

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL INDUSTRIAL DE LOS CUERPOS CALCÁREOS EN LA CONCESIÓN RÍO CLARO DE SUMICOL

JORGE TOBÓN

Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

EDIER ARISTIZABAL

Ingeniero Geólogo.

IVÁN ARANGO

Ingeniero Geólogo – SUMICOL S.A

Recibido para revisar 3 de Noviembre de 2001, aceptado 30 de Agosto de 2002, versión final 24 de Septiembre de 2002.

RESUMEN: La Concesión Minera Río Claro de SUMICOL S.A. está localizada al Sureste del Departamento de Antioquia en el flanco oriental de la Cordillera Central, con un área de 9 km² y en jurisdicción de los municipios de Sonsón, San Francisco, San Luis y Puerto Triunfo. Fisiográficamente se caracteriza por el contraste entre un paisaje kárstico, formando una faja norte-sur, y cuchillas alargadas y altas de rocas esquistosas. Se encontró que geoquímicamente los mármoles calcíticos de la Concesión Río Claro, se dividen en dos bloques, con aplicaciones industriales muy diferentes denominados, Bloque Norte, con un contenido promedio de CaO: 50,5 %, MgO: 1,55 %, SiO₂: 5,78 % y Fe₂O₃: 0,05 %, caracterizado como una muy buena materia prima utilizable en las industrias cementera y de la construcción; y Bloque Sur, con materiales de alta pureza y aplicación en las industrias del vidrio, cerámica y rellenos industriales, con las siguientes concentraciones CaO: 55,6 %, MgO: 0,41 %, SiO₂: 0,24 % y Fe₂O₃: 0,01 %. Como reservas probadas de mármol calcítico se estimaron 172'000.000 de toneladas para el Bloque Norte y 215'000.000 de toneladas para el Bloque Sur, con un total de 387'000.000 de toneladas para toda la zona de la Concesión Río Claro que aseguran amplias áreas de explotación para la empresa.

PALABRAS CLAVES: Río Claro, Mármol Calcáreo, Exploración de Dolomitas, Falla de Palestina.

ABSTRACT: The Río Claro Mining Concession of SUMICOL S.A. is located at Southeast of the Antioquia Department in the eastern flank of the Cordillera Central. The area comprises 9 km² and lies in the jurisdiction of the municipalities of Sonsón, San Francisco, San Luis and Puerto Triunfo. The geomorphology is characterized by the contrast between a north-south oriented karst landscape and a metamorphic mountain range. Geochemically the calcareous marbles of the Río Claro Concession are divided into two blocks with very different industrial applications called, the North Block, with an average content of CaO: 50,5%, MgO: 1,55%, SiO₂: 5,78% and Fe₂O₃: 0,05%, characterized as a very good raw material for the cement and construction industries; and the South Block with high purity calcareous material with possible application in the glass and ceramic industries and as industrial filler, with the following concentrations: CaO: 55,6%, MgO: 0,41%, SiO₂: 0,24% and Fe₂O₃: 0,01%. The proven resources of calcareous marble are: 172'000.000 tons for the North Block and 215'000.000 tons for the South Block, with a total of 387'000.000 tons for the whole area of the Río Claro Concession which assures wide areas of exploitation for the company.

KEY WORDS: Río Claro, Calcareous Marble, Dolomite Exploration, Palestina Fault.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con numerosos depósitos calcáreos, de los cuales existen importantes yacimientos con grandes reservas y alta calidad química, algunos de éstos cuerpos están ubicados en la margen oriental de la Cordillera Central.

Suministros de Colombia S.A., SUMICOL, en la Concesión Río Claro lleva a cabo la explotación a cielo abierto de un cuerpo de mármol para su utilización en la industria cerámica. Buscando ampliar su mercado se plantea el proyecto de caracterizar geoquímicamente, mediante elementos mayores, los mármoles presentes en la zona para definir su mejor aplicabilidad industrial.

El uso potencial de una roca o mineral en la industria está determinado por sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y por su comportamiento durante el proceso productivo. En el caso de los mármoles la principal propiedad a establecer es su composición química pues de ella depende su uso final en industrias tales como: cementeras, cales (agrícolas, metalúrgicas, de construcción, rellenos industriales, etc.), cerámica, vidrio, refractarios, entre otras. Antes de definir el uso potencial de una roca o mineral se debe caracterizar geológicamente el yacimiento o prospecto para conocer su composición mineralógica, disposición estructural y evaluar sus reservas.

2. GENERALIDADES

La zona de Río Claro está localizada en el extremo sureste del departamento de Antioquia a 160Km de Medellín, en el flanco oriental de la cordillera central y en jurisdicción de los municipios de Sonsón, San Francisco, San Luis y Puerto Triunfo. El área, aproximadamente de 9Km², se encuentra en las planchas topográficas 168-II-C1 y 168-II-C3, escala 1: 10.000, de CORNARE.

En el área afloran rocas metamórficas consideradas de edad Paleozoica, (Feininger, 1972) originadas por deposición primaria bajo un ambiente transicional, con precipitación al

oriente de sedimentos calcáreos y bajos aportes continentales y al occidente con diferentes variaciones temporales que originaron intercalaciones de cuerpos calcáreos, dolomíticos y cuarcíticos. Estos sedimentos sufrieron dos eventos regionales, posiblemente durante el Paleozoico (Cossio y Viana, 1986), que dieron origen a la mayor parte de las rocas metamórficas de la cordillera central. Luego durante el Cretáceo se originó el sistema de fallas de Palestina con grandes efectos sobre la zona.

Localmente en la concesión se encuentran mármoles de color gris hasta tonalidad casi blanca con textura granoblástica, en una área aproximada de 5km² en forma alargada con dirección N-S (Figura 1, al final del artículo). Las principales estructuras observadas son bandas, pliegues y diaclasas. Con intercalaciones de cuarzo y materia orgánica.

