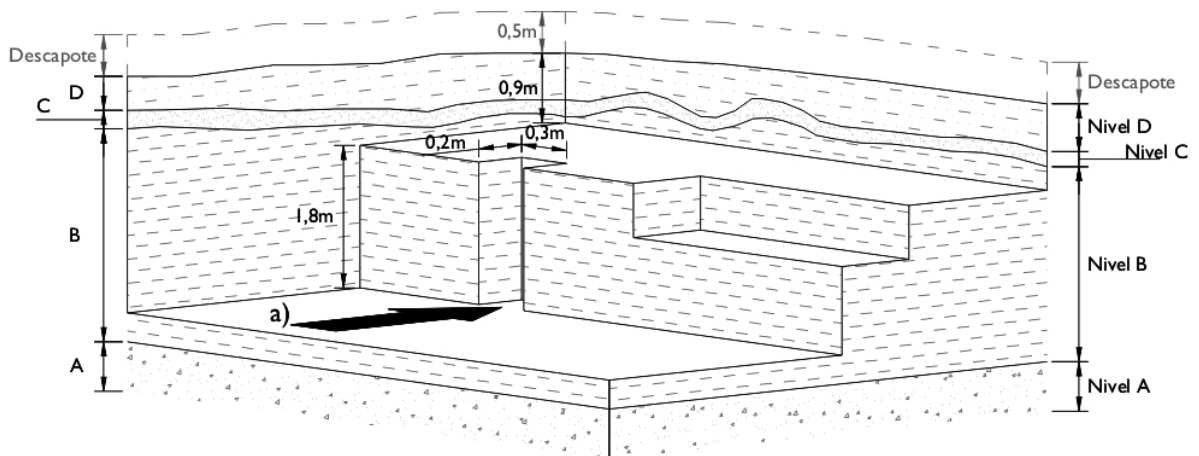
Las muestras fueron tomadas en los frentes de explotación y mediante las perforaciones con el barreno, así: (Anexo A)

4.2.1 Frentes de explotación. Aprovechando el método de explotación desarrollado en los frentes (Terraceo); las muestras fueron extraídas por medio del método de canal, de manera que se documentaran cada uno de los niveles presentes en el frente de explotación.

Esto se realizo construyendo canales de dimensiones precisas (30x20cm) y sacando la muestra de forma descendente, debido a que facilitaba la extracción de esta y se hacia de forma muy similar a como se extraen los bloques de caolín para su comercialización (Figura 2). Además del muestreo de cada uno de los niveles se realizo: la descripción macroscópica, análisis de los contactos y medición de los espesores.

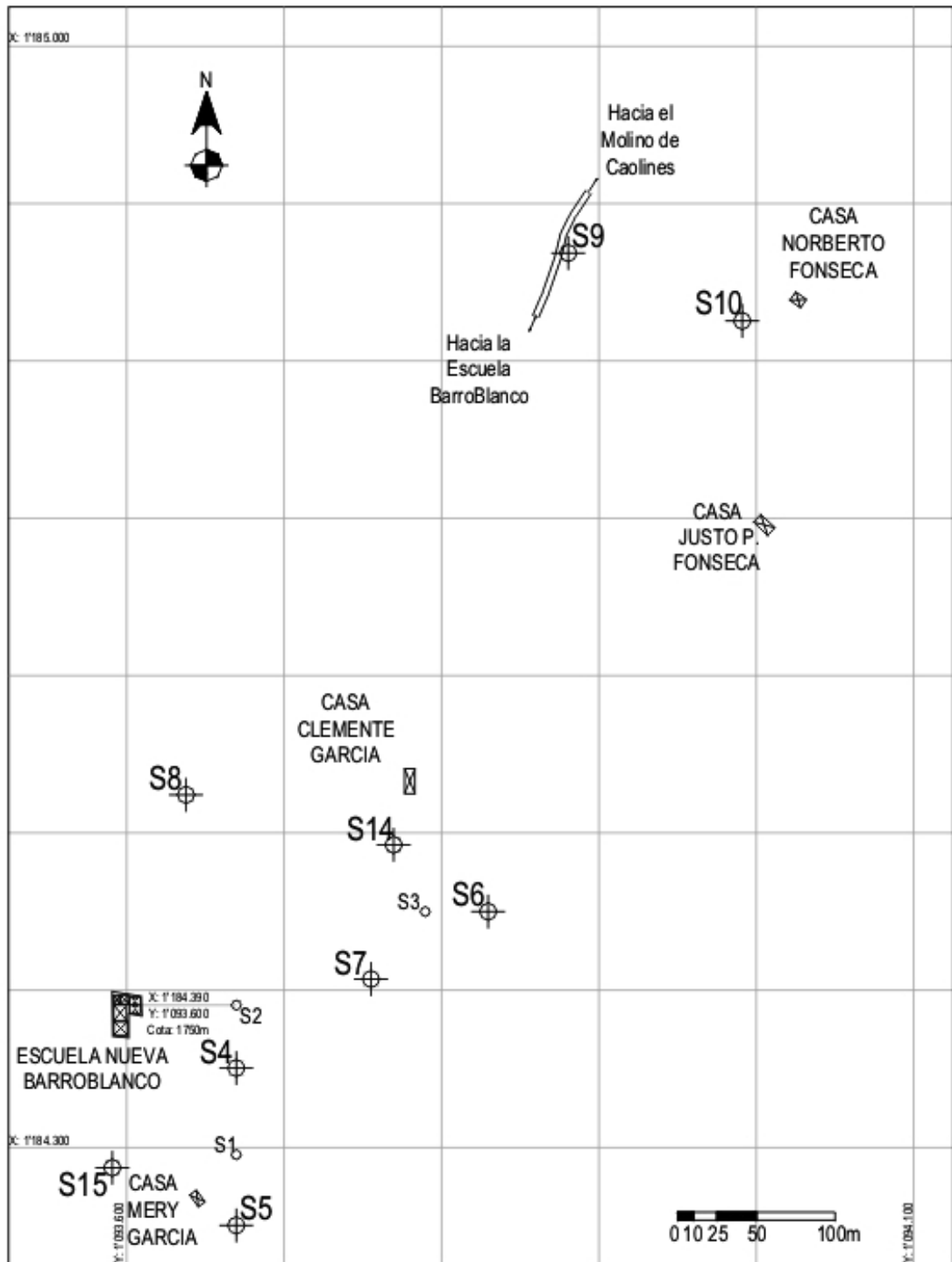
Las muestras tomadas en cada frente fueron guardadas en bolsas plásticas de 20Kg, etiquetadas, y selladas con cinta de enmascarar.

FIGURA 2. Esquema de explotación por terraceo del frente S11; a) ejemplo del canal realizado para la toma de muestras en los frentes de explotación.



4.2.2 Perforaciones con barreno. La localización y distribución de los pozos se realizo a partir de tres puntos guías perforados por Rodríguez R. & Rodríguez D. (1998). En total se efectuaron siete perforaciones con barreno a 197m de distancia promedio entre si y hasta una profundidad promedio de 5m, en el área de la Licencia Minera N° 070 - 68 perteneciente a la Cooperativa Agro-Minera de Barroblanco (Figura 3).

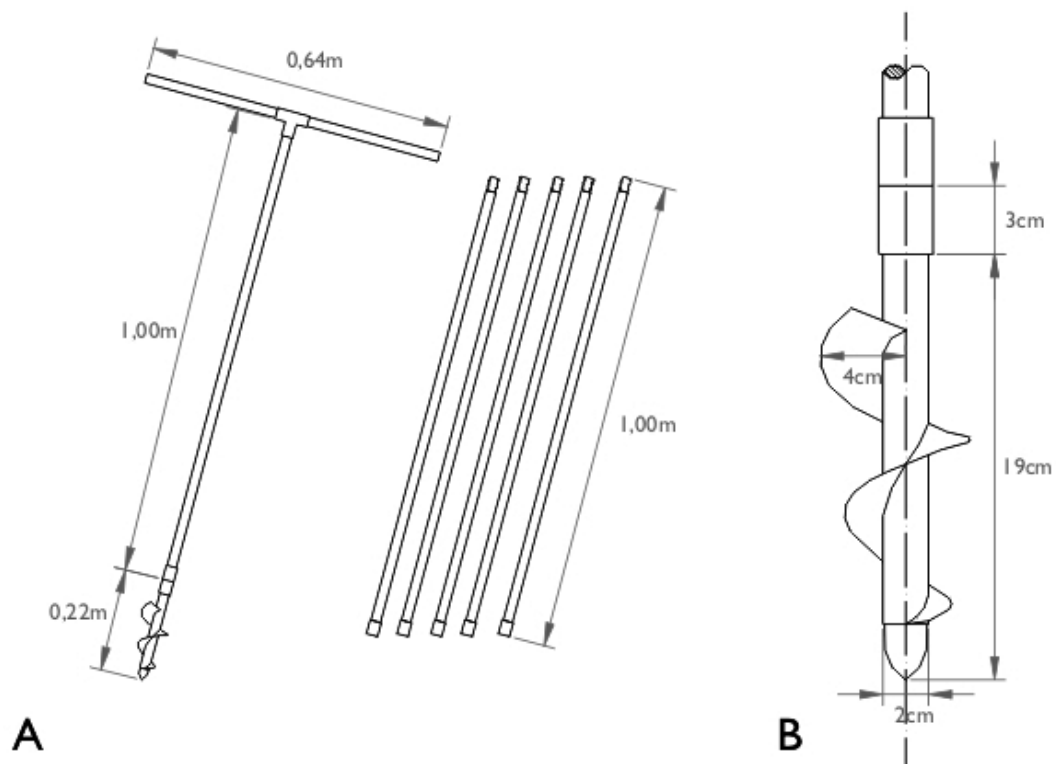
FIGURA 3. Localización de las perforaciones realizadas en la Vereda Barroblanco (S4 – S10); además de algunos frentes de explotación (S14 y S15).



Teniendo en cuenta esta consideración, el área destinada para la actividad de toma de muestras se limita al área de la Vereda Barroblanco y se compone de los 1,09Km² del área de la Licencia Minera N° 070 – 68 y de los frentes de explotación S11, S12 y S13, ubicados fuera del área de la Licencia (Anexo A) pero que cuentan con el permiso para la explotación de estos por parte de la Cooperativa Agro-Minera de Barroblanco.

Las perforaciones se realizaron por medio de un barreno helicoidal de 19cm unido a una tubería de 1m de longitud que además poseía 5 segmentos de más para alcanzar una profundidad de 6m aproximadamente (Figura 4).

FIGURA 4. A) Equipo de perforación manual, con sus 5 segmentos de tubería; B) Detalle del Barreno Helicoidal.



En cada una de estas perforaciones se tomo una muestra representativa de cerca de 2Kg por cada capa. Cada una de las muestras fue debidamente etiquetada y sellada con cinta de enmascarar. Se tomaron 64 muestras en total. En la figura 3 se presentan de manera esquemática los sitios de las perforaciones con barreno y algunos de los frentes de explotación.

La nomenclatura empleada para identificar las muestras, fue la siguiente: MCO-S4-1-2004(1), donde las primeras letras corresponden al nombre dado en campo al proyecto, Mejoramiento de los Caolines de Oiba, el S4 se refiere a la primera estación en la que se tomaron muestras aclarando que las estaciones S1, S2, S3, corresponden solo a puntos de localización guía, el tercer término designa el número de la muestra y finalmente se señala el año y semestre en el que se recopilaron las muestras en campo.

En general la toma de muestras por medio de perforaciones con barreno, estuvo enfocado a corroborar trabajos anteriores, y a proporcionar una mejor idea sobre la distribución y características del depósito.

Las muestras tomadas en los frentes de explotación, tenían como finalidad la realización de análisis químicos, difracción de rayos X, granulométricos, y ensayos tecnológicos (pruebas de beneficio mineral).

Fue realizada una segunda salida de campo, con el fin de tomar muestras de interés geológico de las formaciones Cumbre, Rosablanca y Paja, además de la toma de datos estructurales, parámetros geomorfológicos y recorrido en otros sectores del área.

4.3 LABORATORIO

Las muestras recolectadas, fueron analizadas y descritas macroscópicamente según la clasificación de Folk para rocas sedimentarias (Friedman & Sanders, 1981), empleando un estereomicroscopio, marca Carl Zeiss. Este proceso se llevó a cabo en los laboratorios del Grupo de investigaciones en Biohidrometalúrgica de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS, sede Guatiguará.

La granulometría que establece el tamaño de partículas en arcillas, fue realizada siguiendo la norma ASTM C-775-79 (1985) en los laboratorios del Grupo de investigaciones en Biohidrometalúrgica. Con éste método se puede determinar cuantitativamente la distribución del tamaño de partículas en caolines, para un rango de 44 a $0,1\mu\text{m}$ bajo procesos de sedimentación en los cuales las partículas son sometidas a fuerzas gravitacionales que se concentran en un rango de tamaño de 44 a $2\mu\text{m}$, y medidos empleando un hidrómetro; el centrifugado se emplea para que las partículas más pequeñas se asienten rápidamente en un rango de 2 a $0,1\mu\text{m}$ el cual puede ser medido empleando una pipeta. También fue posible realizar análisis químicos de arcillas refractarias ricas en alúmina correspondiente a la norma ASTM C-573-81 (1990), realizado en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, sede Guatiguará, usando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin - Elmer que registra humedad, perdidas por ignición, sílice, separación de Al_2O_3 y P_2O_5 , de Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , óxido de hierro, titanio, óxido fosfórico, alumina, cal, magnesio y álcalis.

Los análisis de difracción de rayos X (DRX) fueron llevados a cabo en el laboratorio de Química Estructural de la Escuela de Química de la UIS, para este proceso se macero la muestra en un mortero de ágata y el

espécimen seleccionado de la muestra fue montado en un portamuestras de aluminio mediante la técnica de llenado lateral. El difractómetro empleado fue el Rigaku modelo D-MAX-III/B; el proceso de análisis consiste en la identificación y cuantificación de las fases. Las muestras analizadas corresponden a los tres frentes de explotación, las cuales tuvieron un tratamiento previo que consiste primero en secar la muestra, luego triturarla manualmente para continuar con el tamizaje por medio de los tamices 100 y 325, que separa la granulometría entre arena y lodos, y tomando como muestra representativa para DRX el pasante de 325.

También fueron examinados por medio del análisis de DRX las muestras obtenidas en los pozos: S5 - S6 - S8 - S9; además de las muestras geológicas obtenidas en superficie y que corresponden a las formaciones involucradas en el área, y designadas con la nomenclatura de $\Delta 1$, $\Delta 5$, $\Delta 6$, $\Delta 9$, y $\Delta 10$.

Las muestras fueron trituradas, pero no fueron tamizadas por tratarse de un análisis de muestra total.

4.4 OFICINA

Durante esta etapa se realizó el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos, así como la elaboración de columnas, cortes y mapas en los que se detallan las características de este yacimiento.

5. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La Cordillera Oriental de Colombia es un cinturón orogénico intracontinental con dirección N-NE que está localizado en la parte Oriental de los Andes Colombianos, donde crece abruptamente sobre tierras bajas del Escudo de Sudamérica y se extiende dentro del territorio colombiano.

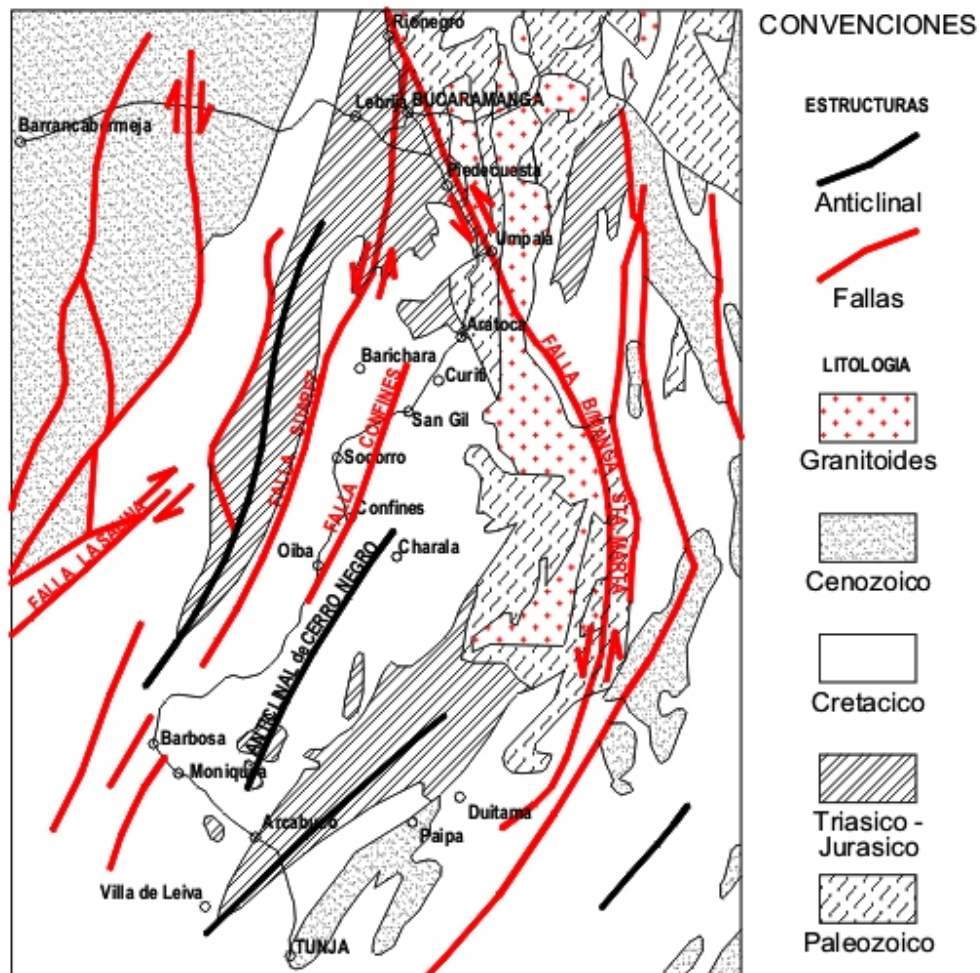
El Oriente Colombiano se extiende sobre el margen Occidental del Escudo Precámbrico de Guayana. Las rocas observadas en estas montañas han experimentado muchas fases de deformación tectónica como resultado del movimiento de placas desde el rompimiento de Pangea.

La Cordillera Oriental se caracteriza por un basamento metamórfico Precámbrico y Paleozoico, deformado durante varios eventos orogénicos Pre-mesozoicos. Las rocas del basamento están cubiertas por una espesa secuencia de rocas sedimentarias Mesozoicas y Cenozoicas, fuertemente deformadas durante el Neógeno (Figura 5). Las rocas sedimentarias del Jurásico y Cretácico fueron depositadas dentro de grandes cuencas cuyo origen está posiblemente relacionado con: a) un Rifting continental desde el Triásico, como consecuencia de un régimen tectónico extensional en el NW de Sudamérica, asociado a la separación entre Norteamérica y Sudamérica; o b) a una cuenca extensiva tras-arco ubicada al E de la Cordillera Central, como una consecuencia de la subducción de la placa oceánica Farallón bajo el NW de Sudamérica. (Taboada, 2000)

Básicamente la deformación compresiva Cenozoica reactivó fallas normales que limitaban cuencas Mesozoicas, invirtiendo su sentido de movimiento. Esta inversión tectónica de las fallas del basamento creó fallamiento y plegamiento de una espesa secuencia marina depositada en cuencas Mesozoicas.

A grandes rasgos este es el proceso que levantó la Cordillera Oriental como la conocemos hoy.

FIGURA 5. Mapa geológico generalizado de la Cordillera Oriental.



Modificado de Mendoza (1985).

5.1 ESTRATIGRAFÍA

Las unidades sedimentarias correspondientes al Jurásico y Cretácico se encuentran dispuestas sobre un basamento metamórfico de edad precámbrica denominado Macizo de Santander. El Macizo de Santander, ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, se caracteriza por presentar un metamorfismo de tipo regional alcanzando condiciones de facies anfibolita. Las rocas metamórficas de este macizo se encuentran agrupadas en las unidades Neis de Bucaramanga, Formación Silgará y Ortoneis.

El *Neis de Bucaramanga* es una secuencia estratificada de rocas sedimentarias de alto grado metamórfico, que consisten principalmente de paraneis pelítico, semipelítico y arenáceo; esquisto y cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita. El Neis de Bucaramanga también incluye zonas de migmatitas de dos tipos: una en la cual el paraneis está mezclado con rocas granítica – neísica y otra donde ambos están cortados por muchas masas pequeñas de granito no foliado, mucho más joven.

La *Formación Silgará*, es una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas, típicamente delgada y cíclicamente estratificadas que consta de pizarra, filita, esquistos, cuarcitas y mármoles.

El *Ortoneis*, consta de neis cuarzo feldespático que varía su composición de granítica a tonalítica; está ampliamente distribuido en las rocas metamórficas de alto y medio grado, de edad Pre-Devónica que forman el núcleo del macizo. Las rocas del Ortoneis son en general masivas a foliadas, contienen tabiques de esquistos, cortinas delgadas de neis hornbléndico y anfibolita.

Se caracteriza por formar silos y diques en las rocas de grado medio de la Formación Silgará.

A continuación se describen las unidades que suprayacen el basamento metamórfico del Macizo de Santander, las cuales se han dividido en dos sistemas: sistema Jurásico y sistema Cretácico.

SISTEMA JURASICO.

Formación Girón.

Esta formación esta compuesta por un grueso conjunto de areniscas, conglomerados y limolitas, de color marrón - rojizo; que están ampliamente expuestas al W de la ciudad de Bucaramanga y que toman el nombre del Municipio de Girón (Pulido, 1979). La localidad tipo de la formación se encuentra en los afloramientos del cañón del Río Lebrija; donde se definieron los límites estratigráficos como contactos inconformes entre la Formación Bocas (infrayacente) y la Formación Tambor (suprayacente). En el mismo sector la formación de aproximadamente 3500m, se divide en: a) un miembro inferior arenoso de 750m, b) un miembro arcilloso de 1250m, en la parte media; y c) un miembro superior arenoso de 1500m. (Ward, 1973)

La formación puede ser considerada como de edad Jurasico Medio - Superior (Ward D, 1973). Aunque, la datación de "Ostracodos y Conchostracos" en la Formación Bocas, le asignan una edad Jurasico Inferior; de esta manera, se considera a la Formación Jordán como de edad Jurasico Medio; y por lo tanto, la Formación Girón pertenecería al Jurasico Superior (Pulido, 1979).

Formación Arcabuco.

La formación esta constituida por un conjunto de areniscas cuarzosas de color claro y ocasionalmente de color rojo, de grano fino a medio y con un espesor aproximado de 800m. En algunas localidades hay evidencia de conglomerados.

El contacto con la unidad suprayacente es discordante y por ausencia de fauna, la edad de la formación se ha considerado con base a su posición estratigráfica, como Jurásico reciente; debido a que suprayace en algunas localidades las capas rojas del Girón (Jurásico Superior), e infrayace discordantemente a la Formación Cumbre de edad Valanginiano Inferior (Etayo, 1968).

SISTEMA CRETÁCICO.

Formación Cumbre.

La formación es un conjunto de areniscas grises oscuras, con estratificación entrecruzada, alternadas con shales negros piritosos, y que afloran en la carretera entre Arcabuco y Moniquirá, dentro el cuadrángulo J-12. (Pulido, 1979)

El espesor aproximado de la Formación Cumbre en el río Pomeca (SE de Moniquirá) es de 137m, y se compone principalmente de la alternancia irregular de tres litofacies: 1) areniscas, de color gris olivo; 2) limolitas y arcillolitas blancuzcas a negruzcas; y 3) limolitas rojas. Las arcillolitas se componen de la mezcla de illita, caolinita, halloysita y clorita. (Mendoza, 1985)

La Formación esta compuesta por ocho segmentos, descritos a continuación de base a techo: (Mendoza H, 1985)

Segmento A: Lodolitas arenosas y areniscas, de color gris - oliva a pardo - amarillo por alteración. Hacia la parte superior areniscas lodosas y lodolitas con materia orgánica diseminada. (14m).

Segmento B: Cuarzoarenitas de grano fino con estratificación subhorizontal, granodecreciente, y con intercalaciones de lodolitas arenosas. (11.3m).

Segmento C: Cuarzoarenitas ligeramente lodosas, de color gris verdoso, con intercalaciones de lodolitas arenosas, láminas de pirita y materia carbonosa. (11m).

Segmento D: En la parte inferior hay lodolitas limosas, de color pardo verdoso a amarillo - rosado; variando lateralmente a lodolitas arenosas. En el nivel medio se presenta una secuencia granodecreciente de areniscas lodosas de cuarzo, de grano fino; a lodolitas y arcillolitas caoliníticas. El nivel superior contiene un horizonte caolinítico y areniscas lodosas de cuarzos con matriz caolinítica. (31m).

Segmento E: Lodolitas arenosas con cuarzoareniscas de grano fino y limolitas; resto de bivalvos y abundante pirita. En la parte superior lodolitas color negro, con laminación y fracturamiento en esquirlas (shale), y con láminas subhorizontales de pirita. (11.5m).

Segmento F: Lodolitas arenosas, de color gris verdoso a rojizo; hacia la parte media areniscas lodosas, color gris; y en el techo, lodolitas arenosas con lodolitas limosas. La pirita ocurre como cristales diseminados y bandas nodulares de hasta 2cm. (12m).

Segmento G: Lodolitas y arcillolitas caoliníticas, de color gris pardo; areniscas de cuarzo color gris - oliva, con hojuelas de mica y pirita. (27.5m).

Segmento H: Lodolitas laminadas, con partición en esquirlas, de color gris - negro, intercaladas con arenitas y arcillolitas. (18m).

Esta formación tendría una edad Valanginiano Inferior (Mendoza, 1985); aunque debido al hallazgo de "Berriasella" cerca al Municipio de Bolívar, esta es considerada de edad Berriasiano - Valanginiano Inferior (Pulido, 1979).

Formación Rosablanca.

La formación consta de aproximadamente 425m de caliza masiva, dura, de color gris azulado, fosilífera, de textura gruesa y con muchas capas margosas, que pasan a: caliza de textura fina, de color negro, y arcillosas hacia el tope. (Ward, 1973)

En el área de la Mesa de Barichara, a lo largo de los cañones del río Chicamocha y Suárez, y en el área de Oiba (al W de la Quebrada Santuaria), las pendientes formadas por esta formación son abruptas (>50%) debido a que aflora su contraeskarpe (Portilla, 1989).

A la formación se le ha atribuido una edad Valanginiano Superior – Hauteriviano Inferior (Etayo, 1968). Aunque, la formación es oblicua con respecto a las líneas isócronas y su edad sería: Barremiana al N, Hauteriviana en la región de la mesa de Los Santos – San Gil, y Valanginiana en Villa de Leiva (Pulido, 1979).

Formación Paja.

La formación alcanza un espesor máximo de 625m y está compuesta de shales negros micáceos, limosos, ligeramente calcáreos y finamente laminados. Los 250 – 300m inferiores contienen concreciones de caliza, nódulos septarios y venas de calcita (Ward, 1973). Esta formación se torna más arenosa hacia el S, razón por la cual en la región del Municipio de Oiba son diferenciables los dos miembros: el arenoso y el arcilloso.

La Formación Paja es considerada en el Departamento de Santander, como de edad Barremiano – Aptiano (Pulido, 1979). Estudios en la región de Villa de Leiva, le asignan una edad Hauteriviano – Aptiano Superior a la formación (Etayo, 1968).

