

ESTUDIO DE LAS ARCILLAS INDUSTRIALES DE LA ZONA CENTRAL DE ANTIOQUIA

ELABORADO POR LA
FACULTAD NACIONAL DE MINAS
MEDELLIN - COLOMBIA
1965

COLABORACION

Darío Suescún G. — Director del Estudio.
Reinaldo Ellwanger — Analista Técnico.
Héctor Rico H. — Ingeniero Jefe de Campo.
Eduardo Gómez R. — Ingeniero de Campo.
Henry Ospina L. — Ingeniero de Campo.

Gerardo Botero A. — Asesor del Estudio.

Ayudantes en el estudio:

Octavio Gartner M.
Lino Arbeláez Z.
Humberto Ortega O.
Mario Tabares G.
Camilo Alvarez R.

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTÁ, D. E. 1966

CONTENIDO:

	Págs.
I. Resumen — Summary	6
II. Introducción	7
III. Fisiografía	11
IV. Meteorización	16
V. Relaciones Geológicas	19
VI. Generalidades sobre Arcillas	30
VII. Arcillas de Antioquia Central	37
VIII. Características de las Arcillas Analizadas	39
IX. Detalle de Yacimientos	40
X. Sistemas de Beneficio y Minería	46
XI. Aplicación Industrial	48
XII. Transporte a las Areas de Consumo	50
XIII. Conclusiones y Recomendaciones	51
XIV. Bibliografía	53

FIGURAS Y PLANCHAS

Figuras:

Nº 1. Localización del área	
Nº 2. Planta tipo para lavado de arcillas	49
Nº 3. Planta tipo para lavado de arcillas	49
Nº 4. Conos pirométricos	49

Plancha:

I. Localización de Yacimientos	37
--	----

I. RESUMEN

El presente estudio sobre las reservas de arcillas de interés industrial, localizadas en la zona central del Departamento de Antioquia, es el resultado de una investigación convenida entre el Ministerio de Minas y Petróleos y la Universidad Nacional (Facultad de Minas de Medellín).

Los factores determinantes en la formación, transporte y depositación de las arcillas (meteorización, tectonismo, drenaje, clima) son discutidos ampliamente. Un bosquejo geológico del área antecede a la descripción detallada de los yacimientos de arcillas más importantes, con indicación de las características físicas, químicas y mineralógicas de cada muestra analizada. Industrialmente se utilizan las arcillas como material de construcción o en cerámica, especialmente en Medellín, que es el centro de consumo.

Al final de este estudio viene un resumen sobre los resultados de investigaciones de las arcillas hechas en los laboratorios de la misma Facultad de Minas.

S U M M A R Y

The present study regarding the clay resources of industrial interest located in the central part of the Department of Antioquia is the result of an investigation convened between the Ministry of Mines and Petroleum and the National University (Faculty of Mines in Medellín).

The determining factors in the formation, transport and deposition of clays (weathering, tectonics, drainage, climate) are discussed fully. A review of the geology of the area precedes a detailed description of the more important clay deposits, which includes the physical, chemical and mineralogical characteristics of each sample analyzed. The clays are used industrially as materials for construction and in ceramic industries particularly in Medellín, which is also the center of consumption.

At the conclusion of this study is a resume of the results of laboratory investigations of the clays conducted in the laboratories of the same Faculty of Mines.

II. INTRODUCCION

a) *Objeto del Informe.*

Se busca con esta investigación hacer una clasificación de las diversas arcillas analizadas, agrupándolas de acuerdo con sus características físicas, químicas y mineralógicas e indicando su aplicación industrial.

Igualmente fue objeto del estudio la evaluación de los yacimientos de arcillas existentes en Antioquia Central, su localización y accesibilidad. Las arcillas provenientes de la descomposición de las rocas ígneas y metamórficas, muy abundantes en la región, fueron cuidadosamente analizadas, tratando de buscarles una aplicación industrial.

b) *Localización y extensión.*

El área de estudio está delimitada así: (Fig. 1) al sur, los límites de los Departamentos de Antioquia y Caldas; al occidente, los ríos San Juan y Cauca; al norte, el paralelo 1.265.000 de la red geodésica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, con origen en Bogotá (1.000.000 N y 1.000.000 E); al oriente, el meridiano 890.000 de la misma red. Su extensión total es de 12.800 kilómetros cuadrados y dentro de ella están situados los 61 Municipios siguientes: Sabanalarga, San Andrés, Yarumal, Angostura, Guadalupe, Carolina, Gómez Plata, Santa Rosa, Entreríos, San Pedro, Belmira, Liborina, Olaya, Sopetrán, San Jerónimo, Ebéjico, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Don Matías, Barbosa, Santo Domingo, Cisneros, Alejandría, Concepción, San Vicente, Guarne, Peñol, Guatapé, Granada, Cocorná, Santuario, Marinilla, Rionegro, Carmen de Viboral, La Unión, La Ceja, El Retiro, Itagüí, La Estrella, Caldas, Heliconia, Armenia, Angelópolis, Titiribí, Amagá, Venecia, Fredonia, Santa Bárbara, Montebello, Abejorral, Sonsón, Nariño, Tarso, Pueblo Rico, Jericó, Támesis, Jardín, Valparaíso y Caramanta.



c) *Vías de comunicación.*

Cruzan el área dos carreteras troncales: La central del norte que va de Cali a Cartagena y la transversal Bogotá-Urabá. De estas troncales parten carreteras secundarias que comunican con todos los Municipios, excepto Sabanalarga. El total de carreteras dentro de la zona es de 1.900 kilómetros, cifra que da un promedio de 0,15 km. de vías por cada kilómetro cuadrado de terreno. Solamente 270 kms. están actualmente pavimentados; los restantes son transitables en todo tiempo.

El Ferrocarril de Antioquia atraviesa el área entre Pintada-Medellín y Cisneros, con una longitud de 230 kilómetros.

Esta red de vías facilita el transporte de las arcillas hacia el centro de consumo que es Medellín, recorriendo distancias hasta de 115 kilómetros, entre Pantanillo (Abejorral) y la capital.

d) *Métodos de investigación.*

El 14 de junio de 1963 se iniciaron los trabajos de campo con la colaboración de los ingenieros Darío Suescún G., Héctor Rico H. y Eduardo Gómez R. Se hizo primero un reconocimiento general del área recorriendo todas las vías transitables, para luego levantar en detalle las secciones de los yacimientos principales. Igualmente un equipo de perforación facilitado por el Ministerio de Minas colaboró en la evaluación del yacimiento de La Unión. Las muestras tomadas en el campo fueron analizadas por el ingeniero Reinaldo Ellwanger en los laboratorios de Petrología, Sedimentología y Química de la Facultad de Minas. Un equipo DELTATHERM para análisis térmico diferencial entró en funcionamiento antes de finalizar el presente estudio. Para la elaboración de mapas y secciones se utilizaron las planchas 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el mapa Geográfico y Minero del Departamento de Antioquia, elaborado en 1943 por la Planta Metalúrgica de Medellín, el mapa anexo al Terciario Carbonífero de Antioquia de E. Grosse y las medidas tomadas en el terreno con cinta y brújula.

e) *Agradecimientos.*

Colaboraron en la realización de esta investigación las siguientes entidades y personas:

El Ministerio de Minas y Petróleos, dirigido por el ingeniero Jesús A. Bueno, facilitó un equipo de perforación que hizo 5 pozos

en la cúpula de La Unión. El doctor Gerardo Botero Arango asesoró y coordinó en forma permanente los estudios de campo y de laboratorio. Locería Colombiana entrenó personal en su laboratorio experimental de Sabaneta. El personal asignado a este estudio, especialmente los laboristas, tuvo valiosa intervención.

f) *Estudios anteriores.*

Aunque la zona ha sido citada en varios estudios geológicos publicados, ninguno de ellos tuvo como objetivo el análisis de las arcillas. Locería Colombiana ha hecho exploraciones y análisis muy completos, pero no han sido publicados.

El primer trabajo detallado que se hizo para la evaluación de los diversos sedimentos, entre ellos las arcillas, fue el Terciario Carbonífero de Antioquia, cuyo autor es Emil Grosse. En él se describen los distintos estratos arcillosos que se encuentran en la cuenca sedimentaria del río Cauca. El fin principal del trabajo fue calcular las reservas de carbón.

En 1938, el doctor Julián Cock publicó el “Estudio de una Empresa Siderúrgica en Medellín”, en el cual se presentan los resultados de los análisis efectuados a los suelos lateríticos provenientes de la descomposición de las serpentinas, abundantes en el Valle de Aburrá.

En la revista “Minería”, número 101-102-103 y 104 se publicó (1940) un estudio de José Royo y Gómez titulado “Materias primas para cerámica en Antioquia”.

El Informe número 1349 del Servicio Geológico Nacional, titulado “Arcillas y Caolines del Municipio de La Unión-Antioquia”, cuyo autor es el geólogo Eduardo Nicholls V., presentó los resultados de los análisis efectuados a 52 muestras de arcillas de ese Municipio, incluyendo análisis químicos hechos a 16 de ellos.

Los únicos estudios geológicos detallados que se han hecho dentro del área cubren unos 7.500 kilómetros cuadrados y son los siguientes:

1) El Terciario Carbonífero de Antioquia (1926), con mapas a escala 1:50.000, correspondientes a la vertiente occidental de la Cordillera Central, entre La Pintada y Olaya. Autor: Emil Grosse.

2) Contribución al Conocimiento de la Geología de la zona Central de Antioquia (1963), trabajo hecho por el doctor Gerardo Botero A. a escala 1:25.000 y publicado a escala 1:50.000. Los mapas comprenden a Medellín y municipios vecinos.

3) Estudios Geológicos en Santa Rosa de Osos y municipios vecinos (inédito), ejecutado por el profesor Héctor Rico H. por contrato celebrado entre la Facultad de Minas y el Departamento de Antioquia.

4) Mapa Geológico de la Plancha I-8, publicada por el Inventario Minero Nacional en 1965, que es una reducción a escala 1:200.000 de los 2 trabajos anteriores.

III. FISIOGRAFIA

Siguiendo las divisiones propuestas por Lobeck se describen la climatología y geomorfología de la región, subdividiéndolas según los factores determinantes de la meteorización y la formación de arcillas.

A) *Climatología.*

Fenómenos climatológicos muy variados y acentuados se presentan en el área estudiada, dependientes principalmente del régimen de lluvias y de la temperatura.

1) *Pluviometría.*

De acuerdo con G. Botero A. (1963), "la base a fondo de la climatología del Centro de Antioquia es la emigración anual de la zona intertropical de bajas presiones, que cruza el Ecuador en ambos sentidos, dando como resultado dos estaciones lluviosas y dos estaciones secas, causadas las últimas por las zonas de altas presiones (anticiclónicas) que siguen a las de bajas presiones (ciclónicas)". Generalmente las estaciones lluviosas son de marzo a mayo y de septiembre a noviembre.

En la distribución de las lluvias influyen factores diversos: los vientos, las variaciones de temperatura y presión, el sistema montañoso de Antioquia, etc., factores que, sumados a la escasez e inexactitud de las observaciones, impiden deducir generalidades en el régimen de lluvias.

Considerando los registros pluviográficos suministrados gentilmente por el Servicio Hidrológico de las Empresas Públicas de Medellín (Cuadro N° 1), datos que son dignos de todo crédito, y los informes del Anuario Estadístico de Antioquia, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

CUADRO N° 1
REGISTROS PLUVIOGRAFICOS

Estación	Municipio	Elevación mts.	Período años	Promedio mm.
Aragón	Santa Rosa	2.600	6	1.854
Aurra	San Pedro	2.550	13	1.144
Río Grande (Bocacero)	Santa Rosa	2.100	10	2.532
Botón	Santa Rosa	2.500	6	1.770
Caldas	Caldas	1.940	15	2.324
Chaquiro	Santa Rosa	2.250	6	1.758
Chorrillos	Medellín	2.420	17	1.500
Chuscal	El Retiro	2.310	15	1.948
Fabricato	Bello	2.440	15	1.651
Guadalupe	Gómez Plata	1.600	7	3.058
La Fe	El Retiro	2.190	16	1.855
La Mosca	Guarne	2.195	15	1.758
La Severa	Guarne	2.218	16	1.653
Las Palmas	El Retiro	2.485	16	1.845
Mazo	Medellín	2.555	16	1.721
Medellín	Medellín	1.549	57	1.427
Mesopotamia	La Unión	2.400	6	3.392
Prado	Medellín	2.065	15	1.994
Retiro	El Retiro	2.220	15	2.085
Río Abajo	Rionegro	2.075	6	1.824
Riochico	Entrerrios	2.250	6	1.823
Rionegrto	Santa Rosa	2.400	6	2.542
Rionegro	Rionegro	2.155	15	1.920
San Andrés	Don Matías	2.400	6	1.855
San Pedro	Belmira	2.445	15	1.528
Tabor	Santa Rosa	2.500	6	2.982
Teresita	Yarumal	2.750	6	2.775
Vasconia	Guarne	2.555	16	2.123
Villahermosa	Medellín	1.722	16	1.427
San Cristóbal	Medellín	1.908	15	1.520

a) En los valles de los ríos Cauca y su afluente El Aurra el promedio de lluvias es menor de 1.200 mm. por año. Para Antioquia el promedio de 1960 a 1963 fue 1.156 mm. por año.

b) La precipitación pluvial aumenta siguiendo el curso del río Medellín con promedios que fluctúan entre 1.200 mm. y 2.200 mm. Dentro de estos mismos límites de lluviosidad se puede considerar la cuenca del río Grande desde los nacimientos hasta su confluencia con el río Chico y la cuenca del río Negro desde su

origen hasta El Peñol. Ambas cuencas ocupan amplias mesetas, sensiblemente a igual altura, separadas por el río Medellín.

c) En el ramal occidental de la cordillera Central, que es el divorcio de aguas de los ríos Cauca y Porce, y cruza el área entre Sonsón, Alto San Miguel, Palmitas y Belmira, hay abundante condensación de las nubes provenientes del valle del río Cauca. Los promedios de lluviosidad son mayores de 2.200 mm. El suroeste de Antioquia y el extremo noreste del área estudiada tienen también abundante lluviosidad.

