

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGICO-MINERAS

ESTUDIO SOBRE LOS DEPOSITOS DE BAUXITA EN CAUCA Y VALLE  
ESPECIALMENTE EN EL AREA DE  
MORALES Y CAJIBIO

INFORME 1642

Por:

HUMBERTO ROSAS GARCIA

BOGOTA, 1976

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN . . . . .	61
INTRODUCCION . . . . .	61
LOCALIZACION . . . . .	61
CLIMA Y VEGETACION . . . . .	61
ASPECTOS CULTURALES . . . . .	63
ACTIVIDADES Y PERSONAL . . . . .	63
HISTORIA . . . . .	63
TRABAJOS PREVIOS . . . . .	63
TERMINOLOGIA . . . . .	64
BAUXITA . . . . .	64
ARCILLA BAUXITICA . . . . .	64
CLIACHITA . . . . .	64
GEOMORFOLOGIA . . . . .	65
TOPOGRAFIA Y FISIOGRAFIA . . . . .	65
GEOLOGIA . . . . .	65
FORMACION POPAYAN . . . . .	65
CARACTERISTICAS DE LOS DEPOSITOS . . . . .	67
DESCRIPCION . . . . .	67
PERFIL DE LA ZONA DE METEORIZACION . . . . .	67
CONDICIONES GENERALES PARA LA FORMACION DE DEPOSITOS BAUXITICOS RESIDUALES . . . . .	69
ORIGEN DE LOS DEPOSITOS . . . . .	69
CONTROL TOPOGRAFICO DE LOS DEPOSITOS . . . . .	70
EDAD DE LOS DEPOSITOS . . . . .	70
RELACION ENTRE ROCA ORIGINAL Y TIPO DE DEPOSITO . . . . .	72
CARACTERISTICAS QUIMICAS . . . . .	72
MINERALOGIA . . . . .	73
CARTOGRAFIA DE LOS DEPOSITOS . . . . .	73
EXPLOTACION DE LA ARCILLA BAUXITICA . . . . .	78
BENEFICIO DE LA ARCILLA BAUXITICA . . . . .	78
RESERVAS DE BAUXITA EN EL AREA MORALES - CAJIBIO . . . . .	78
ZONA 1 . . . . .	79
ZONA 2 . . . . .	79
ZONA 3 . . . . .	79
ZONA 4 . . . . .	80
ZONA 5 . . . . .	80
ZONA 6 . . . . .	80
ZONA 7 . . . . .	81
ZONA 8 . . . . .	81
ZONA 9 . . . . .	81
ZONA 10 . . . . .	81
TOTALES . . . . .	82
RESERVAS DE BAUXITA EN LOS DEPARTAMENTOS DE CAUCA Y VALLE . . . . .	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	82
REFERENCIAS CITADAS . . . . .	83

## FIGURAS

1.	Mapa Índice . . . . .	62
2.	Esquema Geológico del Valle Medio del Río Cauca . . . . .	66
3.	Perfil de la zona de meteorización. . . . .	68
4.	Cortes esquemáticos que ilustran el control topográfico de los depósitos . . . .	71
5.	Variaciones de Ca, Mn y Fe en profundidad (muestras de canal) . . . . .	74
6.	Variaciones de $Fe_2O_3$ , $SiO_2$ y $Al_2O_3$ en profundidad (muestras de canal). . . .	75
7.	Variaciones de Fe, Mn y Ca con relación a la topografía (muestras superficiales).	76
8.	Distribución de los depósitos de Bauxita en el área de Morales - Cajibío . . . . .	77

## CUADROS

1.	Clasificación modificada Thoenen - Burchard para distintos grados de bauxita.	64
2.	Composición de la arcilla bauxítica y de los agregados gibsíticos en el área de Morales - Cajibío, Cauca . . . . .	72
3.	Cálculo de reservas de bauxita en los departamentos de Cauca y Valle . . . . .	82

## PLANCHAS

Mapa de los depósitos de Arcilla Bauxítica en el área Morales - Cajibío, Departamento del Cauca (8 Planchas) . . . . .	(entre páginas 78 y 79)
--	-------------------------

## RESUMEN

En la región central de los departamentos de Cauca y Valle, ocurren depósitos de arcilla bauxítica, o bauxita de bajo grado, formados por meteorización química principalmente a partir de rocas de la formación Popayán. Esta formación consta de capas de material detrítico con algunos flujos de lavas, que se depositaron en una cuenca fluvio-lacustre de edad Plio-Pleistoceno, situada entre las cordilleras Central y Occidental.