Otras de las formaciones presentes dentro del sistema Cretácico en la región, son:

Fm. Tablazo, compuesta de bancos gruesos de calizas duras, azuladas con pequeñas intercalaciones de lutitas y margas principalmente en su parte inferior. La formación es una excelente roca-madre y su espesor varía entre 150 y 325m. La edad definida para esta formación es Aptiano Sup a Albiano Inf. (Etayo, et al. 1983)

Fm. Simití, constituida de lutitas y arcillolitas negras de ambiente muy euxinico con abundante materia orgánica coloidal que le otorga un importante papel de roca madre de hidrocarburos. El espesor alcanza de 300m hasta 625m en la Concesión de Mares. Se la asigna a la formación una edad Albiano Inf – Sup. (Etayo, et al. 1983)

Fm. Chiquinquirá, es un conjunto de areniscas cuarzosas de grano fino, grises clara con alteraciones amarillentas, en estratos hasta de 2m con lutitas grises oscuras y micáceas. La formación posee una edad Albiano Sup. (Etayo, et al. 1983)

Fm. La Luna. Esta formación, roca-madre de hidrocarburos, ha sido subdividida en tres miembros. A la base, el Miembro Salado con 50 a 100m de lutitas oscuras y margosas y de arcillolitas calcáreas negras con concreciones de pirita y de calcáreo que tienen un fuerte olor a petróleo, corresponde a un ambiente poco oxigenado, sin fauna bentónica. El Miembro Pujamana constituido de delgadas capas de lutitas calcáreas y argilitas grises a negras corresponde a un nivel de sedimentación de aguas profundas con foraminíferos planctónicos tales como Gumbelinas del Turoniano Sup y del Coniaciano Inf. Este miembro tiene espesores variables entre 50 y 220m.

El Miembro Galembo consiste en calizas y arcillolitas negras con grandes concreciones calcáreas e intercalaciones de pequeñas capas de cherts en su parte inferior. Su espesor que varía entre 30 y 275m. Se considera a la Fm. La Luna como de edad Cenomaniano a Santoniano. (Etayo, et al. 1983)

5.2 ESTRUCTURAS

La estribación Occidental de la Cordillera Oriental, presenta dos estructuras importantes, la Falla de Bucaramanga - Santa Marta y la Falla del Suárez. (Figura 5)

Limitada entre estas dos grandes estructuras se encuentran una serie de estructuras anticlinales y sinclinales, de cobertura, amplias y que presentan una dirección preferencial N20E – N40E, y vergencia variable. Las fallas principalmente son inversas o de cabalgamiento con vergencia hacia W. Las fallas ubicadas en cercanías a la Falla del Suárez, como las fallas de Peña Blanca, Suaita – Chima y Confines, presenta una dirección similar a la del Suárez. Las fallas ubicadas hacia el E en cercanías al Macizo de Floresta y a la Falla Bucaramanga presentan una dirección NW a NNW.

Falla de Bucaramanga – Santa Marta

Es una falla de extensión regional que puede trazarse desde cerca del extremo sur del Macizo de Santander hasta la costa caribe al W de Santa Marta. El rasgo más notorio de la falla de Bucaramanga en el Macizo de Santander es su expresión topográfica, caracterizada por un notable lineamiento recto, valles alineados y diferencias en las unidades litológicas a cada lado de la falla. (Figura 5)

La falla de Bucaramanga debido a su rectilinealidad y longitud, sugiere que es primariamente una falla de rumbo (strike-slip) de grandes proporciones. La presencia de rasgos como colas y tajadas de arrastre así lo confirman. Sin embargo cerca de Bucaramanga muestra un claro desplazamiento vertical con movimiento ascendente y hacia el W del bloque oriental y regionalmente parece ser parte de un sistema de fallas que forma parte del desarrollo del Valle del Magdalena y el levantamiento del Macizo de Santander. Es posible que la Falla de Bucaramanga haya sido el foco de movimientos de estilos diferentes en tiempos diversos, aunque sus últimos movimientos parecen tener relación con el levantamiento del Macizo de Santander.

Falla de Suárez

Esta falla presenta una longitud de unos 120Km. desde Barbosa al S, hasta la Falla de Bucaramanga - Santa Marta 5Km al N de la capital santandereana. Su trazo tiene una dirección entre N20E y N25E con inclinación al Occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y Sogamoso. El plano de falla es de ángulo alto inclinado al W, con componente vertical inversa, la velocidad de desplazamiento vertical calculada es de 0.1mm/año; además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral. El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2.300m. (Figura 5)

La Falla del Suárez al Occidente del pueblo de Girón, afecta capas de la Formación Girón, verticalizándolas, invirtiéndolas, con fuerte fracturamiento y con alto grado de meteorización hasta tal punto de llegarse a confundir con depósitos cuaternarios.

Esta falla a lo largo de su trayecto afecta rocas Jurásicas y Cretácicas, principalmente de las formaciones Jordán, Girón, Tambor/Los Santos,

Rosablanca, Paja y cerca de su terminación con la Falla Bucaramanga - Santa Marta, afecta rocas del Paleozoico y Triásico como son las formaciones Floresta, Diamante y Tiburón.

Anticlinal y Sinclinal de Oiba

Estas dos estructuras localizadas a lo largo del flanco occidental del área, tienen un rumbo paralelo a la Falla de Confines y al Sinclinal de Cerro Negro, es decir rumbo N15 – 20°E. Los flancos están constituidos por los estratos del Miembro Arenoso de la Formación Paja que continúan al S del área, pero hacia el N pierden importancia, desapareciendo 3-5Km al NE de la localidad de Oiba. Son estructuras levemente asimétricas y suaves, cuyos flancos presentan buzamientos inferiores a los 20°.

Tectónicamente el área de Oiba no presenta mayores complicaciones exceptuando las estructuras anteriormente descritas. Se presentan además algunas estructuras menores en la parte SE del área de estudio, conformados por pliegues y fallas. Los pliegues son anticlinales y sinclinales de poca extensión, pero siempre con dirección NE, algunos de ellos con terminación periclinal. Las fallas presentan una dirección paralela a los pliegues y son de carácter inverso; a este juego de fallas con dirección N-NE lo cortan y lo desplazan sinextralmente fallas con rumbo E-W aproximadamente.

Falla de Confines

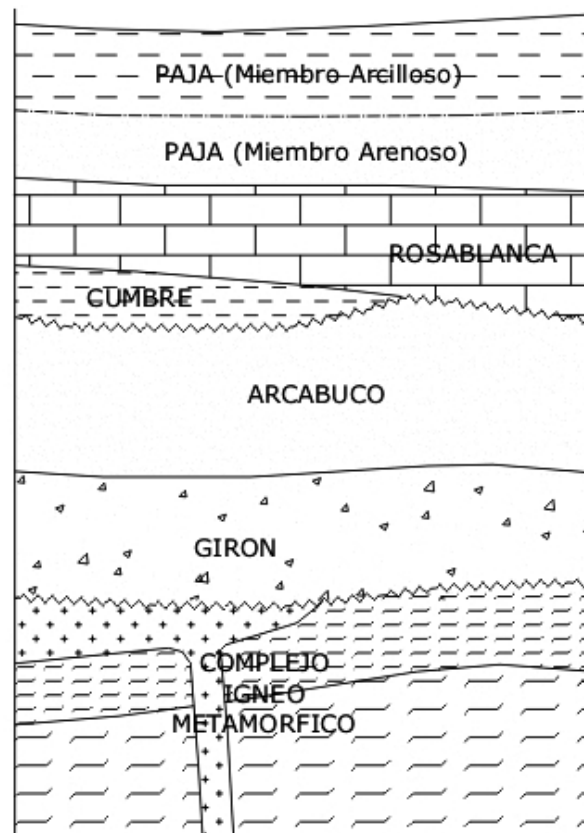
Estructura de dirección N35°E, con una extensión aproximada de 30Km, que se pierde al S de la población de Oiba y hacia el N, cerca a la población de San Gil.

El plano de falla buza hacia el W, hunde su labio occidental y pone en contacto al Miembro Inferior Arenoso con shales del Miembro Superior de la Formación Paja. Es una falla inversa en la que el desplazamiento a lo largo del rumbo longitudinal no es muy importante. (Figura 5)

6. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el área del Municipio de Oiba afloran rocas sedimentarias con edades desde el Jurásico hasta el Cretácico Inferior. Estas rocas sedimentarias están representadas por las formaciones Girón, Arcabuco, Cumbre, Rosablanca y Paja (Figura 6). Toda esta secuencia sedimentaria se encuentra sobre el Complejo ígneo - metamórfico del Macizo de Santander.

FIGURA 6. Esquema estratigráfico de la sección sedimentaria del Jurásico Medio y Cretácico Inferior en el Municipio de Oiba.



Modificado de Portilla M. (1989).

6.1 ESTRATIGRAFIA

Las formaciones geológicas aflorantes en el área de estudio, están relacionadas a la geometría del Anticlinal de Cerro Negro, sobre cuyo núcleo se encuentra el depósito de caolín.

Este núcleo está conformado por la Formación Cumbre, que es también la formación más antigua aflorante; suprayaciendo a la Formación Cumbre se encuentran las formaciones Rosablanca y Paja (Miembro Arenoso), las cuales constituyen los flancos de la estructura. También se destaca el depósito aluvial relacionado con el cauce de la Quebrada La Santuaría (Anexo B).

Se describen a continuación cada una de las formaciones observadas en campo.

6.1.1 Formación Cumbre. La Formación Cumbre (FC) es la formación más antigua aflorante en el área de estudio. Se presenta en el eje del Anticlinal de Cerro Negro, aflorando principalmente hacia el flanco W del anticlinal sobre la vía que conduce de la Vereda Barroblanco hacia la Vereda Portachuelo (al W) y Pie de Alto (hacia el SW). La FC también aflora hacia el E, en la vía que conduce hacia la Vereda Amansagatos (Anexo B). En el área de estudio afloran los segmentos superiores al Segmento D, definido por Mendoza (1985).

En el flanco W del anticlinal la formación está constituida principalmente por una arcillolita limosa de color blanco a gris claro, moderadamente calibrada, con porosidad secundaria debida al múltiple diaclasamiento que presenta; dichas fracturas se encuentran en su mayoría rellenas por óxidos de hierro. Dentro de la FC es común la presencia de halos concéntricos de aproximadamente 10cm de diámetro y 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 sobre salen 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, dada principalmente por láminas limo - arcillosas de color gris.

En el flanco E del Anticlinal de Cerro Negro la FC esta en su mayor parte cubierta por un depósito aluvial de edad Cuaternario. La FC aflora sobre la vía que conduce de la Vereda Barroblanco a la Vereda Amansagatos; en esta vía la formación 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.

Cerca de la Falla Amansagatos, la FC presenta una 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 pequeños bivalvos. (Anexo B)

En la Tabla 1 se presenta la composición mineralógica promedio para la FC, obtenida a partir de los análisis mineralógicos de las rocas tomadas en los diferentes sitios de muestreo (Δ) dentro de la formación (Anexo A).

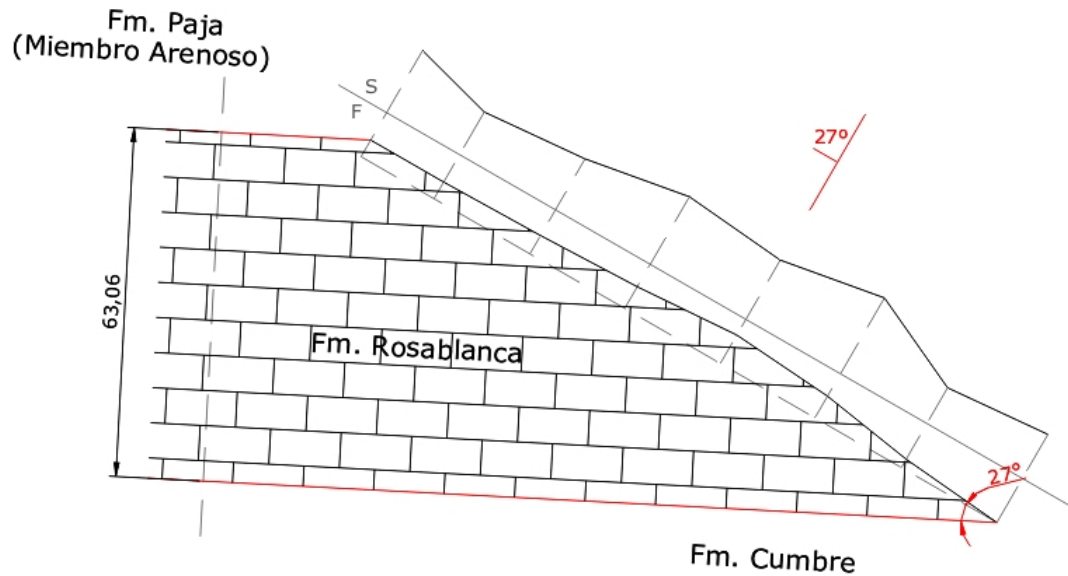
TABLA 1. Composición mineralógica de la Formación Cumbre.(Anexo C)

Composición Mineralógica (%)	W Sitios de Muestreo			E
	Arcillolita limosa ($\Delta 5$)	Arcillolita limosa ($\Delta 6$)	Arcillolita limosa ($\Delta 9$)	Limolita arcillosa ($\Delta 1$)
Moscovita	41,11	45,51	38,90	43,20
Cuarzo	17,46	12,75	24,63	23,93
Clinocloro	7,26	3,72	8,94	-
Anatasa	1,93	2,18	-	-
Goetita	-	-	-	7,30
Amorfos	32,24	35,84	27,53	25,57

6.1.2 Formación Rosablanca. La Formación Rosablanca (FR) aflora a cada lado del Anticlinal de Cerro Negro. En el Flanco W del anticlinal 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 (Anexo B). En este flanco se levantó una poligonal de 133m de longitud sobre la vía que conduce de la Vereda Barroblanco a la Vereda Portachuelo con el fin de determinar el espesor real de esta formación en el área de estudio. Mediante esta poligonal se estimó un espesor para la Formación Rosablanca de aproximadamente 63m. (Figura 7)

En esta zona la formación está constituida por una caliza micritica 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 (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.

FIGURA 7. Espesor de la Formación Rosablanca en la Vereda Barroblanco, determinada mediante el método de la poligonal.



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 sobre la carretera (Anexo B). El contacto de la FR con la Formación Cumbre es difuso y no se presenta con la misma claridad con la que aparece en el flanco W del Anticlinal. Al E del Anticlinal de Cerro Negro el afloramiento de la Formación Rosablanca fue determinado fotogeológicamente.

6.1.3 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 cercanias del Municipio de Oiba (fuera del Mapa Geológico aquí presentado). El contacto de la Formación Rosablanca con el Miembro Arenoso de la Formación Paja a cada lado de la Anticlinal de Cerro Negro es muy evidente debido al marcado cambio

de la litología, cantidad de afloramientos expuestos y variación en la topografía del terreno (geomorfología). (Anexo B)

El Miembro Arenoso de la Formación Paja genera relieves escarpados, y colinas o montañas elongadas altamente diferenciables dentro del marco fisiográfico y geomorfológico del área de estudio. El Miembro Arenoso esta constituido por una 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 a no 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.

6.1.4 Depósito Aluvial. El depósito aluvial se manifiesta principalmente sobre el margen izquierdo de la Quebrada La Santuaria. El depósito aumenta su distribución hacia el S a medida que el cauce de la Quebrada La Santuaria se desplaza hacia el W. (Anexo B)

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; que esta constituido mineralógicamente por cuarzo (42,92%), moscovita (28,33%), anatasa (2,53%) y amorfos (26,22%). (Anexo C)

6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

6.2.1 Pliegues.

Anticlinal de Cerro Negro

El Anticlinal de Cerro Negro es una estructura ligeramente asimétrica, donde el buzamientos de sus flancos varía entre 15 y 30°, el eje del Anticlinal en el área de estudio tiene una dirección aproximada de N30°E, y se ha estimado una longitud para el anticlinal cercana a los 30Km.

En la Vereda Barroblanco el núcleo del Anticlinal de Cerro Negro esta conformado por la Formación Cumbre. Hacia el N del área de estudio el eje del Anticlinal de Cerro Negro está desplazado hacia el NW debido a la Falla Amansagatos. (Anexo B)

6.2.2 Fallas.

Falla de Amansagatos

La Falla de Amansagatos aparece hacia el NE del área de estudio. Esta falla se reconoce a partir de la alineación de drenajes observada tanto en campo como en fotografías aéreas, y por la presencia de una silla de falla cuyo eje se ubica sobre la vía hacia la Vereda Amansagatos. (Anexo B)

Esta es una falla normal de alto ángulo con dirección N55°W 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 Formación Cumbre enfrentadas en superficie con rocas de las formaciones Rosablanca y Paja (Miembro Arenoso) ubicadas en el bloque hundido al SW del plano de falla.

6.2.3 Diaclasas. En el área de estudio y en especial en la Formación Cumbre se ha observado una gran cantidad de diaclasas verticales con una dirección preferencial N80°W. 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 N25°W, N50°W y N75°W; estas diaclasas son más delgadas, difusas y menos continuas.

Un grupo de diaclasas presenta una dirección de N25°E; tales diaclasas son abundantes pero son las más débiles, discontinuas y las de menor espesor de todas las diaclasas encontradas en el área de estudio. Aunque se perciben claramente dentro de los afloramientos de la Formación Cumbre.

7. GEOLOGIA DEL DEPOSITO DE CAOLIN

El análisis sedimentológico, mineralógico y químico del depósito de caolines se realizó con base en las muestras obtenidas por medio de las perforaciones, y de los frentes de explotación que están siendo actualmente trabajados en la Vereda Barroblanco (Anexo A).

El depósito de caolines forma parte del nivel intermedio de la Formación Cumbre (Segmento D), constituido por una secuencia de areniscas cuarzosas con un 30% de matriz caolinítica, lodolitas y arcillolitas caoliníticas. Los minerales identificados son: Cuarzo (49,98%), moscovita/illita (21,12%), caolinita (14,58%), Anatasa (1,78%), gibsita (1,11%) y amorfos (11,43%).

El yacimiento posee un espesor aproximado de 5m en el frente de explotación S11 y este espesor aumenta hacia el E hasta alcanzar 9,5m en los frentes de explotación S13 y S12, (Anexo A); por esto el frente de explotación S11 ubicado al SW del área de estudio presenta los niveles inferiores del depósito a menor profundidad, mientras que los frentes de explotación al NE del área de estudio como el S12 y S13, se encuentran los niveles más superficiales.

El depósito de caolines de Oiba está constituido por gran cantidad de capas y lentes que exhiben variaciones laterales en espesor, y textura. Debido a la cantidad de capas, estas se han agrupado según sus características texturales y composicionales en niveles de mayor espesor de tal forma que sea posible el seguimiento a mayores distancias de algunos de los niveles que se explotan actualmente; y así poder estimar un volumen de recursos disponibles para el depósito. (Anexo D)

De esta manera, en el yacimiento se han reconocido seis niveles de base a techo, así:

7.1 NIVEL A

Es el nivel inferior, el cual se observa en el frente de explotación S11 a 5,15m de profundidad (Anexo E). Esta constituido por una arena limosa muy fina de color café, que posee una intercalación con lentes de arena limosa de color gris oscuro con cristales de pirita. El nivel posee una laminación plana paralela a no paralela de color vinotinto oscuro; debida a la presencia de óxidos de hierro.

Este nivel se presenta nuevamente en la perforación S5 a 5,90m de profundidad y puede ser seguido hasta los 6,20m. En esta perforación el nivel inicia con una capa de 10cm de espesor de una arena limosa muy fina de color gris que continua con una capa de limo arenoso de color gris. El nivel presenta finas capas de arcilla blanca de 0,5cm de espesor. (Anexo E)

La composición mineralógica de la fracción lodosa del Nivel A determinada mediante DRX se presenta en la Tabla 2. (Anexo F)

TABLA 2. Análisis mineralógico de la fracción lodosa del Nivel A.

Composición Mineralógica (%)	Frente de explotación S11 (Lodo)
Cuarzo	54,11
Moscovita/Illita	12,32
Caolinita	13,96
Anatasa	0,94
Pirita	*
Amorfos	18,94

La composición química de la fracción arenosa y lodosa del Nivel A se presenta en la Tabla 3.

TABLA 3. Análisis químico del Nivel A.

Composición Química (%)	Frente de explotación S11	
	Arenas	Lodos
SiO ₂	93,93	72,86
Fe ₂ O ₃	0,18	0,36
Al ₂ O ₃	1,32	13,53
K ₂ O	0,24	0,62
CaO	0,20	0,05
MgO	0,09	0,09
PPI*	0,21	5,09

(*) PPI: Perdidas por Ignición

7.2 NIVEL B

Este nivel aparece expuesto en el frente de explotación S11, en donde inicia a los 2,60m de profundidad y posee 2,55m de espesor. El nivel nuevamente aparece en la perforación S5 a 3,75m de profundidad y su espesor disminuye a 2,15m (Anexo E). El espesor promedio del nivel es de 2,35m. El nivel se presenta en todas las perforaciones y frentes de explotación del área de la Escuela Barroblanco (S4 – S6 – S8 y S14 – S15). (Anexo D)

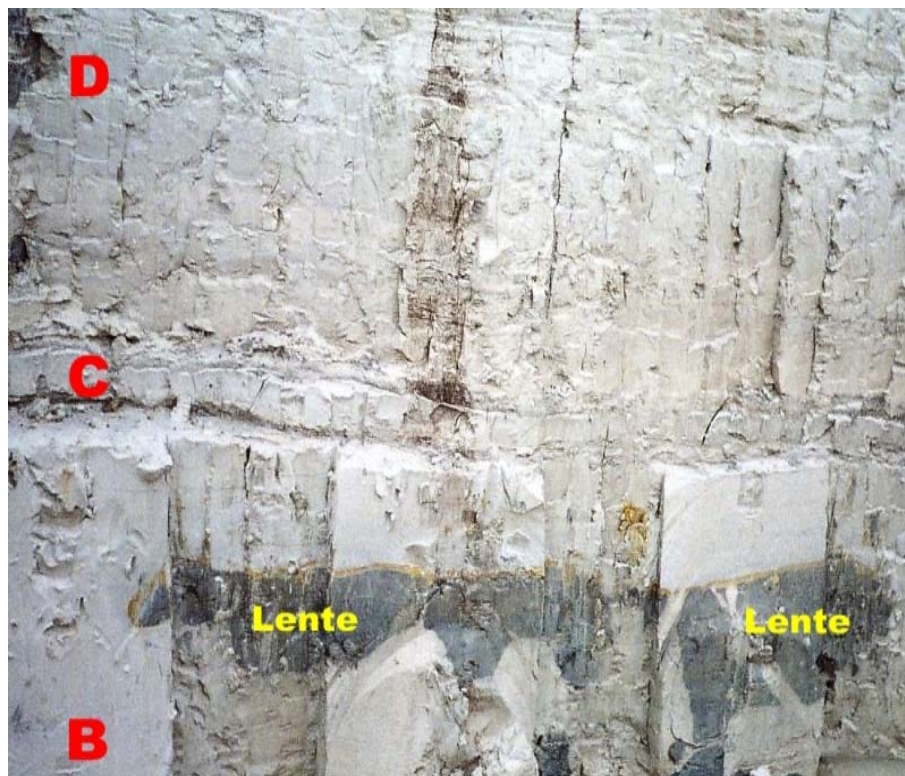
El nivel esta constituido por dos capas:

La capa inferior esta compuesta por una arcilla limosa de color blanco – grisáceo, con cristales de moscovita de tamaño muy fino. La capa posee 80 a 90cm de espesor y es un poco más limosa que la capa superior. En el frente de explotación S11 aparecen lentes de limo arcilloso de color

gris oscuro de 20 a 30cm de espesor y con un contacto inferior ondulado neto y simétrico (Figura 8). Este lente es rico en cristales euhedrales de pirita de tamaño muy fino a limoso. El contacto superior es neto ondulado y sobre este se forma una lámina de óxidos. A su vez se observan cristales muy finos de pirita sobre esta lamina de oxidación en la Arcilla Limosa blanca – grisácea.

La capa superior tiene un espesor que varia de 1,25 a 1,75m en el frente de explotación S11. Esta constituida por una arcilla limosa de color blanco – grisáceo; en algunas perforaciones presenta partículas de cuarzo y fragmentos de shales alterados u oxidados de tamaño muy fino. Esta capa es la que se aprecia en la parte inferior de la mayoría de las perforaciones del área de la Escuela Barroblanco.

FIGURA 8. Ocurrencia de los Niveles B, C, D y lente limo arcilloso gris oscuro en el frente de explotación S11.



El nivel posee una laminación plana paralela a no paralela, dada por unas laminas arcillosas de color amarillento; en la capa superior localmente aparecen lentes arcillosos de color café – amarillentos, estratos arcillosos blancos de hasta 10cm de espesor y capas areno – limosas muy finas de color gris. Actualmente este nivel esta siendo explotado en el área del frente S11 hasta alcanzar los lentes limosos grises oscuros a 4,35m de profundidad (capa superior), o incluso hasta alcanzar el Nivel A (Anexo D).

La composición mineralógica del Nivel B (muestra total y fracción lodosa) determinada mediante DRX se presenta en la Tabla 4. Los resultados del análisis mineralógico de la perforación S5 se presentan en el Anexo E.

TABLA 4. Análisis mineralógico del Nivel B. (Anexo F)

Composición Mineralógica (%)	Frente de Explotación S11 (Lodo)	Perforación S5 (muestra total)
Cuarzo	34,10	52,66
Moscovita/Illita	34,95	26,08
Caolinita	11,53	10,55
Anatasa	2,18	-
Pirita	2,21	-
Amorfos	16,15	10,72

La composición química del Nivel B se presenta en la Tabla 5.

TABLA 5. Análisis químico del Nivel B.

Composición Química (%)	Frente de explotación S11	
	Arenas	Lodos
SiO ₂	88,23	63,68
Fe ₂ O ₃	4,29	1,19
Al ₂ O ₃	14,62	20,12
K ₂ O	0,94	5,24
CaO	0,23	0,12
MgO	0,23	1,58
PPI*	2,41	7,37

(*) PPI: Perdidas por Ignición

7.3 NIVEL C

Este nivel esta constituido por una arena limosa de color gris, localmente puede tener una coloración café - amarillenta. Está constituido por partículas muy finas a gruesas, esféricas y angulares, principalmente de cuarzo, en menor cantidad moscovita y fragmentos de shale, algunos alterados u oxidados. Hacia la parte intermedia del nivel aparece un estrato limo arcilloso de color blanco con una laminación plana paralela continua de color gris.

Este nivel tiene un espesor promedio de 0,36m, aunque en la perforación S4 este nivel alcanza 1m de espesor (Anexo E). El nivel se sigue dentro de todo el yacimiento de caolines con excepción de la Perforación S10, y los frentes S12 y S13 en donde aun no se ha alcanzado su profundidad. Este nivel separa al Nivel B del Nivel D, ambos explotables. (Anexo D)

La composición mineralógica del Nivel C (muestra total y fracción lodosa) determinada mediante DRX se presenta en la Tabla 6.

TABLA 6. Análisis mineralógico del Nivel C. (Anexo F)

Composición Mineralógica (%)	Frente de explotación S11 (Lodo)	Perforación S9 (muestra total)
Cuarzo	48,11	76,35
Moscovita/Illita	17,68	18,82
Caolinita	17,11	-
Anatasa	1,99	-
Amorfos	12,11	4,83

La composición química de la fracción arena y lodo del Nivel C, se presenta en la Tabla 7.

TABLA 7. Análisis químico del Nivel C.

Composición Química (%)	Frente de Explotación S11	
	Arenas	Lodos
SiO ₂	95,48	73,35
Fe ₂ O ₃	0,15	0,35
Al ₂ O ₃	1,10	18,46
K ₂ O	0,33	2,71
CaO	0,57	0,16
MgO	0,09	0,88
PPI*	0,45	5,03

(*) PPI: Perdidas por Ignición

7.4 NIVEL D

Este nivel tiene un espesor promedio de 1,86m, aunque puede alcanzar los 3,05m de espesor en la perforación S9; y el nivel esta constituido por dos capas. (Anexo E)

En general se trata de una secuencia grano-decreciente que inicia a partir del Nivel C.

La parte inferior del nivel de 0,65 a 1,30m de espesor esta constituido por un limo arcilloso de colores blanco o gris, que presenta partículas de cuarzo y fragmentos de shale de tamaño medio a muy fino. Los fragmentos de shale algunas veces se encuentran oxidados. Esta capa presenta una laminación plana paralela a no paralela continua de arcillas de color café claro o amarillento; además, lentes o estratos de limo o arena muy fina de color gris.

La parte superior del nivel de 0,80 a 1,70m (perforación S9) de espesor esta compuesta por una arcilla limosa de color blanco que puede tener localmente una coloración grisácea. El nivel posee fragmentos muy finos de cuarzo, moscovita y fragmentos de shale. Al igual que en la parte inferior del nivel, los fragmentos de shale se encuentran oxidados y son más frecuentes que en el nivel inferior; en algunos lugares se forman concentraciones de óxidos laminares de colores anaranjados. Localmente puede presentar una laminación arcillosa de color café claro o amarillento; pero en general se trata de una capa muy homogénea.