2) *Termometría.*

Por regla general la temperatura aumenta un grado centígrado por cada 180 metros de disminución en la altura. Varía con el transcurso del tiempo, la topografía, la nubosidad, la situación geográfica, etc.

La división por zonas climáticas puede hacerse según la altura o la temperatura media, en la siguiente forma:

a) Zona cálida (menos de 600 metros) en la cuenca del río Cauca, con temperatura media de 27°C en Antioquia.

b) Zona templada (600-1850 metros) en la cuenca del río Porce y las vertientes de la cordillera Central hacia los ríos Cauca y Magdalena, con temperatura media de 22°C en Medellín.

c) Zona fría (1850-3100 metros), comprende la parte del Macizo Oriental (Botero 1963) que está al oeste del frente de erosión del río Magdalena, excluyendo el valle del río Porce. La temperatura media es de 18°C en Rionegro.

d) Páramos (más de 3.100 metros) situados en Belmira y Sonsón, cubren el 2,3% del área total.

B) *Geomorfología.*

Dentro de las regiones naturales descritas por Vila (1944), el área en estudio ocupa parte del Macizo Antioqueño y parte de la región Caldense. Aceptando la subdivisión en provincias propuestas por Botero (1963), hace parte del Macizo Oriental, del Cañón del río Cauca y de la Provincia Volcano-Sedimentaria.

El Macizo Oriental ha sido formado en las distintas etapas de la orogenia andina iniciada en el Cretáceo. Está situado en la cordillera Central y formado de rocas metasedimentarias intruídas por el Batolito Antioqueño.

El Cañón del río Cauca que separa los Macizos Oriental y Occidental es una fosa tectónica de formación reciente con gran actividad erosiva. Es amplio cuando ha erodado rocas sedimentarias y volcánicas que son menos resistentes, y estrecho donde ha excavado rocas metamórficas.

La Provincia Volcano-Sedimentaria fue llamada por Vila Región Caldense y se extiende hasta el suroeste antioqueño. Se caracteriza por la abundancia de rocas volcánicas y sedimentarias, cuya erosión profunda presenta un aspecto peculiar.

1) *Relieve.*

La Cordillera Central tiene alturas de 3.000 a 3.500 mets. en el sur del Departamento de Antioquia, entre los nacimientos del río Arma y Sonsón. Tiene alturas un poco inferiores hasta Vallejuelo (La Unión), donde gira hacia el noroeste hasta el Cerro San Miguel (El Retiro), siguiendo paralelo el curso del río Cauca. En Vallejuelo se desprende hacia el norte un ramal, llamado del Naciente o Levante por Uribe Angel (1885), que separa las cuencas de los ríos Nare y Samaná Norte.

En el Cerro San Miguel la cordillera Central se trifurca:

a) El ramal denominado Central separa las aguas de los ríos Porce y Nare; tiene alturas promedias de 2.500 a 3.000 metros hasta Concepción. De aquí hacia el noreste las alturas son de 2.000 a 2.500 mts. La dirección general del ramal Central es noreste.

b) El ramal del Ocaso u occidental, con dirección sur-norte y alturas entre 2.500 y 3.000 mts., es la divisoria de aguas de los ríos Cauca y Porce. Sus máximas alturas son el Alto Boquerón (Medellín), con 3.150 metros, y el Alto El Yerba] (Belmira), con 3.220 mts.

c) Un ramal que separa las aguas de la quebrada Sinifaná y el río Poblano, es el más corto (20 kms.) ; tiene dirección general hacia el suroeste y sus alturas máximas son de 2.500 mts. en Cerro Bravo (Fredonia). Limitadas por este sistema de montañas existen vastas mesetas o altiplanicies producidas por la diferencia de resistencia a la meteorización entre las rocas plutónicas (en la altiplanicie) y las rocas metamórficas de las cordilleras.

2) *Drenaje.*

La mayor parte del área considerada en este Informe (75%) es drenada por el río Cauca y su afluente El Porce. El 25% res-

tante tributa sus aguas al río Nare y su afluente El Samaná Norte, pertenecientes a la región hidrográfica del Magdalena.

La gran diferencia de niveles entre los valles de los ríos Cauca y Magdalena y las montañas vecinas, complementada con la poca distancia horizontal que los separa, hace que los ríos de la región tengan fuertes pendientes con saltos, raudales, valles profundos y estrechos, sin que se haya logrado establecer el perfil de equilibrio.

Aproximadamente 4.600 kms. cuadrados de la región estudiada son drenados por el río Medellín, que toma el nombre de Porce al recibir las aguas del río Grande. Tiene una dirección general norte-sur hasta Bello, donde gira hacia el noreste. Su profundo valle ha cortado la provincia geomorfológica del Macizo Oriental, dejando sus afluentes a sus antiguos niveles, con saltos y pendientes fuertes (quebradas La García y Ovejas). El nivel base de erosión para su cuenca es el de 375 mts. (Cuadro N° 2).

CUADRO N° 2

PERFIL DEL RIO MEDELLIN - PORCE

Lugar	Elevación mts.	Distancia horizontal (kms.) entre sitios
Nacimiento	2.900	0
Caldas	1.750	11
Itagüi	1.550	10
Medellín	1.490	12
Bello	1.440	9
Copacabana	1.395	5
Girardota	1.355	8
Barbosa	1.280	16
Popalito	1.250	9
Est. Botero	1.050	10
Río Guadalupe	690	45
Río Riachón	375	22
Total . . .		157 kms.

IV. METEORIZACION

Las condiciones climatológicas y geomorfológicas descritas en el capítulo anterior influyen considerablemente en la profunda meteorización que presentan los diversos tipos de rocas existentes en el centro y sur de Antioquia.

La situación geográfica del área entre los paralelos 5°30' y 7° de latitud norte, en el sistema montañoso de los Andes, con predominio de rocas ígneas y metamórficas de composición esencialmente feldespática, determinan los efectos acentuados de desintegración y alteración que son comúnmente observados en el campo. Por regla general la meteorización es más intensa en la superficie y disminuye progresivamente con la profundidad hasta valores máximos conocidos de 78 metros (Perforación P-43. Represa de Miraflores).

La meteorización o intemperismo es la adaptación de las rocas que estaban en equilibrio en la litosfera, a las nuevas condiciones reinantes al ser expuestas a los agentes atmosféricos. Incluye el término un conjunto de procesos físicos y químicos que afectan constantemente los materiales de la superficie terrestre hasta convertirlos en suelo.

Varios factores influyen en la meteorización de las rocas, bien sea para la desintegración mecánica, para la descomposición química o para ambos procesos: cambios de temperatura, congelación del agua, crecimiento de raíces de plantas, trabajo del hombre y de los animales, infiltración del agua lluvia, acción del viento, presencia de grietas y fisuras; relieve y drenaje, micro-organismos, resistencia de los silicatos; estructura, textura y composición de las rocas; ácidos orgánicos, oxígeno del aire, CO₂, etc.

El estudio detenido de la meteorización es de especial importancia para hallar el origen de los yacimientos de arcillas, tanto residuales como transportadas. La erosión, transporte, sedimentación y litificación de los productos finales de la meteorización, originan las rocas sedimentarias que se forman en las cuencas principales.

A) *Meteorización física o desintegración.*

Es producida por los agentes físicos naturales que actúan sobre las rocas, según sea su textura y estructura, dando como producto final un conjunto de fragmentos de diverso tamaño.

La condición primordial para que exista la desintegración es la preexistencia de diaclasas dispuestas en forma ortogonal. Son especialmente abundantes en el Batolito Antioqueño, producidas

muy probablemente por contracciones resultantes del enfriamiento. Según Pomerol (1961) las fisuras de las plutonitas se deben a las presiones orogénicas ejercidas sobre los batolitos después de su emplazamiento y son más frecuentes en las márgenes y techos.

Las diaclasas que están a veces ocultas, se pueden determinar por los alineamientos preferidos de los cursos de los ríos, observados mediante fotografías aéreas. Generalmente se notan dos direcciones dominantes, aproximadamente perpendiculares entre sí.

El conjunto de diaclasas permite la infiltración de aguas lluvias y el crecimiento de las raíces de las plantas. Los ácidos que éstas segregan y la presión que ejercen en las paredes, ayudan a ensanchar las grietas por donde circulan los agentes meteorizantes.

Como consecuencia se inicia la alteración de los vértices de los poliedros formados por el conjunto de diaclasas. Esta alteración produce las exfoliaciones, muy típicas en el Batolito Antioqueño.

B) Meteorización química o descomposición.

La resistencia de las rocas a la meteorización es variable y depende de varios factores, entre ellos la composición y la textura. Las rocas afaníticas son mucho más resistentes que las granulares, probablemente debido a que son más compactas e impiden el paso de los agentes químicos.

Los análisis químicos de los diversos tipos de rocas de Antioquia central expresados en moles, tomados de Anales N^o 57 de la Facultad de Minas (Cuadro N^o 3), son:

CUADRO N^o 3
INDICE POTENCIAL DE METEORIZACION

	Micacita	Neéis Cuavzo- diorita	Anfibolita	Serpentina	Roca verde	Tonalita B. Ant.	Granito sódico Amagá	Riolita sódica Altavista
ROCA N ^o	731	400	655	650	536	689	681	1.111
SiO ₂ . . . . .	.948	1.120	.787	.643	.869	.970	1.173	1.147
Al ₂ O ₃ . . . . .	.224	.167	.181	.027	.170	.176	.140	.174
Fe ₂ O ₃ . . . . .	.032	.015	.033	.033	.019	.012	.012	.014
MgO . . . . .	.045	.046	.108	1.024	.140	.083	.030	.016
CaO . . . . .	.003	.033	.229	.011	.132	.112	.004	.035
Na ₂ O . . . . .	.016	.029	.040	.008	.086	.077	.083	.068
K ₂ O . . . . .	.039	.028	.011	—	.014	.015	.036	.008
H ₂ O . . . . .	.149	.045	.042	.487	.165	.036	.056	.040
I.P.M.	3.52	6.33	24.9	31.8	14.5	17.4	6.56	5.95

Con estos valores se puede determinar el índice potencial de meteorización aplicando la siguiente igualdad propuesta por Reiche (1948):

$$\text{I.P.M.} = \frac{100 \times \text{Moles (MgO + CaO + Na}_2\text{O + K}_2\text{O - H}_2\text{O)}}{\text{Moles (SiO}_2\text{ + Al}_2\text{O}_3\text{ + Fe}_2\text{O}_3\text{ + MgO + CaO + Na}_2\text{O + K}_2\text{O)}}$$

Un alto índice potencial de meteorización indica que la roca es inestable; las rocas más resistentes a la meteorización tienen un índice próximo a cero o negativo.

La composición modal de las rocas es un factor interno de importancia en la meteorización química; de la proporción de minerales alterables y su disposición (textura) depende la rapidez de la descomposición.

El mismo autor ha determinado los índices potenciales de meteorización para los minerales más comunes en las rocas, con deducciones semejantes a las establecidas por Goldich en su serie de estabilidad. En el Cuadro N° 4 se pueden observar los valores promedios de los índices de minerales, comparados con el análisis modal de cada roca del Centro de Antioquia.

CUADRO N° 4

ANÁLISIS MODALES DE ALGUNAS ROCAS DE ANTIOQUIA

Mineral	Índice	Cuarcita	Neis	Anfibolita	Serpentina	Tonalita	Granito sódico
ROCA N°		729	718	655	665	689	681
Olivino	54	—	—	—	34,9	—	—
Hornblenda	36	—	—	72,5	—	9,8	1,0
Biotita	22	—	14,8	—	—	17,2	11,4
Andesina	14	—	34,0	26,0	—	48,4	23,2
Ortosa	12	4,6	—	—	—	—	18,3
Moscovita	11	7,9	14,4	—	—	—	—
Cuarzo	—	82,5	39,0	—	—	24,2	45,5

De estos minerales, los de la parte inferior de la columna son resistentes a la descomposición; los de la parte superior son los primeros minerales que se alteran, por ser a su vez los primeros que se forman durante el proceso de cristalización.

Varios procesos de meteorización actúan sobre los minerales que forman las rocas, unos en mayor escala que otros: disolución, oxidación, hidratación y carbonatación.

La serpentización del olivino es producida por hidratación, con aumento de volumen que origina fracturación en la roca. La meteorización de la serpentina por fenómenos de hidratación, disolución y oxidación, deja un suelo laterítico, con pequeñas cantidades de sílice y alúmina.