El otro grupo de rocas importantes en el área es el compuesto por los esquistos cuarzo-micáceo del Río Claro, conformado por un paquete occidental y otro oriental que enmarcan a la unidad de mármol. Este es de grano fino a medio, brillo sedoso, con bandas milimétricas de cuarzo intercaladas con biotita y moscovitas. Además, se encuentran diques pegmatíticos y depósitos aluviales y coluviales (Figura 1).

Se observan numerosas fallas de rumbo con componente dextral que marcan los contactos entre las unidades de roca y que corresponden al sistema de fallas Palestina (Figura 1).

3. DISEÑO DEL MUESTREO

Se realizó un muestreo sistemático superficial con una malla de densidad variable, según los siguientes parámetros: Geología local, propiedad de los terrenos, estudios anteriores y condiciones ambientales.

La orientación de la malla surge de la caracterización geológico-estructural del depósito, donde dado que el cuerpo de mármol presenta una tendencia estructural NS-NNE/60-70°E en forma de bandas o capas, se diseñó con líneas paralelas en dirección NS cortadas en sentido EW por perpendiculares a la tendencia predominante de la foliación, con lo que se buscaba identificar variaciones composicionales.

La densidad de la red se intensificó en los terrenos pertenecientes a Sumicol S.A., con distancias entre cada nodo de $150m$ y en el sector conocido como Los Cerros, donde se densificó a un más la malla con distancias nodales de $75m$ por los datos presentados en (Rojas, 1978) en los cuales se encontraron valores importantes de magnesio en las muestras recolectadas, en cuyo caso es muy importante delimitar con exactitud cuerpos dolomíticos si los hay por la trascendencia que tiene este material actualmente para la industria colombiana. El resto de la zona se cubrió con una red de $200m$ debido a las restricciones fisiográficas y ambientales presentes, sumado a la falta de información de la calidad química.

Se utilizó el método de muestreo en canal modificado (*point sampling*), arrancando de techo a base fragmentos de roca. En este proceso se tuvieron en cuenta parámetros como estructuras del afloramiento, principalmente bandas y pliegues, intercalaciones con otros materiales y altura del afloramiento para definir el tamaño de los fragmentos y cantidad a tomar en cada punto; pero en general se recolectaron muestras de $2kg$, cantidad considerada en este estudio como representativa de los diferentes nodos.

Para evitar el sesgo la muestra se tomó en canal con dirección perpendicular al bandeadimiento abarcando la mayor área expuesta. Se procuró además, que los fragmentos tuvieran el mismo tamaño y se encontrarán repartidos uniformemente en el área seleccionada, evitando el material superficial contaminado por procesos exógenos.

Se utilizó el criterio del mínimo espesor de banda potencialmente explotable, de la siguiente manera: afloramientos con paquetes menores de $1m$ fueron muestreados en su totalidad ante la imposibilidad de una minería selectiva, mientras que sectores con bandas superiores a $1m$ se consideraban cada una de ellas independiente para muestrear, ya que en el caso de existir concentraciones importantes de mármoles de diferente calidad, con diferentes aplicaciones industriales, es posible explotar dichas bandas separadamente.

Durante esta etapa se recolectaron 60 muestras, a las cuales se les realizó análisis petrográfico mesoscópico; la ubicación de éstas,

identificadas con las letras MJE y el número consecutivo dado en campo, se presenta en la Figura 1, al final del artículo. De estas muestras se realizó un proceso de selección para determinar así un número significativo, que permitieran conocer la composición química de los materiales calcáreos de la concesión.

4. RESULTADOS DEL MUESTREO

Del proceso de selección resultaron 34 muestras de roca a las cuales se les determinaron los contenidos de K_2O , Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , en los laboratorios químicos de Sumicol S.A., certificados por la norma ISO 9002 del ICONTEC en el año de 1999, con el equipo de Fluorescencia de Rayos X marca Philips, modelo PW-2400, según el método validado IOLB-10-096. En la Tabla 1 se presenta los resultados según el número de la muestra asignado en campo y diferenciados por Bloque Norte y Bloque Sur según su ubicación.

En estos análisis se realizaron, además, las pérdidas por ignición (PPI) para el 50% de las muestras con el fin de determinar la variación de dicho valor, debido a la poca diferencia entre los datos y al tiempo que involucra cada cálculo, se continuaron sin estimar estos valores. En general, se acepta como promedio de estas pérdidas alrededor del 43%.

A partir de la Tabla 1 las principales conclusiones que surgen son el poco contenido de óxido de magnesio en las muestras colectadas, el alto contenido de óxido de calcio, nótese como desde la muestra 47 los contenidos de CaO son superiores al 55% y los demás óxidos inferiores al 0,52%. Los resultados generales obtenidos para toda el área caracterizan los materiales como un mármol calcáreo de alta pureza con bajos contenidos de magnesio, hierro y alúmina, y valores altos de sílice al noroccidente.

Al comparar los resultados químicos con la descripción macroscópica se encontró una relación estrecha entre la composición química y el color de las muestras, a mayor pureza mayor blancura. Esta conclusión queda por ser ratificada mediante análisis cuantitativos de blancura como el "Brightness" y las coordenadas de color entre otros. También, se observó que las

muestras más puras eran de tamaño de grano más fino, estos son criterios de campo importantes para estimar la composición del mármol