Los depósitos aparecen preferentemente en áreas de topografía suave, formando un horizonte concordante con el suelo actual. La arcilla bauxítica es de color marrón, algo plástica, con abundantes agregados gibsíticos, y representa una etapa temprana del proceso de bauxitización. A partir de ésta arcilla bauxítica puede obtenerse bauxita de alto grado eliminando la fracción arcillosa y recuperando los agregados gibsíticos, mediante lavado y tamizado. Estos agregados contienen 59% de  $Al_2O_3$  y 3% de  $SiO_2$  y 4,5% de  $Fe_2O_3$ .

Con base en observaciones geológicas de campo, datos de pozos, y criterios geomorfológicos, se llevó a cabo la cartografía detallada de los depósitos en el área de Morales - Cajibío, y se efectuó el cálculo de reservas en dicha área, el cual da un total de 80'000.000 de toneladas de arcilla bauxítica en base seca, de las cuales podrían obtenerse 20'000.000 de toneladas de agregados gibsíticos.

La totalidad de las reservas posibles en los departamentos de Cauca y Valle se estima en 750'000.000 de toneladas de arcilla bauxítica en base seca que permitirían extraer 93'750.000 toneladas de agregados gibsíticos.

## INTRODUCCION

Extensos depósitos de arcilla bauxítica ocurren en la depresión andina del Alto Cauca. En 1970, el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras inició estudios geológicos detallados, tendientes a establecer las características físicas, mineralógicas y químicas de los mismos, así como su extensión, distribución, génesis y potencial económico. Inicialmente se seleccionó un área típica para concentrar allí la mayor par-

de las investigaciones, que fue la de Morales - Cajibío, la cual comprende un rectángulo de 300 km<sup>2</sup> (fig.1).

El área de Morales - Cajibío constituye el tema central de este trabajo. En forma suplementaria se incluyen algunos datos relacionados con otras zonas bauxíticas de los departamentos de Cauca y Valle.

## LOCALIZACION

La totalidad de las áreas de ocurrencia de bauxita se encuentran hacia el centro y flancos de la depresión andina del Cauca, aproximadamente entre las latitudes de Popayán al sur, y Cali al norte. La extensión de las zonas bauxíticas se estima aproximadamente en 1.000 km<sup>2</sup>.

El cuadrángulo que representa el área de Morales - Cajibío está situado 25 km al norte de Popayán y se halla comprendido entre las siguientes coordenadas planas:

Norte:	X = 800.000	metros
Este :	Y = 1'060.000	metros
Sur :	X = 780.000	metros
Oeste:	Y x 1'045.000	metros

Estas coordenadas corresponden a la convención adoptada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la cual se toma como origen un punto situado 3° al W de Bogotá, con coordenadas geográficas 4° 35' 56,57''N y 77°-04 -51,30''W Greenwich, y coordenadas planas (fig. 1):

X = 1'000.000 metros norte.
Y = 1'000.000 metros este.

## CLIMA Y VEGETACION

En el área de Morales - Cajibío el clima es húmedo tropical, lluvioso la mayor parte del año, con algunos períodos relativamente secos. Según registros pluviométricos que cubren un total de 27 años, la precipitación media anual fue de 2.000 mm, con 200 días de lluvia al año. El promedio de precipitación para el mes más seco, julio, fue de 50 mm, y para el más húmedo, noviembre, fue de 320 mm (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1969, p. 67, 68, 73).



La temperatura en la misma área varía entre 19 y 20° C. En algunas zonas bauxíticas del departamento del Valle, tales como San Antonio y Villa Colombia, la temperatura media asciende hasta 23° C.

La vegetación predominante en las zonas de ocurrencia de bauxita está clasificada, según mapa Ecológico del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1969, p. 74-75), como bosque húmedo subtropical. Parte del terreno está dedicado a la ganadería y a pequeños cultivos de café, yuca, plátano, maíz, etc. La fertilidad del suelo es baja, ya que está constituido en su mayor parte por latosoles rojos y amarillentos.

#### ASPECTOS CULTURALES

La mayor ciudad en el valle del Alto Cauca es Cali, capital del Departamento del Valle, centro industrial, con 1'500.000 habitantes, situada en el extremo norte de la zona de ocurrencia de bauxita.