La hornblenda y la biotita tienen comportamiento similar durante la meteorización; la presencia de hierro y magnesio facilita la acción de las aguas cargadas de ácidos orgánicos, dando como productos de la reacción bicarbonatos solubles, limonita, arcilla y sílice. La cloritización es común para ambos minerales, como resultado de la acción hidrotermal.

La andesina, como las otras plagioclasas, bajo la acción de aguas meteóricas ligeramente carbonatadas, se altera originando minerales arcillosos, ácido silícico y bicarbonato de calcio y sodio.

La ortosa, uno de los últimos minerales en cristalizar, es muy sensible a los fenómenos deutéricos y origina por hidratación y carbonatación los mismos productos de las plagioclasas, excepto los bicarbonatos, que en este caso son de potasio.

La caolinización se efectúa en medio ácido y a partir de rocas que tengan feldespatos potásicos o sódicos como microclina, ortosa y albita. En el caso de la cúpula de La Unión, la roca original es muy probablemente una segregación ácida del Batolito Antioqueño.

La moscovita es muy poco alterable. Se cree que se forma como fase intermedia durante el proceso de caolinización, y en consecuencia puede ocurrir que un granito alterado tenga mayor proporción de moscovita que la roca original. El cuarzo es el mineral más resistente a la meteorización y es la causa del aspecto arenoso que ofrecen las rocas que lo contienen, cuando se hallan en estado avanzado de descomposición (carretera Caldas-Amagá).

Como se puede deducir de lo anterior, los productos de descomposición de las rocas son de dos clases: 1) Bicarbonatos solubles de sodio, potasio, calcio, hierro y magnesio que son transportados por los ríos en solución; 2) Alumino-silicatos hidratados, insolubles (arcillas) que forman los depósitos residuales o son transportados en suspensión para formar las rocas sedimentarias.

V. RELACIONES GEOLOGICAS

Las rocas expuestas en el área estudiada (Plancha II) son de muy variadas características y van desde los tipos sedimentarios consolidados en cuencas de origen continental y no consolidados localizados en valles de reciente formación, hasta rocas

ígneas intrusivas y extrusivas, pasando por amplias áreas de rocas metamórficas, totalmente inter-relacionadas unas con otras mediante un tectonismo intenso y complicado que ha prefigurado una geomorfología especial en el Departamento de Antioquia.

Casi todas las variedades de las series sedimentarias están presentes, tales como conglomerados, areniscas, arcillolitas y estratos de carbón. Las rocas ígneas están representadas por un gran cuerpo intrusivo tonalítico en la zona central estudiada y amplísimas extensiones cubiertas por espilitas o rocas verdes de carácter extrusivo, lo mismo que algunos derrames volcánicos de tipo andesítico. Las rocas metamórficas tienen expresión en extensas áreas donde afloran orto-anfibolitas, serpentinas, filitas y neises como los tipos más dominantes.

Desde el punto de vista de la Geología Histórica, la clasificación de las rocas presentes, aplicando el nombre a grupos amplios, puede resumirse en:

Paleozoico para los grupos metamórficos;

Cretáceo para los ígneos tonalíticos y las rocas verdes;

Mioceno-oligoceno para los sedimentarios y algunos extrusivos, y

Plio-pleistoceno para los derrames volcánicos y los depósitos sedimentarios no consolidados.

A) *Estratigrafía y Petrografía.*

Los diversos tipos de rocas se pueden agrupar en 13 formaciones cuyas características en resumen son las siguientes:

1) Metasedimentos (Ms). Es la formación geológica más antigua del área, asignada al paleozoico por varios geólogos mediante correlación litológica con los metasedimentos ordovicianos de Cristalinas, al este de Antioquia. Tiene una dirección general N-30-W cruzando diagonalmente el área; es de probable origen marino y predominan en ella filitas y micacitas, aunque no es raro encontrar cuarcitas, neises y mármoles. Se presenta basalmente como neis lenticular micáceo, mostrando feldespatos del tipo andesina entre 20% y 45%, cuarzo del 25% al 50% y micas (biotita-moscovita) entre 10% y 30%. Por alteración de las filitas se obtienen en algunos lugares arcillas de buenas características (muestra N^o 77).

2) Anfibolitas (Ma). Esta formación tiene amplia expresión en la parte central del Departamento de Antioquia y forma con los metasedimentos el grupo Ayurá-Montebello. El hecho de encontrarse en una faja paralela con los metasedimentos, entre éstos y el Batolito Antioqueño, ha servido de base a algunos autores para decir que “las anfibolitas representan el frente básico producido por una granitización relacionada con el Batolito”.

Macrocópicamente son rocas negras, marcadamente metamórficas por el bandeo de los feldespatos y de la hornblenda, en segregación diferencial, dándole textura esquistosa o néisica. Los minerales dominantes son: hornblenda entre 49% y 80% y plagioclasa del tipo andesina, entre 13% y 50% del total de la roca; estos minerales constituyen el par estable y característico de la facies clásica de anfibolita, formada por metamorfismo regional de grado medio.

El origen ígneo que se les ha atribuido se confirma por el contenido de TiO_2 (1,13% promedio) y por la presencia de diques o silos de anfibolitas intrusivos en filitas, metamorfoseados al mismo tiempo con las rocas encajantes. La edad por consiguiente es posterior a la de los metasedimentos, probablemente paleozoica.

Por meteorización de estas anfibolitas se producen arcillas de colores amarillos, pardos y rojizos (muestra N° 44), pero en general, son resistentes a la alteración.

3) Serpentinias (S). Varios diques de rocas ultrabásicas se presentan en el área, siguiendo una dirección promedio N-25-W. El color varía entre gris y verde oscuro y en su composición mineralógica predominan antigorita y serpofita (hasta 95%); en menor cantidad se encuentran olivino, óxidos de hierro, cromita, tremolita y clorita. El dique occidental fue descrito por Grosse y clasificado como harzburgita, por la presencia de dialaga y broncita.

Su edad continúa siendo una incógnita, pues intruyen los metasedimentos y las anfibolitas, no tienen relación directa con las rocas verdes cretáceas (contacto fallado) ni con el Batolito Antioqueño. Las inyecciones ultrabásicas tienen íntima relación con las etapas iniciales de tectonismo; están localizadas en zonas orogénicas y siguen la dirección de los ejes tectónicos. La movilidad de las serpentinias durante los fenómenos tectónicos les permite acomodarse a multitud de condiciones estratigráficas.

Se alteran hidrotermalmente a clorita, actinolita, esteatita y talco. Pero lo más característico de ellas es su meteorización a lateritas rojizas ricas en hierro, con pequeñas cantidades de sílice, alúmina, cromo y níquel, llegando a formar yacimientos de hierro

en las áreas nororiental de Medellín y vecindades de Bello. Estos yacimientos no son aprovechables por estar situados en zonas urbanizadas.

4) Batolito Antioqueño (Iba). El cuerpo principal de este batolito ocupa la mayor parte de la zona oriental del área, pero es necesario incluir bajo esta denominación los batolitos satélites de Ovejas y Sonsón, y las cúpulas de La Unión, El Buey, Montebello y Belmira.

La textura en general es granular media a gruesa, pero en las zonas de contacto varía desde granular fina hasta porfirítica. Su color es claro, moteado de negro por los abundantes minerales ferromagnesianos. La composición mineralógica es relativamente homogénea, con un promedio de 56% de plagioclasa (andesina), 18% de cuarzo, 11% de biotita, 9% de hornblenda, 6% de ortoclasa. La clasificación de las muestras, según los análisis conocidos hasta el presente, es la siguiente: tonalitas 55%; granodioritas 37%; dioritas 4%; granitos 4%. En la clasificación CIPW pertenece a la Clase II.

Es intrusivo en todas las formaciones que lo rodean, formando aureolas de contacto. La edad determinada por el método potasio-argón en la Universidad de Columbia, Estados Unidos, dio como resultado 79 millones de años ± 3 , lo cual lo sitúa en el Cretáceo Superior (Campaniano-santoniano). Recientemente fueron hechos 6 análisis más en la Universidad de Sao Paulo (Brasil), con resultados que confirman su emplazamiento en el Cretáceo Superior.

La meteorización del batolito produce diversos tipos de arcillas, de acuerdo con la plagioclasa dominante en la roca original: en la cúpula de La Unión (muestras 16 a 21) se observaron las mayores concentraciones de arcillas caoliníticas blancas originadas por la profunda alteración de rocas ácidas. De Sonsón (muestra 72), Santa Rosa (muestra 37) y de Carolina (muestra 38), se analizaron arcillas producidas por meteorización del batolito, cuyas características se describen más adelante.

5) Aureolas de Contacto (C). En varias zonas se presentan fenómenos de contacto producidos por asimilación de las rocas encajantes. Los más importantes se encuentran al sureste de Medellín, donde se notan distintos efectos: a) La asimilación de la anfíbolita por el magma ácido del batolito produce un tipo de rocas híbridas, superficialmente alteradas, formando estructuras de columna por meteorización diferencial; los constituyentes principales son: plagioclasa cálcica (labradorita), hornblenda en cristales

grandes y clinopiroxenos; se clasifican como gabros hornbléndicos; b) Por acción de un magma serpentinoso sobre las anfibolitas se producen efectos cataclásticos, desplazamiento de cristales en forma lenticular y flujo de la masa alrededor de ellos. Las aureolas del batolito de Altavista se omitieron.

6) Sedimentos cretáceos (Ks). Los sedimentos cretáceos hallados hasta ahora en el área son de 2 tipos: a) El de Abejorral, compuesto de conglomerados basales, lutitas y arcillas (muestras 39 y 40), con fósiles mal conservados, probablemente albianos; b) Los sedimentos intercalados con las rocas verdes, compuestos principalmente de esquistos silíceos negros, filitas grafitosas, liditas, cuarcitas negras de grano fino, conglomerados intraformacionales, calizas negras, depositados en un medio nerítico y euxínico; el espesor es muy variable por ser una formación litoral, muy irregular; la edad es probablemente Cretácea Superior, posterior al Batolito Antioqueño; su importancia disminuye hacia la parte superior de las Rocas Verdes.

7) Rocas Verdes (Rv). Dos fajas de Rocas Verdes, aproximadamente paralelas y con la misma dirección de las serpentinas (N-25-W), cruzan el extremo occidental del mapa. Su asociación con serpentinas y sedimentos, sugiere la existencia de un eugeo-sinclinal, con sus etapas de sedimentación y volcanismo. Han sido llamados porfiritas, diabasas, espilitas y ofiolitas por varios autores.

El color verde característico es producido por cloritización de ferromagnesianos; la textura es félsica o porfirítica; los minerales dominantes son: plagioclasa sódica, indicando espilitización. Fenocristales de augita y amígdulas rellenas de calcita o cuarzo.

Los derrames volcánicos fueron submarinos y en parte subaéreos por la ausencia de intercalaciones de sedimentos en la parte superior de la formación. La edad es Cretácea Superior, posterior al Batolito Antioqueño, como lo indican los diques de roca verde (conductos alimentadores de los derrames) que cortan apófisis del Batolito en la carretera Versalles-Montebello.

La meteorización de las rocas verdes produce arcillas amarillas y rojizas con grietas rellenas por limonita de color carmelita oscuro (muestras 42 y 43).

8) Batolito de Alta Vista (Iav). Varios cuerpos de rocas ígneas situados al occidente del Batolito Antioqueño, se incluyen bajo este nombre. Grosse los estudió muy detalladamente, asignándoles los siguientes nombres: diorita tipo Boquerón, diorita tipo Heliconia y diorita anfibolítica, con sus diversas facies.

Este plutón, que es típico de la epizona, tiene gran variedad petrográfica, en contraste con el Batolito Antioqueño; es más ácido que éste (Clase I de la clasificación CIPW) y proviene de un magma sódico, relativamente pobre en cuarzo.

El color de la roca varía de gris claro a gris oscuro; la textura es de grano fino o porfirítico; la composición mineralógica promedio es: plagioclasa (oligoclasa) 52%, hornblenda 35%, cuarzo 5%, biotita 5%.

Es intrusiva en las Rocas Verdes y en el grupo Ayurá-Montebello. Según Grosse, "la intrusión de estas masas enormes tuvo lugar, probablemente, como también en otras regiones andinas, junto con el plegamiento principal postcretácico-eoterciario de los Andes".

Las alteraciones de estas rocas son variadas, dando como producto final arcillas que son aprovechadas para la elaboración de materiales de construcción en los galpones situados al oeste del río Medellín (muestras 11-71-78).

9) Terciario Carbonífero (Tc). Está localizado en la zona sur-occidental del mapa, en el valle del río Cauca y ocupa cuencas tectónicas relativamente pequeñas, siguiendo una dirección general N-15°-W.

Las rocas dominantes de esta región, de carácter netamente sedimentario continental, en parte están intruídas por rocas más recientes o cubiertas por formaciones neoterciarias volcánicas muy potentes, y en parte descansan sobre rocas ígneas y metamórficas muy antiguas.