En el nivel se observan unas delgadas fracturas rellenas por una arcilla blanca. Este fenómeno es muy notorio en el frente de explotación S11. En el contacto entre las dos capas del nivel también aparecen guijas y gránulos de areniscas cuarzosas de color blanco, de formas esféricas a no esféricas muy angulares.

Estas areniscas predominantemente cuarzosas también poseen partículas de shale y de feldespatos, donde estos últimos están caolinitizados. Este nivel se aprecia en todas las perforaciones y frentes de explotación, aunque en los frentes S12 y S13, y en la perforación S10 solo se observa la parte superior de este nivel (Anexo D).

Este nivel esta siendo explotado actualmente en el depósito de caolines de la Vereda Barroblanco.

La composición mineralógica del Nivel D se presenta en la Tabla 8. (Anexo F)

TABLA 8. Análisis mineralógico del Nivel D.

Composición Mineralógica (%)	Frentes (Lodo)			Perforaciones (muestra total)		
	S11	S12	S13	S5	S8	S9
Cuarzo	41,19	35,17	39,71	58,87	36,30	46,43
Moscovita/Illita	28,41	37,17	44,99	21,94	30,17	36,75
Caolinita	15,81	5,70	10,45	16,96	8,54	-
Anatasa	1,94	2,69	4,19	-	-	4,29
Amorfos	12,66	19,27	0,66	2,24	24,99	12,53

La composición química de la fracción arenosa y lodosa del Nivel D en los frentes de explotación, se presenta en la Tabla 9.

TABLA 9. Análisis químico del Nivel D.

Composición Química (%)	Frentes de explotación					
	S11		S12		S13	
	Arenas	Lodos	Arenas	Lodos	Arenas	Lodos
SiO ₂	92,33	66,70	94,05	61,67	95,36	59,16
Fe ₂ O ₃	0,18	0,50	0,21	1,12	0,10	1,30
Al ₂ O ₃	3,90	22,12	2,15	25,86	0,91	24,88
K ₂ O	1,32	4,22	0,67	0,38	0,94	10,30
CaO	0,51	0,12	0,37	0,22	0,19	0,17
MgO	0,22	1,15	0,02	0,12	0,01	0,03
PPI*	1,81	5,59	0,53	5,60	0,63	6,67

(*) PPI: Perdidas por Ignición

7.5 NIVEL O

Este nivel se caracteriza por ser una capa de 1,36m de espesor promedio, de un limo arenoso de color café oscuro muy rico en materia orgánica en especial fragmentos vegetales. El nivel esta compuesto por partículas de tamaño muy fino a medio de cuarzo, moscovita, fragmentos de shale, pirita y ámbar. Este nivel esta constituido por dos capas:

La capa inferior de aproximadamente 20cm de espesor tiene una coloración café más clara que la capa superior, la materia orgánica de esta capa esta constituida por pequeños y delgados fragmentos leñosos de 0,5 a 20cm de longitud. Esta capa parece contener la mayor cantidad de cristales de pirita de tamaño fino a muy fino.

La capa superior es la capa de color café más oscuro, el contenido de materia orgánica esta constituido por fragmentos leñosos (troncos) de entre 15 a 20cm de longitud. Estos fragmentos leñosos poseen una superficie bien conservada, aunque su estructura interna esta muy homogenizada lo que genera una masa compacta de color negro y de brillo graso; esto es evidencia de que la materia orgánica vegetal alcanzo algún grado de maduración o carbonificación. La presencia de hojas dentro del nivel es muy escasa, por otra parte se presentan cristales de pirita y partículas de resinosas (ámbar).

Este nivel solo se presenta al N del área de estudio en el área del Molino de Caolines entre el Nivel D y el Nivel E (Figura 9). (Anexo D)

FIGURA 9. Ocurrencia de los niveles D, O y E en el frente de explotación S13.



La composición mineralógica del Nivel O (muestra total y fracción lodosa) determinada mediante DRX se presenta en la Tabla 10. (Anexo F)

TABLA 10. Análisis mineralógico del Nivel Orgánico.

Composición Mineralógica (%)	Frente (Lodo)		Perforación (muestra total)	
	S12	S13	S9 (con M.O.)	S9 (sin M.O.)
Cuarzo	29,08	22,73	49,08	47,67
Moscovita/Illita	52,99	16,09	*	27,58
Caolinita	8,56	10,45	19,77	13,22
Anatasa	3,81	1,20	3,13	5,36
Gibsita	-	-	1,63	*
Amorfos	5,63	49,53	26,39	2,66

(*) M.O.: Materia Orgánica

La composición química de la fracción arenosa y lodosa del Nivel O, se presenta en la Tabla 11.

TABLA 11. Análisis químico del Nivel Orgánico (O).

Composición Química (%)	Frentes de Explotación			
	S12		S13	
	Arenas	Lodos	Arenas	Lodos
SiO ₂	80,64	55,05	28,68	35,15
Fe ₂ O ₃	0,66	2,30	0,45	0,62
Al ₂ O ₃	12,23	35,84	9,97	17,11
K ₂ O	0,77	1,02	3,17	3,80
CaO	0,21	0,17	0,18	0,08
MgO	0,06	0,11	0,01	0,02
PPI*	4,37	7,42	58,40	41,03

(*) PPI: Perdidas por Ignición

7.6 NIVEL E

Este nivel posee un espesor promedio de 1,15m; esta constituido por un limo arenoso de color blanco o gris, aunque en el frente S12 presenta un color amarillento. Este nivel presenta abundantes partículas de cuarzo, moscovita y fragmentos de shale; el tamaño de las partículas cuarzosas varía del granulo a la arena muy fina, y tienen formas esféricas y angulares; las otras partículas poseen tamaños medios a muy finos. Dentro del nivel se destaca la gran cantidad de óxidos de hierro que pueden originarse a partir de los fragmentos de shale; estos óxidos pueden encontrarse distribuidos puntualmente o en forma laminar.

El nivel se encuentra en todas las perforaciones y frentes de explotación de la Vereda Barroblanco con excepción del frente de explotación S11 ubicado al S del depósito de caolines. En este frente en depósito de caolín inicia a partir del Nivel D. (Anexo D)

En el pozo S8 el nivel parece tener un enriquecimiento en la cantidad de material arenoso, por lo tanto en este pozo el nivel puede clasificarse como una arena limosa fina a muy gruesa de color blanco. (Anexo E)

Al N del depósito de caolines en el área del molino de caolines, el Nivel E se encuentra sobre un nivel rico en materia orgánica (Nivel O). (Anexo D)

La composición mineralógica del Nivel E (muestra total y fracción lodosa) determinada mediante DRX se presenta en la Tabla 12. (Anexo F)

TABLA 12. Análisis mineralógico del Nivel E.

Composición Química (%)	Frentes (Lodo)		Perforaciones (muestra total)		
	S12	S13	S5	S6	S9
Cuarzo	35,66	40,60	47,84	37,32	20,82
Moscovita/Illita	30,19	38,43	24,99	22,07	25,66
Caolinita	6,83	10,44	15,18	14,35	34,33
Anatasa	1,64	3,49	1,79	0,97	3,92
Amorfos	25,68	7,05	10,20	25,29	15,27

La composición química de la fracción arenosa y lodosa del Nivel E, se presenta en la Tabla 13.

TABLA 13. Análisis químico del Nivel E.

Composición Química (%)	Frente de explotación			
	S12		S13	
	Arenas	Lodos	Arenas	Lodos
SiO ₂	94,77	66,88	95,17	60,89
Fe ₂ O ₃	0,14	2,45	0,20	1,06
Al ₂ O ₃	0,63	31,32	1,01	22,71
K ₂ O	0,34	0,88	0,57	5,35
CaO	0,24	0,22	0,13	0,06
MgO	0,01	0,08	0,00	0,03
PPI*	0,13	5,30	6,05	6,70

(*) PPI: Perdidas por Ignición

7.7 NIVEL F

Este nivel representa el límite superior del depósito de caolines, posee 0,84m de espesor promedio; aunque en el frente S13 se observa un espesor de 1,60m y en la perforación S8 tiene 2,20m de espesor (Anexo E).

El nivel esta constituido por un limo arcilloso de color blanco, aunque al N del depósito en el área del Molino de Caolines presenta coloraciones amarillentas a grisáceas. El nivel esta compuestos de partículas de cuarzo, moscovita y fragmentos de shale de tamaño muy fino, además presenta gran cantidad de óxidos de hierro. Localmente se observa una laminación plana paralela a no paralela de arcilla, de color café – amarillento, y delgados lentes arenosos muy finos de color blanco en el frente S13.

En la perforación S8 en donde el nivel alcanza su máximo espesor, este tiene un enriquecimiento en partículas arenosas muy finas de tal forma que puede clasificarse como un limo arenoso muy fino de color blanco.

El nivel se encuentra ausente en la perforación S4, y en los frentes de explotación S12 y S11 ubicados al N y S del área de estudio, respectivamente. El nivel forma parte de un conjunto grano-decreciente que se inicia con el Nivel E (Anexo D).

La composición mineralógica del Nivel F (muestra total y fracción lodosa) determinada mediante DRX se presenta en la Tabla 14. (Anexo F)

TABLA 14. Análisis mineralógico del Nivel F.

Composición Mineralógica (%)	Frente (Lodo)	Perforaciones (muestra total)	
	S13	S5	S9
Cuarzo	8,89	41,43	36,58
Moscovita/Illita	50,34	20,90	35,05
Caolinita	7,80	17,62	37,15
Anatasa	8,90	2,62	5,09
Gibsita	-	-	9,99
Amorfos	3,17	3,28	11,19

La composición química del Nivel F, se presenta en la Tabla 15.

TABLA 15. Análisis químico del Nivel F.

Composición Química (%)	Frente de explotación S13	
	Arenas	Lodos
SiO ₂	90,06	46,30
Fe ₂ O ₃	0,33	1,42
Al ₂ O ₃	3,05	33,38
K ₂ O	1,63	8,64
CaO	0,24	0,08
MgO	0,09	0,04
PPI*	1,82	9,64

(*) PPI: Perdidas por Ignición

8. CUANTIFICACION DE RECURSOS

Las características geológicas de un recurso mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencias y conocimientos geológicos específicos. El conocimiento geológico del depósito en estudio, está basado en observaciones directas de campo, realización de sondeos (distancia promedio entre sondeos: 179,5m), documentación y muestreo sistemático de los frentes de explotación y de los sondeos. Los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras tomadas permitieron conocer la composición de los caolines y sus propiedades físicas, lo cual permitió caracterizar la mena con relación a su cantidad y calidad.

La información obtenida del depósito de caolines de la Vereda Barroblanco permite cuantificar el potencial de recursos de acuerdo con la Clasificación Internacional de Recursos Minerales y Reservas Minerales (Vaughan, W. S., & Felderhof, S., 2002), en: Recursos Minerales Medidos, Recursos Minerales Indicados y Recursos Minerales Inferidos.

Recursos Minerales Medidos:

Un recurso mineral medido es aquel que posee estimaciones de tonelaje, densidad, forma, características físicas, espesor y contenido mineral (cantidad y calidad), con: a) un alto nivel de confianza; b) información detallada y confiable; y, c) con sitios de muestreo lo suficientemente cercanos como para confirmar la continuidad geológica y de contenido mineral del depósito (Vaughan, W. S., & Felderhof, S., 2002).

Los recursos minerales medidos comprenden el área encerrada por todos los sitios de muestreo que permitieron la caracterización geológica de depósito y la estimación de los principales niveles caoliníferos como las perforaciones y frentes de exploración dentro de la Vereda Barroblanco (Figura 10).

Recursos Minerales Indicados:

Un recurso mineral indicado es aquella parte del recurso mineral para la cual el tonelaje, densidad, forma, características físicas, espesor y contenido mineral puede ser estimado con un razonable nivel de confianza. Está basado en la exploración, el muestreo y la información de pruebas obtenidas a través de técnicas apropiadas, de sitios como afloramientos, trincheras, perforaciones y agujeros de explotación. Los sitios de muestreo están muy ampliamente espaciados o inapropiadamente espaciados como para confirmar la continuidad geológica o de contenido mineral, pero lo suficientemente espaciados como para asumir dicha continuidad. Esta categoría tiene un nivel de confianza mayor que los recursos minerales inferidos pero un nivel de confianza menor que los recursos minerales medidos (Vaughan, W. S., & Felderhof, S., 2002).

Los recursos minerales indicados en la Vereda Barroblanco contienen la zona comprendida entre el muestreo sistemático realizado en las perforaciones y frentes, y los frentes de explotación abandonados en el área que aunque no permiten la extracción de muestras para su estudio si permiten corroborar la distribución del depósito y de los principales niveles caoliníferos (Figura 10).

Recursos Minerales Inferidos:

Un recurso mineral inferido es aquella parte del recurso mineral para la cual el tonelaje, el espesor y el contenido mineral (cantidad y calidad) puede ser estimado basado y asumido en la evidencia geológica, pero donde no se puede verificar su continuidad geológica, espesor y contenido mineral. La información sobre la cual se basa la estimación, puede ser limitada o de calidad y fiabilidad incierta. Tiene un nivel de confianza inferior a los recursos minerales indicados (Vaughan, W. S., & Felderhof, S., 2002).

Este tipo de recursos componen el área externa en la categorización de recursos del área (Figura 10) y esta basada principalmente en las características geomorfológicas del depósito y en el control de campo. Estas características superficiales podrían indicar una continuidad en profundidad de las propiedades geológicas y de los principales niveles caoliníferos.

Los principales niveles caoliníticos del depósito, de interés comercial son el Nivel D y el Nivel B. El cálculo de reservas para estos niveles se realizó mediante el método de áreas. El procedimiento y los resultados se describen a continuación.

El espesor promedio calculado a partir del corte geológico realizado al yacimiento (Anexo D), y de los perfiles de cada una de las perforaciones y frentes (Anexo E) dio los siguientes resultados:

Espesor Promedio del Nivel D: 1,86m

Espesor Promedio del Nivel B: 2,35m

Otra de las propiedades físicas tomadas en cuenta para el cálculo es la densidad del caolín determinada mediante análisis pignométrico. La densidad obtenida fue de **2,62Ton/m³**.

La cuantificación de los recursos de caolín se presenta en las tablas 16, 17 y 18.

TABLA 16. Calculo de recursos minerales medidos en el área de la Vereda Barroblanco.

NIVEL	RECURSOS MINERALES MEDIDOS			
	Espesor (m)	Area (m ²)	Volumen (m ³) (espesor X area)	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

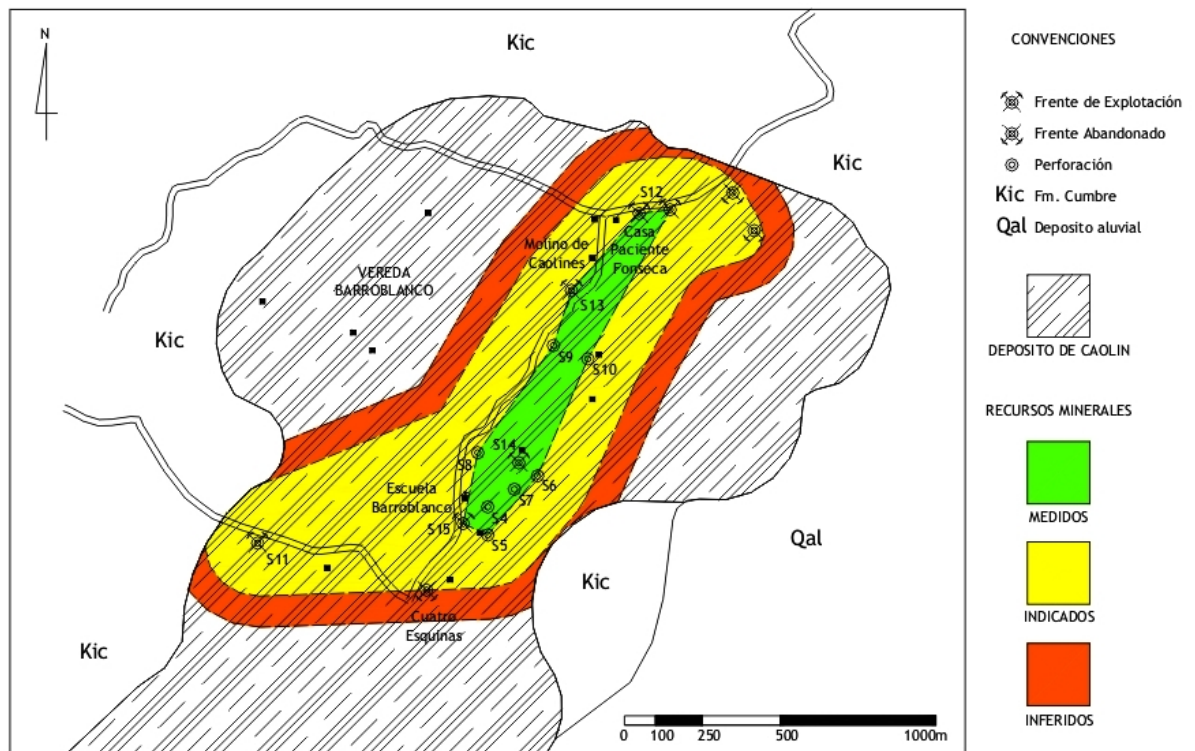
TABLA 17. Calculo de recursos minerales indicados en el área de la Vereda Barroblanco

NIVEL	RECURSOS MINERALES INDICADOS			
	Espesor (m)	Area (m ²)	Volumen (m ³) (espesor X area)	Recursos (Ton) (volumen x densidad)
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

TABLA 18. Calculo de recursos minerales inferidos en el área de la Vereda Barroblanco

NIVEL	RECURSOS MINERALES INFERIDOS			
	Espesor (m)	Area (m ²)	Volumen (m ³) (espesor X area)	Recursos (Ton) (volumen x densidad)
D	1,86	422.074,19	785.057,99	2'056.851,94
B	2,35		991.874,35	2'598.710,79

FIGURA 10. Categorización de recursos minerales para el depósito de caolines de la Vereda Barroblanco.



Para estimar el tamaño del depósito de caolines de la Vereda Barroblanco, podemos sumar los tonelajes de cada uno de los niveles D y B con sus respectivos recursos medidos, indicados e inferidos; de modo que se tenga una idea del tamaño del depósito.

Así se tiene que el Nivel D posee un total de 7'028.614,65Ton de caolín; mientras que el Nivel B cuenta con 8'880.238,94Ton.

De esta manera, el depósito de caolín de la Vereda Barroblanco presenta recursos estimados en cerca de los 15'908.853,59Ton de caolín. Según Lorenz, W. (1999) los depósitos de caolín con más de 10 millones de toneladas (>10'000.000) de contenido mineral son considerados como grandes (Tabla 19). Por este motivo el depósito de caolín de la Vereda Barroblanco puede ser considerado como de gran tamaño.

TABLA 19. Clasificación del tamaño de los depósitos de caolín. (Lorenz, 1999)

Tamaño del Deposito	Contenido de mineral (Ton)
Pequeño	500000 -- 1'000.000
Mediano	1'000. 000 – 10'000.000
Grande	>10'000.000

9. CONDICIONES DE FORMACION DEL DEPOSITO

En este capítulo se clasificará el depósito de la Vereda Barroblanco con base en la composición mineralógica, química y granulométrica; y se comparará dicha información con los datos reportados por W. Lorenz (1999) para diferentes tipos de caolines.

9.1 CARACTERIZACIÓN GENÉTICA

Dentro de los datos aportados por W. Lorenz (1999) tenemos la Tabla 20, la cual presenta la composición mineralógica y química para caolines en bruto de origen primario (residuales o In Situ) o secundario (redepositados). Asimismo, se presenta el contenido de caolín (o de arcilla) que en esta tabla es la fracción granulométrica inferior al Limo Grueso (o $<20\mu\text{m}$).

Adjunto a esta tabla se presenta una cuarta columna con la información mineralógica y química promedio para la fracción lodosa del depósito de la Vereda Barroblanco.

Los depósitos de caolín en diferentes etapas de desarrollo pueden ser finalmente clasificados como residuales, hidrotermales y sedimentarios. Las características texturales y estructurales propias de cada uno de estos tipos de depósitos, son presentadas por W. Lorenz (1999) en la Tabla 21.

Posteriormente se analizará la información geológica (litología, texturas y estructuras) y química, con el fin de interpretar las condiciones ambientales originales que condujeron a la depositación del material arcilloso asociado a la sedimentación de la Formación Cumbre.

TABLA 20. Composición mineralógica y química de caolines en bruto.

	Tipo de Deposito		Deposito de Caolines 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

Tomado de Lorenz, (1999).

TABLA 21. Tipos de depósito de caolín.

<p>Caolines residuales (depósitos primarios)</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Desarrollados a partir de descomposición química intensa en condiciones tropicales a subtropicales cerca de la superficie. * Estructura original de la roca aun distinguible. * Localizados sobre áreas superficiales recientes o antiguas (fósiles). * Gradación continúa de la alteración en profundidad hacia la roca parental. * Clara distinción zonal (roca primaria – zona con silicatos trilaminados – zona con silicatos bilaminados) * La profundidad de la descomposición (>10m) depende de la porosidad, y la formación de clivajes y fallas. * A menudo se mantienen minerales inalterados de la roca parental. * La mayoría de la caolinita se encuentra en partículas/cristales bien ordenados.
<p>Caolines hidrotermales (depósitos primarios)</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Desarrollados a partir de la alteración hidrotermal de rocas magmáticas acidas. * Siempre involucra aguas meteóricas * La estructura de la roca primaria se mantiene claramente perceptible. * Los caolines a menudo están asociados a venas, frentes hidrotermales, etc., por esos son cuerpos de forma tubular o de vena, de poca extensión horizontal pero de gran profundidad.
<p>Caolines sedimentarios Arcillas caoliníticas (depósitos secundarios)</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Caolines residuales redepositados, caolín relativamente puro a menudo enriquecido en lentes. * Las arcillas caoliníticas son producto de la erosión de cortezas caoliníticas meteorizadas. * Depósitos en áreas fluviales, limnicas y salobres, a menudo bajo condiciones reductoras (lagos pantanosos, deltas y lagunas). * Depósitos a menudo en cuencas controladas por fallas. * Interestratificación con arena y limo. * Espesor desde dm. hasta más de 10m. * Procesamiento natural a través del transporte, también formación de nuevos minerales. * Adsorción de minerales de hierro y materia orgánica.

Tomado de Lorenz, (1999).

Al analizar la información obtenida del depósito de caolines, tenemos:
(Tabla 20)

El contenido promedio de arcilla (fracción <20um) para el depósito de caolín de la Vereda Barroblanco estimado en muestra total a través de análisis granulométricos es del 76,3% y del 30% para los niveles más arenosos. El depósito de caolín presenta un mayor contenido de limo cuarzoso que de material arcilloso.

El contenido promedio de caolinita obtenido para las muestras del depósito de caolines es del 15%. El contenido promedio de illita/mica para la fracción lodosa se estima en 33,05%. Un rasgo característico de este depósito es que el contenido de illita/mica supera ampliamente al contenido de caolinita en la mayoría de los niveles que componen el depósito de caolines.

En cuanto al contenido de cuarzo, la fracción lodosa presentó un contenido promedio de 35,4%. Los análisis de difracción de rayos X no mostraron presencia de feldespato y de mezclas de minerales laminados.

La composición química promedio del depósito es: 60,15% SiO₂, 24,12% Al₂O₃, 1,15% Fe₂O₃, 0,13% CaO, 0,38% MgO, 3,92% K₂O y 9,59% de materia orgánica. Los valores que concuerdan con los intervalos estimados por W. Lorenz (1999) y que permiten la correlación se encuentra en negrilla dentro de la Tabla 20.

Al comparar estos resultados con la información reportada por Lorenz, (1999) en la Tabla 20, podemos observar que:

El contenido de caolinita está muy por debajo del valor mínimo establecido para caolines primarios, mientras que el contenido de mica/illita sobrepasa el límite superior establecido para los depósitos primarios; aunque, varias de las muestras analizadas presentaron valores comprendidos dentro del intervalo para depósitos primarios. El contenido de cuarzo se encuentra dentro del intervalo establecido para los depósitos primarios.

Comparando la composición química tenemos que el contenido de SiO_2 , MgO , K_2O y LOI (materia orgánica) concuerdan con los valores establecidos para un depósito primario; el contenido de Fe_2O_3 es correlacionable en ambos tipos de depósito; y el contenido de Al_2O_3 supera las cantidades de un depósito primario pero no alcanza las cantidades necesarias para un depósito secundario

Aunque el contenido de arcilla se correlaciona con un depósito secundario, la composición mineralógica está muy relacionada con los depósitos primarios debido a la gran cantidad de illita/mica y de cuarzo presente en el depósito de caolines de la Vereda Barroblanco; además, se debe tener en cuenta los bajos contenidos de caolinita. Este contenido contrasta con los altos contenidos de caolinita (>80%) en los depósitos como secundarios.

Químicamente el depósito de Barroblanco tiene una gran similitud con un depósito primario como se había sugerido anteriormente con la composición mineralógica. Otro aspecto interesante es que un depósito primario posee una mayor cantidad de componentes químicos y mineralógicos que los hacen más impuro en comparación con un depósito secundario.

Con las consideraciones mineralógicas y químicas realizadas anteriormente podemos definir el depósito de caolines de la Vereda Barroblanco como un depósito primario, que de acuerdo con W. Lorenz, (1999) puede ser clasificado con toda seguridad como un Caolín, debido a que los depósitos de caolín generalmente están asociados con depósitos primarios; mientras que el material caolinítico asociado a depósitos secundarios (sedimentarios) es denominado como arcilla caolinítica.

A continuación correlacionaremos las características litológicas, texturales y estructurales del depósito de caolín de la Vereda Barroblanco, con aquellas definidas por W. Lorenz (1999) para un depósito de caolines primarios o residuales. (Tabla 21)

El depósito de caolín de Oiba es un depósito estratiforme constituido principalmente por limos arcillosos, lodos arenosos y lodos, que conforman el nivel intermedio caolinítico de la Formación Cumbre. Dentro de las estructuras originales presentes dentro del depósito de caolín aun se pueden diferenciar en los frentes de explotación: los estratos que conforman el depósito con laminación plana – paralela, ondulosa y difusa; los pequeños cuerpos lenticulares de color gris oscuro ricos en materia orgánica, óxidos de Ti y pirita; y los extensos estratos lenticulares café ricos en materia orgánica; entre otros.

En cuanto al grado de meteorización del depósito, este se ha desarrollado uniformemente dentro de todo el depósito facilitado principalmente por fracturas superficiales verticales con 1 a 2m de profundidad.

La meteorización se genera por la humedad almacenada en el depósito que descompone, disgrega y oxida las partículas de pirita y algunos fragmentos de shale.

Aunque el grado de meteorización sea uniforme, el nivel más profundo del depósito (Nivel A) presenta a simple vista características mucho más similares a la de una roca sedimentaria, aspecto que es fácilmente desmentido al momento de tomar una muestra y observar que esta se disgrega con mucha facilidad. Este hecho nos lleva a pensar que a una mayor profundidad, el depósito de caolín pasara a tener las propiedades litológicas de las rocas que componen a la formación a medida que el grado de meteorización va disminuyendo en profundidad.

La profundidad estimada del depósito es de 5 a 9,5m, pero no necesariamente quiere decir que la descomposición o la meteorización deben finalizar a esta profundidad.

Se debe tener presente que este depósito se localiza en la parte media de la Formación Cumbre y que la meteorización de este, al haber sido expuesto en superficie ha contribuido a su disgregación; aspecto que facilita enormemente las labores de extracción del caolín. Estas características y la anterior descripción de la composición química y mineralógica hacen de este un depósito primario (Tabla 21); pero ha diferencia de los depósitos primarios de caolín más comunes en el mundo y que son originados a partir de rocas magmáticas, este depósito esta relacionado a rocas sedimentarias.

9.2 CARACTERIZACIÓN PALEOAMBIENTAL

Las formaciones Arcabuco y Cumbre marcan la trasgresión marina Cretácica sobre el Oriente Colombiano que se inicio desde finales del Jurásico y no se desarrollo en un surco único y sencillo, sino que progreso utilizando una compleja red de grabenes de alta subsidencia.