Tabla 1. Resultados de Laboratorio

<LD: Valor mínimo detectable por FRX NA: No aplica ND: No detectable

Muestra	Composición Química (%)						
	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
	± 0,01	± 0,01	± 0,50	± 0,031	± 0,01	± 0,057	± 0,01
Bloque Norte							
MJE1	0,01	ND	52,4	2,2	ND	1,5	0,01
MJE3	0,03	ND	48,5	1,9	ND	8,3	0,02
MJE5	ND	ND	53,9	0,82	ND	2	0,02
MJE10	ND	ND	53,3	0,39	ND	3,7	0,01
MJE12	ND	ND	52,6	0,36	ND	4,4	0,01
MJE13	0,05	ND	53,4	0,89	ND	1,4	0,04
MJE15	0,02	ND	53,5	0,48	ND	2,9	0,04
MJE16	0,12	ND	50	0,32	0,17	8,1	0,22
MJE17	0,01	ND	50,8	3,2	ND	2,2	0,05
MJE18	0,01	0,01	51,8	1,9	ND	2,9	0,07
MJE19	0,02	ND	52,2	1,4	ND	3,4	0,04
MJE20	0,13	0,01	39,6	2	ND	23,6	0,19
MJE23	0,03	ND	49,8	1,6	ND	6,9	0,06
MJE25	ND	ND	52,4	0,69	ND	3,7	0,05
MJE28	0,07	ND	45,8	1,7	0,05	13,4	0,24
MJE29	ND	ND	54,1	0,5	ND	1,8	0,02
MJE32	ND	ND	41,8	0,62	ND	22,5	0,03
MJE33	ND	ND	48,8	1,3	ND	8,6	0,03
MJE34	0,13	0,01	46,2	7,5	ND	2,5	0,03
MJE37	ND	ND	53,3	1,2	ND	2,2	0,02
MJE39	0,01	0,01	50,3	0,65	ND	8,5	0,06
MJE40	0,01	0,01	53,1	1,16	ND	2,6	0,01
MJE41	0,02	0,01	52,2	0,91	ND	4,4	0,05
MJE42	<LD	0,01	51,6	1,9	ND	4,8	0,02
MJE43	ND	0,01	51,9	3,3	ND	0,65	0,02
MJE45	0,03	0,01	52,1	1,65	ND	3,4	0,04
Bloque Sur							
MJE47	ND	0,01	56,2	0,28	ND	0,03	0,01
MJE48	ND	0,01	55,1	0,41	ND	0,52	0,03
MJE49	ND	0,01	55,9	0,39	ND	0,12	0,01
MJE51	ND	0,01	55,5	0,32	ND	ND	0,01
MJE52	ND	0,01	55,1	0,5	ND	0,2	0,01
MJE53	ND	0,01	56	0,49	ND	0,26	0,01
MJE54	0,08	0,01	55,3	0,48	0,06	0,53	0,01
MJE60	ND	0,01	55,7	0,42	ND	0,02	ND

METODO: FRX:IOLB10-096, PPI: IOLB10-078

Como se puede observar en la Tabla 1 los contenidos de magnesio en las muestras con valores promedio para toda el área de 1.3 % y

máximos de 7.5 % y 3.3 % en las muestras MJE34 y MJE43 respectivamente. Por lo que se concluye que dicho muestreo no detectó la

presencia de dolomita en cantidades explotables dentro de la Concesión Río Claro. En la Figura 2 se observa un diagrama de barras que muestra el porcentaje de MgO para todas las muestras analizadas.

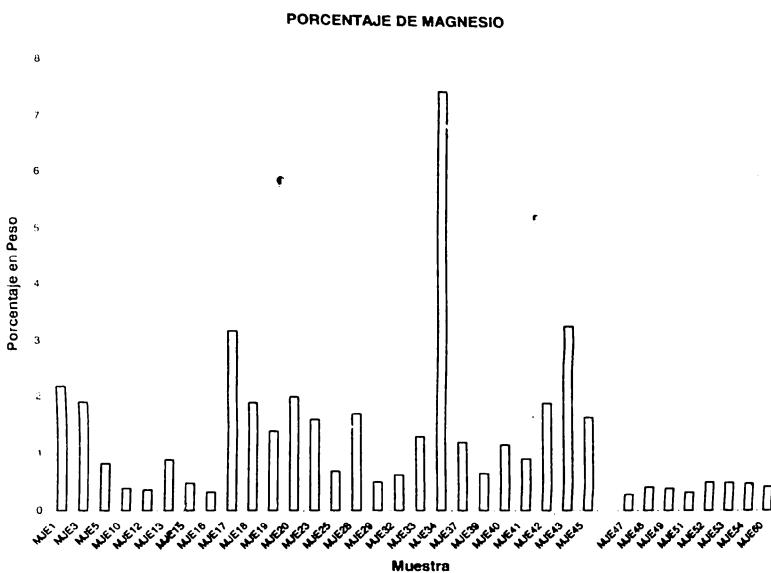


Figura 2. Porcentaje en peso de MgO para todas las muestras analizadas.

4.1 Diferencias geoquímicas

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 1 se graficó el mapa de isovalores para CaO por ser este el óxido más importantes a tener en cuenta en las diferentes industrias (Figura 3, al final del artículo).

Se puede observar en el mapa de isovalores que hay dos zonas con diferencias químicas considerables, una al sur con contenidos muy altos de CaCO₃ y una al norte con porcentajes menores.

Analizando estos resultados y teniendo en cuenta los criterios texturales y petrográficos se diferencian claramente dos bloques, que pueden ser separados como dos unidades calcáreas con aplicaciones en diferentes industrias, denominados informalmente Bloque Norte y Bloque Sur, separados por la Falla Palestina que cruza la zona en dirección suroeste-noreste.

4.1.1 Bloque Norte.

Con un área aproximada de 3km² y en contacto fallado a ambos lados con la unidad de esquistos (Figura 3). En muestra de mano son rocas de color gris a gris oscuro, con tamaño de grano medio a grueso, generalmente con variaciones texturales muy marcadas, localmente presentan características particulares como brillo adamantino, leve orientación y olor fétido al ser golpeadas.

La distribución de valores presenta altos contenidos de CaCO₃ con promedios de 90,06% que corresponden a 50,06% de CaO (para obtener el porcentaje CaO se divide el contenido de CaCO₃ por 1.78), valores relativamente altos de magnesio entre 7.5% y 0.32% con promedio de 1.55%, la sílice se encuentra alrededor de 5.78% y el óxido de hierro de 0.05%.