Es la formación más importante para este estudio, por tener potentes estratos de arcillas. La sucesión de estratos es concordante y esencialmente consta de conglomerados, areniscas, arcillas pizarrosas y mantos de carbón cuya sucesión estratigráfica permite hacer una subdivisión, conforme a E. Grosse, en 3 pisos.

a) *Piso inferior*, con promedio de 250 metros de espesor, aunque puede llegar a ser tan delgado como 60 metros al oriente de Fredonia; consta generalmente de conglomerados de grano fino a grueso y de colores claros; areniscas blancas, con frecuencia conglomeráticas y delgados bancos de arcillas pizarrosas que, por su poca potencialidad individual, no se tuvieron en cuenta para su posible explotación en caso favorable de su calidad; los mantos de carbón de este piso son de espesores muy reducidos y no son aptos para su explotación.

El basamento del piso inferior es marcadamente discordante y se presenta como rocas plutónicas o filitas antiguas y el Ter-

ciario se inicia generalmente con un conglomerado basal. En algunas localidades puede apreciarse una conformidad aparente entre el Terciario y las rocas del basamento, pero ello es debido a plegamientos posteriores. Las arcillas están bien estratificadas, son de carácter pizarroso, colores gris a verdoso o azulado que, por meteorización, pueden pasar a color amarillo hasta pardo, a veces concrecionarias algo calcáreas, y frecuentemente arenosas. Las arcillas colocadas en el yacimiento o en la cubierta de las vetillas de carbón se pueden presentar de color negro y muy carbonáceas, pero ello es más bien una solapa de los mismos mantos de carbón.

En resumen, las arcillas del piso inferior no se tuvieron en cuenta desde el punto de vista comercial, debido al poco espesor de tales estratos.

b) *Piso medio*, en el cual es bien marcado el predominio de arcillas que alternan con potentes bancos de arenisca, siendo muy escasos los conglomerados y, en contraste, muy abundantes los mantos de carbón tanto de espesor explotable (mayores de 0,60 mts.), como las vetillas más delgadas.

El espesor promedio de este piso es de 250 m y consta de:

Areniscas claras a blancas, de grano grueso a fino, con cementos caoliníticos y arcillosos, ocasionalmente con clásticos redondeados de cuarzo lechoso. Las de grano fino varían en ocasiones a arcillas arenosas.

Arcillas pizarrosas de color gris, a veces verdoso, en espesores comunes entre 3 y 5 metros, pero en ocasiones llegan a tener de 10 a 14 mts. sin intercalaciones arenosas. Es común encontrar en ellas concreciones de siderita arcillosa hasta de 10 cms. de diámetro y suelen llevar hojas fósiles. Algunos sitios presentan arcillas amarillentas a rojo ladrillo y aun violáceas, y no es raro encontrarlas endurecidas con fracturas concoidal, debido a incendios en las vetas de carbón acompañantes. Las arcillas carbonáceas hasta bituminosas, acompañan por lo general a los mantos grandes de carbón.

Los carbones asociados al piso medio son lignitos transformados por tectonismo y pirometamorfismo a hullas grasas subbituminosas, con dureza de 2,5 y peso específico *in situ* de 1,33, formando mantos explotables que llegan a alcanzar hasta 2,50 m de espesor normal. El análisis promedio de estos carbones es:

Carbono fijo	41,92% a 59,20%
Volátiles	29,70% a 47,94%
Humedad	3,65% a 11,37%
Ceniza	1,20% a 6,20%
Azufre	0,40% a 1,20%
Poder calorífico	5.071 a 6.271 calorías

c) *Piso superior*; se caracteriza por la carencia de conglomerados y de mantos explotables de carbón. Las areniscas son de color gris azulado que por alteración se tornan de color amarillo grisáceo y rojo ladrillo; arcillas pizarrosas de color gris verdoso y violáceo predominan en este piso.

El espesor total de la formación es de 1.500 m, siendo el piso superior el más grueso (1.000 m). La edad Oligoceno-Mioceno fue determinada por Van der Hammen, mediante estudios palinológicos.

Varias muestras representativas de las arcillas de esta formación fueron analizadas: números 1 a 4 de Amagá; números 5 a 10 de Sopetrán; números 12 a 15 de Angelópolis.

10) Neoterciario Volcánico (Vc). Más comúnmente llamados estratos de Combia, son muy abundantes en el suroeste de Antioquia y se componen principalmente de aglomerados, tufas y derrames basálticos, superpuestos al Terciario Carbonífero.

Los aglomerados son gruesos, con cantos hasta de 30 cms. de diámetro, angulares, compuestos de rocas volcánicas, cementados con tufas; las tufas de color gris amarillento se forman de partículas de cuarzo, feldespatos, augitas y hornblendas; los derrames basálticos, de texturas vesiculares y fluidales, están intercalados con las tufas y aglomerados; son rocas densas, negras, con fenocristales de plagioclasa (labradorita y anortita), augita y olivino.

El origen de los estratos de Combia fue el resultado de erupciones volcánicas y de fisura de gran magnitud, con centros en Cerro Bravo, Cerro Tusa, Morro Alegre, Sillón y Milindres, que son cuellos volcánicos. Se pueden correlacionar con la formación Honda y Mesa del valle del Magdalena, asignadas al Mioceno y Plioceno.

La alteración de estas rocas origina arcillas que en algunos lugares son aprovechadas para la elaboración de materiales de construcción (muestras 74-81-82-83 y 84).

11) Andesitas intrusivas (Ad). Intruyendo al Terciario Carbonífero y al Neoterciario volcánico, se encuentran varios cuerpos

de andesita de formas irregulares, distribuidos en el suroeste antioqueño. Forman salientes muy notorias que resaltan por su mayor resistencia a la meteorización y representan los focos de actividad volcánica que dieron origen a la formación Combia.

La andesita es de color gris claro con fenocristales de plagioclasa, agujas negras de hornblenda y biotita alterada a clorita. No presenta efectos de contacto con las rocas encajantes y no tiene el carácter verdadero de las rocas plutónicas por haber cristalizado a poca profundidad; la textura es porfirítica.

La edad es probablemente posterior a la de los Estratos de Combia o contemporánea con ellos. El hecho de no encontrar andesitas en la formación Combia se puede explicar por la diversidad de productos que arrojan los volcanes, siendo los más antiguos los que originaron tales estratos, y los más modernos (andesitas) los que rellenaron los cuellos volcánicos.

12) Aluviones (Qa). Están distribuidos en los valles de los ríos Porce, Grande, Chico, Guadalupe, Nare, Cauca, Poblano y Aurra; incluyen terrazas escalonadas que representan diversas etapas de rejuvenecimiento en el ciclo de erosión de los ríos.

Son acumulaciones de cascajo, arena y arcilla provenientes de la meteorización, erosión y transporte de las rocas vecinas; los guijarros están redondeados cuando son de cuarzo o rocas ígneas; los de rocas metamórficas son discoidales.

En algunos lugares como el Llano de Ovejas (muestras 22 a 24) y Rionegro (muestras 25 a 28 y 31 a 36), se explotan arcillas aluviales. Otros aluviones han sido destruidos por el laboreo de minas auríferas, como se verá más adelante.

La edad asignada en general a los aluviones y terrazas es el Pleistoceno, pero la descomposición en algunos es tan avanzada que bien puede ser Plioceno.

13) Taludes (Qt). Prácticamente están restringidos al valle superior del río Medellín, entre Ancones Norte y Sur. Se forman de bloques angulares de diferentes tamaños, que por gravedad se han depositado en las vertientes de las cordilleras. Los bloques que son un producto de la desintegración de las rocas vecinas, están cementados por arcillas que no pueden aprovecharse por la dificultad para separarlas de los bloques.

B) *Estructura.*

El área considerada podemos asimilarla a dos tipos principales:

a) El pilar positivo de la Cordillera Central, con su culminación más notoria en la penillanura del oriente Antioqueño, formado por rocas metamórficas intruídas por plutones externos de carácter tonalítico, y

b) La compleja fosa tectónica del río Cauca, muy fracturada.

La geomorfología actual está condicionada a las orogenias terciarias que, en el caso del área correspondiente a la Cordillera Central, muestra marcada influencia en el alineamiento de las fallas, cursos de aguas, salientes de los terrenos, direcciones de diques y filones, etc., en una tendencia direccional N-30°-W, especialmente en los cuerpos intrusivos y sus inter-relaciones con las rocas metamórficas intruídas. Sin embargo, es de suponer que con mayor anterioridad existió una orogenia responsable del metamorfismo dinámico de los metasedimentos tan ampliamente expuestos en el área.

El tectonismo terciario, acaecido en movimientos ascendentes repetidos, muestra fallas con ángulos muy verticales entre los diferentes cuerpos principales, lo cual permite deducir un tectonismo netamente isostático (Grosse, 1926; G. Botero, 1963).

1) Relaciones entre formaciones.

La formación Ms (1) es la más antigua del área de origen marino sedimentario; la formación Ma (2) representa un plutonismo intrusivo en Ms (1) y metamorfoseado posteriormente; S (3) es intrusivo en Ma (2) y de edad incierta; Iba (4) es intrusivo en las anteriores, formando en partes aureolas de contacto C (5); los sedimentos cretáceos Ks (6) son unos anteriores a Iba (4) y otros posteriores; Rv (7) es intrusivo en Iba (4) y concordante con Ks (6); Iav (8) es intrusivo en Ms (1), Ma (2) y Pv (7), contemporáneo con la orogenia eoterciaria; Tc (9) es de origen sedimentario continental depositado sobre las formaciones anteriores; Vc (10) es la cubierta neoterciaria volcánica de Tc (9); Ao (11) es intrusivo en Tc (9) y Vc (10); aluviones (12) y taludes (13) cubren las formaciones anteriores.

2) Diques.

Unos son leucocráticos (aplitas y pegmatitas) y otros melanocráticos (lamprófiros); se encuentran en el Batolito Antioqueño y sus rocas encajantes, con direcciones predominantes hacia el noroeste, son contemporáneas y representan las etapas finales de la diferenciación magmática.

3) Diaclasas.

La red de fracturas observadas dentro del Batolito Antioqueño muestran 2 direcciones predominantes, casi perpendiculares entre sí, coincidiendo con los diques y alineamientos principales: N-60°-W y N-20°-E.

Según Ospina (1911), las 2 direcciones de las diaclasas de las rocas paleozoicas son: N-68°E y N-22°-W.

4) Fallas.

Se notan especialmente en la compleja fosa tectónica del río Cauca y son todas del tipo de sobre-escurrimiento, con dirección predominante N-30°-W. En la parte oriental donde predominan los plutones, no son observables las fallas por el avanzado estado de meteorización y la homogeneidad de las rocas, pero probablemente existen.

Las fallas se formaron durante los varios períodos de plegamientos del Terciario, delimitando áreas de distinta competencia mecánica en ángulos que varían de 50° a 70°.

5) Alineamientos.

Es probable que los alineamientos representen efectos tectónicos y sirvan para interpretar las direcciones de los movimientos orogénicos. Han sido determinados en planos topográficos y en aerofotografías, siguiendo cursos de los ríos, divorcios de aguas, diques y diaclasas. Tienen una dirección dominante hacia el noroeste y otra secundaria hacia el noreste; son más notorios en las mesetas del Batolito Antioqueño.

C) *Origen.*

Las condiciones tectónicas descritas favorecen bastante la formación de arcillas tanto residuales como transportadas. Los procesos de gradación (meteorización, erosión, transporte y sedimentación) se activan como consecuencia de los períodos orogénicos.

La asociación de arcillas con carbón fue ampliamente estudiada en El Terciario Carbonífero. Sobre el origen de estos sedimentos el autor dice: "La montaña formada por el plegamiento eoterciario de los Andes ha sido terraplenada en su mayor parte, antes de principiar el depósito del Terciario Carbonífero, puesto que el último no solo descansa en discordancia perfecta sobre todas las formaciones más antiguas, sino también superpone los

macizos de los granitos y dioritas andinos, de los cuales el conglomerado basal contiene frecuentemente rodados”.

Durante el Oligoceno y sobre una cuenca restringida tuvo lugar la acumulación de los sedimentos continentales, provenientes de la meteorización, erosión y transporte de los materiales suministrados por las cordilleras Central y Occidental. El ambiente fue en parte lagunar y en parte torrencial. La presencia de conglomerados y areniscas conglomeráticas en el piso inferior confirman la existencia de un período activo de erosión.

Las arcillas de esta cuenca tienen pues su origen en varias fuentes: residuos muy finos (principalmente limo) producidos por abrasión de partículas mayores; arcillas transportadas en suspensión, provenientes de la meteorización avanzada de las rocas; compuestos químicos especialmente bicarbonatados, resultantes de la meteorización, que son transportados en solución.

VI. GENERALIDADES SOBRE ARCILLAS

La arcilla es un producto de la descomposición y alteración de rocas feldespáticas y consta de una mezcla de partículas de diferentes tamaños y diferentes propiedades físicas, químicas y mineralógicas.

La porción que no es plástica consta de partículas de rocas alteradas y no alteradas, de las cuales las sustancias más comunes son cuarzo, micas, feldespatos, óxidos de hierro y carbonatos de calcio y magnesio. La materia orgánica está comúnmente presente en mayores o menores cantidades; frecuentemente juega papel importante en las propiedades de las arcillas.

Los constituyentes esenciales son los silicatos de aluminio hidratados, de los cuales hay varios, pero los más importantes y comunes son:

El grupo de la caolinita y el grupo de la montmorillonita. A este último grupo pertenece la bentonita. Los minerales arcillosos típicos, como caolinita, montmorillonita, etc., tienen su estructura microscópica en forma de plaquitas, las cuales se cree son las principales responsables de la plasticidad de las arcillas cuando se humedecen con agua.