El ambiente tectónico regional de la época es de cuencas distensionales controladas por fallas normales que facilitaron la invasión del océano epicontinental Cretácico que resulto en la depositación sin discontinuidades de secuencias de sedimentos marinos y epicontinentales de espesor variable sobre grandes áreas del Oriente Colombiano.

Este control tectónico se expreso en los grandes cambios laterales de facies y de espesor de las diversas formaciones depositadas durante este periodo. (Cediel, et al. 2003)

La Formación Cumbre corresponde a una zona intermareal que indica el avance oscilante de la transgresión marina Cretácica. La depositación de la Fm. Cumbre inicia en canales de ríos meandriformes que migran lateralmente y que estuvieron afectados por la influencia de las mareas y de las olas; esta llanura costera cambia a condiciones marinas o influenciadas por el mar que estarían representadas por canales de ríos que desembocan en una laguna interior o en una bahía. Las condiciones marinas se mantienen y se forman depósitos en aguas de profundidad cercana al nivel base de las olas, aunque se presentan variaciones en las distancias desde la costa. Estas condiciones marinas cambian hacia la mitad de la depositación de la Fm. Cumbre, por un ambiente de ríos de alta sinuosidad y llanuras de inundación cubiertas de vegetación y localmente expuestas al aire, con influencias marinas; como las que se presentan en la progradación de un delta. (Renzoni G., 1985)

Este cambio de condiciones marinas por ríos de alta sinuosidad marca la depositación de los niveles caoliníticos presentes en el intervalo intermedio de la Fm. Cumbre, iniciando en condiciones marinas para luego terminar en condiciones de llanuras de inundación que permitieron la depositación de extensos lentes ricos en materia orgánica ubicados sobre los niveles de caoliníticos.

Hacia la parte superior de la Fm. Cumbre se presentan ambientes pantanosos y de zonas bajas ocupadas por lagunas salobres, que finalmente cambian a condiciones marinas de aguas poco profundas y tranquilas. (Renzoni G., 1985)

Esta interpretación ambiental realizada por Renzoni (1985) para los niveles caoliníticos de la Formación cumbre puede ser identificada y explicada en el área de la Vereda Barroblanco a partir de las condiciones mineralógicas obtenidas para cada uno de los niveles que componen el depósito de caolín.

En la Tabla 22 se presentan las composiciones mineralógicas en muestra total (excepto para el Nivel A) para cada uno de los niveles presentes en el depósito. Las composiciones se presentan de izquierda a derecha desde el SW (perforación S5) hacia el NE (perforación S9) (Anexo A); también, se presenta el espesor y la composición mineralógica promedio, esta última para aquellos niveles con más de un análisis.

TABLA 22. Composición Mineralógica para los niveles del depósito de caolín.

Composición Mineralógica (espesor promedio)	Frente S11 (lodo)	Perforaciones			Promedio Muestra Total
		SW S5	S6/S8	NE S9	
Nivel F (0,84m)					
Cuarzo		41,43		36,58	39,01
Moscovita/Illita		20,90		35,05	27,98
Caolinita		17,62		37,15	27,39
Anatasa		2,62		5,09	3,86
Gibsita				9,99	5,00
Amorfos		3,28		11,19	7,24
Nivel E (1,15m)			S6		
Cuarzo		47,84	37,32	20,82	35,33
Moscovita/Illita		24,99	22,07	25,66	24,24
Caolinita		15,18	14,35	34,33	21,29
Anatasa		1,79	0,97	3,92	2,23
Amorfos		10,20	25,29	15,27	16,92
Nivel O (1,36m)					
Cuarzo				49,08	
Moscovita/Illita					
Caolinita				19,77	
Anatasa				3,13	
Gibsita				1,63	
Amorfos				26,39	
Nivel D (1,86m)			S8		
Cuarzo		58,87	36,30	46,43	47,20
Moscovita/Illita		21,94	30,17	36,75	29,62
Caolinita		16,96	8,54		8,50
Anatasa				4,29	1,43
Amorfos		2,24	24,99	12,53	13,25
Nivel C (0,36m)					
Cuarzo				76,35	
Moscovita/Illita				18,82	
Caolinita					
Anatasa					
Amorfos				4,83	
Nivel B (2,35m)					
Cuarzo		52,66			
Moscovita/Illita		26,08			
Caolinita		10,55			
Anatasa					
Pirita		*			
Amorfos		10,72			
Nivel A					
Cuarzo	54,11				
Moscovita/Illita	12,32				
Caolinita	13,96				
Anatasa	0,94				
Pirita	*				
Amorfos	18,94				

Al analizar la Tabla 22 podemos observar que a parte del incremento hacia la parte superior (Nivel F) del contenido promedio de caolinita; también, se aprecia el aumento de la caolinita en dirección SW – NE (S5 – S9) como se presenta en los niveles E y F, en donde el contenido de este mineral casi se duplica. Otra presencia interesante es el Nivel Orgánico (O) solo hacia el NE del depósito de caolín. (Anexo D)

Las características descritas anteriormente se presentan en las perforaciones S9 y S10; además de en los frentes de explotación S12 y S13 (Anexo A). La otra zona hacia el SW del depósito esta constituida por las perforaciones S4 a S8 y los frentes de explotación S11, S14 y S15; esta zona posee contenidos de caolinita más bajos, y carece del Nivel O entre los niveles D y E (Anexo A). Así es posible dividir el depósito de en dos zonas que finalmente posibilitaran un análisis más detallado del mismo.

Ahora se interpretaran ambientalmente los niveles que conforman el depósito de caolines, teniendo en cuenta previamente algunas particularidades de depósito como son: el contenido de caolinita, moscovita/illita y la relación entre estos elementos, y el contenido de otros minerales como el cuarzo, pirita y gibsita.

Las arcillas reflejan las condiciones paleoclimáticas y en el caso de la caolinita, su formación representa uno de los estados más avanzados de la secuencia de meteorización (Tabla 23) y está relacionada a parámetros climáticos como, precipitación y la temperatura (Renzoni, 1985).

TABLA 23. Características de un proceso de meteorización química (hidrólisis).

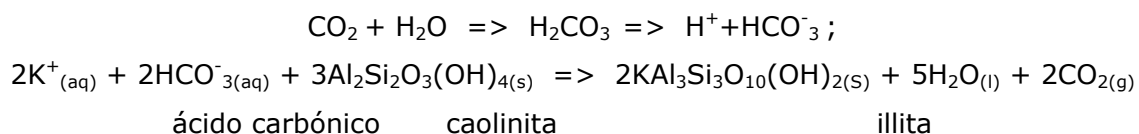
Mecanismo de meteorización química		HIDRÓLISIS		
Caracterización geoquímica de la evolución	Proceso dominante	Pérdida de sílice, concentración residual de Fe y Al		
	Intensidad	Intenso	Moderado	Débil
	Material expulsado	Sílice y bases		
Característica mineralógica de los horizontes meteorizados		Hidróxidos de Al - Gibsite	Filosilicatos - Caolinita (1:1)	Filosilicato - Smectitas (2:1)

Tomado de Páez, et al. (1982).

La alta proporción de material arcilloso podría atribuirse a lodo en suspensión, depositado como agregados o floculos más que como partículas individuales a causa de cambios químicos en el agua, especialmente cuando se mezcla el agua de ríos con el agua marina. (Renzoni, 1985)

El cambio en las concentraciones relativas de caolinita y illita pueden ser explicados por la transición de un ambiente marino a otro no marino. Este cambio de la depositación no-marina a marina 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. (Páez, et al. 1982)

La reacción es la siguiente:



Ahora, se considera que la caolinita flocula a una salinidad baja y que por lo tanto se deposita más cerca de la desembocadura de un río. Otra hipótesis para la presencia de la caolinita, sería la reactivación química de los minerales arcillosos la cual es muy sensitiva a procesos de pedogénesis en áreas entre canales expuestos subaéreamente por largos periodos. (Páez, et al. 1982)

Además de la caolinita y su relación con la illita, es necesario analizar los procesos de formación de la materia orgánica y su conexión con la caolinita; también, se analizara la formación de la pirita y de la gibsita.

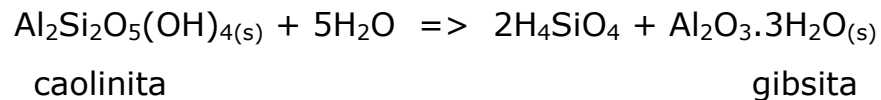
El clima es importante porque determina la temperatura y la disponibilidad del agua. Estos dos factores condicionan la cantidad de vegetación, la cual a su vez incrementa la meteorización química y mecánica, ya que la descomposición del detrito orgánico produce CO₂ el cual aumenta la disolución y la fragmentación de los componentes del suelo.

La descomposición bacterial de la materia orgánica 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 y 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 anoxico y reductor, y favoreciendo la formación de pirita ($\text{FeS} + \text{S}^0 \Rightarrow \text{FeS}_2$). Además, la respiración de organismos vivos y la descomposición de la biomasa son fuente de CO₂ y elevan su contenido en el aire del suelo el cual puede llegar a alcanzar valores entre 60 y 100 veces la

concentración del CO₂ en la atmósfera, en especial en ambientes tropicales.

Otro aspecto interesante es que los ácidos humicos y fulvicos son los principales componentes de la materia orgánica disuelta y se sugiere que pueden tener un efecto 100 veces mayor que el ácido carbónico (H₂CO₃). (Páez, et al. 1982)

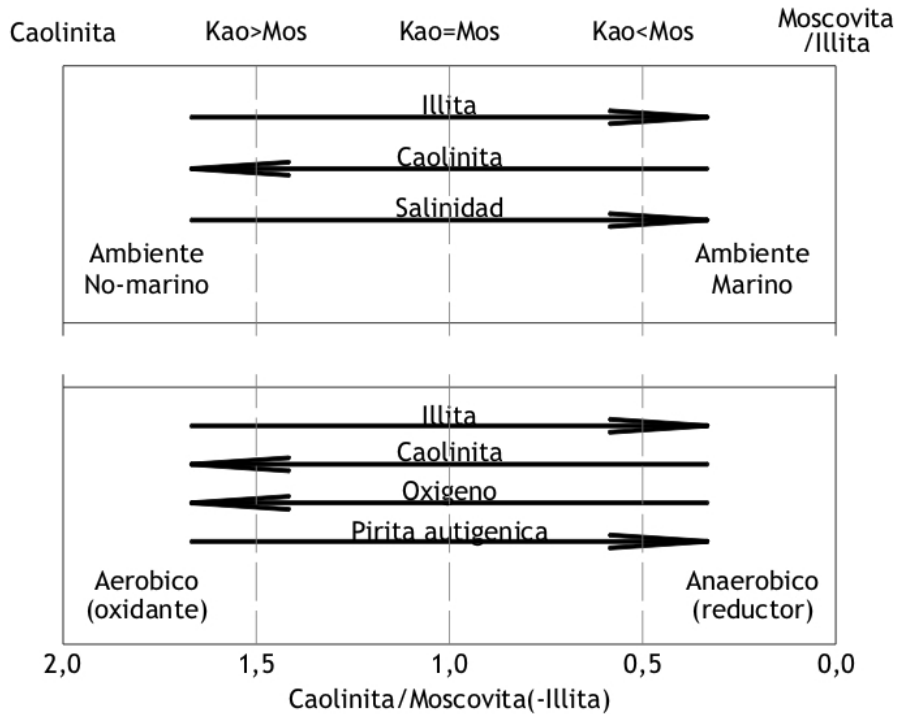
En cuanto a la gibsita, si la caolinita permanece sobre el suelo el intemperismo continuo removerá todos sus cationes, dejando al final gibsita un óxido de aluminio hidratado; la reacción se presenta a continuación:



Y, así como se presenta en la Tabla D la gibsita es el producto más intenso de un proceso de meteorización química, más aun que la caolinita. (Páez, et al. 1982)

La Figura 11 presenta las características mineralógicas y ambientales asociadas a la relación caolinita/moscovita(-illita) bajo dos condiciones independientes; la salinidad y la cantidad del oxígeno disponible en el medio.

FIGURA 11. Relación caolinita/moscovita(-illita) y sus implicaciones ambientales.



Ahora que se cuenta con un elemento de correlación ambiental en el cual, si la relación caolinita/moscovita(illita) es menor de 1,0 entonces existirá una predominancia del ambiente marino, y si es mayor de 1,0 habrá más influencia de un ambiente no-marino. Con lo anterior es posible analizar cada uno de los niveles que componen el depósito de caolín de la Vereda Barroblanco.

En las figuras 12 y 13 se presentan los diagramas para cada una de las perforaciones S9 y S5, acompañadas de sus espesores promedio, la composición mineralógica para cada uno de los niveles presentes en cada perforación a la izquierda y a la derecha un grafico de la relación caolinita/moscovita(-illita). La exhibición de los dos gráficos permitirá comparar las dos zonas que componen el depósito de caolín.

FIGURA 12. Composición mineralógica y relación de caolinita/moscovita(illita) para los niveles de la perforación S9.

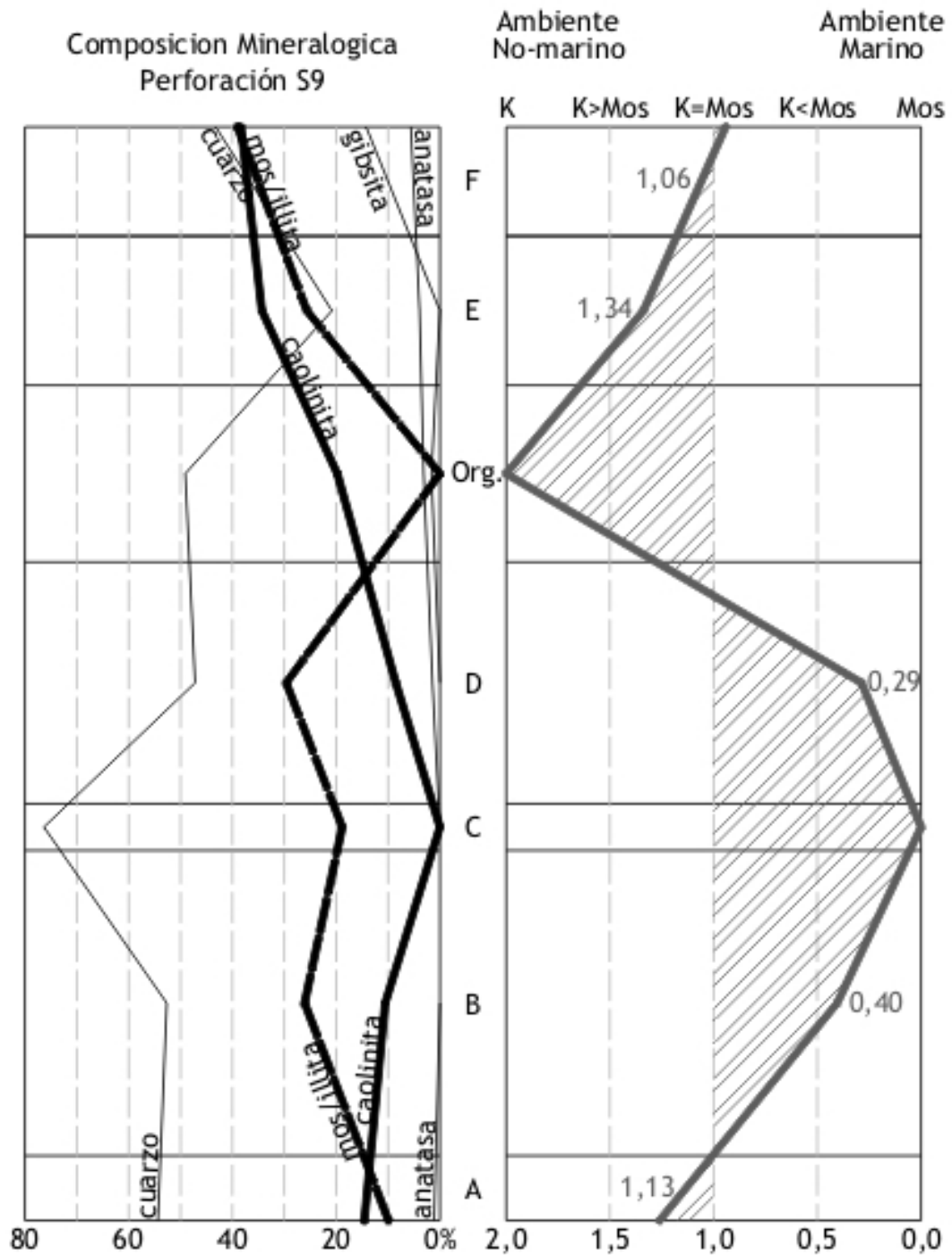
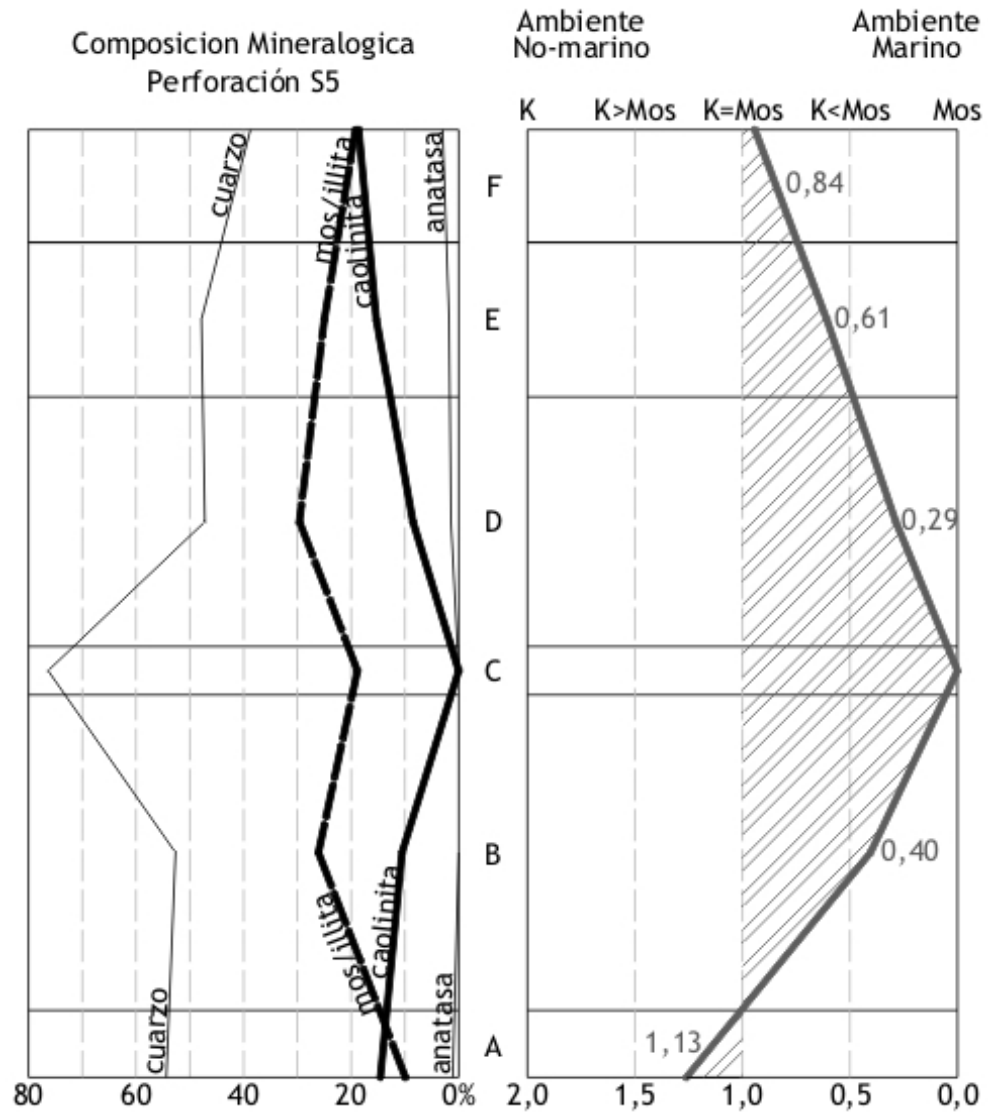


FIGURA 13. Composición mineralógica y relación de caolinita/moscovita(illita) para los niveles de la perforación S5.



Las figuras 12 y 13 se comportan de la misma manera desde el Nivel A hasta el Nivel D; condición que representa una depositación uniforme para todo el depósito de caolines. 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 NE y otra al SW. (Anexo A y D)

Ahora tenemos que: el Nivel A, el más profundo dentro del depósito de caolines posee una relación de caolinita/illita de 1,13 y enmarcaría dicho nivel dentro de 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 12 y 13). Un hecho interesante durante la depositación de los Niveles A y B (parte inferior) es la presencia de lentes limo arcillosos de color gris oscuro que presentan cristales de pirita, posiblemente formados por acumulación de materia orgánica y la reducción bacteriana de dicha materia en un proceso similar al descrito anteriormente. La máxima influencia del ambiente marino se presenta durante la depositación del Nivel C, de 0,36m de espesor promedio y constituido por una arena limosa de color gris; este nivel carece de caolinita (Tabla 22) y es dentro de todo el depósito el más rico en contenido de cuarzo, de manera 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 (Figura 12 y 13). La influencia marina disminuye a partir del Nivel C, es por esta razón que la depositación del Nivel D presenta unas características similares a la del Nivel B; la relación caolinita/illita del Nivel D es igual a 0,29. Las condiciones de sedimentación se mantienen uniformes dentro de todo el yacimiento de caolines durante la depositación de los niveles B, C y D (Figuras 12-13). Después de la depositación del Nivel D se establecen dos condiciones diferentes dentro del depósito de caolines; al NE (S9, S10, S11 y S12) se presenta la sedimentación de un Nivel Orgánico, con gran cantidad de fragmentos leñosos (Figura B), mientras que al SW se deposita directamente el Nivel E sobre el Nivel D (Figura 13).

La depositación del Nivel Orgánico (O) se da en condiciones continentales (no-marinas) (Figura 12), las cuales están marcadas mineralógicamente por la ausencia de la moscovita y la presencia de caolinita; aunque se debe tener en cuenta la gran cantidad de amorfos presentes en la muestra total (Tabla 22).

La depositación del Nivel E se presenta dentro de dos tipos de ambientes sedimentarios contiguos pero más influenciado por un ambiente marino hacia el SW con una relación de caolinita/illita de 0,61 (Figura 13); que hacia el NE con una relación caolinita/illita de 1,34 y más influenciado por un ambiente no marino (o fluvial) (Figura 12).

Hacia la depositación del Nivel F las condiciones de depositación dentro del depósito de caolines tienden a homogenizarse, aunque aun hacia el SW se presenta una influencia más marina (Figura 13) que la que se presenta hacia el NE (Figura 12). La relación caolinita/illita al SW es de 0,84 y al NE es de 1,06.

Por ultimo la presencia de gibsita en los niveles O y F, demuestra que estos pudieron haber sido expuestos localmente a la acción de aguas lluvias (aérea), proceso que meteorizo intensamente el material depositado (Tabla 23) y en especial a la caolinita, lo que permitió la formación de gibsita a través de la reacción expuesta con anterioridad.

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) presente en los niveles O, E y F, y más acentuado hacia el NE del depósito; corresponde al cambio ambiental descrito por Renzoni (1985) para los niveles caoliníferos de la Formación 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.

Además, la diferencia entre el contenido de caolinita entre la zona NE y la SW del depósito demuestra la mayor depositación de la caolinita en ambientes de influencia fluvial (no-marina) que en zonas más influenciadas por los ambientes marinos. Se debe tener en cuenta 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.

10. METODO DE EXPLOTACION

La explotación de caolín llevada cabo en la vereda Barroblanco se ha venido realizando desde hace aproximadamente 50 años por los moradores de la región, quienes se han organizado por medio de una Cooperativa Agro-Minera con el fin de mejorar las condiciones de explotación y comercialización del mineral.

Desde sus inicios, la exploración en busca del mineral arcilloso ha sido desarrollada por los mineros del área de forma empírica relacionando las zonas a explotar por medio de parámetros muy generales como son: topografías planas, suelos de color blanco que afloran en algunos caminos veredales, zonas cercanas a otras perforaciones con características similares y afloramientos en general. Una vez identificada el área de posible explotación, que generalmente no excede los 10m², se procede a realizar perforaciones con un barreno que para esta fase exploratoria sólo se llega hasta los 4m de profundidad.

Las muestras de interés para los mineros deben ser muy arcillosas, suaves al tacto, y de color blanco; otro aspecto importante es que el barreno pueda girar con relativa facilidad, de lo contrario esto indicaría presencia de arena, y dependiendo del espesor que se presente se decide si se explota allí o no. Por lo anterior, esta fase exploratoria no está fundamentada en un estudio geológico previo, por lo tanto se desconocen las dimensiones del depósito y su geometría. Esta situación causa pérdidas en tiempo y dinero debido a que muchos lugares aparentemente prometedores para su explotación, son abandonados por variaciones en la calidad del caolín.

El proceso de explotación en la zona se inicia removiendo la cobertura vegetal, que en esta región es caracterizada por escasos árboles, y predominancia de arbustos y pastos. Después se realiza la remoción del suelo, que oscila entre 50 y 60cm de profundidad promedio en el área de estudio. Para realizar esta tarea suele emplearse un proceso manual con herramientas como picas y palas, aunque ocasionalmente son alquiladas retroexcavadoras que agilizan las labores. (Figura 14).

FIGURA 14. Frente de explotación S11 previamente descapotado.



Una vez se tiene la zona “limpia de vegetación”, o sea se ha realizado la fase de descapote, se procede por medio de picas y palas a excavar. En el caso del frente de explotación S11, primero se elabora una terraza de

aproximadamente 1,80m de profundidad, que es hasta donde llega el primer nivel explotable (Nivel D) y más cercano a superficie. Este primer nivel productor se encuentra infrayacido por una capa de arena (Nivel C) cuyo espesor promedio es de 0,36m y bajo la cual encuentra un segundo nivel económicamente explotable que alcanza un espesor promedio de 2,35m (Nivel B) (Figura 14). Ésta terraza contribuye a crear un talud que se continua explotando en profundidad y permite a los mineros hacer un seguimiento lateral el depósito.

Sobre la terraza expuesta, se comienza a profundizar la explotación mediante galerías o pasillos rectangulares, que permiten el avance de la explotación. (Figura 15).

FIGURA 15. Explotación en el Frente S13 de la Vereda Barroblanco.



Estos pasillos permiten extraer fácilmente el mineral caolínico en forma de bloques también rectangulares, los cuales se obtienen de las paredes de estos pasillos por medio de un instrumento muy sencillo que consiste en un trozo de alambre entrelazado que posee en cada uno de sus extremos dos trozos de madera que actúan como agarraderas, y con los cuales se parte en bloques el mineral.

La selección del mineral se realiza manualmente tomando en cuenta el grado de blancura que posee el mineral. La ganga corresponde a las capas muy arenosas o lentes arcillosos de color negro con cristales de pirita.

El mineral extraído y partido en bloques, es almacenado en superficie y protegido de la lluvia por medio de invernaderos que aceleran el proceso de secado, hasta obtener el suficiente para que sea transportado en volquetas con capacidad de hasta 10 toneladas. Comercialmente, el caolín se vende tanto en bloques sin ningún tratamiento, como caolín sometido a trituración mediante un molino.

El desarrollo de las canteras explotadas es restringido por obras civiles (carreteables, casas o establos), por los límites de la licencia minera, o por disminución del mineral. Una vez se abandona un frente de explotación no se realiza ninguna labor de recuperación del terreno, dejando en el lugar zonas profundas y vacías que suelen llenarse con agua lluvia, formando así "piscinas", las cuales constituyen un riesgo para los habitantes del lugar (Figura 16).

FIGURA 16. Frente de Explotación Abandonado.



11. USOS PARA EL CAOLIN

Para establecer el uso más apropiado para los caolines explotados en la Vereda Barroblanco se realizaron una serie de análisis y procesos de laboratorio conocidos como estudio metalúrgico. Dicho estudio fue realizado por un equipo interdisciplinario del Grupo de Investigaciones en Biohidrometalurgia de la Escuela de Ing. Metalúrgica.