En la Figura 4 se presenta la distribución de valores en diagrama de barras de los principales óxidos para todas las muestras analizadas del Bloque Norte, donde se destaca los contenidos de MgO, SiO₂ y Fe₂O₃, por encima de las especificaciones industriales más exigentes.

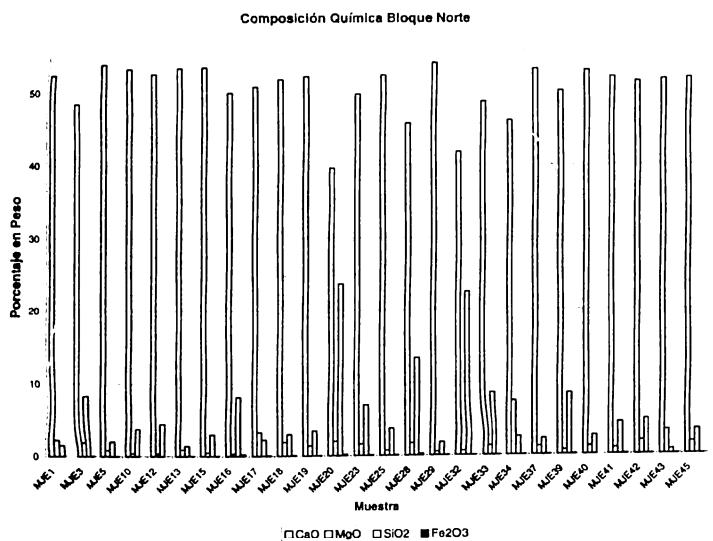


Figura 4. Diagrama de porcentaje de óxidos para el Bloque Norte.

Las muestras ubicadas al norte del Caño Seco se caracterizan por presentar variaciones químicas laterales, aumentando considerablemente la sílice al occidente con valores máximos de 22.5% y 23.6%, se puede notar además que los porcentajes de óxidos de

calcio aumentan al oriente alcanzando valores de hasta 54.1%, por encima del promedio general del bloque.

Potencial industrial. Debido a su composición, dichos mármoles son ideales para la industria del cemento como materia prima del clinker, donde la mayor exigencia es un contenido de CaCO_3 por encima del 80%.

Otro criterio importante en esta industria son los contaminantes, los cuales aportan los otros óxidos para la elaboración del cemento, como los de sílice, hierro y alúmina, que si se presentan en el mismo depósito calcáreo disminuye el volumen de materiales adicionales requeridos, lo cual abarata los costos de producción. En cuanto al magnesio se encuentra por debajo de los límites máximos permitidos del 15% en las materias primas, obteniendo una mezcla muy por debajo del 5%, para evitar cementos expansivos.

Lógicamente este material se puede utilizar en industrias menos exigentes como en la construcción y como cal agrícola, donde se permiten valores más bajos de carbonatos y más altos de los demás óxidos.

4.1.2 Bloque Sur.

Con un área aproximada de 2km^2 , está limitado al occidente por la Falla Palestina y al este en contacto tajante con el cuerpo de esquistos (Figura 3).

Químicamente se caracteriza por altos contenidos de CaCO_3 con promedio de 98.9% que corresponden a 55.6% de CaO , y bajos en los demás óxidos, MgO 0.41%, SiO_2 0.24% y Fe_2O_3 0.01% y valores de K_2O y Na_2O por debajo de 0.01%, lo que significa que este cuerpo cumple con las especificaciones más rigurosas, como es la industria del vidrio, la cerámica y los rellenos industriales.

La Figura 5 presenta la composición de los principales óxidos de las muestras analizadas del Bloque Sur por medio de histogramas, que al ser comparado con el Bloque Norte se logran establecer marcadas diferencias como la mayor concentración de CaO y el menor contenido en otros óxidos.

Los óxidos diferentes al CaO (MgO , SiO_2 , Fe_2O_3) son tan escasos que en la Figura 5

prácticamente no aparecen representados a esa escala, lo que demuestra la pureza de este Bloque de mármol calcítico.

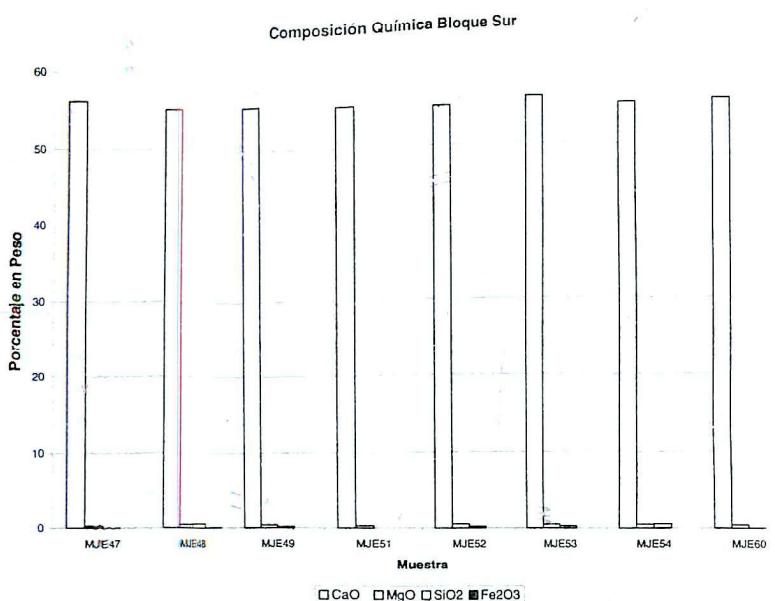


Figura 5. Diagrama de porcentaje de óxidos del Bloque Sur.