Propiedades importantes de las arcillas son :

- 1) Endurecimiento cuando se secan y estabilidad cuando se quemán.

- 2) Encogimiento durante el secado y el quemado.
- 3) Amplia variedad de colores después del quemado.
- 4) Resistencia al ablandamiento a altas temperaturas.
- 5) Aislamiento eléctrico, térmico y acústico.
- 6) Acción decolorante y clarificadora, particularmente la tierra de Fuller, que se usa para refinar aceites.

Caolín (Arcilla China).

Estos dos términos han sido usados intercambiabilmente para describir uno de los tipos de arcilla que quema a color blanco, y tiene un cono pirométrico equivalente de 34-35.

El nombre caolín, viene de dos palabras chinas Kao-ling, que significan caolina alta, y que describen la región de la cual fue obtenido el caolín o "china clay".

En la terminología presente se designa como caolines primarios o residuales aquellas arcillas que queman blanco, formadas por la meteorización de rocas feldespáticas, diques de pegmatita, granitos y rocas similares y que se hallan en la misma localidad de la roca madre.

Los caolines secundarios o sedimentarios, son aquellos que fueron formados por metcorización, luego transportados por el agua y redepositados en otra área.

El caolín usualmente contiene menos de 2% de álcalis y pequeñas cantidades de hierro, calcio, magnesia y titanio. A causa de su pureza, el caolín tiene un alto punto de fusión y es el más refractario de todas las arcillas.

La composición química promedia de algunos tipos de caolines es la siguiente (muestras lavadas).

	Georgia %	Carolina Norte %	Inglaterra %	Florida %	Alabama %
Sílice	45,30	46,30	47,00	46,30	44,74
Alúmina	39,14	38,78	37,72	37,70	39,47
TiO ₂	1,54	0,04	0,15	0,50	1,29
Oxido de Fe	0,27	0,38	0,96	0,30	0,55
Calcio	0,13	0,10	0,19	0,50	0,00
Magnesio	0,04	0,09	0,18	0,00	0,00
Potasio	0,15	0,34	1,57	0,20	0,00
Sodio	0,10	0,24	0,23	0,00	0,00
Pdas. al fuego	13,71	13,73	12,37	13,70	13,89
	100,38	100,00	100,37	99,70	99,94

Bentonita.

Es un silicato de aluminio hidratado, derivado de las cenizas volcánicas, con la arcilla mineral montmorillonita como su principal constituyente.

El nombre de bentonita originalmente se aplicó solo al tipo específico que se encuentra en la formación Port Benton, en las Black Hills de Wyoming y Dakota del Sur. Posteriormente todas las arcillas que tenían montmorillonita y que se habían derivado de ceniza volcánica, fueron clasificadas como bentonita.

Para propósitos prácticos es necesario subdividir la bentonita en dos tipos:

- 1) Aquellas que se hinchan enormemente cuando se mojan, y
- 2) Aquellas que se hinchan pero no más de lo que hacen otras arcillas plásticas.

El tipo 2) es ampliamente usado como arcilla para clarificar otras y para mejorar la plasticidad cuando el color no es muy importante.

La bentonita es algo variable en su apariencia exterior y en sus propiedades superficiales. Los colores más comunes de la bentonita cruda (sin tratar) son pardo pálido, crema y verde claro, pero tonos de gris, azul claro, verde rosado no son raros. El producto comercial usual es de color crema.

Quema a color rojo claro o pardo.

La bentonita del tipo 1) sufre la fusión completa alrededor de 2440°F.

El análisis químico del material libre de agua es:

	%		%
Sílice	64,32	Potasio y sodio	2,90
Alúmina	20,74	Oxido de titanio	0,11
Oxido de Fe	3,49	Azufre	0,35
Calcio	0,46	Agua de composición	5,15
Magnesio	2,26		99,78

A) Distribución.

Son las arcillas los sedimentos más comunes en la superficie terrestre y se encuentran, bien sea como productos de meteorización de rocas, sin transporte alguno (arcillas residuales) o en cuencas sedimentarias (arcillas transportadas o secundarias).

Para algunos autores las arcillas representan la mitad de los sedimentos, seguida en importancia por areniscas y calizas. El tamaño fino del grano (menor de 1/256 mm.) no permite su determinación al microscopio y es necesario recurrir al análisis térmico diferencial, a los rayos X o al análisis químico.

Las rocas sedimentarias cubren aproximadamente el 75% del área emergida, mientras que por volumen solo representan el 5% de la litosfera conocida. Un cálculo preciso de la proporción de arcilla dentro de los sedimentos es imposible debido a la variedad de tamaños de las partículas que intervienen en la formación de cada uno de ellos.

Las arcillas residuales se encuentran cubriendo la roca que les dio origen, y sus características dependen del clima, drenaje y composición. En regiones tropicales son ricas en hidróxidos de aluminio y hierro (lateritas ferruginosas y bauxíticas), dependiendo de la roca original.

B) *Clasificación.*

Las arcillas pueden ser clasificadas de acuerdo a su origen, a sus propiedades químicas y físicas, a su composición mineralógica o a sus usos. El geólogo está más interesado en la primera clasificación, y el tecnólogo ceramista en las otras tres.

La siguiente clasificación (Cuadro Nº 5) por Heinrich Ries (Clays, Occurrence, Properties and Uses) es quizá la mejor conocida y la más ampliamente usada.

CUADRO Nº 5

CLASIFICACION DE ARCILLAS POR RIES

- I. Arcillas Residuales. Formadas en el mismo lugar de la alteración de la roca, debido a los varios agentes de origen superficial o profundo.
 - A. Aquellas formadas por meteorización superficial; el proceso envuelve solución, desintegración o descomposición de los silicatos.
 1. Caolinas de color blanco y usualmente quemadas a blanco. Roca madre: granito, pegmatita, riolita, caliza, lutita, cuarcita feldespática, neis, esquisto, etc.
 Forma: sábanas, tabulares, masas de buzamiento grande, bolillos o lentes.
 2. Arcillas ferruginosas derivadas de diferentes clases de rocas.
 - B. Arcillas residuales blancas formadas por la acción de aguas ascendentes, posiblemente de origen ígneo.
 1. Formadas por aguas carbonatadas ascendentes.
 2. Formadas por soluciones sulfúricas.
 - C. Arcillas residuales formadas por acción de soluciones sulfúricas descendentes.

- D. Arcillas residuales blancas formadas por reemplazamiento, debido a la acción de aguas.
- II. Arcillas Coluviales. Representan depósitos formados por lavado de los anteriores y de carácter refractario o no.
- III. Arcillas Transportadas.
- A. Depositadas en agua.
1. Arcillas marinas o lutitas. Depósitos a menudo de gran extensión. Arcillas que queman a blanco (ball clays); lutitas que queman a pardo; arcillas impuras o lutitas, calcáreas y no calcáreas.
 2. Arcillas lacustres, depositadas en lagos o pantanos. "Fire clays" o lutitas; arcillas impuras que queman a rojo; arcillas calcáreas usualmente de carácter superficial.
 3. Arcillas de planicies de inundación. Usualmente impuras y arenosas.
 4. Arcillas de estuarios depositadas en estuarios. La mayoría impuras y finamente laminadas.
 5. Arcillas de delta.
- B. Arcillas Glaciales. Halladas en los detritos glaciares y a menudo con mucha piedra. Pueden quemar a rojo o a crema.
- C. Depósitos formados por el viento (loess).
- D. Depósitos químicos (algunas "flint clays").

2) Clasificación y nomenclatura de los minerales arcillosos.

La siguiente clasificación de las arcillas (Grim, 1953) está basada sobre la estructura y composición. A causa de que tales datos no son completos, la clasificación solo puede ser tentativa y las futuras investigaciones pueden hacer necesarias ciertas revisiones (Cuadro N° 6).

CUADRO N° 6

CLASIFICACION DE MINERALES ARCILLOSOS, POR GRIM

- I. Amorfos.
- Grupo del alófono.
- II. Cristalino.
- A. Tipo de 2 capas (Estructura en hojas, compuesto de unidades de una capa de tetraedros de sílice y una capa de octaedro de alúmina).
1. Equidimensional.
 - Grupo de la Caolinita.
 - Caolinita, Nacrita, etc.

2. Alargada.
Grupo de la Halloysita.
- B. Tipos de 3 capas (Estructura de hojas, compuesta de 2 capas de tetraedros de sílice y una capa central dioctaedral o trioctaédrica).
 1. Red expansible.
 - a) Equidimensional.
Grupo de la montmorillonita.
Montmorillonita, Sauconita, etc.
Vermiculita.
 - b) Alargada.
Grupo de la Montmorillonita.
Montronita, Saponita, Hectorita.
 2. Red no expansible.
Grupo de la Illita.
- C. Tipos de capas mezclados regulares.
Grupo de la Clorita.
- D. Tipos de estructura en cadena.
Atapulgita - Sepiolita - Paligorkita.

3) Clasificación de Parmelee.

En el Cuadro N° 7 se clasifican las arcillas de acuerdo a los usos y propiedades importantes en la industria cerámica.

CUADRO N° 7

CLASIFICACION DE ARCILLAS POR PARMELEE

- I. Arcillas que queman a blanco o claro, no calcáreas.
 - A. Fuego abierto. Porosas a cono 15.
 1. Baja resistencia.
 2. Media y alta resistencia. Usos: alfarería.
 - B. Fuego denso. No porosas entre conos 10 y 15.
 3. No refractaria. Buen color. Resistencia media a alta. Encogimiento medio. Usos: alfarería.
 4. No refractaria. Color débil. Resistencia media a alta. Encogimiento medio. Usos: objetos de barro, crisoles, esmeriles.
 5. Refractaria. Buen color. Resistencia media a alta. Encogimiento medio. Usos: refractarios y alfarería.
 - C. Fuego denso. No porosos entre conos 5 y 10.
 6. No refractaria. Buen color, resistencia media a alta. Encogimiento medio, mínima porosidad entre conos 5 y 8. Usos: porcelana.
 7. No refractaria. Color débil, resistencia media a alta. Encogimiento medio. Usos: los mismos de 4.

8. Refractaria. No porosa a cono 5. Funde a cono 31. Mínima resistencia 325 libras por pulgada cuadrada. Usos: crisoles.
9. Refractaria. No porosa a cono 8. No funde a 1400°C. Usos: crisoles de acero.
10. Refractaria. Quemado denso a cono 8. Funde a cono 29. Usos: recipientes de vidrio.

II. Arcillas de quemado amarillo.

A. Refractarias, porosidad 5% a cono 15, no plásticas.

11. Máximo de alúmina 40%. Quemado abierto. Usos: refractarios.
12. Alúmina más de 40%. Quemado abierto. Usos: refractarios y abrasivos.
13. Silícea. Quemado abierto. Usos: sanitarios, ladrillos vitrificados y esmaltados.
14. Silícea. Quemado abierto. Sílice más de 65%. Usos: refractarios.
15. Quemado denso entre conos 10 y 15. Resistencia media a alta. Usos: vidrios, crisoles, sanitarios.
16. Quemado denso. Porosidad menor de 5% a cono 10. Igual a 8-9-10.

B. No refractarias. Porosidad hasta 5% a cono 10.

17. Quemado abierto. Resistencia alta o media. Usos: sanitarios, terracotas.
18. Quemado abierto. Resistencia baja. Usos: ladrillos.
19. Quemado denso. Resistencia alta o media. Usos: terracota, esmeriles, sanitarios, ladrillo loceado.

III. Arcillas de quemado rojo, marrón u oscuro.

A. Quemado abierto. No obtienen baja porosidad por calentamiento.

20. Resistencia media a alta. Usos: ladrillos, teja, tubería, floreros.
21. Resistencia baja. Usos: ladrillos.

B. Quemado denso.

22. Intervalo de vitrificación grande (5 conos). Resistencia alta o media. Usos: tubería, tejas, baldosas, porcelana eléctrica, ollas.
23. Intervalo de vitrificación grande (5 conos). Resistencia baja. Usos: ladrillos, aisladores, baldosas.
24. Intervalo de vitrificación corto. Resistencia alta o media. Usos: ladrillos para construcción, tubería, floreros.
25. Funde y vitrifica a cono 5.

IV. Arcillas de quemado blanco, crema o amarilloso.

26. Contienen carbonatos. Nunca alcanzan baja porosidad. Intervalo de quemado corto. Usos: ladrillo común, teja, floreros.

VII. ARCILLAS DE ANTIOQUIA CENTRAL

Las arcillas comerciales que se encuentran en el área estudiada están restringidas a ciertas zonas condicionadas no solo por los factores geológicos, sino también por el trabajo humano en el laboreo de tierras, determinando en muchas ocasiones la pérdida de yacimientos por explotación de minas de aluvión.

A) *Localización de yacimientos.*

Como puede observarse en la Plancha I, los yacimientos de arcillas se deben agrupar en 3 tipos principales: 1) Residuales, situados sobre rocas plutónicas, metamórficas y volcánicas; 2) Transportados, depositados en el Terciario Carbonífero; 3) Aluviales.