Un estudio metalúrgico consta de una serie de procesos de beneficio que fueron seleccionados según los procesos utilizados actualmente a nivel mundial por las industrias de minerales arcillosos. Las etapas de beneficio estudiadas para la purificación de los caolines, se desarrollaron con el objetivo de obtener un caolín aplicable en la fabricación de cemento blanco, cerámicos y papel.

Los procesos evaluados durante el desarrollo del estudio metalúrgico fueron:

- Desarenamiento por sedimentación e hidrociclón.
 - Estudio de sedimentación.
 - Estudio de centrifugación con hidrociclón.
- Separación magnética en húmedo de alta intensidad.
- Flotación inversa por espumas.
- Lixiviación.
 - Lixiviación de la materia orgánica.
 - Lixiviación del hierro.

Los procesos seleccionados para el beneficio de los caolines de la Vereda Barroblanco, según los resultados del estudio metalúrgico fueron entonces los siguientes:

- Disgregación del mineral
- Sedimentación para la reducción del contenido de cuarzo
- Flotación de la anatasa
- Lixiviación de materia orgánica
- Lixiviación de hierro

Estos procesos fueron aplicados a una muestra compuesta y representativa de todos los frentes en explotación (S11, S12 y S13), y los resultados se presentan en la Tabla 24 y 25.

Como etapa complementaria al estudio metalúrgico, se realizó el proceso de beneficio a nivel de laboratorio (Figura 17), según los procesos seleccionados bajo las mejores condiciones de operación determinadas en laboratorio.

Después de realizar la etapa de beneficio en el laboratorio se concluyó que al realizar el proceso de desarenamiento por sedimentación, se logró obtener un producto de caolín aplicable para la fabricación de cemento blanco.

Por otra parte, el producto obtenido del proceso de flotación inversa, es decir los no-flotados, presentan una composición química y tamaño granulométrico adecuados para la industria del papel, sin embargo la blancura que se obtiene no es la adecuada para este tipo de industria.

TABLA 24. Resultados del proceso de disgregación y sedimentación.

Proceso	Disgregación	Sedimentación		Caolines para cemento blanco
		Hundido	Suspendido	
Muestra de alimento	Muestra compuesta	Muestra disgregada		
Composición Química (%)				
SiO ₂	61,51	83,46	52,38	46 - 50
Al ₂ O ₃	27,61	9,83	38,18	32 - 36
Fe ₂ O ₃	1,07	0,63	0,82	0,5 - 0,8
TiO ₂	1,38	2,28	0,86	0,7 - 1,0
K ₂ O	4,73	2,96	6,55	
MgO	0,74	0,60	0,88	0,3 - 0,6
Composición Mineralógica				
Cuarzo	27,53	70,46	7,37	
Moscovita	41,69	25,00	55,38	
Caolinita	31,51	3,59	42,81	
Anatasa	1,38	2,28	0,86	
Composición Granulométrica				
<2um	58,50	57,10	80,70	
Blancura	56,38	X	58,78	
Aplicación	x	x	Cemento Blanco	

Tomado de Laverde, et al. (2005)

TABLA 25. Resultados del proceso de flotación y lixiviación.

Proceso	Flotación		Lixiviación		Caolines para cerámicos
	Flotados	No-Flotad	Sin Fe	Sin M.O.	
Muestra de alimento	Muestra suspendida		Muestra No-flotada		
Composición Química (%)					
SiO ₂	48,11	53,61	53,61	53,61	47 - 66
Al ₂ O ₃	38,52	38,04	37,95	38,04	24 - 36
Fe ₂ O ₃	0,74	0,72	0,70	0,72	0,3 - 0,8
TiO ₂	1,87	0,31	0,31	0,31	0,2 - 0,3
K ₂ O	6,40	7,17	6,66	7,17	0,8 - 1,0
MgO	1,23	0,95	0,94	0,85	0,15 - 0,3
Composición Mineralógica					
Cuarzo	1,92	8,75	8,75	8,75	
Moscovita	54,09	60,61	60,61	60,61	
Caolinita	46,61	37,38	37,38	37,38	
Anatasa	1,87	0,31	0,31	0,31	
Composición Granulométrica					
<2um	80,00	80,30	X	X	
Blancura	x	61,25	63,83	62,18	
Aplicación	X	x	x	Pintura	

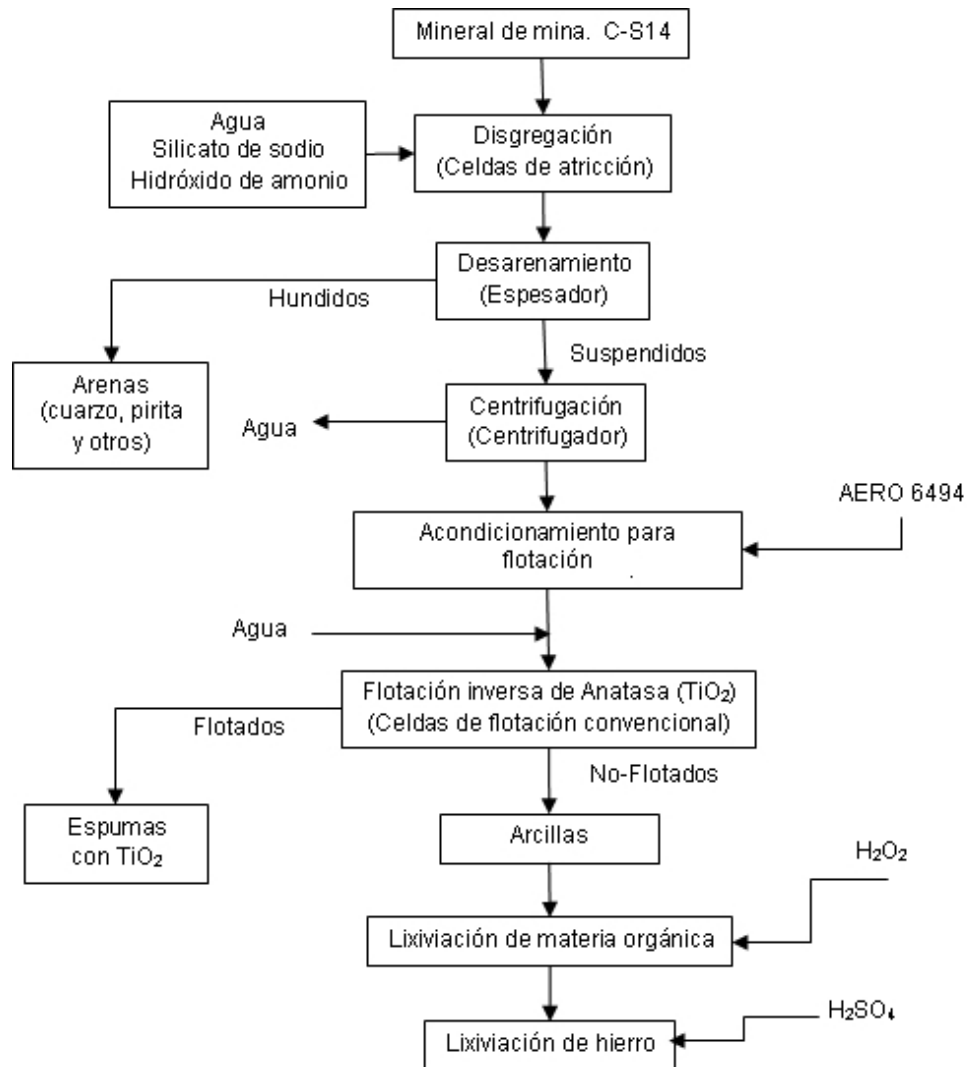
Tomado de Laverde, et al. (2005)

Al evaluar los resultados de blancura de las muestras a las que se les había realizado remoción de materia orgánica y reducción del contenido de hierro, el porcentaje de blancura GE no supera el 64%. Por tal motivo, se descartó el uso de este mineral para la industria del papel, ya que no cumple con el parámetro más importante que debe ser una

blancura superior al 85% y por tal motivo, no se requerirá del proceso de lixiviación de materia orgánica.

No obstante, el valor de blancura del mineral obtenido posteriormente al proceso de lixiviación para remoción de materia orgánica, se aproxima al requerimiento para las industrias de las pinturas, por tal motivo podría pensarse en este tipo de aplicación.

FIGURA 17. Sistema de beneficio evaluado a nivel de laboratorio.



Tomado de Laverde, et al. (2005)

Debido a la baja remoción de hierro y por ende el bajo incremento en el porcentaje de blancura, el proceso de lixiviación para la remoción de hierro se consideró como no aplicable para este tipo de mineral.

De otra parte, el porcentaje de recuperación relativamente bajo del sistema de beneficio completo 53%, se debe principalmente a la gran cantidad de mineral fino, asociado a la moscovita/illita, lo cual conlleva a porcentaje de pérdidas elevadas, comportamiento que es común al beneficiar minerales de caolín.

Finalmente los procesos seleccionados para la planta de beneficio para la producción de caolín para las industrias del cemento blanco y de los cerámicos, fueron:

- Disgregación
- Desarenamiento por sedimentación
- Flotación inversa de anatasa

12. CONCLUSIONES

El depósito de caolines de la Vereda Barroblanco se localiza en la parte media de la Formación Cumbre, y este depósito se encuentra expuesto a lo largo del eje del Anticlinal de Cerro Negro.

El depósito de caolín esta constituido por siete niveles (de base a techo: A, B, C, D, O, E y F), todos ellos geológica y mineralógicamente diferenciables, y que se profundizan desde el SW (5m de espesor) hacia el NE (9,5m de espesor) del depósito.

Mineralógicamente el caolín de la Vereda Barroblanco esta compuesto por cuarzo, moscovita/illita, caolinita, anatasa, y ocasionalmente pirita y gibsita.

Los mejores niveles para la explotación del caolín son el B y D, por sus espesores, color y extensión; estos niveles contrastan con el E y F que presentan un mayor contenido de caolinita pero son más restringidos en espesor y extensión, además son de coloración más oscura.

Los recursos medidos calculados para los niveles B y D están en 1'806.236,94Ton, de igual forma los recursos indicados e inferidos son de 9'447.053,92Ton y 4'655.562,73Ton respectivamente; en total los recursos estimados para el depósito de caolín estarían en los 15'908.853,59Ton, por tal motivo se catalogaría como un depósito de gran tamaño.

Las características granulométricas, mineralógicas y químicas de los caolines estudiados, así como su contexto geológico permiten clasificarlo como un depósito de caolín primario o residual (In Situ).

Los niveles A, B, C y D fueron depositados en un ambiente más influenciado por condiciones marinas; mientras que los niveles O, E y F fueron depositados en ambientes más influenciados por condiciones no-marinas (fluviales), como las presentadas en ríos de alta sinuosidad y llanuras de inundación expuestas al aire que permitieron la formación de cubiertas vegetales y gibsita.

Las propiedades químicas y mineralógicas de los caolines de Oiba después de su disgregación y sedimentación muestran que el uso más apropiado para este material sería la industria del cemento blanco; posteriormente los resultados del proceso de flotación mostraron que el material puede ser aplicado en la industria de los cerámicos.

13. RECOMENDACIONES

Aumentar la densidad de la malla de exploración para ampliar el estudio de los recursos indicados e inferidos, y así lograr su categorización como recursos medidos; incrementando de esta manera los recursos de yacimiento.

Determinar el tamaño de la caolinita y el grado de cristalización de este mineral con el fin de precisar la génesis del depósito de caolines de la Vereda Barroblanco; y así, aportar más información sobre el ambiente y los aspectos genéticos para el modelo propuesto en este trabajo.

Tecnificar las labores de explotación para evitar el desarrollo de frentes pequeños, con limitados tiempos de explotación, y que generan problemas para el paisaje por la deforestación y la formación de piscinas, después de ser abandonados.

Mejorar los procesos de beneficio actualmente utilizados e implementar algunos de los procesos de beneficio propuestos, con el fin de ampliar los usos industriales del caolín y mejorar el valor comercial de dicho material dentro de la industria.

BIBLIOGRAFIA

BERDUGO, C. (1993). Evaluación Geológico – Minera de los Yacimientos de Arcillas de la Vereda Gambita Viejo, Municipio de Gambita (Santander). Fondo de Desarrollo Industrial de Santander.

CASAFRANCO, P. & CARRIZOSA, J. (1991). Atlas Ambiental del Departamento de Santander. CORPES. Gobernación 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.

CEDIEL F., SHAW R., & CACERES C., (2003). Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. En: Bartolini C., Buffler R., & Blickwede J. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics. AAPG Memory 79, Pp. 815 - 848.

CHANDRASEKHAR, S. & RAMASWAMY, S. (2002). Influencia de las impurezas minerales sobre las propiedades del Caolín y sus productos termalmente tratados. Applied Clay Science. N° 21. Pp. 133 - 142.

ETAYO, F. (1968). El Sistema Cretácico de la Región de Villa de Leiva y Zonas Próximas. Revista de Geología Colombiana. Bogota. N° 5. Pp. 5 - 74.

ETAYO F., ZAMBRANO F., BARRERO D., et al, (1983). Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Nº 14. Ingeominas. Bogota.

FRIEDMAN, G. & SANDERS, J. (1981). Principles of Sedimentology. John Wiley and Sons. New York. Pp167 - 199.

HART, R., PIERRE, T. & GILKES, R. (2002). Presencia de Hierro en Caolines de Indonesia y el Norte de Australia. Clay Minerals. Nº 37. Pp. 671 - 685.

HART, R., WIRIYAKITNETEEKUL, W. & GILKES, R. (2003). Propiedades de los Caolines de Tailandia. Clay Minerals. Nº 38. Pp. 71 - 94.

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 fur Geologie und Palaontologie. Sigwartstr. Tunbingen. Part. II. 136p.

MENDOZA, H. (1985). La Formación Cumbre. Modelo de Trasgresión Marina Rítmica de Comienzos del Cretácico. En: Etayo - Serna. Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales. Ingeominas. Bogota. Nº 16. Capitulo IX.

NAVARRO, W. (1991). Caracterización Físicoquímica del Yacimiento Caolinítico de Macanal (Santander) y su aplicación industrial. Escuela de 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.

PULIDO, O. (1979). Geología de las Planchas 135 San Gil y 151 Charalá, Departamento de Santander. Boletín Geológico. Ingeominas. Bogota, Vol. 23. N° 2. Pp. 41 - 78.

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. Capitulo 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.

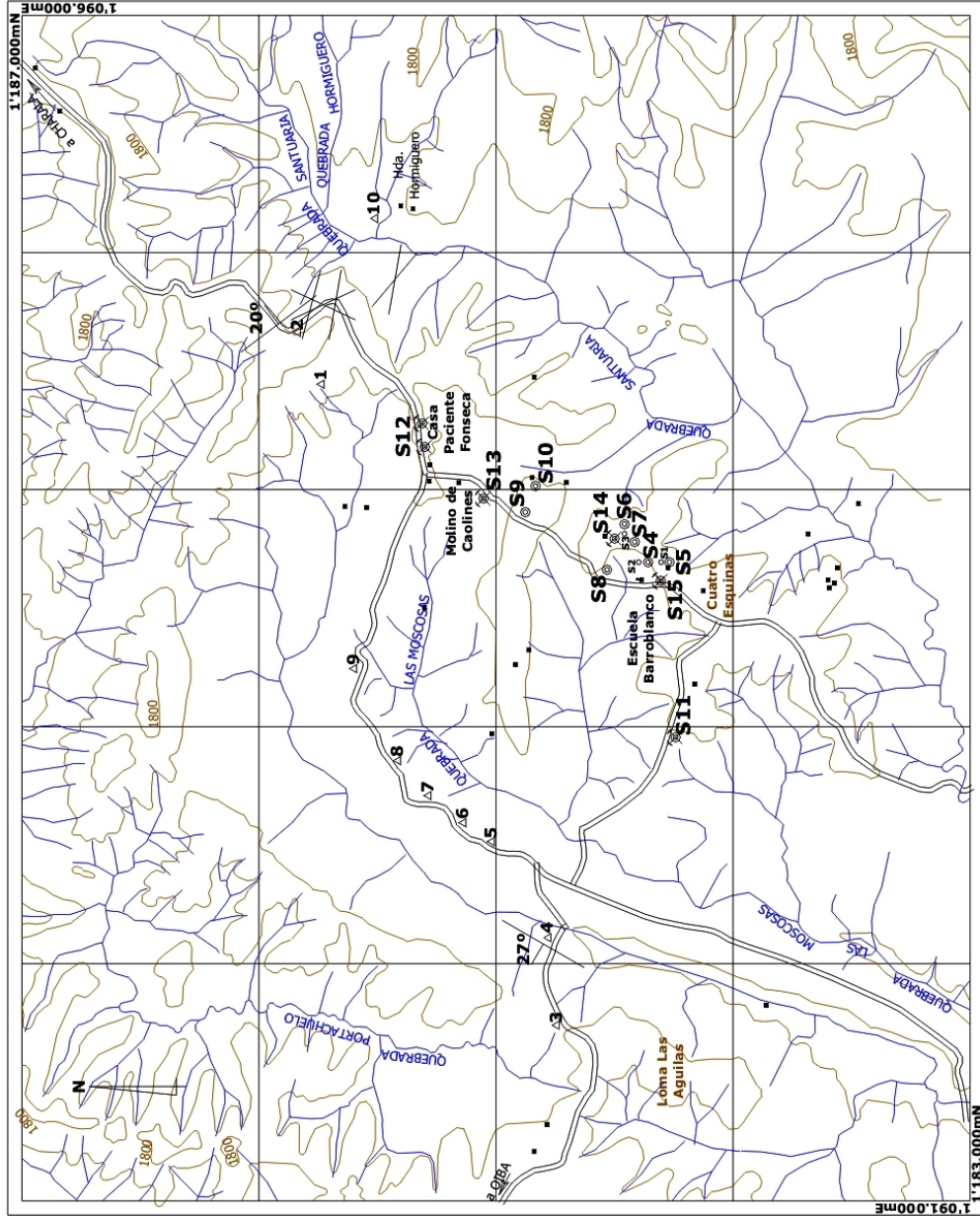
VILLANUEVA, L. (1992). Diseño de un Sistema de Beneficio de caolines de Oiba (Santander), Utilizados como Materia Prima en la Utilización de Cemento Blanco. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander.

WARD, D., et al. (1973). Geología de los Cuadrantes H - 12 (Bucaramanga) y H - 13 (Pamplona), Departamento de Santander. Boletín Geológico. Ingeominas. Bogota, Vol. XXI. Nº 1 - 3.

Paginas Web:

(www.investigacion.us.es)

ANEXOS



CONVENCIONES

- 27°** Rumbo y Buzamiento de los Estratos
- Diademas
- Drenaje
- Carretera
- Explotación de Caolín
- Perforación
- Escuela

INDUSTRIALES

Proyecto Colaboración (2009)
 Investigación y desarrollo de la explotación de Caolines de Oiba (Santander) para la fabricación de Cemento Blanco, Cerámicas y Papel.

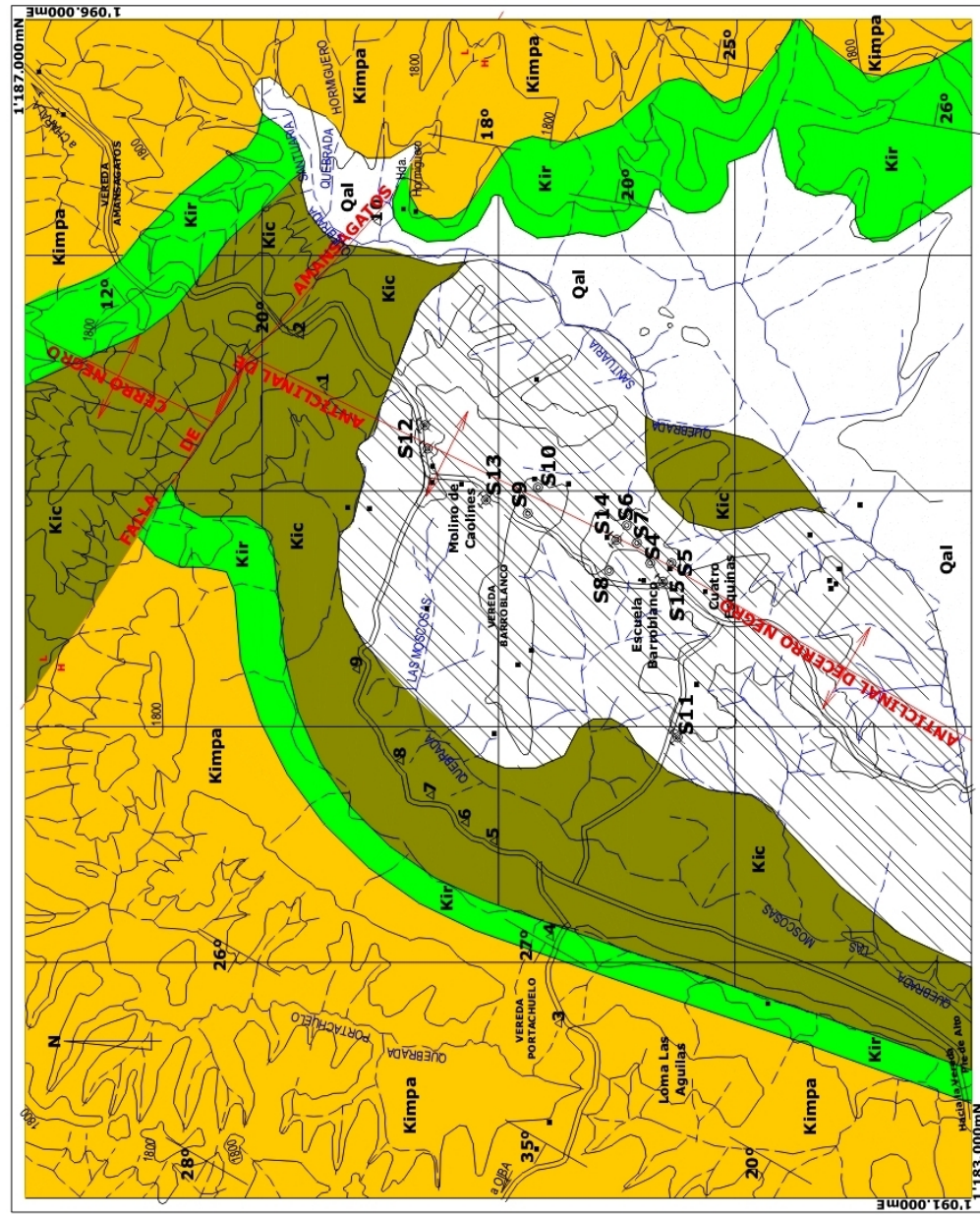
MAPA TOPOGRÁFICO
 ESC 1:10000

Vereda Barroblanco, Municipio de Oiba (Santander)
 Autor: A. Silva
 Edita: Katherine Jerez Horeddi
 Diseña: Prof. Carlos Alberto García R.

ANEXO A
 Octubre de 2009

GRUPO DE INVESTIGACIÓN MINPETIGO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 FACULTAD DE ING. FÍSICOQUÍMICAS
 ESCUELA DE GEOLOGÍA

- CONVENCIONES**
- Buzamiento de los Estratos
 - Eje del Anticlinal
 - Falla
 - Bloque Levantado
 - Bloque Hundido
 - Contacto Litológico Probable
 - Contacto Litológico Seguro
 - Drenaje
 - Carretera
 - Explotación de Caolín
 - Perforación
 - Escuela
 - Qal
 - DEPOSITO ALUVIAL
 - DEPOSITO DE CAOLINES
 - Kimpa
 - FORMACION PAJA (Miembro Arenoso)
 - Kir
 - FORMACION ROSABLANCA
 - Kic
 - FORMACION CUMBRE



ASPECTOS GEOLOGICOS Y MINERALOGICOS DE LOS CAOLINES DE OIBA (SANTANDER): CARACTERIZACION CON FINES INDUSTRIALES

Proyecto Colombiano (2009): Mejoramiento de la Calidad de los Caolines de Oiba para la Fabricación de Cemento Blanco, Cerámicas y Papel.

MAPA GEOLOGICO
ESC 1:10000

Vereda Barroblanco, Municipio de Oiba (Santander)
Elaborado por: Edith Katherine Jerez Heredia
Alejandro Silva Arias
Fecha: Prof. Carlos Alberto García R.
Octubre de 2005

Anexo B

GRUPO DE INVESTIGACION MINPETEEO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE ING. FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA

**ASPECTOS GEOLOGICOS Y MINERALOGICOS
DE LOS CAOLINES DE OIBA (SANTANDER):
CARACTERIZACION CON FINES
INDUSTRIALES**



Proyecto Colciencias (8469):
**Mejoramiento de la Calidad de los
Caolines de Oiba (Santander) para la
Fabricación de Cemento Blanco,
Ceramicos y Papel.**



**Difractogramas e Intensidades de la
Fm. Cumbre y depositos aluviales**

Vereda Barroblanco, Municipio de Oiba (Santander)

Dibujo:

Geologos:

**Edith Katherine Jerez Heredia
Alejandro Silva Arias**

Anexo C

Director:

Prof. Carlos Alberto Garcia R.