Potencial industrial. Por ser un material mucho más puro su mejor uso se encuentra en la industria del vidrio, en la fabricación de vidrio transparente convencional, la cual exige materiales de alta pureza con pequeñas desviaciones composicionales. Las restricciones varían según la empresa; en el caso de Vidrio Andino S.A. se exigen contenidos de óxido de calcio mínimos de 55.0%, y máximos de 0.035% para Fe_2O_3 , 1% para SiO_2 y 1% para Al_2O_3 , y para el caso de Cristalería Peldar S.A. se exigen CaO por encima de 54.5%, Fe_2O_3 menor de 0.04%, SiO_2 menor de 1% y Al_2O_3 por debajo de 0.5%, como se puede observar para ambas empresas se cumplen las restricciones solicitadas para el material.

Este material también presenta características óptimas para ser utilizado en la industria cerámica y de los rellenos industriales. En esta última industria hay un condicionante muy fuerte que es el tamaño de partícula obtenido después de la molienda, que es la principal ventaja del carbonato de calcio precipitado (CCP), por eso se recomienda en caso de querer incursionar en el mercado de los rellenos hacer un estudio detallado de moliturabilidad para diseñar el

calcio aumentan al oriente alcanzando valores de hasta 54.1%, por encima del promedio general del bloque.

Potencial industrial. Debido a su composición, dichos mármoles son ideales para la industria del cemento como materia prima del clinker, donde la mayor exigencia es un contenido de CaCO_3 por encima del 80%.

Otro criterio importante en esta industria son los contaminantes, los cuales aportan los otros óxidos para la elaboración del cemento, como los de sílice, hierro y alúmina, que si se presentan en el mismo depósito calcáreo disminuye el volumen de materiales adicionales requeridos, lo cual abarata los costos de producción. En cuanto al magnesio se encuentra por debajo de los límites máximos permitidos del 15% en las materias primas, obteniendo una mezcla muy por debajo del 5%, para evitar cementos expansivos.

Lógicamente este material se puede utilizar en industrias menos exigentes como en la construcción y como cal agrícola, donde se permiten valores más bajos de carbonatos y más altos de los demás óxidos.

4.1.2 Bloque Sur.

Con un área aproximada de 2km^2 , está limitado al occidente por la Falla Palestina y al este en contacto tajante con el cuerpo de esquistos (Figura 3).

Químicamente se caracteriza por altos contenidos de CaCO_3 con promedio de 98.9% que corresponden a 55.6% de CaO , y bajos en los demás óxidos, MgO 0.41 %, SiO_2 0.24 % y Fe_2O_3 0.01% y valores de K_2O y Na_2O por debajo de 0.01%, lo que significa que este cuerpo cumple con las especificaciones más rigurosas, como es la industria del vidrio, la cerámica y los rellenos industriales.

La Figura 5 presenta la composición de los principales óxidos de las muestras analizadas del Bloque Sur por medio de histogramas, que al ser comparado con el Bloque Norte se logran establecer marcadas diferencias como la mayor concentración de CaO y el menor contenido en otros óxidos.

Los óxidos diferentes al CaO (MgO , SiO_2 , Fe_2O_3) son tan escasos que en la Figura 5

prácticamente no aparecen representados a esa escala, lo que demuestra la pureza de este Bloque de mármol calcítico.

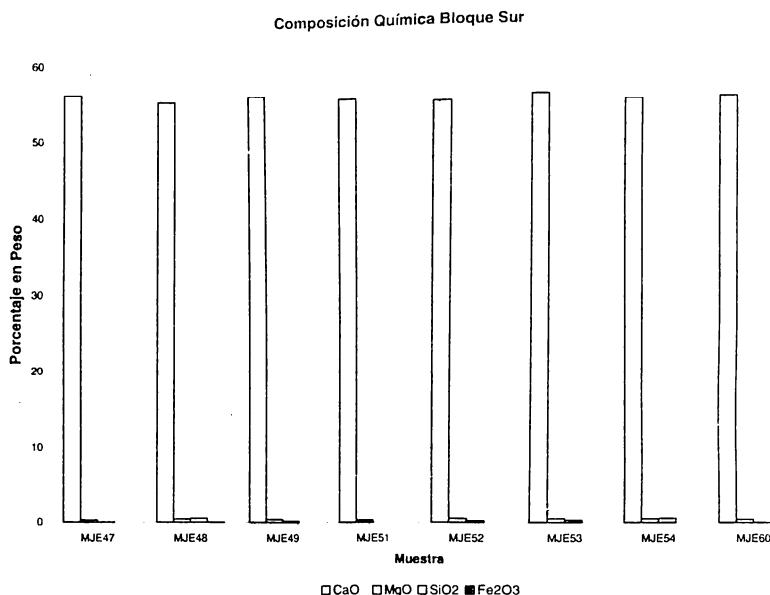


Figura 5. Diagrama de porcentaje de óxidos del Bloque Sur.

Potencial industrial. Por ser un material mucho más puro su mejor uso se encuentra en la industria del vidrio, en la fabricación de vidrio transparente convencional, la cual exige materiales de alta pureza con pequeñas desviaciones composicionales. Las restricciones varían según la empresa; en el caso de Vidrio Andino S.A. se exigen contenidos de óxido de calcio mínimos de 55.0%, y máximos de 0.035% para Fe_2O_3 , 1% para SiO_2 y 1% para Al_2O_3 , y para el caso de Cristalería Peldar S.A. se exigen CaO por encima de 54.5%, Fe_2O_3 menor de 0.04%, SiO_2 menor de 1% y Al_2O_3 por debajo de 0.5%, como se puede observar para ambas empresas se cumplen las restricciones solicitadas para el material.

Este material también presenta características óptimas para ser utilizado en la industria cerámica y de los rellenos industriales. En esta última industria hay un condicionante muy fuerte que es el tamaño de partícula obtenido después de la molienda, que es la principal ventaja del carbonato de calcio precipitado (CCP), por eso se recomienda en caso de querer incursionar en el mercado de los rellenos hacer un estudio detallado de molturabilidad para diseñar el

sistema de molienda que permita conseguir las partículas más finas de manera económica.