Las arcillas provenientes de la descomposición profunda de las rocas, pertenecientes al primer grupo, ocupan las regiones más altas del área, hacia el eje de la Cordillera Central y parte de la Occidental. Fueron formadas a partir de varios tipos de rocas: filitas, anfibolitas, serpentinas, tonalitas, granitos, rocas verdes y dioritas, sin tener transporte después de su alteración. Los yacimientos de mayor importancia en este grupo son los de La Unión y el Carmen, situados a 50 kilómetros al sureste de Medellín. Debe incluirse también el yacimiento de Sonsón, de menor extensión, situado al sureste de Medellín, a 110 kilómetros.

Las arcillas transportadas o secundarias se depositaron con otros sedimentos en la cuenca del río Cauca, en 2 áreas: la del sur en Angelópolis, Amagá, Fredonia, Venecia y Titiribí y la del norte en Ebéjico y Sopetrán. Al menos 7 diferencias muy notorias se distinguen entre las 2 áreas, como lo indica el Cuadro N° 8.

CUADRO N° 8
DIFERENCIAS ENTRE SEDIMENTOS TERCIARIOS

Área Sur	Área Norte
1) Espesor: 1.500 mts.	Espesor: 3.200 mts.
2) Subdivisión: 3 pisos.	Subdivisión: imprecisa.
3) Con mantos de carbón explotables.	Sin mantos de carbón explotables.
4) Conglomerados en parte basal.	Abundan los conglomerados.
5) Areniscas claras o blancas.	Areniscas amarillas.
6) Cubierta volcánica.	Cubierta sedimentaria.
7) Intruidos por andesitas.	Sin cuerpos andesíticos.

Los yacimientos aluviales depositados en los valles de los ríos principales, están caracterizados por su topografía plana, casi al nivel actual de las aguas, y por las terrazas que presentan dis-

tintos niveles. Sobre estos aluviones y terrazas se han localizado varias poblaciones del Departamento, aprovechando su topografía: Sopetrán, San Jerónimo, Ebéjico, Medellín, Itagüí, Envigado, Caldas, Bello, Girardota, Barbosa, Gómez Plata, Carolina, El Retiro, La Ceja, Rionegro, Marinilla, etc.

Entre estos depósitos tienen interés para el estudio de arcillas el de Rionegro y el de Llano de Ovejas, al suroeste de San Pedro. Los demás no son aprovechables por la proximidad del área urbana o porque han sido destruidos con la explotación de minas auríferas.

B) *Clasificación.*

La clasificación genética de los diversos yacimientos de arcillas de interés industrial localizadas en Antioquia Central, es la siguiente, según Cuadro N^o 5:

1) Los yacimientos de La Unión, Sonsón y Carmen de Viboral son del tipo I-A-1, es decir, un caolín residual, formado en el mismo lugar de la alteración de una roca muy feldespática, posiblemente una segregación ácida del Batolito Antioqueño.

2) Las arcillas de Guayabal y Altavista (al suroeste de Medellín), aprovechadas para la elaboración de materiales para construcción, se clasifican en el tipo I-A-2. En el mismo grupo se clasifican las grandes extensiones de roca alterada que se encuentran en el área estudiada, aunque no tienen aplicación industrial.

3) Las arcillas y lutitas de Pantanillo (Abejorral) son del tipo III-A-1. Son las únicas de origen marino en esta zona y fueron depositadas en el Cretáceo Inferior, de acuerdo con los fósiles asociados a ellas.

4) Los estratos de arcillas pertenecientes al llamado Terciario Carbonífero se clasifican en el tipo III-A-2. Son arcillas oligocenas típicamente de origen continental, depositadas en un medio en parte lacustre y en parte torrencial, asociadas con carbón.

5) En el tipo III-A-3 se clasifican las arcillas aluviales que se explotan en el Llano de Ovejas, Rionegro, vegas del río Medellín y otros aluviones que han sido destruidos por trabajos de minería.

C) *Desaparición de arcillas aluviales.*

Se ha querido hacer resaltar este aspecto, pues en la región correspondiente al estudio de las arcillas de Antioquia hay grandes aluviones que tuvieron importancia durante la época de acti-

vidad minera. En consecuencia, las arcillas que de ellos podrían utilizarse, fueron lavadas para la extracción del oro.

Las principales minas de aluvión están distribuidas preferencialmente en los valles de los ríos Grande, Chico, Porce y Nare. Estos ríos tienen como característica común que drenan zonas marginales del Batolito Antioqueño, las más aptas para las mineralizaciones.

Como remanentes de los trabajos de minería se observan acumulaciones de diferente altura, formadas de rocas detríticas, esparcidas en las proximidades del curso de los ríos. Quedan igualmente algunos parches de arcillas blancas caoliníticas y arcillas grises plásticas recubriendo estos aluviones, pero no tienen interés comercial, por la poca cantidad y por la dificultad de separación.

VIII. CARACTERISTICAS DE LAS ARCILLAS ANALIZADAS

Las propiedades físicas y químicas de las arcillas de Antioquia se presentan pormenorizadamente en el anexo "Informe sobre las investigaciones de arcilla hechas en los laboratorios de la Facultad de Minas". Este anexo aquí citado es completo y detallado en observaciones de la totalidad de las arcillas, no solo en cuanto a los métodos utilizados sino también en los mismos resultados físicos, químicos y mineralógicos. Dicho anexo se ha resumido en cuatro cuadros, donde se han separado las arcillas según su origen, con el fin de facilitar la comparación de los diversos tipos, en la siguiente forma:

CUADRO 9. Arcillas residuales del Batolito Antioqueño, de gran importancia económica, hasta ahora.

CUADRO 10. Arcillas residuales de diversos tipos de rocas, sin importancia económica. ✓

CUADRO 11. Arcillas transportadas del Terciario Carbonífero y del Cretáceo, de importancia económica. ✓

CUADRO 12. Arcillas transportadas recientes o aluviales, de importancia económica.

IX. DETALLE DE YACIMIENTOS

Los yacimientos de arcilla de interés industrial, localizados en el área Central de Antioquia, son relativamente pocos. Las ar-

cillas residuales que cubren gran extensión del Departamento, provenientes de la descomposición de muy diversos tipos de rocas, son aprovechables en aquellas partes donde la roca original es de composición feldespática ácida. Las arcillas transportadas o secundarias, exceptuando las aluviales, no son actualmente aprovechadas por las dificultades que tiene su explotación.

Las características de los principales yacimientos tales como extensión, espesor, reservas probables, etc., se describen al tratar cada depósito en particular:

A) *Yacimientos de La Unión.*

La cúpula de La Unión fue estudiada por el geólogo Eduardo Nicholls V., y los resultados de su investigación se encuentran en el Informe N° 1349 del Servicio Geológico Nacional. Royo y Gómez hizo la descripción del yacimiento, que fue publicada en la revista Minería N° 103. El centro geográfico, La Unión, está situado en el cruce del paralelo 1.153.000 y el meridiano 858.000 de la red geodésica que tiene su origen en Bogotá.

Su forma es aproximadamente ovalada, tiene una extensión de 65 kilómetros cuadrados y está rodeada por rocas metamórficas del grupo Ayurá-Montebello: anfibolitas hacia el oeste y filitas hacia el este. Las rocas metamórficas resaltan con alturas de 300 m sobre el nivel promedio del llano de La Unión, el cual tiene su drenaje hacia el sur, por el río Piedras.

Con el fin de determinar la profundidad de la capa meteorizada, se perforaron 6 pozos con un equipo rotatorio suministrado gentilmente por el Ministerio de Minas. A pesar de haber alcanzado profundidades hasta de 45 m, no fue posible encontrar la roca sana que dio origen al yacimiento residual de caolín.

Para el cálculo de reservas se propone como límite inferior el nivel freático, ya que la explotación de los caolines es costosa a profundidades mayores. Con esta base, siendo 10 m la profundidad promedio del nivel freático, según las perforaciones efectuadas, las reservas de arcillas y caolines ascenderían a 500 millones de metros cúbicos.

La roca original (Cuadro N° 13) es una segregación ácida del Batolito Antioqueño con abundancia de feldespatos sódicos, cuya descomposición produce los caolines.

CUADRO N° 13

ANALISIS MODAL. NUCLEO DEL POZO 4 A 15 METROS

Plagioclasas sódicas	59.9%
Cuarzo	34.4%
Ferromagnesianos	5.6%
Ortoclasa alterada - Accesorio.	

El área está recubierta por una capa vegetal de espesor variable (promedio, 0,60 m), que es fácilmente retirada con bulldozer para la explotación del material caolinizado. Hacia abajo se encuentran arcillas blancas con proporción variable de cuarzo y moscovita y espesor de 3 metros. En algunos sitios se encuentra una capa de arcilla plástica azulosa, más profunda que la anterior. Por último aparece la roca ígnea totalmente alterada, mostrando feldespatos caolinizados.

Las muestras del yacimiento de La Unión que fueron analizadas son las siguientes: 16 a 21, muestras de superficie y 45 a 64, recuperadas en 3 perforaciones. Los resultados están resumidos en el Cuadro N° 9.

B) Yacimiento de *El Carmen de Viboral*.

Es el único yacimiento de arcillas en Antioquia cuya materia prima es utilizada en las vecindades. Tiene varias locerías donde con sistemas bastante rudimentarios se elaboran vasijas de loza para el consumo departamental y nacional.

El Carmen está situado a unos 10 kilómetros al sureste de Rionegro y a 45 kilómetros de Medellín. Su industria cerámica y sus materias primas fueron tratadas por Royo y Gómez y por Nicholls en los estudios mencionados antes. En los mapas del Instituto Geográfico, en escala 1:25.000, se señalan 11 cerámicas (locerías), todas al sur de la población. Algunas están en producción, pero en general la industria tiene cada vez menor importancia.

Más abajo de la capa de tierra vegetal que cubre el depósito se encuentran arcillas gris-azulosas, de 1,50 mts. de espesor promedio, apoyadas sobre arcillas pardo amarillentas provenientes de la alteración de la roca ígnea del Batolito Antioqueño.

La proximidad del contacto con rocas metamórficas permite suponer que la capa de arcillas gris-azulosas proviene del transporte y sedimentación de los productos de alteración de estas rocas.

C) Yacimiento de Sonsón.

Es un yacimiento de caolín, situado en el kilómetro 4 de la carretera Sonsón-La Unión y a 110 kilómetros de Medellín.

Fue formado por alteración de una roca ígnea, probablemente una segregación ácida del Batolito Antioqueño, cuya composición modal puede notarse en el Cuadro N° 14.

CUADRO N° 14

ANÁLISIS MODAL DE LA MUESTRA A-124

(Tomado de la Revista Minería N° 115).

Oligoclasa	61,5%
Cuarzo	19,5%
Biotita	12,0%
Hornblenda	7,0%
Ortoclasa	Accesorio microscópico
Apatito	Accesorio microscópico

El caolín no se explota actualmente, pero Locería Colombiana ha solicitado la Concesión al Ministerio de Minas y ha adquirido los terrenos aledaños. Los trabajos exploratorios se iniciaron, aunque los resultados no se conocen aún.

La muestra N° 72, cuyos análisis aparecen en el Cuadro N° 9, pertenece a este depósito.

D) Arcillas de Guayabal.

Al sur de Medellín, en el Barrio Guayabal y área de Q. Alta-vista, han existido varios galpones que elaboran ladrillos y tejas para construcciones.

Se utilizaron las arcillas provenientes de la alteración del Batolito de Altavista. Antiguamente se usaron las arcillas aluviales del Valle de Aburrá, de buena calidad, pero la expansión del área urbana ha obligado a suspender su explotación.

Unos 35 galpones existen en la actualidad, cuya producción es casi totalmente de ladrillo macizo y hueco, de dimensiones $0,40 \times 0,20 \times 0,10$ metros. Mensualmente se producen en promedio 2 millones de unidades, según datos suministrados gentilmente por CAMACOL.

Las muestras de arcilla N° 11-71 y 78, cuyos análisis aparecen en el Cuadro N° 10, pertenecen a este depósito.

E) *Yacimiento de Amagá y Angelópolis.*

Este es un depósito de arcillas secundarias o transportadas que se han acumulado con otros sedimentos en el llamado Terciario Carbonífero de Antioquia. Está situado a unos 40 kilómetros al suroeste de Medellín y su extensión puede estimarse en unos 26 kilómetros cuadrados.

El área fue estudiada en detalle por Emil Grosse con la finalidad exclusiva de determinar las reservas carboníferas.

Las arcillas de mejor calidad están asociadas con carbón y por consiguiente el cálculo de sus reservas se hace considerando el piso medio (Tc2) que es el piso productivo en el Terciario Carbonífero.

En los perfiles levantados por Grosse se observa que la relación de carbón a arcillas es aproximadamente 1:5, considerando la zona donde existen mantos explotables de carbón. Con esta base las reservas probables de arcillas en esta cuenca sedimentaria serían de 1.600 millones de metros cúbicos, sacables por socavones. Las muestras 1-2-3 y 4, correspondientes a la sección tipo de la cuenca de Amagá, son todas de carácter pizarroso, en colores grises con ocasionales moteados rojizos, blandas y algo untuosas al tacto.

Las impurezas más notables son cuarzo, restos de feldespatos, sericita y clorita, pigmentos por óxidos de hierro y ocasionales cristales sueltos de hornblenda, marcasita, carbón y rutilo, repartidos heterogéneamente en la masa arcillosa.