Fecha:

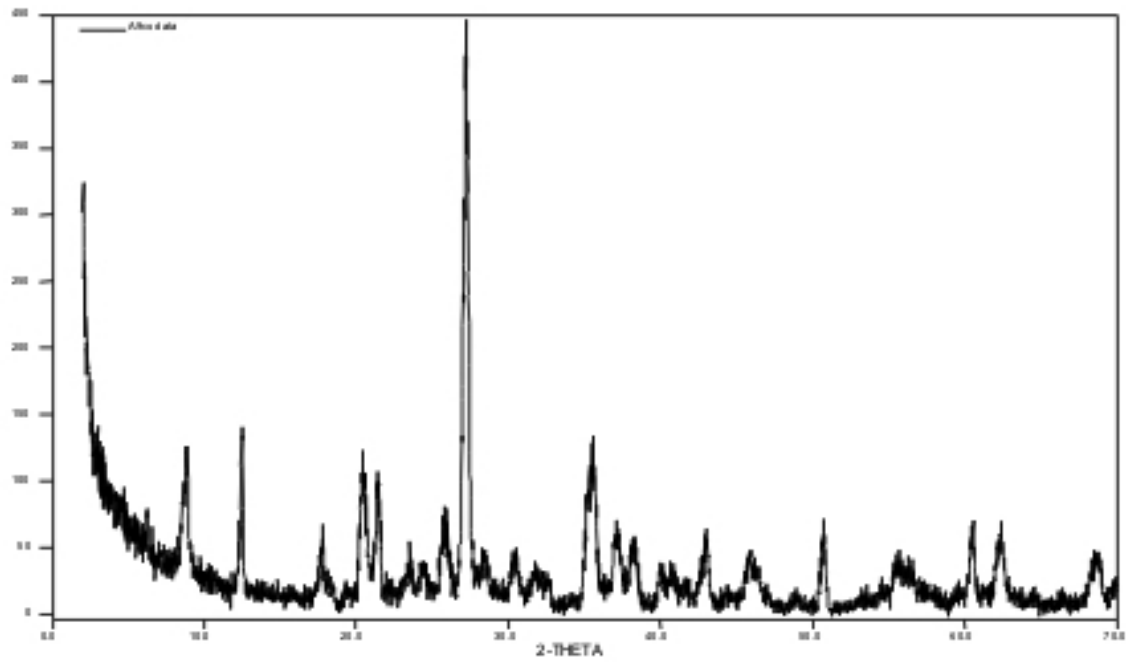
Octubre de 2005

GRUPO DE INVESTIGACION MINPETGEO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE ING. FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA**

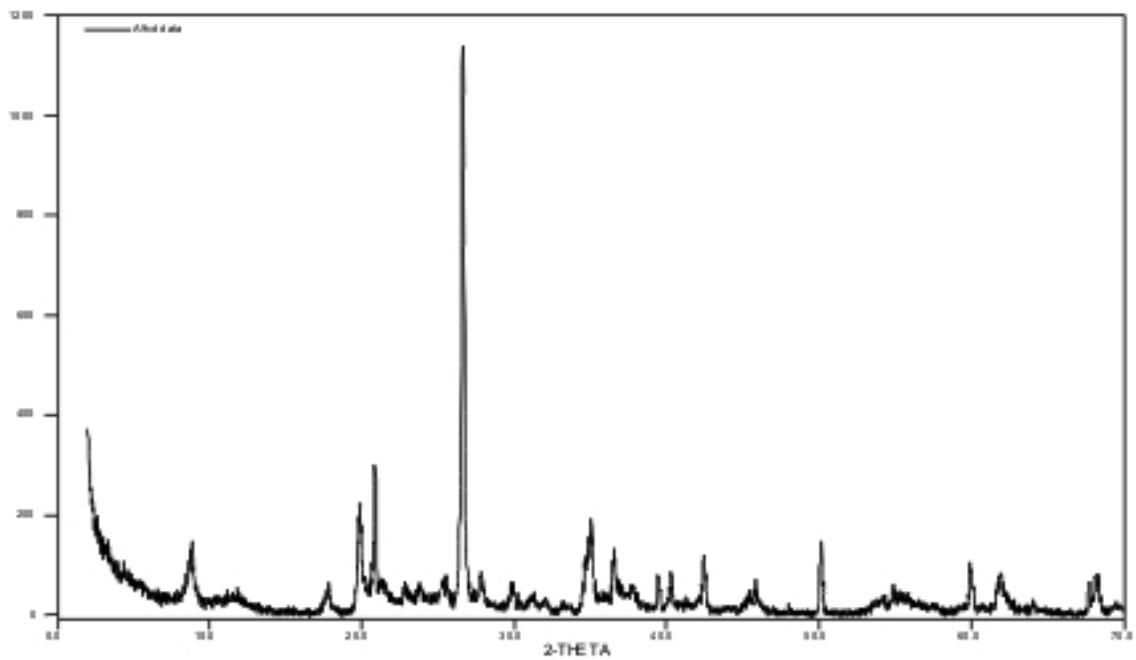
INTENSIDAD

DELTA 5 (Fm. CUMBRE)



INTENSIDAD

DELTA 1 (Fm. CUMBRE)



DELTA 5 (Fm. Cumbre)

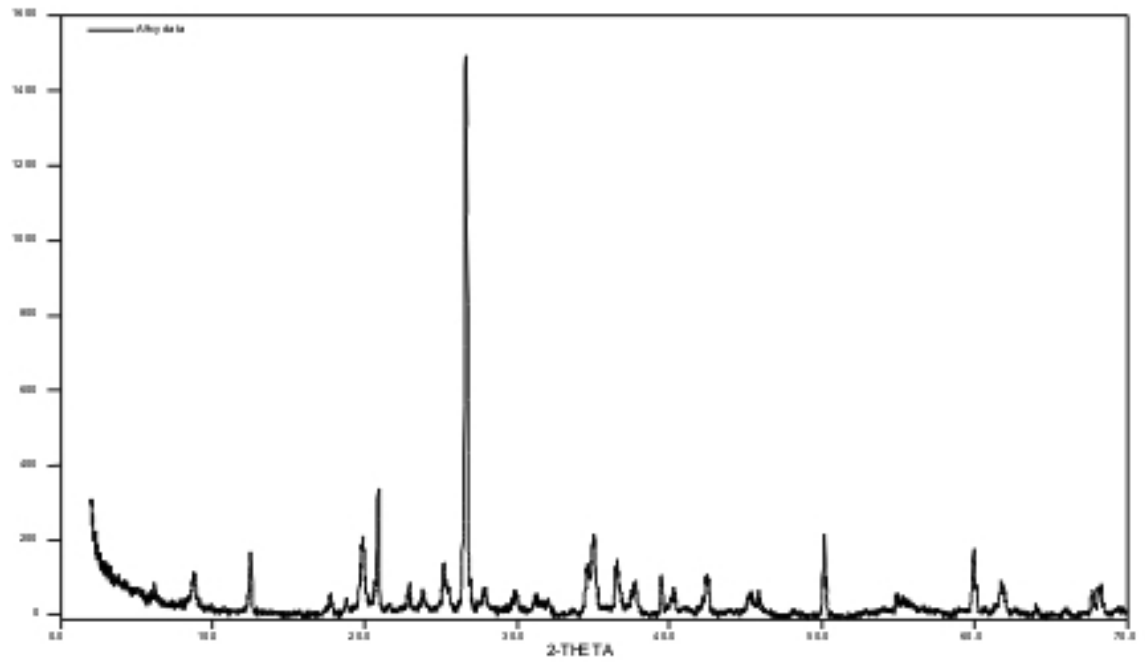
2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
6.236	14.1624	94
8.838	9.9969	255
12.497	7.0773	544
17.729	4.9986	93
18.801	4.7159	120
19.178	4.6240	21
19.848	4.4695	468
20.212	4.3898	26
20.855	4.2559	726
21.631	4.1049	29
22.354	3.9738	13
22.913	3.8781	110
23.811	3.7339	96
25.167	3.5356	304
26.643	3.3430	3685
27.826	3.2035	139
28.485	3.1309	20
28.662	3.1120	5
29.855	2.9908	94
31.217	2.8628	67
31.612	2.8280	39
32.028	2.7922	57
34.596	2.5906	256
35.727	2.5114	6
35.865	2.5018	11
36.548	2.4566	239
36.806	2.4400	33
37.191	2.4155	4
38.236	2.3519	7
39.473	2.2810	204
40.022	2.2510	29
40.287	2.2368	88
40.840	2.2077	19
41.329	2.1827	16
41.987	2.1501	28
42.441	2.1281	214
43.753	2.0673	16
44.112	2.0513	11
44.523	2.0333	3
44.732	2.0243	5
45.207	2.0041	119
45.793	1.9798	69
45.997	1.9715	5
46.554	1.9492	17
46.891	1.9360	10
48.029	1.8927	20
48.305	1.8826	14
48.655	1.8698	4
50.142	1.8181	295
51.645	1.7684	10
53.543	1.7104	7
54.871	1.6718	103
55.073	1.6663	13
55.317	1.6595	47
56.761	1.6220	16
58.684	1.5720	6
59.964	1.5417	276
61.830	1.4994	156
62.510	1.4847	14
62.720	1.4803	15
62.930	1.4761	6
63.159	1.4711	7
63.347	1.4668	3
64.047	1.4528	52
64.640	1.4408	5
65.091	1.4320	4
65.979	1.4147	21
67.163	1.3926	18
67.752	1.3819	235

DELTA 1 (Fm. Cumbre)

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.857	9.9755	43
17.654	5.0196	8
17.824	4.9722	7
19.855	4.4679	69
20.225	4.3871	8
20.865	4.2539	176
21.197	4.1881	4
22.877	3.8840	13
23.854	3.7272	8
26.638	3.3436	703
27.799	3.2065	25
29.767	2.9989	4
31.067	2.8763	1
33.241	2.6930	1
34.674	2.5849	25
35.042	2.5586	57
35.993	2.4932	1
36.549	2.4565	38
37.672	2.3858	3
37.830	2.3762	3
38.880	2.3144	6
39.475	2.2809	36
40.284	2.2369	37
42.468	2.1268	55
43.059	2.0989	3
45.811	1.9791	18
47.182	1.9247	2
47.861	1.8990	1
48.019	1.8931	5
50.141	1.8181	67
51.581	1.7704	5
53.191	1.7206	3
53.809	1.7022	2
54.866	1.6719	19
55.293	1.6600	8
59.961	1.5415	44
61.730	1.5026	5
65.533	1.4236	3
66.955	1.3969	2
67.749	1.3822	52
68.166	1.3746	52
68.367	1.3711	18

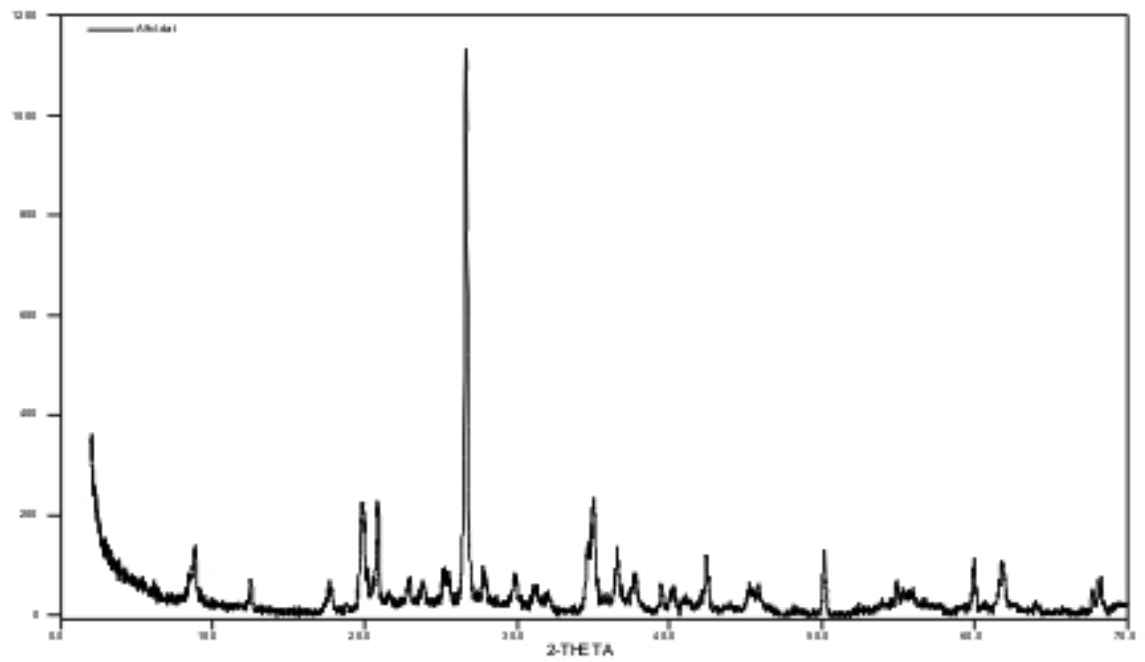
INTENSIDAD

DELTA 9 (Fm. CUMBRE)



INTENSIDAD

DELTA 6 (Fm. CUMBRE)



DELTA 9 (Fm. Cumbre)

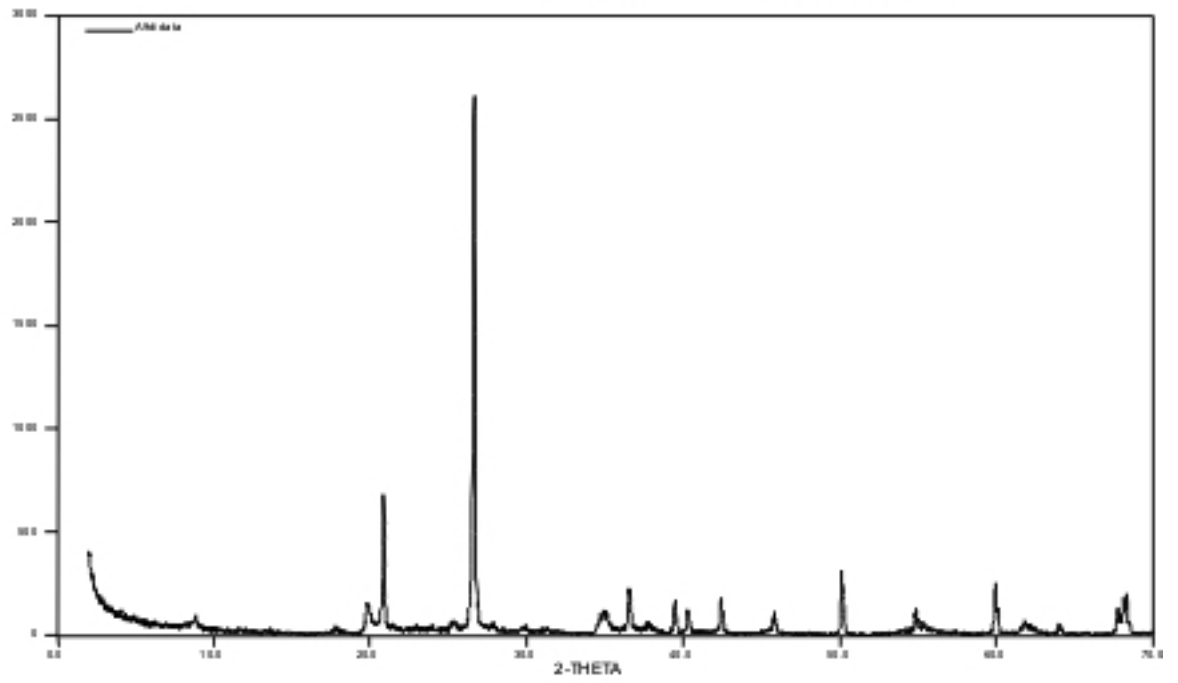
2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
6.241	14.1507	20
8.837	9.9980	42
12.498	7.0766	106
17.745	4.9941	18
18.810	4.7137	20
19.848	4.4695	74
20.229	4.3861	5
20.855	4.2558	216
21.615	4.1079	7
22.904	3.8796	9
23.817	3.7329	14
24.843	3.5810	2
25.185	3.5331	54
25.501	3.4901	20
26.645	3.3428	976
27.807	3.2056	16
28.624	3.1160	3
29.879	2.9879	20
31.250	2.8598	1
31.697	2.8205	8
32.056	2.7897	5
34.594	2.5907	45
35.035	2.5591	69
36.548	2.4565	61
37.129	2.4199	4
37.287	2.4101	7
37.486	2.3972	10
37.726	2.3825	21
38.203	2.3538	1
39.478	2.2807	60
40.100	2.2468	9
40.326	2.2347	26
40.859	2.2068	3
42.446	2.1278	49
43.092	2.0974	3
43.778	2.0662	3
44.011	2.0557	3
44.469	2.0356	2
44.750	2.0235	2
45.151	2.0065	12
45.821	1.9786	21
46.555	1.9492	6
48.114	1.8896	3
48.473	1.8764	7
48.809	1.8643	1
50.149	1.8181	95
50.932	1.7912	1
51.596	1.7702	2
52.456	1.7429	4
52.980	1.7273	3
53.377	1.7147	1
54.861	1.6721	30
55.352	1.6584	5
56.430	1.6301	1
57.348	1.6065	5
57.905	1.5919	1
59.967	1.5417	66
60.614	1.5271	3
61.770	1.5006	20
62.450	1.4865	10
64.050	1.4529	21
64.666	1.4408	1
65.986	1.4147	11
66.464	1.4062	2
66.777	1.4000	2
67.757	1.3819	55
68.148	1.3749	53
68.977	1.3607	4

DELTA 6 (Fm.Cumbre)

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
6.199	14.2450	10
8.851	9.9821	42
12.500	7.0755	39
17.673	5.0144	5
18.810	4.7138	8
19.090	4.6453	2
19.865	4.4657	86
20.196	4.3932	20
20.856	4.2557	136
21.590	4.1127	4
22.374	3.9702	9
22.948	3.8722	23
25.174	3.5347	11
25.223	3.5280	34
25.291	3.5186	6
26.646	3.3427	703
27.767	3.2102	13
29.800	2.9965	13
31.092	2.8741	8
31.554	2.8330	2
31.997	2.7948	7
34.580	2.5917	39
35.025	2.5598	84
36.567	2.4553	38
37.468	2.3983	5
37.658	2.3869	8
37.815	2.3771	19
39.473	2.2810	32
39.774	2.2644	2
40.012	2.2515	8
40.282	2.2371	12
42.029	2.1480	1
42.429	2.1287	61
43.638	2.0725	1
45.100	2.0088	3
45.272	2.0014	8
45.816	1.9789	15
47.948	1.8957	5
50.143	1.8181	37
53.055	1.7247	2
53.906	1.6994	3
54.878	1.6716	17
55.330	1.6590	10
59.962	1.5417	53
61.823	1.4995	26
62.776	1.4795	12
64.055	1.4530	10
66.053	1.4134	5
67.750	1.3820	40
68.152	1.3748	43
68.355	1.3713	13

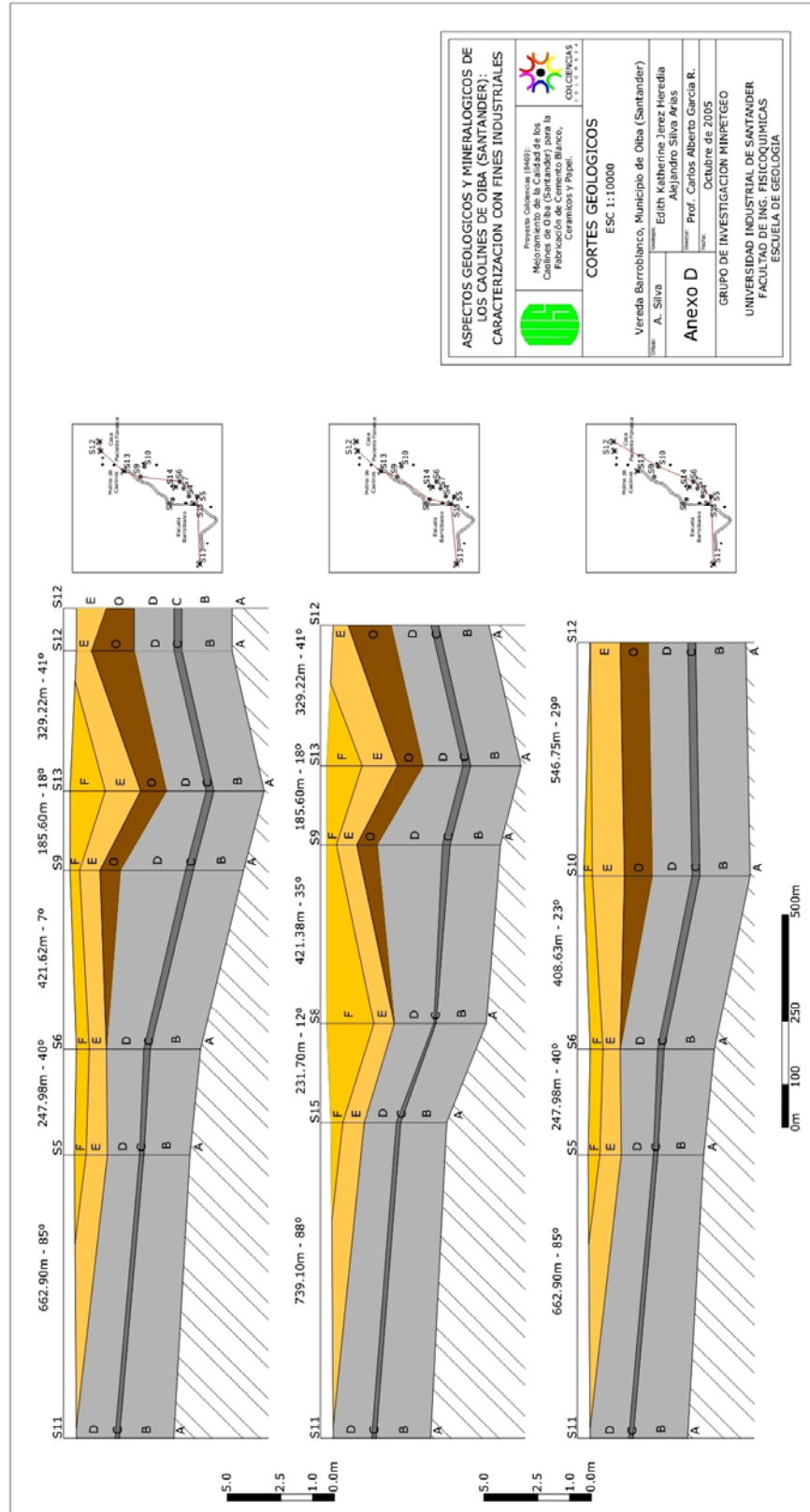
INTENSIDAD

DELTA 10 (Depósito Aluvial)



DELTA 10 (DEPOSITO ALUVIAL)

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.843	9.9914	16
17.767	4.9880	9
19.825	4.4747	61
20.871	4.2527	397
22.978	3.8673	4
23.779	3.7388	6
25.309	3.5161	11
25.510	3.4889	2
26.651	3.3420	1675
28.489	3.1305	7
29.872	2.9886	9
31.291	2.8562	3
34.590	2.5910	5
34.956	2.5655	17
35.109	2.5539	12
35.656	2.5159	4
35.803	2.5060	3
36.085	2.4870	4
36.563	2.4556	124
37.461	2.3987	3
37.803	2.3778	5
38.632	2.3287	2
38.867	2.3154	2
39.478	2.2807	100
40.319	2.2351	55
40.863	2.2066	3
41.094	2.1947	1
42.455	2.1274	94
43.876	2.0618	1
45.807	1.9793	53
46.487	1.9519	3
46.832	1.9383	3
48.422	1.8783	3
49.408	1.8431	5
50.150	1.8177	185
50.981	1.7898	3
51.624	1.7691	1
52.537	1.7405	1
52.728	1.7346	4
53.935	1.6986	2
54.897	1.6713	83
55.313	1.6595	23
59.979	1.5414	174
60.751	1.5234	2
61.373	1.5094	8
64.070	1.4522	22
65.808	1.4184	3
66.825	1.3989	7
67.767	1.3816	111
68.159	1.3747	138
68.371	1.3712	36



**ASPECTOS GEOLOGICOS Y MINERALOGICOS
DE LOS CAOLINES DE OIBA (SANTANDER):
CARACTERIZACION CON FINES
INDUSTRIALES**



Proyecto Colciencias (8469):
Mejoramiento de la Calidad de los
Caolines de Oiba (Santander) para la
Fabricación de Cemento Blanco,
Ceramicos y Papel.



PERFILES DE PERFORACION

Vereda Barroblanco, Municipio de Oiba (Santander)

Dibujo:

Geólogos:

**Edith Katherine Jerez Heredia
Alejandro Silva Arias**

Anexo E

Director:

Prof. Carlos Alberto Garcia R.

Fecha:

Octubre de 2005

GRUPO DE INVESTIGACION MINPETGEO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE ING. FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA**

PERFORACION S4
Ubicado 78m hacia el S70E (110°) de la Escuela Barroblanco,
40m al S de S2

NIVEL	CAPA	ESPEORES (m)	COLOR	PERFIL DEL DEPOSITO	TEXTURA						DESCRIPCION			
					ARCILLA	Arcilla Limosa	Arcilla Arenosa	LODO	Limo Arcilloso	LIMO		Limo Arenoso	Arena Arcillosa	Arena Limosa
												SUELO		
E	1	0.50 0.30	█									Arcilla Limosa gris clara, con laminaciones de arcilla blanca; presenta partículas laminares de Oxidos.		
	2	0.80 0.40											Arcilla Limosa gris, con abundantes Oxidos de forma laminada y puntual.	
	3	1.20 0.20												Arcilla Limosa gris clara, con un bajo contenido de Oxidos.
D	4	1.40 0.50												Arcilla Limosa blanco, con partículas muy finas (L) de Qz, además de Mos, y Frag. de Shale. Posee Oxidos de forma laminar.
	5	1.90 0.30												Arcilla Limosa blanca, con un aumento en la frecuencia y contenido de Oxidos.
	6	2.20 0.20												Arcilla Limosa gris, rica en Oxidos laminados.
	7	2.40 0.60												Limo Arcilloso gris, con capas café; los Oxidos disminuyen en comparación con el nivel anterior. Presenta Frag. de Shale.
C	8	3.00 1.00												Arena Limosa gris, con laminaciones de arcilla blanca. Posee partículas de Qz, Frag. de Shale y Oxidos de forma laminar
	9	4.00 0.85												Arcilla Limosa blanca-grisacea, con capas limosas del mismo color. Posee frag de Shale alterados.
B	10	4.85 5.00												Arcilla Limosa blanca-grisacea, con partículas de Mos y Frag de Shale.

PERFORACIÓN S8
Ubicada 150m hacia el N16E de la Escuela Barroblanco

NIVEL	CAPA	ESPESORES (m)	COLOR	PERFIL DEL DEPOSITO	TEXTURA						DESCRIPCION		
					ARCILLA	Arcilla Limosa	Arcilla Arenosa	LODO	LIMO Arcilloso	LIMO		Limo Arenoso	Arena Arcillosa
		0.30											SUELO
F	1	2.20											Limo Arenoso de grano muy fino (U-L) y de color blanco. La capa esta compuesta por partículas de: Qz, Frag de Shale y Mos.
E	2	0.95											Arena Limosa, con partículas de cuarzo de grano fino (L) a muy grueso (U), de color blanco. Las partículas arenosas estan constituidas por Qz de variedad ahumada, lechosa y rosada.
D	3	0.75											Limo Arenoso muy fina (U), blanca Limo Arcilloso blanco-grisáceo, con Qz, Mos y Oxidos de tamaño fino.
	4	0.30											Limo Arcilloso blanco, con capas limosas, amarillentas; y partículas de Qz y Frag de Shale oxidados.
	5	0.20											Limo Arcilloso blanco, con capas de color gris oscuro.
	6	0.60											Limo Arcilloso blanco, con Oxidos gruesos (L). Además, presenta capas arenosas de color gris.
	C	7	0.45										Arena Limosa cuarzosas muy fina, de color gris
	B	8	0.45										Limo Arcilloso blanco, con capas arenosas de color gris; posee gran cantidad de Oxidos.
	9	0.10										Limo Arcilloso gris claro, con capas limosas grises.	
	10	6.00											Limo Arcilloso blanco, con delgadas capas café claro y gran cantidad de Oxidos.

PERFORACIÓN S10
Ubicada 120m hacia el S70E (110°) de la Perforación S9

NIVEL	CAPA	ESPESES (m)	COLOR	PERFIL DEL DEPOSITO	TEXTURA						DESCRIPCION								
					ARCILLA	Arcilla Limosa	Arcilla Arenosa	LODO	LIMO	Limo Arenoso		Arena Arcillosa	Arena Limosa	ARENA					
SUELO																			
F	1	0.36	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	Limo Arcilloso blanco-grisáceo, con laminaciones de arcilla café, además de Oxidos de forma laminar.								
		0.40																	
E	2	0.70	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	Limo Arenoso blanco-grisáceo, con Oxidos de forma laminar de un tamaño más fino que la capa superior.								
		1.15																	
	3	1.85										[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	Limo Arcilloso blanco, con laminas de color café.
	4	2.06										[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	Limo Arcilloso blanco, muy homogénea.
O	5	2.20	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	Limo Arenoso café oscuro, muy rico en M.O. y Frag de Shale.								
		0.85																	
D	6	3.05	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	[Solid brown]	Limo Arenoso café, con Frag de Shale y menor cantidad de M.O.								
		0.45																	
		7										3.56	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]
D	8	3.85	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	[Hatched pattern]	Arcilla Limosa blanca-grisácea, con Frag de Shale y Oxidos laminares.								
		0.35																	
		4.20	[Wavy pattern]																

FRENTE DE EXPLOTACION S11
Ubicado 500m hacia el W de Cuatro Esquinas junto a la vía
que conduce hacia el Municipio de Oiba.

NIVEL	CAPA	ESPEORES (m)	COLOR	PERFIL DEL DEPOSITO	TEXTURA						DESCRIPCION		
					ARCILLA	Arcilla Limosa	Arcilla Arenosa	LODO	Limo Arcilloso	LIMO		Limo Arenoso	Arena Arcillosa
		0.66											SUELO
D	1	1.80	1.53										<p>Arcilla Limosa a Limo Arcillosa blanca, donde la cantidad de limo y Mos aumenta con la profundidad.</p> <p>La parte superior (0.6 -) tiene laminas de color gris y fracturas verticales de color café.</p> <p>La parte inferior (-) tiene una laminación de color gris y café.</p>
C	2	2.40	0.20										<p>Arena Limosa, cuarzoza blanca-grisacea, con particulas gruesas muy finas, y un nivel intermedio de Arcilla Limosa gris.</p>
B	3	1.75	4.35										<p>Arcilla Limosa blanca-grisacea, con una laminación de color café claro.</p> <p>Posee lentes de Limo Arcilloso gris oscuro con particulas de pirita de tamaño muy fino (U) a limo.</p>
A	4	5.15											<p>Arena Limosa muy fina (L) café, con una estratificación de Arenas grises y una laminación de Oxidos de color vino tinto.</p>

FRENTE DE EXPLOTACION S12
Ubicado 100m hacia el E de la Casa de Paciente Fonseca,
junto a la vía que conduce hacia el Municipio de Charala

NIVEL	CAPA	ESPEORES (m)	COLOR	PERFIL DEL DEPOSITO	TEXTURA						DESCRIPCION	
					ARCILLA	Arcilla Limosa	Arcilla Arenosa	LODO	Limo Arcilloso	LIMO		Limo Arenoso
												SUELO
E	1	0.60	Yellow	[Red dashed pattern]								Limo Arenoso amarillento, con partículas de Qz muy finas (L) y Mos fina (L). La capa tiene un alto contenido en Oxidos, de forma laminar.
		0.70										
	O	2	1.30	Dark Brown	[Red dashed pattern]							
1.00												
3		2.30	Brown	[Brown diamond pattern]								Limo Arenoso café, con lentes irregulares café oscuros y partículas de Oxidos de tamaño fino (U).
D	4	3.30	Hatched									Arcilla Limosa blanca - grisacea, con fragmentos de Shale y Oxidos en especial cerca del contacto con la capa superior.