5. ESTIMACIÓN DE RESERVAS CALCÁREAS

La estimación de reservas se realizó a través de cortes geológicos de dirección $N75^{\circ}W$, perpendiculares a la tendencia predominante del cuerpo, y localizados cada $150m$, con un total de 28 perfiles. A partir de estos perfiles se procedió a estimar el área promedio entre cada dos perfiles consecutivos y multiplicar por la distancia que los separa para obtener el volumen del cuerpo tomando como línea base la cota promedio del río en cada perfil. Como restricciones se tuvieron en cuenta un retiro obligatorio del río entre 10 y $15m$ que permitieran en la vertical una altura de $5m$ contada desde la capa de agua como el nivel máximo inundable que alcanza el río, basados en la altura del puente sobre la autopista, el cual nunca ha sido inundado. En cuanto a las principales vías se conservó un espacio de $10m$ a cada lado teniendo en cuenta taludes finales subverticales. Estos retiros no son los estimados por el Código de Minas, sin embargo, fueron utilizados por especificaciones de Sunicol S.A.

Las reservas estimadas son denominadas como probadas (Garcés, 1984) debido a que se conocen en diferentes puntos las tres dimensiones en afloramiento, además, la correlación con los cuerpos del mineral en los alrededores donde se han realizado perforaciones permiten determinar la continuidad a profundidad.

Bajo estos criterios se estimaron para la Concesión Río Claro un total de $158'000.000m^3$ que corresponden a $387'000.000$ toneladas de mármol, asumiendo como densidad para la roca un valor de $2.7\ ton/m^3$, con un factor de aprovechamiento de 0.95 para el Bloque Sur y 0.85 al Bloque Norte, el cual sólo tiene en cuenta aspectos geológicos propios del yacimiento y no mineros, como son los contaminantes y posibles zonas estériles, entre otras. Debido a las diferencias en los contenidos de óxidos analizados que presentan los materiales del Bloque Norte y Sur, se estimaron las reservas

individualmente con el objetivo de conocer los volúmenes disponibles para cada industria según el potencial industrial del material.

5.1 Reservas del bloque norte

Los límites estimados para el cálculo de reservas son al oriente y al occidente fallados y verticales. Se utilizó como factor de aprovechamiento un valor de 0.85 , considerando aspectos geológicos netamente como son la presencia de bandas de cuarzo y magnesio, las cuales aumentan al occidente, sin embargo para la industria del cemento los contaminantes de sílice y alúmina son favorables dentro del rango de valores encontrados. El Bloque Norte presenta un volumen de $94'000.000\ m^3$ de mármol, lo que corresponde a unas reservas probadas de $215'000.000$ toneladas.

5.2 Reservas del bloque sur

Los límites estimados para el cálculo de reservas son al occidente la Falla Palestina netamente de rumbo, y al oriente el límite tajante con la unidad de esquistos, inferido para este cálculo como neto y buzante al este 65° . Como factor de aprovechamiento se consideró un valor de 0.95 debido a la mayor pureza y menor grado de incertidumbre ya que es el bloque donde se explota actualmente. El Bloque Sur presenta un volumen de $64'000.000\ m^3$ que corresponden a $172'000.000$ toneladas de reservas probadas de mármol.

TABLA 2. Estimación de reservas totales en la Concesión.

Reservas (Ton)	Volumen (m^3)
Bloque Norte	215'000.000
Bloque Sur	172'000.000
Total	387'000.000
	158'000.000

En la Tabla 2 se presentan las reservas probadas que se estimaron para la Concesión Río Claro de Sunicol.

6. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y

La Concesión Río Claro de Sumicor se caracteriza por ser un yacimiento de mármoles de alta calidad (denominados informalmente como calizas) y grandes reservas que se diferencia químicamente en dos bloques, con aplicaciones industriales muy diferentes, el Bloque Norte con un contenido promedio de CaO: 50.6%, MgO: 1.55%, SiO₂: 5.78% y Fe₂O₃: 0.05% ideal para la industria cementera y de la construcción, y el Bloque Sur con materiales de alta pureza con concentraciones de CaCO₃ de 98,9%, CaO: 55.6%, MgO: 0.41%, SiO₂: 0.24% y Fe₂O₃: 0.01%, excelente para ser utilizado en la industria del vidrio, la cerámica y los rellenos industriales.

El Bloque Norte de la Concesión presenta variaciones químicas laterales, aumentando considerablemente la sílice al occidente con valores máximos de 22.5% y 23.6%, mientras que al oriente los porcentajes de óxidos de calcio alcanzan valores de hasta 54.1%, por encima del promedio general del bloque.

Como reservas probadas de mármol calcítico se estimaron 172'000.000 toneladas para el Bloque Norte y 215'000.000 toneladas para el Bloque Sur, con un total de 387'000.000 toneladas para toda la zona de la Concesión, que aseguran amplias reservas potenciales de explotación para la empresa.

Como criterios de prospección de mármoles dolomíticos y calcíticos de alta pureza se debe tener en cuenta que al occidente se encuentran asociados valores relativamente bajos de óxido de calcio, altos de sílice y concentraciones dolomíticas locales especialmente asociadas con intercalaciones de cuarcita, pirita y wollastonita por lo que en estos sectores se deben enfocar la exploración de cuerpos dolomíticos, inicialmente con estudios como el presente para luego realizar perforaciones y levantamientos estratigráficos detallados si los resultados lo ameritan, con el fin de caracterizar estas bandas y encontrar posiblemente mayores espesores a profundidad. De igual manera la exploración de mármoles de alta pureza se debe realizar al oriente donde se encuentran las mejores calidades con bajos

contenidos de sílice, hierro y magnesio, materiales ideales para la industria del vidrio.