La sustancia arcillosa en estas muestras tiene un contenido que varía entre 32,5% y 38,7% y el resto corresponde a impurezas cristalinas, finas y de tamaño menor a malla 60. El peso específico promedio es de 2,7 y la humedad variable. En el cocido presentan la peculiaridad de mostrar un color rosado a 650°C para pasar a rosado claro a los 950°C y volverse gris a la temperatura de 1200°C y pardo amarillento a 1400°C.

Las muestras números 12-13-14 y 15 de Angelópolis, pertenecen también a este mismo yacimiento. Para mayores detalles de los análisis efectuados, consúltese el Cuadro N° 11 y el Anexo.

F) *Cuenca de Sopetrán.*

Pertenece como la anterior al Terciario Carbonífero de Antioquia. La sección representativa está situada en el K-70 de la carretera Medellín-Antioquia.

Las diferencias fundamentales entre esta cuenca y la de Amagá se encuentran en el Cuadro N° 8. En cuanto a las arcillas, la principal diferencia entre las 2 cuencas radica en el mayor contenido de impurezas en las arcillas de Sopetrán, característica que las hace poco comerciales, especialmente al considerar la distancia al centro de consumo. El predominio de conglomerados y areniscas conglomeráticas entre los sedimentos de esta región, le resta importancia al yacimiento.

La dirección general de los sedimentos es N-30°-W con un buzamiento promedio de 60° NE. Es característica de esta zona la presencia de fallas transversales que producen un escalonamiento peculiar.

Las arcillas son grises y gris verdosas, tienen en algunas partes concreciones de siderita, venas de carbón y lentes de yeso; están acompañadas de conglomerados abundantes y areniscas de color amarilloso.

Las muestras de arcillas números 5-6-7-8-9 y 10, cuyos análisis se presentan en el Cuadro N° 11 y el Anexo, pertenecen a este depósito sedimentario.

G) *Yacimiento de Pantanillo (Abejorral).*

Es también como los dos anteriores un depósito de arcillas y lutitas transportadas o secundarias, diferenciándose de ellas por la edad Cretácea que ha sido comprobada por el hallazgo de fósiles albianos.

A pesar de estar situado a unos 55 kilómetros en línea recta hacia el sur de Medellín, el recorrido total del material explotado es de 115 kilómetros por carretera, desde el yacimiento hasta el centro de consumo, Medellín.

La dirección general de estos sedimentos es N-S y el buzamiento promedio es de 45°E. En la base se encuentra un conglomerado muy bien cementado, resistente, oligomictico, de guijarros de cuarzo bien redondeados, en discordancia sobre las filitas del Grupo Ayurá-Montebello.

Los sedimentos afloran en una extensión de 20 kilómetros cuadrados, en una faja que se extiende de norte a sur, entre Pantanillo y el Cerro San Vicente.

Estratos de caolín y lutita (shale) con un espesor de unos 10 metros, son actualmente explotados por Locería Colombiana, empresa que tiene la concesión distinguida con el número 1023 del Ministerio de Minas.

Las muestras 39 y 40 pertenecen a este yacimiento. Las características y resultados de los análisis aparecen en el Cuadro N° 11 y en el Anexo.

H) *El Llano de Ovejas.*

Es un extenso aluvión de 11 kilómetros cuadrados, situado en los nacimientos del río Aurra, en el K-35 de la carretera Medellín-San Pedro. Representa un antiguo valle que actualmente es drenado por su extremo noreste, hacia la hoya del río Cauca. La elevación promedio es de 2550 metros sobre el nivel del mar.

Fue formado durante las etapas de estabilidad que precedieron al tectonismo plio-pleistoceno, en el centro de lo que es hoy la cúpula de Bello. Influyó en su formación la diferencia de resistencia a la meteorización entre las rocas plutónicas y las metamórficas que circundan la cúpula.

El espesor de arcillas explotables es de 1,50 m. El basamento es la roca ígnea del Batolito Antioqueño, totalmente meteorizada. Son explotadas por Locería Colombiana, según concesión número 765 del Ministerio de Minas.

En el Cuadro N° 12 y el Anexo se presentan los resultados de los análisis efectuados a las muestras de arcillas números 22, 23 y 24, colectadas en este yacimiento.

I) *Aluvión de Rionegro.*

Tiene una extensión de 60 kilómetros cuadrados, de los cuales 40 están más bajos que la curva de nivel 2125 y fueron los seleccionados para tomar las muestras de arcillas. Está situado a unos 45 kilómetros al sureste de Medellín, cerca a la población de Rionegro. El valle es drenado por su extremo noreste hacia la hoya del río Magdalena, por intermedio del río Nare.

El origen de este aluvión es muy similar al anterior (Valle de Ovejas), a pesar de estar separados por la hoya del río Medellín. Una larga serie de terrazas situadas a unos 20 metros de altura sobre el nivel actual del río Negro, se observa a ambos lados del valle, siguiendo la carretera de El Retiro, en los primeros 10 kilómetros.

La cubierta superficial del aluvión es una capa de arcillas arenosas amarillas y tierra vegetal, con un espesor hasta de 2 metros. Por debajo hay una arcilla gris azulada plástica, con espesor de 2 metros, que es explotada en varios puntos por Erecos y Locería Colombiana, según concesiones del Ministerio de Minas, distinguidas con los números 764 y 766.

Los resultados de los análisis efectuados a las muestras de arcillas de este yacimiento se presentan en el Cuadro N° 12 y en el Anexo. Los números de las muestras analizadas son: 25-26-27-28-31-32-33-34-35-36 y 41.

X. SISTEMAS DE BENEFICIO Y MINERIA

Los trabajos de explotación de arcillas que presentan la mínima dificultad se ejecutan a cielo abierto. Por este procedimiento se explotan las arcillas de La Unión. La explotación de las arcillas del Departamento de Antioquia es sencilla, pues todas se podrían recuperar mediante trabajos a tajo abierto, a excepción de las arcillas de Amagá-Angelópolis, donde sería necesario excavar por socavones, y por tanto deben considerarse como depósitos marginales.

Conviene pues recordar algunas reglas que se deben tener en cuenta para futuras explotaciones.

Es necesario:

a) Planificar oportunamente la línea de ataque inicial de tal forma que a medida que el trabajo progresa no se presenten interferencias en la recolección y eliminación de las aguas superficiales que impidan el avance del frente.

b) Si la arcilla se presenta en capas, debe estudiarse detenidamente su disposición estructural y relación con las otras capas con el propósito inmediato de eludir los hundimientos y derrumbes.

c) Los escombros o deshechos deben situarse sobre zonas o lugares donde no dificulten los presentes y futuros trabajos de excavación ni las vías de acceso al frente de trabajo.

d) Las instalaciones mecánicas de cualquier tipo (cables, rieles, tuberías, etc.) deberán localizarse sobre las zonas de menor valor minero o donde no trastornen las labores.

e) Si el espesor de la capa de arcilla es grande o si se trabaja en un terreno residual de gran espesor, es conveniente excavarlo en bancos, planos o niveles de excavación escalonados, con tal que las condiciones del terreno así lo permitan.

f) Los escombros deben eliminarse con tractores, con el fin de exponer una amplia zona de trabajo.

g) Si el material es blando, una pala mecánica o simple trabajo manual en trabajos de bajo rendimiento, sirven para adelantar el trabajo de excavación o explotación de la mina.

h) Deben construirse bodegas o lugares de almacenamiento en donde se proteja a la arcilla de la erosión y contaminación por aguas superficiales y de lluvia. El traslado del material del frente de excavación a la bodega será por medio de vagonetas; las correas transportadoras han servido en algunos casos.

El tratamiento que se le dé a la arcilla depende fundamentalmente de su probable utilización. Una arcilla que se utilice en tejares debe usarse tal como sale del sitio de la excavación: solo es justificable una inicial trituración, ya que un mayor tratamiento no sería económicamente recuperable con el costo del producto. Para otros fines, como lozas y otros productos cerámicos, deben eliminarse principalmente el cuarzo y la mica por algún sistema físico. El más barato de todos los procesos de separación de arenas es la decantación o sedimentación, proceso lento pero efectivo. Este procedimiento requiere una trituración inicial en un medio acuoso (que posee un dispersante de arcillas como silicato o hidróxido de sodio) por medio de un molino, en donde casi toda la arena y la mica presentes se eliminan por su parte inferior y la arcilla y el agua mezclados en flujo continuo pasan a los tanques sedimentadores. Sistemas de flotación mucho más complicados solo son necesarios cuando se deseen arcillas de alto grado y blancas, como para el papel y otros productos.

Las figuras 2 y 3 muestran dos tipos de plantas para el lavado de arcillas sugeridas para las arcillas tipo La Unión.

La figura 2 es el esquema de flujo de una planta lavadora de arcilla sencilla, en donde el producto final obtenido es una arcilla menor de malla 200, suficiente para ser utilizada en locería. La planta consta de un molino en donde la materia prima entra mezclada en adecuadas proporciones con agua y una sustancia dispersante de las arcillas (silicato de sodio, hidróxido de sodio, etc.). El objeto de este molino es el de triturar y mezclar íntimamente los materiales de alimentación. El sobreflujo del molino pasa a un tanque de agitación. La mezcla íntima de agua y arcilla dispersada y arena se lleva a un clasificador cónico de remolino a donde entra tangencialmente y deposita una gran proporción de materiales arenosos gruesos (cuarzo, minerales pesados, micas) que son lavados de nuevo en un tornillo elevador (Akins). El sobreflujo de este clasificador cónico pasa a un tanque elutriador donde se depositan los materiales de tamaño superior a la malla 200. El sobreflujo de este último clasificador pasa a los tanques decantadores donde se agrega la porción necesaria de floculante (ácido sulfúrico, da buenos resultados) para acelerar la precipitación de

las arcillas puras. La arcilla precipitada se bombea a los filtros prensa o a los hornos secadores.

La figura 3 es un esquema un poco más complicado pero completo para el lavado comercial de las arcillas. Es el mismo anterior, pero se le ha suprimido el tanque cónico de elutriación y se le han agregado dos tamices vibratorios (uno para granos gruesos y el segundo para granos mayores de malla 100) y un clasificador de rastrillos tipo Dorr que separan todo material de tamaño grueso granular a fino como arena (cuarzo, micas). La arcilla que se obtiene por este método presentará una finura menor de malla 200 y extremadamente pura.

El proceso de lavado generalmente aumenta la blancura de la arcilla, en el caso de arcillas blancas tipo papel o loza clara.

XI. APLICACION INDUSTRIAL

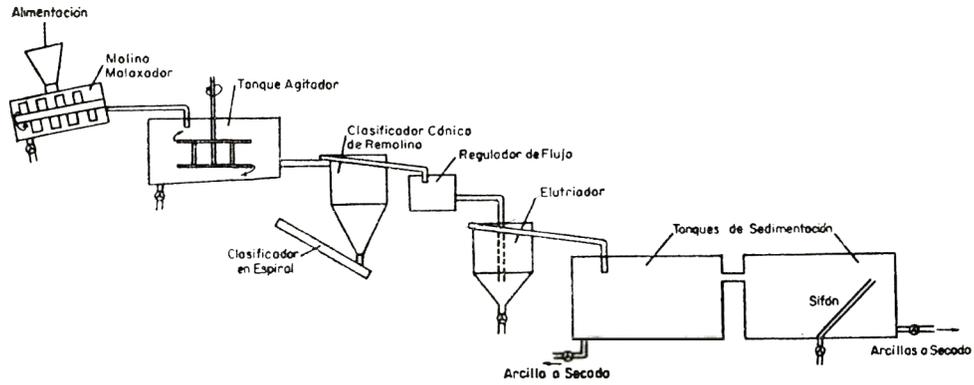
Las arcillas transportadas pizarrosas de Ferrería de Amagá fueron ensayadas con las muestras M 1 a M 4, de colores grises a rojos. El hierro se presenta como hidróxido y algo de marcasita y carbonato de hierro con una participación de sustancia arcillosa neta del 30 al 33%. Según su resistencia a la compresión en la co-chura a 950°C, puede utilizarse para alfarería, ladrillos y tejas. El material menor de $\frac{1}{4}$ mm., de colores claros, de contracción moderada, porosidad aparente baja y una permeabilidad también reducida, puede considerarse como el mejor producto para trabajar a alta temperatura. Si se le eliminan los sulfuros, los carbonatos y el hierro levigando ácido, con posterior separación del carbón y la sericita, las arcillas de este grupo podrían utilizarse para lozas.

Las arcillas transportadas de Angelópolis, estudiadas bajo las muestras M12 a M15 con el material menor de malla 60, son de colores gris-verdosos en donde el material arcilloso neto va del 25 al 30%. Según los largos extruídos, son aptas para arcillas tipo teja, aun cuando el peso volumen de las muestras secadas es relativamente alto (2.2), eliminándole los carbonatos y piritas presentes como concreciones. El comportamiento a 1000°C las hace utilizables para alfarería, ladrillos y tejas, y el mostrado a 1200°C las hace utilizables en loza sanitaria e industrial. Para usos superiores a la quema a 1200°C no se recomiendan. Las muestras M13 y M14 quemaron interiormente a negras, lo que insinúa una preparación eliminando carbonatos y piritas.