FRENTE DE EXPLOTACIÓN S13
Ubicado 100m al S del Molino de Caolines, junto a la vía que conduce hacia la Escuela Rural Barroblanco

NIVEL	CAPA	ESPESORES (m)	COLOR	PERFIL DEL DEPOSITO	TEXTURA						DESCRIPCION				
					ARCILLA	ARCILLA Limosa	ARCILLA Arenosa	LODO	LIMO Arcilloso	LIMO		Limo Arenoso	Arena Arcillosa	Arena Limosa	ARENA
		0-36													
F	1	1.60	Yellow												Limo Arcilloso amarillento, con lentes de arena muy fina (L) de color blanco y con abundancia de Oxidos.
	2	1.96 2.66	Dark Brown												Limo Arenoso café oscuro, rico en M.O.
E	3	2.40 1.60	Light Yellow												Limo Arenoso amarillento, con partículas de Qz muy fino (L) y frag de Shale; además de alto contenido en Oxidos. Limo Arenoso gris claro, con partículas de Qz muy fino (L).
	4	3.66 1.20	Dark Brown												Limo Arenoso café oscuro, muy rica en M.O. (frag leñosos).
D	5	4.80	Hatched												Arcilla Limosa blanca-grisacea con frag de Shale y Oxidos de forma laminar.

**ASPECTOS GEOLOGICOS Y MINERALOGICOS
DE LOS CAOLINES DE OIBA (SANTANDER):
CARACTERIZACION CON FINES
INDUSTRIALES**



Proyecto Colciencias (8469):
Mejoramiento de la Calidad de los
Caolines de Oiba (Santander) para la
Fabricación de Cemento Blanco,
Ceramicos y Papel.



**Difractogramas e Intensidades del
depósito de caolín**

Vereda Barroblanco, Municipio de Oiba (Santander)

Dibujo:

Geólogos:

**Edith Katherine Jerez Heredia
Alejandro Silva Arias**

Anexo F

Director:

Prof. Carlos Alberto Garcia R.

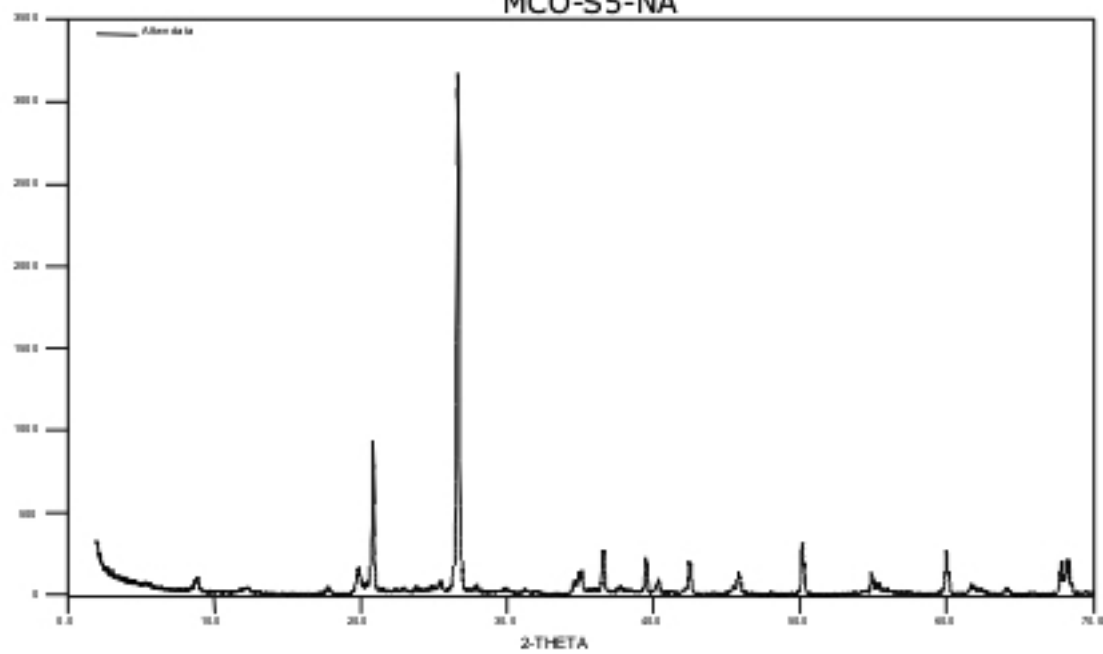
Fecha:

Octubre de 2005

GRUPO DE INVESTIGACION MINPETGEO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE ING. FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA**

MCO-S5-NA

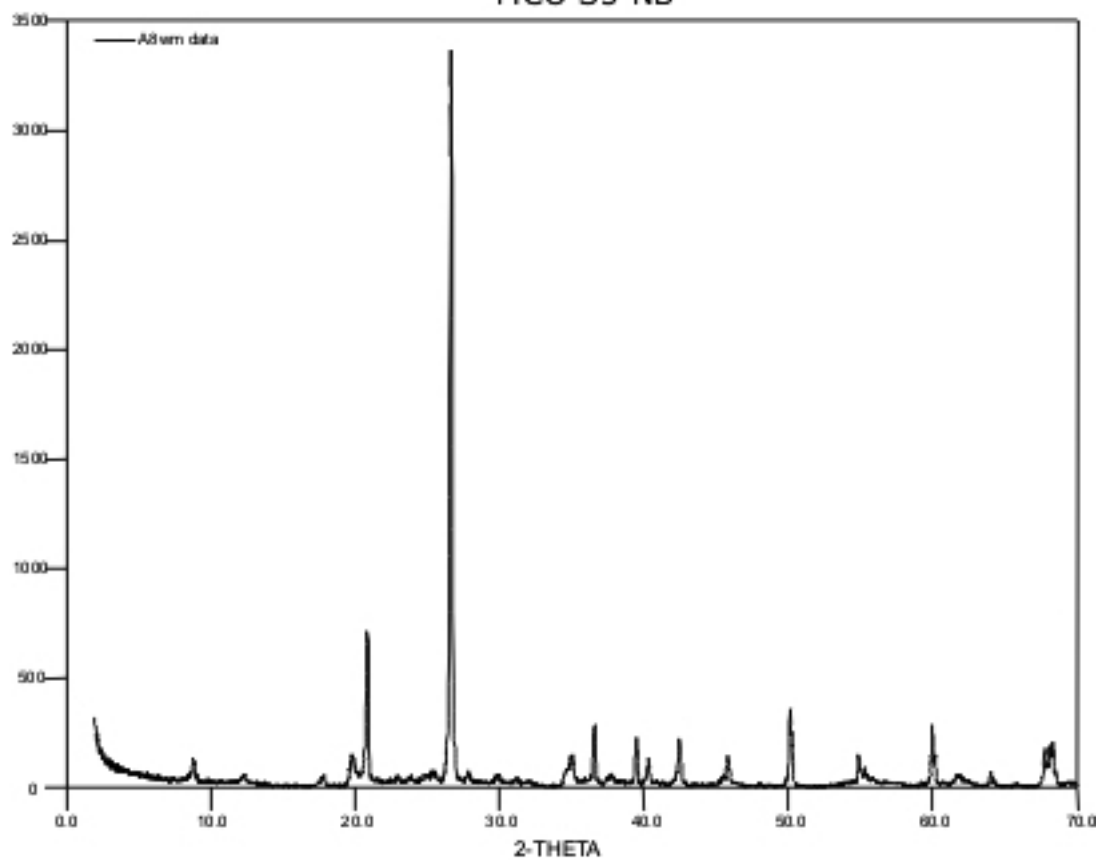


S5-NA

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.887	9.9421	39
12.434	7.1130	9
17.816	4.9743	12
19.865	4.4657	53
20.881	4.2507	570
21.667	4.0981	6
22.413	3.9635	6
22.943	3.8731	4
23.811	3.7339	6
24.887	3.5747	10
25.508	3.4892	19
25.950	3.4307	5
26.664	3.3405	2018
27.864	3.1992	5
28.365	3.1488	1
28.700	3.1079	6
28.913	3.0856	2
29.948	2.9811	11
31.165	2.8675	7
31.318	2.8538	7
31.532	2.8350	4
32.033	2.7918	2
32.563	2.7475	4
33.486	2.6738	3
34.607	2.5898	21
34.996	2.5618	17
35.579	2.5212	7
36.575	2.4548	156
37.701	2.3840	6
38.481	2.3375	2
39.509	2.2790	135
40.050	2.2494	2
40.330	2.2345	43
40.826	2.2084	1
41.294	2.1845	1
41.659	2.1662	3
41.893	2.1547	3
42.474	2.1265	110
43.049	2.0994	2
44.063	2.0534	2
44.687	2.0262	5
45.441	1.9943	13
45.816	1.9789	65
46.031	1.9713	15
46.819	1.9391	4
47.034	1.9312	8
47.217	1.9234	4
48.018	1.8932	2
50.156	1.8173	204
50.745	1.7976	4
51.137	1.7851	3
51.759	1.7647	1
51.977	1.7578	1
52.431	1.7487	2
53.653	1.7072	3
53.910	1.6993	4
54.422	1.6845	3
54.884	1.6714	62
55.091	1.6661	8
55.355	1.6587	25
57.493	1.6018	5
57.699	1.5972	2
59.993	1.5411	163
60.878	1.5211	7
61.719	1.5023	14
62.812	1.4787	3
63.531	1.4632	1

INTENSIDAD

MCO-S5-NB

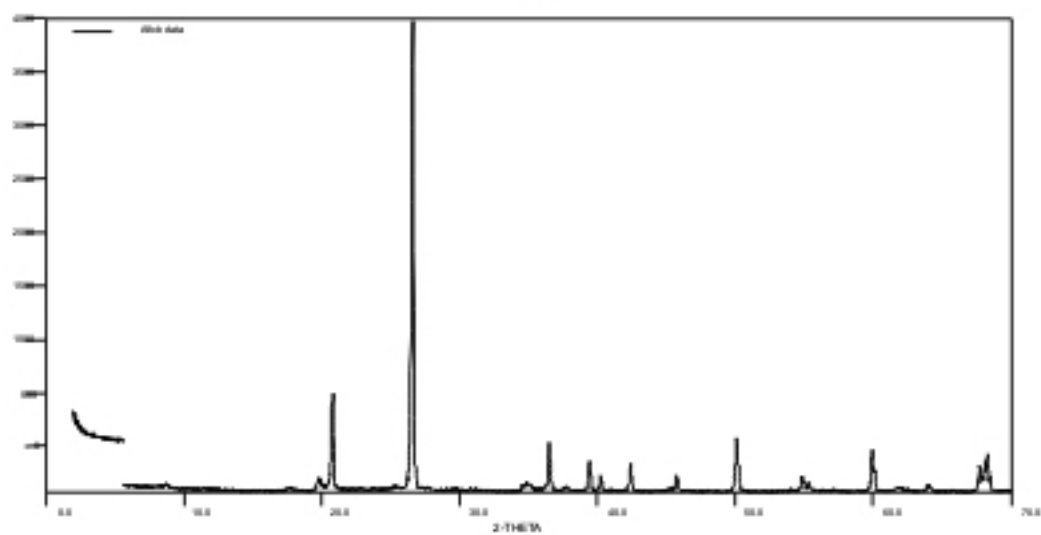


S5-NB

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.864	9.9683	44
17.787	4.9825	15
19.879	4.4626	51
20.872	4.2525	456
21.636	4.1039	5
22.887	3.8824	14
23.883	3.7227	2
24.901	3.5728	7
25.600	3.4768	13
26.659	3.3410	2121
27.899	3.1953	14
29.913	2.9846	9
31.222	2.8624	4
34.560	2.5932	10
34.760	2.5787	3
35.016	2.5604	38
35.782	2.5073	3
35.978	2.4942	7
36.571	2.4551	158
36.899	2.4340	4
37.066	2.4234	1
37.778	2.3793	7
38.789	2.3196	3
38.969	2.3093	5
39.488	2.2802	124
40.313	2.2354	65
40.845	2.2075	3
41.375	2.1804	1
42.081	2.1455	2
42.471	2.1267	120
44.131	2.0504	1
44.519	2.0334	5
45.457	1.9937	12
45.824	1.9786	66
48.273	1.8837	1
48.688	1.8712	6
49.372	1.8445	1
49.548	1.8382	2
50.155	1.8174	217
50.738	1.7978	3
52.527	1.7407	2
52.829	1.7315	2
53.564	1.7095	2
54.894	1.6712	61
55.105	1.6654	6
55.362	1.6584	42
58.225	1.5844	2
59.990	1.5412	153
60.769	1.5236	2
64.061	1.4528	53
65.145	1.4316	2
66.601	1.4038	4
67.764	1.3817	126
68.159	1.3748	101
69.092	1.3595	3

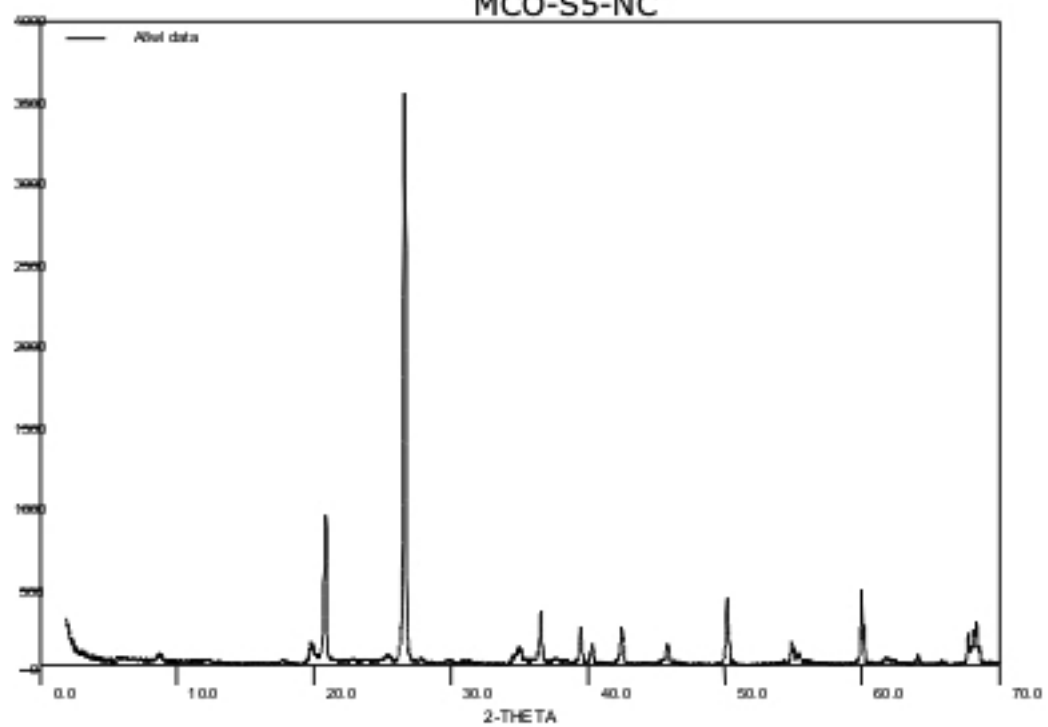
INTENSIDAD

MCO-S9-NC



INTENSIDAD

MCO-S5-NC

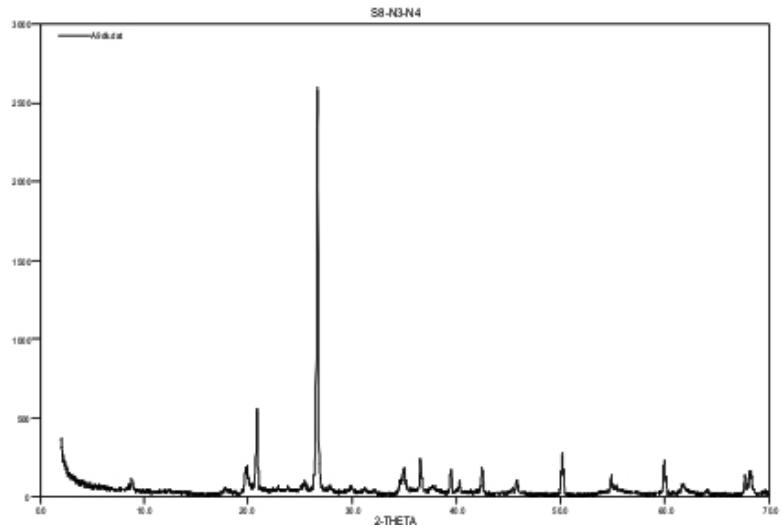
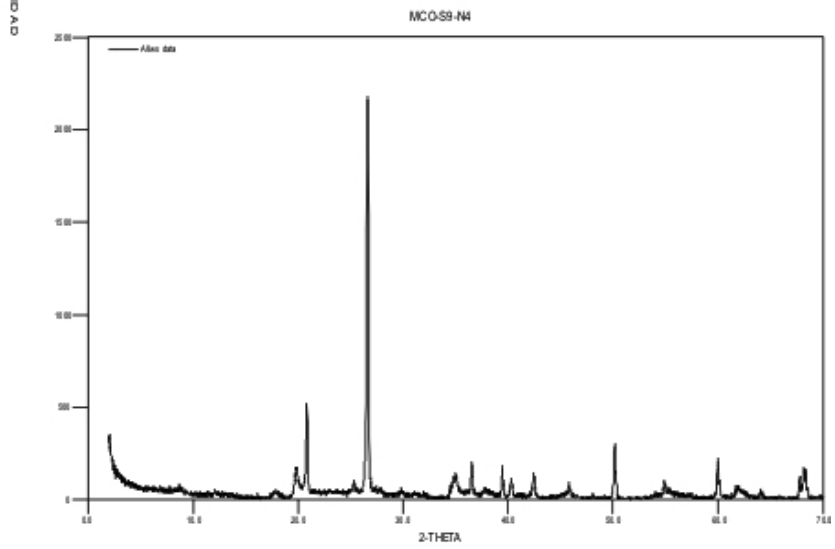
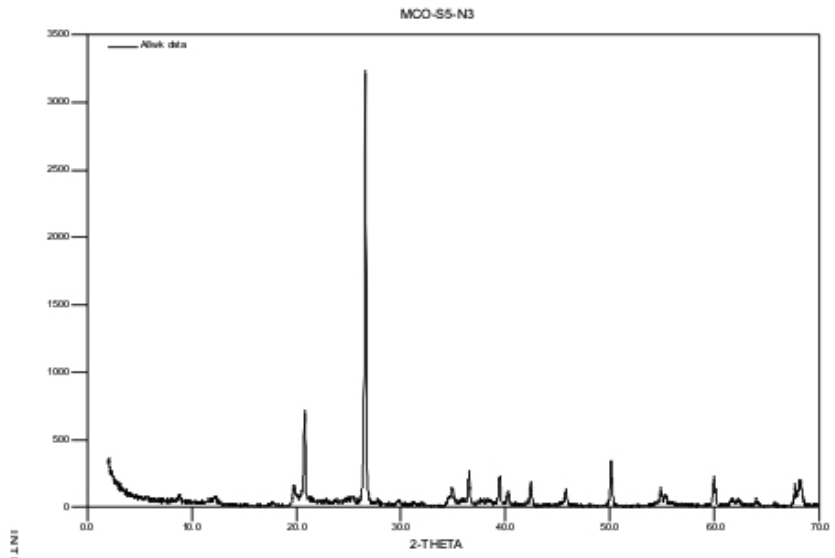


S9-NC

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.794	10.0468	11
17.720	5.0012	2
19.794	4.4816	19
20.816	4.2638	516
21.621	4.1067	3
22.897	3.8808	3
23.796	3.7361	6
25.508	3.4892	8
26.607	3.3475	2498
27.842	3.2017	2
29.817	2.9940	11
31.057	2.8772	1
31.907	2.8024	3
34.635	2.5877	10
34.943	2.5656	14
36.528	2.4579	254
37.752	2.3809	9
39.444	2.2826	146
40.268	2.2378	68
40.882	2.2056	3
41.972	2.1508	1
42.411	2.1295	130
44.061	2.0536	2
45.757	1.9813	78
50.107	1.8190	288
50.574	1.8033	2
53.889	1.6999	3
54.836	1.6730	94
55.298	1.6599	33
57.223	1.6094	6
59.947	1.5421	222
61.754	1.5016	6
64.013	1.4537	39
65.783	1.4185	7
67.731	1.3825	209
68.118	1.3754	157
68.322	1.3720	168

S5-NC

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.864	9.9684	16
12.435	7.1125	2
17.781	4.9840	5
19.865	4.4656	48
20.864	4.2540	610
22.925	3.8761	10
23.823	3.7319	2
24.932	3.5684	2
25.492	3.4912	9
26.647	3.3426	2249
27.878	3.1977	6
28.552	3.1237	1
29.910	2.9849	1
31.233	2.8614	5
32.092	2.7867	2
34.526	2.5957	12
34.972	2.5635	30
35.914	2.4985	5
36.554	2.4562	190
37.000	2.4276	2
37.521	2.3950	3
37.757	2.3806	8
37.960	2.3684	4
38.151	2.3569	2
38.582	2.3316	8
39.474	2.2809	139
40.304	2.2359	61
40.803	2.2097	3
41.139	2.1924	1
42.051	2.1469	3
42.468	2.1268	127
43.172	2.0937	1
43.727	2.0684	2
43.991	2.0566	1
44.494	2.0349	7
45.460	1.9935	1
45.810	1.9791	54
46.682	1.9441	1
47.205	1.9238	3
48.541	1.8740	2
48.906	1.8608	3
49.421	1.8426	3
50.148	1.8176	255
50.619	1.8018	2
51.726	1.7664	1
52.386	1.7451	3
52.688	1.7358	5
52.922	1.7287	2
53.845	1.7012	1
54.424	1.6845	3
54.894	1.6716	83
55.347	1.6588	30
59.976	1.5415	358
61.085	1.5158	1
61.268	1.5117	1
61.453	1.5083	7
62.716	1.4808	4
64.061	1.4527	9
65.848	1.4179	8
67.759	1.3820	170
68.155	1.3747	103
68.361	1.3713	120
68.643	1.3675	5
68.853	1.3626	3



S9-ND

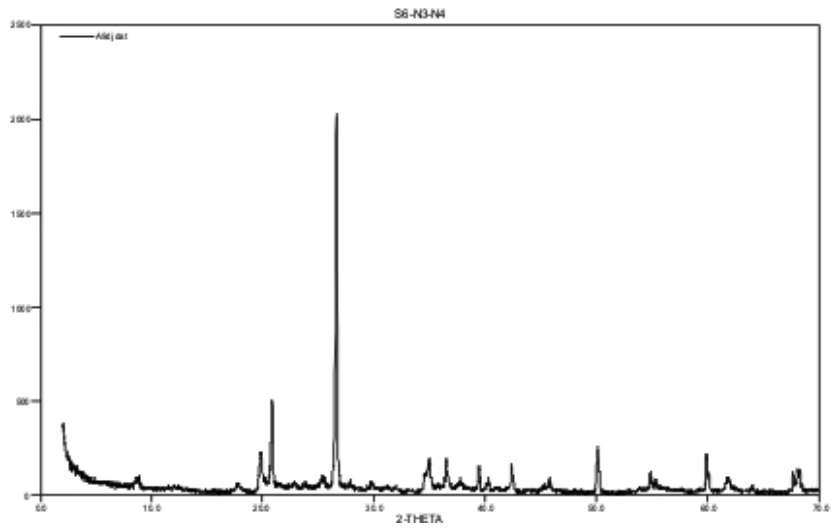
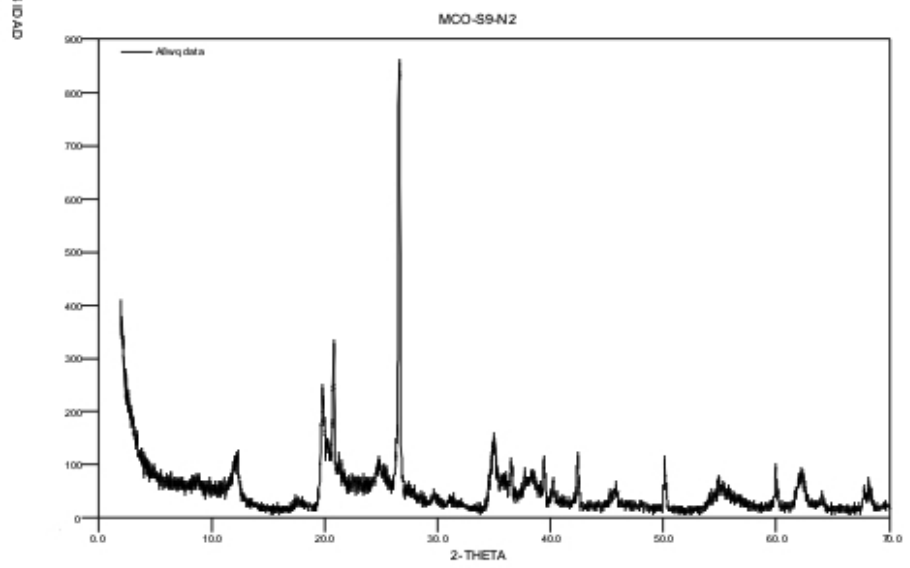
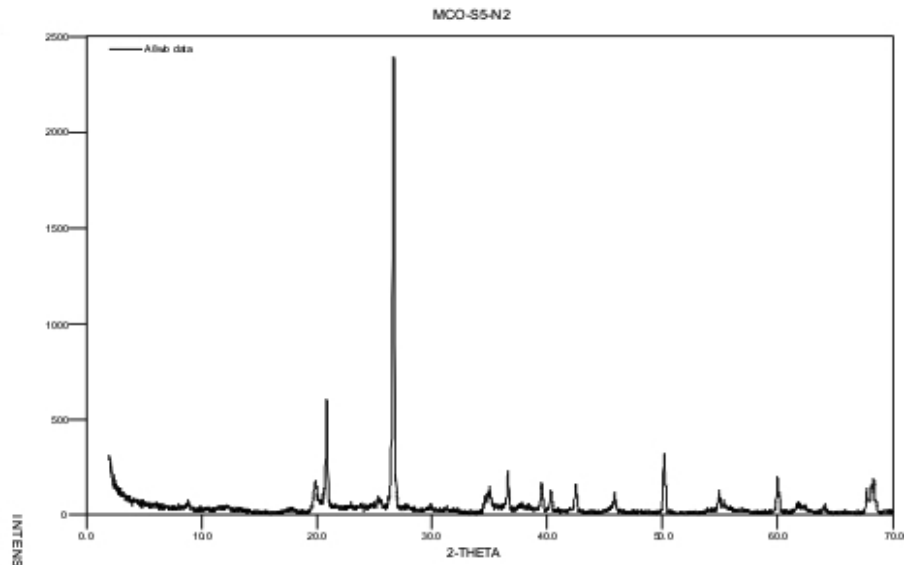
2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.769	10.0754	10
19.866	4.4655	56
20.859	4.2552	332
21.617	4.1075	3
22.278	3.9871	2
23.787	3.7376	2
24.815	3.5849	7
25.321	3.5144	26
25.684	3.4656	3
26.644	3.3429	1402
27.804	3.2060	3
28.701	3.1078	1
29.812	2.9944	7
31.152	2.8686	1
32.133	2.7833	2
33.422	2.6788	1
35.057	2.5575	15
36.096	2.4863	9
36.550	2.4564	88
36.941	2.4347	4
37.148	2.4182	3
37.813	2.3772	16
38.289	2.3487	4
39.474	2.2810	81
39.884	2.2585	1
40.310	2.2355	44
40.708	2.2146	2
42.081	2.1454	6
42.456	2.1274	78
44.087	2.0524	6
45.287	2.0007	3
45.530	1.9907	9
45.797	1.9797	38
46.227	1.9622	1
47.029	1.9306	3
48.040	1.8923	7
50.143	1.8180	155
51.487	1.7734	1
52.884	1.7299	3
53.037	1.7252	2
54.880	1.6720	66
55.313	1.6595	15
56.561	1.6261	5
57.241	1.6086	6
57.718	1.5966	3
59.972	1.5416	103
60.958	1.5186	66
62.567	1.4833	8
63.845	1.4568	4
64.051	1.4527	33
64.497	1.4438	4
64.719	1.4394	2
64.983	1.4343	4
67.756	1.3820	103
68.154	1.3748	117
68.364	1.3713	48
68.964	1.3607	1
69.451	1.3520	1