REFERENCIAS

- Beaty, D.W., Landil, G. D., Thompson, T. B. Carbonates-hosted Sulfidic Deposit of the Central Colorado Mineral Belt. *Economic Geology Monograph*, 1990.
- Castañeda, C. Estudio Geológico de los Mármoles y Rocas Afines Presentes en el Corregimiento el Prodigio, Municipio de San Luis, Departamento de Antioquia. Trabajo Dirigido de Grado. Universidad Nacional. Medellín, 1998.
- Cossio, U., Viana, R. Geología de la Autopista Medellín Bogotá entre el Río Samaná Norte y Doradal. Trabajo Dirigido de Grado. Universidad Nacional. Medellín, 1986.
- Feininger, T. The Palestina Fault Colombia. *Bulletin of the Geological Society of America*, 81, Colorado, 1970.
- Feininger, T. Barrero, G. y Castro, N. Geología de Parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas, Subzona IIB. *Boletín Geológico*, 20, (2), Bogotá, 1972.
- Garcés-González, H. *Geología Económica de los Yacimientos Minerales y Yacimientos en Colombia*. Ed. Clave, Medellín, 1984.
- González, H. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina), *Boletín Geológico*, 23, (1), Bogotá, 1980.
- Hernández B. del S., Vélez H. Geomorfología de los Mármoles de Río Claro (Departamento de Antioquia). Trabajo Dirigido de Grado. Universidad Nacional, Medellín, 1988.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Zonas de Vida o Formaciones Vegetales de Colombia, 14, (11), Bogotá, 1977.
- Ingeominas. Recurso Minerales de Colombia, Tomo II. *Publicaciones Geológicas Especiales*, 1. Segunda edición, Bogotá, 1987.
- Simposio de la geología regional de la Cordillera Central, 1988
- Jaramillo J. F., González S. H. Relación Fisiográfica-Suelos en la Zona Aledaña a la Autopista Medellín-Bogotá, entre Río Claro y el Río Magdalena. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. Medellín, 1990.
- Kammer, A. La Falla de Palestina Sobre los Mármoles de Río Claro. *Memorias Seminario Gerardo Botero A*, 1987.

Kuzvar M. *Developments in Economic Geology, 18 Industrial Minerals and Rocks*. ELSEVIER. Praga, 1984.

Lefond, J. S. Industrial Minerals and Rocks. Society of Mining Engineers, 1983.

Liebens, J. Estudio Geomorfológico del karst de Río Claro, Antioquia. *Memorias del Seminario Gerardo Botero A. Medellín*, 1987.

López, R. J. Materias Primas de la Industria Cerámica Tradicional. *Memorias del Encuentro Nacional de Investigadores*. Medellín, 1994.

Ortiz de U., F. *Fundamentos de Laboreo de Minas*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas. Madrid., 1994.

Ospina, H. Estudio Geológico de las Calizas de Río Claro. *Informe Para Cementos Ríoclaro S.A.* 1979.

Peters, C. W. *Exploration and Mining Geology*. 1978.

Reeder, J. R. Carbonates: Mineralogy and Chemistry. *Reviews and Mineralogy*. *Mineral Society of America*, 11., 1987.

Revuelta, B. M., Jimeno, L. C. *Recurso Minerales*. Ed. Mostoles. Madrid, 1996.

Manual de Evaluación y Diseño de Exploraciones Minerales. Ed. Entorno Gráfico. Madrid. 1997.

Rojas, C. Estudio Geológico y Evaluación de Reservas de la Concesión Río Claro. *Informe Interno. SUMICOL*, 1978.

Stanley, J. L. Industrial Minerals and Rocks. American Institute of Mining Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. Nueva York, 1975.

Tobon, J. I. Una Mirada Geológica a Algunas Industrias. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín, 2000.

Toussaint, J.F., Restrepo, J.J., Cossio, U., Viana, R. Unidades litológicas de la Región Oriental del Megaterreno Central entre el Río Samaná y Doradal (Ant). *Memorias Seminario Gerardo Botero*. Medellín, 1987.

Us Bureau Of Mines & Us Geological Survey. *Principles of a Resource & Reserve Classification for Minerals*. US Geological Survey Circular 831, 1980.