Las arcillas transportadas de "El Oro" (Sopetrán) son pizarro-arenosas a semiduras, grises o rojizas, que pueden contener

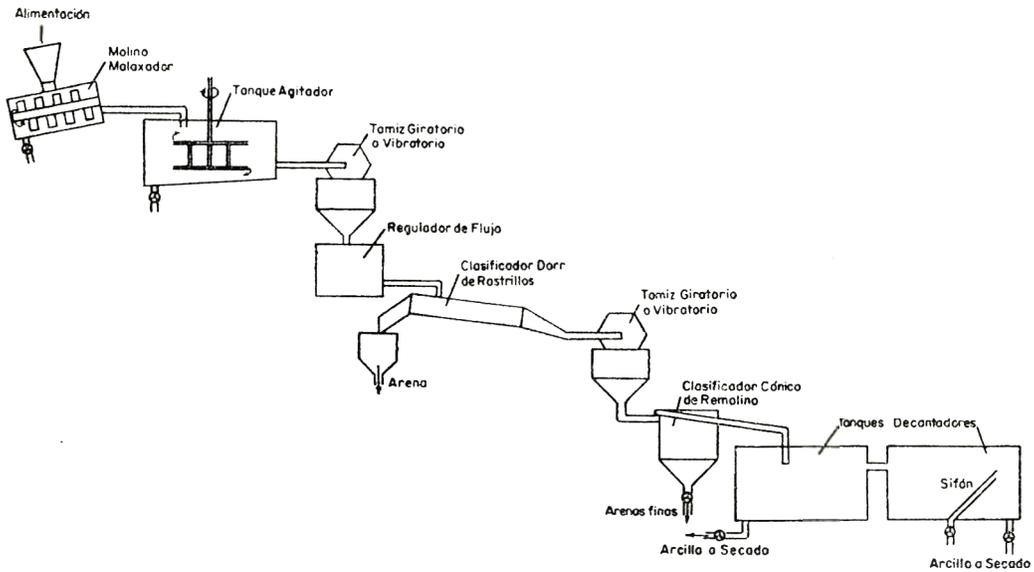
PLANTA TIPO PAPA LAVADO DE ARCILLAS

Fig. 2



PLANTA TIPO PARA LAVADO DE ARCILLAS

Fig. 3



un poco de halloysita. La participación neta de la sustancia arcillosa va del 28 al 33% y fueron analizadas con las muestras M5 a M10. Por el comportamiento del material menor que malla 60 y a 1000°C dicha arcilla podría utilizarse para ladrillos de construcción, tejas pequeñas y artículos de alfarería. Solo la muestra M8 produjo una quema bastante clara y resistencia suficiente a 1200°C para artículos de loza y en la cerámica vitrificada como gres cerámica (baldosas, tubos de gres para canalización, artículos industriales, químicos y de economía doméstica). La mayor resistencia de estas arcillas a la cochura está entre los extremos 900 y 1000°C.

Las arcillas aluviales de Sajonia en Rionegro (M35 a M36) son blancas grisáceas, plásticas, con gibbsita presente. A pesar de todo, las cualidades plásticas de las pastas hechas con material menor de malla 120 son deficientes. Será necesario eliminar la gibbsita, pues ésta le disminuye la firmeza, y magrar las arcillas para fines industriales. El material puede ser útil para refractarios, con un lavado inicial para separar la arena (mica, cuarzo) y levigación con ácido. La arcilla formará sin fundentes una masa homogénea rica en aluminio, refractario a base de corindón y arcilla pura.

Una arcilla de Rionegro, analizada bajo la muestra M41, gris parda con cierta cantidad de cuarzo, presenta a los ensayos a 900°C una firmeza suficiente para ser utilizada en artículos de alfarería, gres o ladrillo de construcción. Con una adecuada proporción de feldespato en mezcla y con el material pasado por malla 230, se produciría un buen gres cerámico.

Las arcillas transportadas de Pantanillo, en Abejorral (M39-40), son arcillas blancas, desmoronables, con mucha sílice libre del tamaño de silt (la M39). La M40 es una arcilla gris clara, laminada en capas delgadas y quebradizas. Con adición de fundentes, podrían dar gres cerámico.

La arcilla aluvial de Girardota (M73) presenta una resistencia moderada a la rotura (en cochura a 900°C), buen color y una porosidad suficiente para producir ladrillo de construcción.

Las arcillas residuales de Guayabal, estudiadas bajo las muestras M11, M71 y M78, son blandas, plásticas, de colores pardos a amarillentos, deben mezclarse con harina de ladrillo si se van a utilizar en tejas; deben mezclarse con harina de ladrillo y arena lavada si se utilizan para ladrillos de construcción. Poseen una gran contracción en la secadura en comparación con su menor contracción en la cochura.

Las arcillas de La Unión (M18 a M21) son blandas, terrosas, desmoronables, que pueden variar en color del blanco grisáceo a

blanco amarillento. El residuo en malla 60, tamizadas sin agua, consta esencialmente de aglomerados de arcilla blanca (que podrían dispersarse con el lavado), cuarzo y minerales hojosos pardos-claros, con algo de diásporo y ópalo nacarados, en base presentes como librillos libres o unidos al cuarzo; además pigmentos de hidróxido de hierro. Son caolinitas mezcladas en parte con halloysita y algo de gibbsita, con sustancia arcillosa neta hasta del 40%. Con el material menor que malla 200 se confeccionan diferentes tipos de porcelana (se puede trabajar para porcelana dura, blanda hasta porcelana japonesa), pero es condición indispensable la obtención de un caolín puro con las adiciones requeridas en la práctica industrial. Es particularmente molesta la impureza presente como material hojoso, a pesar de que las curvas termodiferenciales insinúan la presencia de caolinita en esta sustancia. Es evidente que las arcillas de La Unión se utilicen para lozas, pero de todas maneras necesitan de un lavado inicial; un chequeo del producto lavado es fundamental, pues un aumento del contenido de halloysita puede ser molesto.

Los materiales residuales de El Chaquiro en Santa Rosa (M37) y Guadalupe (M38) son terrosas, café rojizas, con cuarzo mica y sustancia caolinizada. Prácticamente este material no tendrá uso industrial.

Las arcillas residuales de Santa Elena (M65 a M70), gracias a su alto contenido de fundentes, podrían utilizarse en ladrillos vitrificados de enfriamiento lento.

Para ladrillo de construcción también sirven las arcillas residuales de Tarso y las transportadas de La Arcadia en Támesis

Las arcillas residuales de Andes y Betania (M79, M81 a M84), respectivamente entre 900 y 1000°C, manifiestan un buen comportamiento para ser utilizadas en tejas y ladrillos.

Como puede deducirse de la figura 4, las arcillas de mayor aplicación industrial son las residuales de La Unión y Sonsón, y las aluviales de Rionegro y Ovejas, que muestran un alto equivalente de cono pirométrico (PCE).

XII. TRANSPORTE A LAS AREAS DE CONSUMO

Al tratar las vías de comunicación en el Capítulo II, se hizo mención de las dos carreteras troncales que cruzan el área: la Central del Norte y la Transversal Bogotá-Urabá. Por ellas se transportan a Medellín las arcillas extraídas de los diversos yacimientos, excepto las de Rionegro y El Carmen.

Estas carreteras son transitables en todo tiempo, son de doble vía, y en algunos tramos están pavimentadas.

En el Cuadro N° 15 se aprecia la distancia total (kilómetros) para carretera, entre el lugar donde se encuentra el yacimiento de arcilla y el centro de consumo, que es Medellín. Además, se agrega en algunos casos el precio que actualmente se paga por el transporte de una tonelada de material.

CUADRO N° 15
DISTANCIAS ENTRE MEDELLIN Y LOS PRINCIPALES
YACIMIENTOS

YACIMIENTO	\$/Ton.	Pavimento	Macadam	Total
Unión	32	40	15	55
Carmen	—	40	10	50
Sonsón	—	40	70	110
Guayabal	—	10	—	10
Amagá	—	25	15	40
Sopetrán	—	25	45	70
Pantanillo	65	40	75	115
Ovejas	25	20	15	35
Rionegro	25	40	5	45

La carretera que actualmente se construye entre Abejorral y la Fábrica de Cementos El Cairo, acortará considerablemente la distancia que separa a Medellín del yacimiento de Pantanillo, especialmente con la prolongación del ramal Abejorral-Chagualal hacia aquella vía. La pavimentación de la carretera entre La Ceja y La Unión (15 kms.) incrementará la explotación de ese importante yacimiento de arcillas residuales.

XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A) Las arcillas de interés industrial situadas en Antioquia Central están restringidas a 9 yacimientos: La Unión, El Carmen de Viboral, Sonsón, Guayabal, Amagá, Sopetrán, Abejorral, Ovejas y Rionegro. Los tres primeros son depósitos de arcillas residuales, originados por la descomposición de rocas plutónicas feldespáticas, en aquellas zonas donde se presentan segregaciones ácidas del Batolito Antioqueño.

El depósito de Guayabal (Medellín), proviene de la alteración de las rocas del Batolito de Altavista. La composición modal de estas rocas difiere con las del Batolito Antioqueño en los siguientes puntos principalmente: menor contenido de cuarzo y biotita, mayor porcentaje de hornblenda y gran variedad petrográfica.

Los yacimientos de Amagá y Sopetrán están formados por arcillas secundarias o transportadas, depositados en el Terciario Carbonífero de Antioquia durante el Oligoceno. Son las únicas que no se explotan actualmente, debido a que requieren sistemas anti-económicos de beneficio y minería.

Las arcillas transportadas de Abejorral, de muy buena calidad, son las más distantes de Medellín y las únicas de origen marino en esta zona. De acuerdo con la clasificación propuesta por Ries (Cuadro N° 5), pertenecen al Grupo III-A-1.

Por último, los depósitos aluviales de Ovejas y Rionegro están formados por arcillas de buena plasticidad.

B) Las propiedades físicas y químicas resumidas en los Cuadros 9 a 12 y en la Fig. 4, permiten sacar las siguientes conclusiones:

1) Las mejores arcillas analizadas son las residuales de La Unión y Sonsón y las aluviales de Rionegro y Ovejas, que pueden usarse en refractarios y locería.

2) Las arcillas transportadas de Angelópolis, Amagá, Sopetrán y Abejorral son de inferior calidad y podrían utilizarse en alfarería, ladrillos vitrificados y esmaltados.

3) Para materiales de construcción se utilizan las arcillas de Guayabal (Medellín) y las del suroeste de Antioquia.

4) Las arcillas provenientes de la descomposición de los diversos tipos de rocas no incluidos en los grupos anteriores, no tienen utilización industrial.

C) Todas las arcillas deben someterse a un tratamiento antes de su utilización, excepto las que se usen para materiales de construcción. Los procesos dependen en gran parte del producto final que se quiera obtener.

D) Las reservas de arcillas en el área estudiada son considerables y de fácil explotación, especialmente en La Unión, Sonsón y Abejorral, donde los suelos no son aprovechables para la agricultura. Los aluviones de Rionegro y Ovejas ocupan áreas aprovechables para cultivos y ganadería, por lo cual la explotación de arcillas está restringida.

E) Las principales empresas que explotan actualmente los mejores yacimientos de arcillas son: Locería Colombiana, Cemento Blanco y Erecos, las cuales han hecho análisis muy completos cuyos resultados son de uso privado.

F) Una inmensa reserva que se tiene para el futuro es la cuenca sedimentaria de Amagá, en el piso carbonífero. Presenta el inconveniente de la explotación por socavones, compensada por la proximidad a Medellín, centro principal de consumo.

G) No se encontraron bentonitas en la región. Las bauxitas mencionadas en trabajos anteriores, cerca a Santa Rosa de Osos, no tienen importancia económica.

XIV. BIBLIOGRAFIA

- Anuario Estadístico de Antioquia (1962).
ASTM Standards (1964). Part. 13.
BOTERO, GERARDO (1963). — “Contribución al conocimiento de la geología de la Zona Central de Antioquia”.
Ceramic Industry. — Jan. 1953.
GRIM, R. E. (1953). — “Clay Mineralogy”.
GROSSE, EMIL (1926). — “El Terciario Carbonífero de Antioquia”.
HERMELIN, MICHEL (1965). — “Estudio preliminar sobre la descomposición de algunas rocas del Batolito Antioqueño”. Tesis de Grado, inédita.
NICHOLLS, EDUARDO (1960). — “Arcillas y Caolines del Municipio de La Unión”. Informe N° 1349 del Servicio Geológico Nacional.
PETTIJOHN, F. J. (1948). — “Sedimentary Rocks”.
POMEROL, CHARLES (1961). — “Les Roches Eruptives”.
RIEHL, HERBERT (1954). — “Tropical Meteorology”.
RIES, HEINRICH. — “Clays, occurrence, properties and uses”.
REICHE, PARRY (1943). — “Jour. Sed. Pet.”. Vol. 13; pág. 58.
ROYO y GÓMEZ, JOSÉ (1940). — “Materias primas para cerámicas en Antioquia”. Minería, 101 a 104.
STULL, R. T. (1926). — “Beneficiation and Utilization of Georgia Clays”. Bulletin 252, Bureau of Mines.
URIBE, ANGEL M. (1885). — “Geografía y Compendio Histórico del Estado de Antioquia en Colombia”.
VILA, PABLO (1944). — “Regiones naturales de Colombia”. Revista Colombia Nos. 3-4.