S8-ND

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.861	9.9711	38
12.457	7.1000	7
17.814	4.9749	16
19.799	4.4805	66
20.869	4.2530	366
21.177	4.1999	4
21.625	4.1062	10
22.902	3.8798	7
23.787	3.7376	6
25.045	3.5525	9
25.576	3.4800	5
26.654	3.3417	1631
27.944	3.1902	14
28.583	3.1204	3
28.812	3.0960	1
29.903	2.9856	16
31.214	2.8631	10
32.091	2.7868	8
34.586	2.5913	22
34.995	2.5619	58
35.374	2.5354	4
35.896	2.4997	2
36.565	2.4554	116
37.485	2.3973	11
37.756	2.3807	6
39.486	2.2803	91
40.314	2.2353	41
41.233	2.1876	5
41.483	2.1750	1
42.504	2.1251	82
43.274	2.0890	2
43.962	2.0579	1
45.489	1.9923	3
45.796	1.9797	41
46.533	1.9500	3
47.035	1.9304	1
48.553	1.8735	3
50.179	1.8175	238
50.628	1.8015	2
51.260	1.7808	3
52.862	1.7308	4
53.578	1.7091	2
54.035	1.6957	2
54.296	1.6881	2
54.876	1.6716	53
55.074	1.6661	8
55.379	1.6576	17
55.572	1.6541	1
57.461	1.6025	1
59.988	1.5412	134
63.517	1.4635	3
63.712	1.4595	3
64.061	1.4526	15
65.783	1.4187	6
66.673	1.4018	3
67.768	1.3818	122
68.168	1.3745	92
68.377	1.3710	31

S5-ND

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.813	10.0251	25
12.303	7.1884	15
17.737	4.9964	11
19.845	4.4702	65
20.386	4.3527	6
20.835	4.2600	454
22.498	3.9487	5
22.880	3.8836	4
23.158	3.8375	1
23.812	3.7337	7
24.920	3.5702	9
25.514	3.4884	8
26.622	3.3456	2083
27.807	3.2056	15
28.318	3.1490	5
29.930	2.9829	7
31.264	2.8587	3
32.070	2.7886	9
34.499	2.5977	8
34.960	2.5644	48
36.023	2.4911	4
36.517	2.4586	148
37.703	2.3839	9
38.295	2.3484	6
38.603	2.3304	3
39.460	2.2817	125
40.296	2.2363	61
40.701	2.2149	4
41.017	2.1986	4
41.510	2.1736	1
42.427	2.1288	98
43.099	2.0971	4
43.281	2.0887	3
43.561	2.0770	8
43.753	2.0673	3
44.498	2.0344	3
45.798	1.9796	48
47.283	1.9208	3
47.560	1.9103	1
50.118	1.8186	214
50.615	1.8019	5
51.024	1.7884	1
51.801	1.7637	2
52.049	1.7556	5
52.723	1.7347	3
52.936	1.7283	2
53.527	1.7106	2
54.345	1.6867	3
54.875	1.6722	87
55.302	1.6598	28
57.952	1.5913	3
59.111	1.5622	2
61.510	1.5050	8
62.597	1.4838	5
64.026	1.4533	28
64.604	1.4415	7
64.999	1.4340	4
65.796	1.4184	16
67.729	1.3825	124
68.136	1.3751	115
69.542	1.3503	4



S9-NE

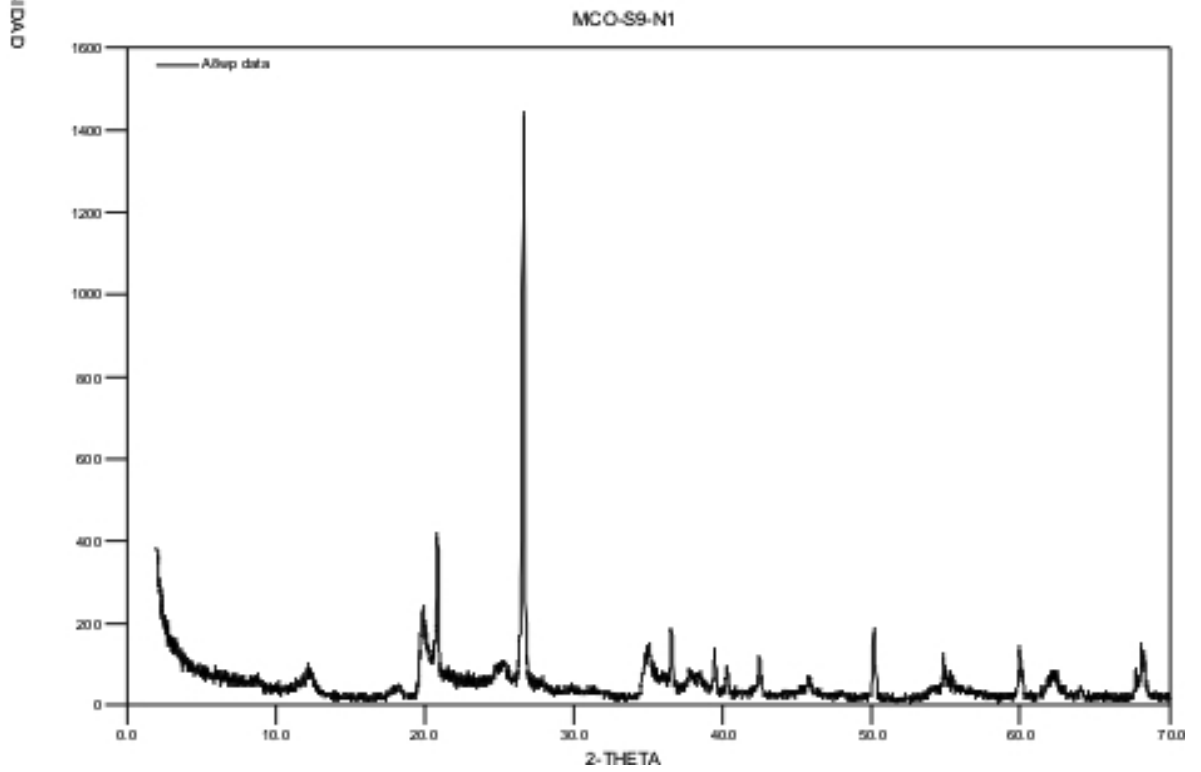
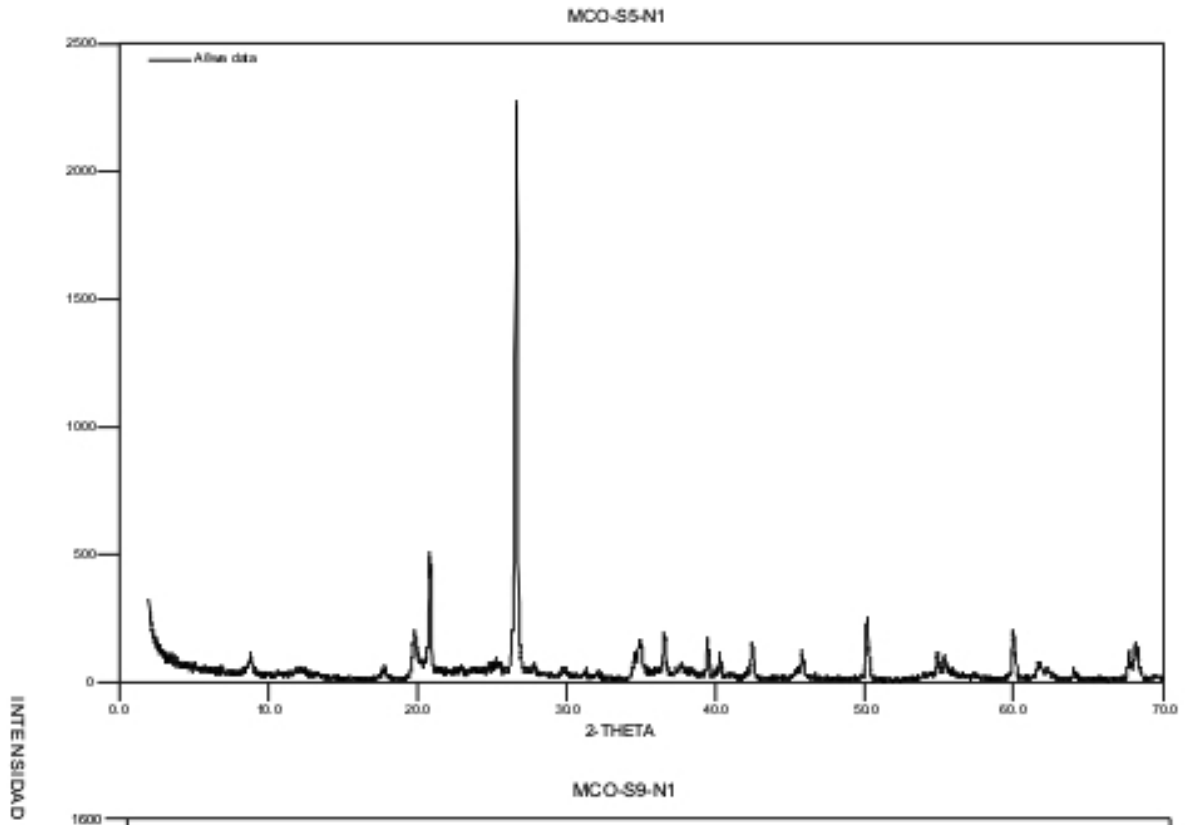
2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.861	9.9716	13
12.285	7.1991	15
17.695	5.0080	2
19.851	4.4688	55
20.294	4.3724	7
20.820	4.2630	157
21.262	4.1754	14
21.464	4.1365	5
22.438	3.9591	15
23.224	3.8268	10
25.237	3.5260	10
25.501	3.4901	3
26.622	3.3456	557
27.929	3.1999	7
28.574	3.1213	4
29.856	2.9902	3
31.184	2.8658	2
31.595	2.8295	3
34.606	2.5898	4
34.957	2.5646	27
35.412	2.5327	2
35.935	2.4970	2
36.143	2.4831	14
36.567	2.4553	30
36.920	2.4326	10
37.463	2.3986	4
37.748	2.3812	9
38.206	2.3537	2
38.522	2.3351	4
39.454	2.2821	46
40.270	2.2377	22
40.604	2.2200	1
41.057	2.1966	3
41.294	2.1845	7
41.580	2.1701	4
42.438	2.1282	54
43.105	2.0968	3
43.323	2.0868	1
43.791	2.0656	3
44.030	2.0549	7
44.442	2.0368	2
45.340	1.9985	12
45.767	1.9809	4
45.934	1.9756	4
46.399	1.9558	2
46.571	1.9485	2
46.788	1.9400	2
47.675	1.9059	1
48.013	1.8937	4
48.208	1.8861	4
48.653	1.8699	5
48.888	1.8615	2
49.723	1.8321	1
50.087	1.8197	47
50.286	1.8129	6
52.909	1.7291	1
53.703	1.7054	1
54.056	1.6954	5
54.275	1.6887	5
54.620	1.6790	6
54.859	1.6721	29
55.255	1.6611	3
56.687	1.6230	7
56.922	1.6167	4
57.444	1.6040	9
59.219	1.5591	4
59.447	1.5538	8
59.640	1.5491	4
59.965	1.5416	68
60.481	1.5294	4
60.869	1.5204	2
61.368	1.5095	3

S6-NE

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.842	9.9932	18
17.801	4.9784	6
19.852	4.4685	86
20.850	4.2570	326
21.247	4.1782	1
22.860	3.8869	8
23.040	3.8570	6
23.813	3.7336	7
24.909	3.5717	6
25.333	3.5129	14
25.548	3.4838	14
26.635	3.3440	1268
27.874	3.1981	13
28.161	3.1661	3
28.709	3.1070	2
29.826	2.9931	16
31.282	2.8571	13
31.516	2.8363	3
32.050	2.7907	3
34.557	2.5934	24
35.008	2.5610	65
35.791	2.5068	3
36.535	2.4574	83
37.048	2.4245	2
37.518	2.3953	1
37.769	2.3799	11
38.543	2.3389	3
39.475	2.2809	79
39.961	2.2542	3
40.282	2.2370	34
40.730	2.2134	4
40.991	2.2004	5
41.135	2.1926	3
41.344	2.1820	6
41.520	2.1732	1
41.979	2.1504	1
42.445	2.1279	71
42.786	2.1117	2
42.974	2.1029	1
43.830	2.0638	7
44.042	2.0544	7
45.419	1.9952	6
45.781	1.9803	28
46.972	1.9725	6
46.461	1.9529	2
47.170	1.9255	2
48.100	1.8901	5
48.564	1.8731	4
49.208	1.8501	4
49.463	1.8412	3
50.127	1.8183	139
52.583	1.7390	2
53.369	1.7153	1
53.684	1.7062	4
53.892	1.6998	5
54.402	1.6851	1
54.850	1.6724	49
55.075	1.6666	12
55.338	1.6588	17
56.355	1.6315	2
59.324	1.5573	3
59.965	1.5417	128
61.741	1.5014	4
67.754	1.3821	98
68.143	1.3750	77
68.352	1.3715	57
68.882	1.3620	8
69.328	1.3547	8

S5-NE

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.901	9.9261	4
17.873	4.9587	3
19.888	4.4606	53
20.887	4.2494	379
22.372	3.9706	6
23.830	3.7309	7
24.832	3.5825	4
25.339	3.5121	11
25.630	3.4728	7
26.678	3.3387	1558
27.907	3.1944	2
29.897	2.9861	9
31.349	2.8510	10
33.423	2.6787	3
34.634	2.5878	22
35.054	2.5577	30
36.589	2.4539	116
37.452	2.3993	8
37.859	2.3744	6
39.522	2.2783	79
40.004	2.2519	2
40.345	2.2337	64
41.025	2.1982	4
41.298	2.1843	3
41.977	2.1505	3
42.496	2.1255	79
43.640	2.0727	1
43.824	2.0641	2
45.352	1.9980	7
45.847	1.9776	40
46.721	1.9426	3
47.197	1.9246	5
47.386	1.9169	5
48.066	1.8913	3
48.366	1.8803	2
49.369	1.8444	1
50.180	1.8166	211
52.368	1.7456	2
53.914	1.6994	6
54.102	1.6940	6
54.300	1.6880	5
54.903	1.6709	42
55.128	1.6651	15
55.381	1.6582	22
55.916	1.6438	6
56.712	1.6225	4
57.539	1.6008	5
59.411	1.5552	2
60.017	1.5407	161
64.081	1.4523	25
64.342	1.4477	12
65.840	1.4174	5
66.061	1.4138	6
67.777	1.3815	113
68.182	1.3742	83
68.383	1.3709	69



S9-NF

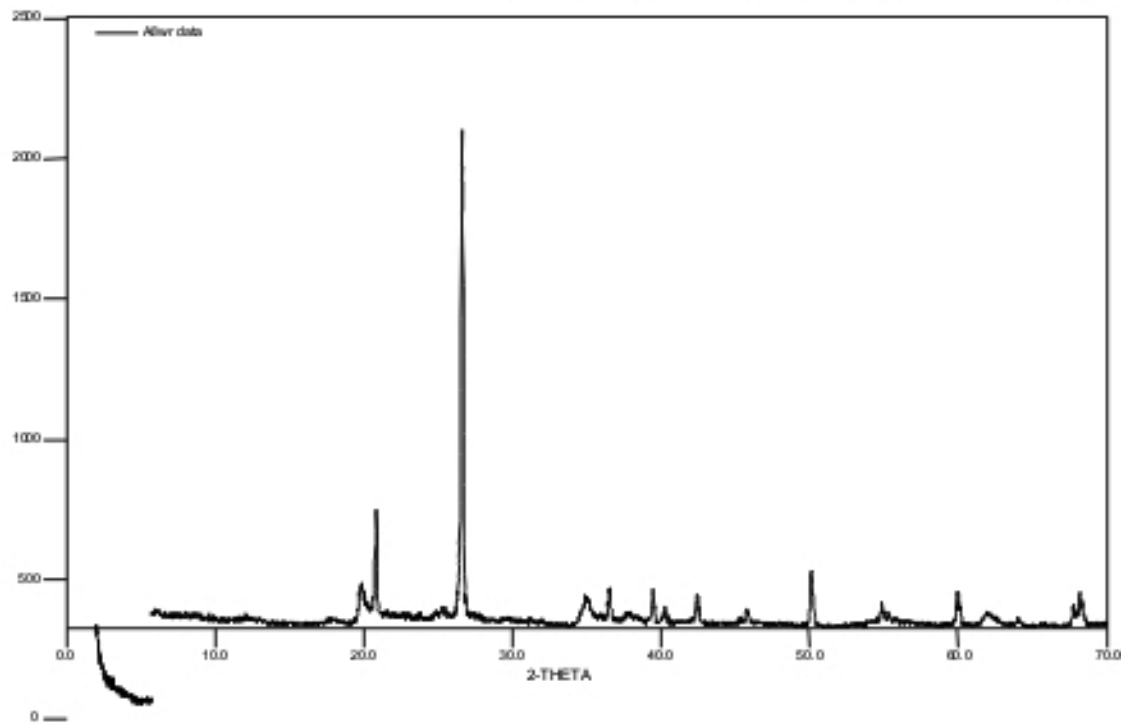
2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
12.270	7.2076	1
12.408	7.1277	2
18.302	4.8434	7
19.862	4.4664	61
20.870	4.2530	243
21.536	4.1228	4
22.673	3.9186	2
24.786	3.5892	4
25.308	3.5163	9
26.011	3.4227	6
26.643	3.3430	935
32.495	2.7531	2
32.959	2.7154	3
35.029	2.5595	13
35.881	2.5007	2
36.569	2.4552	92
37.807	2.3776	8
38.023	2.3646	2
38.360	2.3455	15
38.592	2.3352	11
39.023	2.3063	2
39.189	2.2969	2
39.484	2.2804	59
40.034	2.2503	1
40.307	2.2357	31
41.149	2.198	5
41.252	2.1866	1
41.605	2.1689	4
41.819	2.1583	3
42.046	2.1472	2
42.462	2.1271	60
43.509	2.0783	1
43.891	2.0611	1
44.520	2.0334	2
44.975	2.0139	1
45.453	1.9938	1
45.829	1.9783	12
46.870	1.9368	4
47.307	1.9199	3
47.632	1.9076	2
49.270	1.8479	1
50.151	1.8179	64
50.672	1.8000	3
50.887	1.7929	1
51.025	1.7852	2
51.463	1.7748	3
51.672	1.7675	3
51.962	1.7583	1
53.568	1.7093	4
53.828	1.7021	2
54.065	1.6953	3
54.287	1.6885	3
54.465	1.6833	4
54.870	1.6718	37
55.093	1.6659	4
55.385	1.6592	7
56.251	1.6352	3
57.567	1.5998	3
59.991	1.5412	91
61.181	1.5140	8
61.444	1.5089	3
61.870	1.4987	6
63.059	1.4733	4
63.763	1.4587	8
64.050	1.4526	12
64.303	1.4488	5
65.334	1.4272	4
67.748	1.3822	54
68.151	1.3748	94
68.358	1.3713	8
69.018	1.3596	4

S5-NF

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.840	9.9945	23
12.395	7.1352	3
17.708	5.0046	8
17.822	4.9727	13
19.829	4.4738	67
20.865	4.2539	304
21.532	4.1236	6
22.441	3.9585	3
22.930	3.8752	12
23.116	3.8444	2
24.922	3.5698	16
25.268	3.5217	12
25.600	3.4768	7
26.653	3.348	1401
27.847	3.2011	11
31.528	2.8353	4
32.079	2.7878	4
32.623	2.7426	6
33.461	2.6758	1
34.623	2.5886	27
34.911	2.5682	25
35.020	2.5601	18
35.581	2.5210	1
35.832	2.5040	5
36.570	2.4551	83
37.368	2.4045	6
37.585	2.3911	4
39.482	2.2805	99
40.318	2.2351	44
40.855	2.2070	7
41.472	2.1756	1
42.463	2.1270	68
43.807	2.0649	5
44.011	2.0557	1
44.574	2.0311	3
45.473	1.9930	7
45.815	1.9793	45
46.670	1.9446	4
46.936	1.9342	1
47.203	1.9245	3
47.370	1.9175	1
48.055	1.8918	7
48.257	1.8845	2
48.505	1.8753	6
48.850	1.8628	2
49.335	1.8456	1
49.524	1.8391	1
50.155	1.8174	152
50.779	1.7965	1
51.117	1.7854	3
51.667	1.7680	2
52.097	1.7544	1
53.004	1.7262	4
53.588	1.7087	1
54.001	1.6967	9
54.249	1.6895	2
54.877	1.6716	35
55.096	1.6658	18
55.348	1.6585	29
55.842	1.6455	5
57.392	1.6044	11
57.856	1.5933	2
58.391	1.5792	1
58.759	1.5694	2
59.984	1.5413	132
60.787	1.5225	5
61.658	1.5034	17
63.384	1.4671	1
63.825	1.4571	1
64.072	1.4525	18
65.406	1.4258	1
65.819	1.4179	4
66.584	1.4063	2

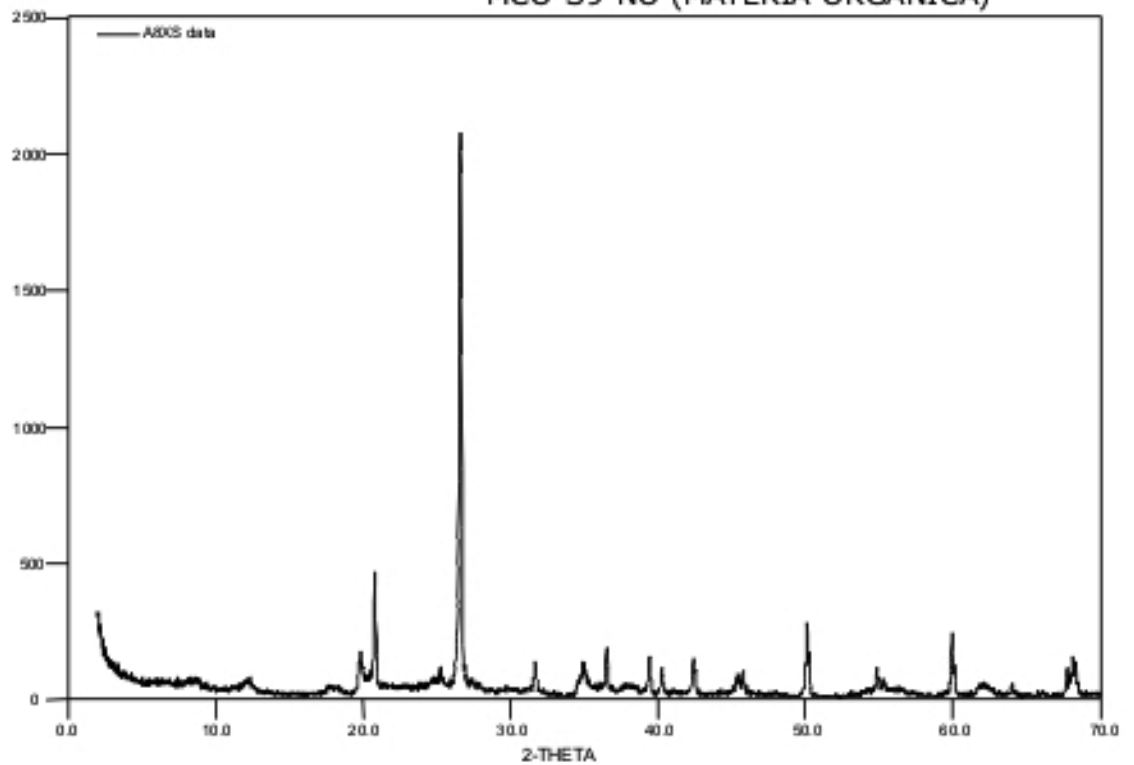
INTENSIDAD

MCO-S9 -NO (SIN MATERIA ORGANICA)



INTENSIDAD

MCO-S9-NO (MATERIA ORGANICA)



S9-NO (SIN MATERIA ORGANICA)

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.840	9.9947	5
12.386	7.3401	2
14.195	6.2339	3
18.355	4.8295	1
19.861	4.4665	39
20.316	4.3675	10
20.859	4.2551	313
21.591	4.1125	3
22.348	3.9748	1
22.654	3.9218	4
23.009	3.8622	7
23.854	3.7272	6
25.318	3.5149	14
25.558	3.4825	6
26.648	3.3424	1260
27.442	3.2475	7
27.917	3.1933	4
28.681	3.1099	3
29.140	3.0620	5
31.217	2.8628	6
31.832	2.8089	4
32.000	2.7945	2
32.993	2.7126	3
34.990	2.5630	22
35.987	2.4936	5
36.548	2.4565	72
37.532	2.3944	5
38.387	2.3430	2
39.479	2.2807	74
39.980	2.2532	2
40.327	2.2347	28
41.632	2.1676	2
41.847	2.1569	4
42.090	2.1450	2
42.467	2.1268	60
43.115	2.0964	4
43.779	2.0661	3
44.056	2.0539	1
44.198	2.0475	3
44.894	2.0173	2
45.426	1.9950	3
45.559	1.9896	6
45.799	1.9796	32
46.901	1.9356	3
47.378	1.9172	3
48.551	1.8736	5
49.412	1.8433	3
50.147	1.8176	147
50.625	1.8020	3
50.821	1.7951	2
51.854	1.7617	3
52.359	1.7459	6
53.664	1.7069	7
53.882	1.7001	4
54.512	1.6820	10
54.878	1.6716	36
55.086	1.6661	3
55.336	1.6589	7
56.541	1.6263	8
57.327	1.6085	5
57.473	1.6027	7
59.293	1.5574	6
59.978	1.5414	87
61.661	1.5034	6
62.338	1.4884	3
62.590	1.4839	5
63.488	1.4641	5
63.671	1.4603	4
64.065	1.4525	21
65.092	1.4320	3
65.311	1.4276	2
66.043	1.4135	1
66.231	1.4099	1
66.585	1.4033	3
66.767	1.3997	4
66.930	1.3969	1

S9-NO (MATERIA ORGANICA)

2-THETA	D-SPACING	INTENSITY
8.938	9.8857	12
12.310	7.3844	8
17.673	5.0143	6
19.800	4.4802	40
20.820	4.2629	282
21.415	4.3458	4
22.874	3.8846	7
23.864	3.7256	3
25.252	3.5239	25
26.610	3.3471	1328
27.425	3.2494	12
27.855	3.2003	8
28.570	3.1217	3
31.673	2.8226	59
34.956	2.5647	15
36.020	2.4913	6
36.516	2.4586	99
38.583	2.3316	3
39.433	2.2832	80
40.266	2.2379	43
42.430	2.1286	73
43.688	2.0733	3
44.098	2.0519	4
44.299	2.0430	3
45.070	2.0099	8
45.412	1.9955	30
45.752	1.9815	33
45.957	1.9738	6
46.384	1.9563	3
46.549	1.9494	2
48.011	1.8934	4
48.765	1.8659	2
50.131	1.8190	230
50.590	1.8027	2
50.585	1.7940	1
52.140	1.7528	1
52.289	1.7481	1
52.668	1.7364	3
53.848	1.7011	2
54.605	1.6793	2
54.853	1.6728	83
55.272	1.6609	24
55.810	1.6460	3
56.063	1.6400	12
59.273	1.5585	3
59.953	1.5420	122
61.251	1.5129	4
62.731	1.4804	6
62.953	1.4755	2
63.500	1.4640	9
63.721	1.4594	6
64.031	1.4534	36
64.620	1.4418	5
65.824	1.4188	4
67.733	1.3824	107
68.138	1.3752	106
68.344	1.3715	6
68.986	1.3605	7