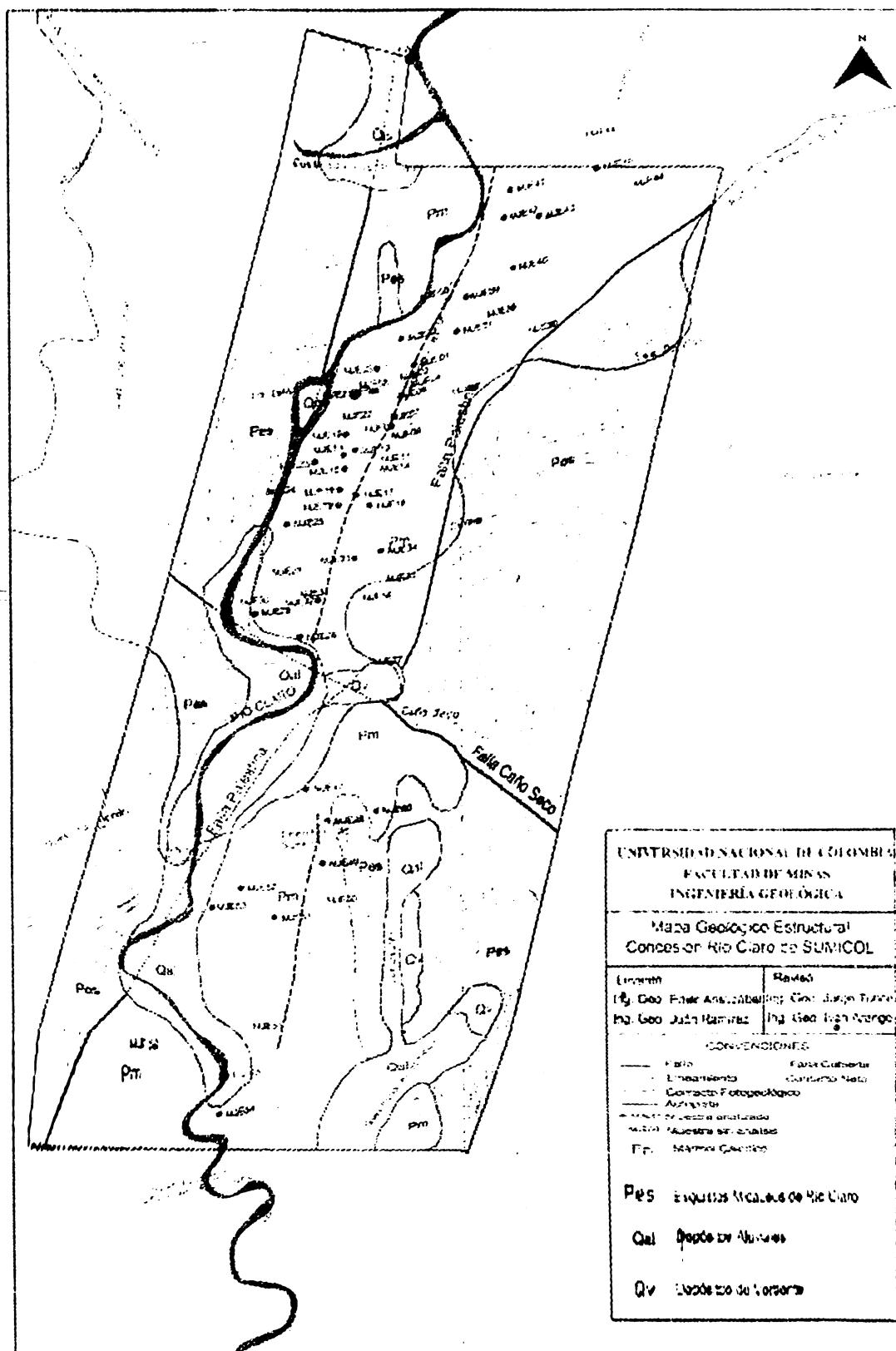
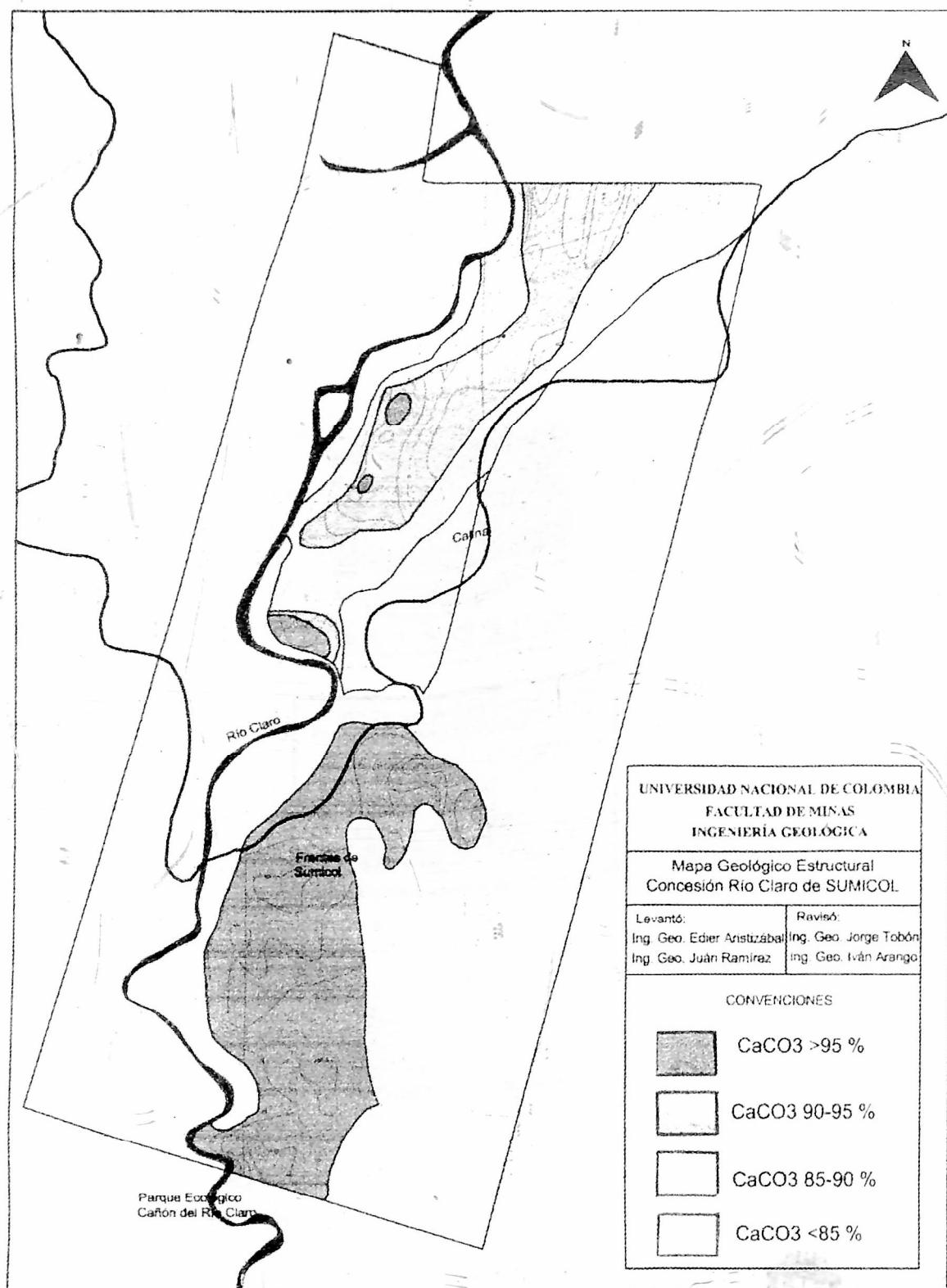


Figura 1. Mapa geológico - muestras

Figura 3. Isovalores de CaCO₃