En el extremo sur se encuentra la ciudad de Popayán, capital del Departamento del Cauca, con una población de 130.000 habitantes. La vía de comunicación más importante es la carretera troncal de occidente que une las ciudades de Cali y Popayán. Sobre esta vía se encuentran poblaciones menores como Jamundí, Santander y Piendamó.

En el sector rural, la ganadería y la agricultura constituyen las principales fuentes de ingreso de la población. Pequeñas explotaciones mineras, principalmente auríferas, se llevan a cabo en algunos sectores. En los alrededores de Villa Colombia y San Antonio, se extrae bauxita para la producción de sulfato de alúmina en una planta que opera en Cali.

#### ACTIVIDADES Y PERSONAL

En el desarrollo de los trabajos, uno de los principales objetivos fue el de establecer las condiciones genéticas y geomorfológicas que controlaron la forma y distribución de los depósitos. Con este propósito se efectuó la cartografía detallada de los mismos, controlada por observaciones de superficie y por un extenso programa de perforaciones llevado a cabo en cooperación con el geólogo Luis A. León. En su fase final tuvo una activa participación el geólogo Egon Castro.

La mayor parte de los análisis de laboratorio fueron realizados en Ingeominas; otros en el U. S. Geological Survey, Estados Unidos y algunos sobre beneficio en el Departamento de Suelos de la Universidad del Cauca.

#### HISTORIA

El hallazgo de los depósitos bauxíticos en la región tuvo lugar como resultado de actividades exploratorias desarrolladas por la Compañía Química Industrial "QUIN" de Cali, en busca de bauxita como materia prima para la producción de sulfato de alúmina. En el año 1966, varios moradores de la región, conocedores del interés de QUIN por encontrar materiales altamente aluminicos, colaboraron en la búsqueda, recolectando muestras de diversos materiales y haciéndolos llegar a la Compañía para análisis de laboratorio. En el mismo año los señores Alvaro Rodríguez y Fermín Cuellar encontraron las primeras muestras de arcillas bauxíticas en Matarredonda, municipio de Morales (Cauca). Pocos meses después el señor Ramiro Bejarano, en la población de Morales, recogió de un afloramiento de arcilla bauxítica unos agregados duros, de formas irregulares, que al ser analizados en los laboratorios de QUIN, resultaron ser bauxita ya que estaban constituidos en su mayor parte por hidróxido de aluminio.

En 1968 fueron presentadas ante el Ministerio de Minas y Petróleos las primeras propuestas de concesiones para exploración de bauxita en los municipios de Morales y Cajibío (Cauca).

#### TRABAJOS PREVIOS

A raíz de las determinaciones realizadas en los laboratorios de la Compañía Quin S. A., fue presentado a la Compañía Kaiser, con carácter privado, el primer informe escrito sobre los depósitos (Ordóñez, 1968).

Cucalón y Restrepo (1969) efectuaron algunas observaciones geológicas relacionadas con la ocurrencia de lateritas aluminicas en la formación Popayán.

En noviembre de 1969, el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras, inició un estudio detallado encaminado a determinar el potencial económico de

los depósitos. Los primeros resultados de ese estudio fueron presentados ante el Segundo Congreso Nacional de Minería (Rosas, 1970).

A partir de 1970, J.B. Cathcart (1970-1972), llevó a cabo algunas breves y esporádicas visitas a las zonas bauxíticas, durante las cuales recogió diversa información relativa a estos depósitos. En su último informe hizo una serie de recomendaciones sobre la forma en que deberían estudiarse tales depósitos.

En estudios subsiguientes se ahondó sobre las características físicas, químicas y mineralógicas de los depósitos; se efectuó el levantamiento cartográfico de los mismos en el área de Morales - Cajibío, se realizaron algunos ensayos sobre beneficio y se hizo estimativo de las reservas (Rosas, 1971). Posteriormente se presentó un nuevo trabajo sobre estos yacimientos (Rosas, 1973).

## TERMINOLOGIA

### BAUXITA

Este término fue usado por primera vez en la literatura geológica por A. Dufrenoy (1856), para designar una roca de aspecto arcilloso y color rojo que se encuentra al sur de Francia en las colinas de Les Beaux. Posteriormente se usó "bauxita" para designar el mineral  $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$  principal constituyente de la roca de Les Beaux.

Actualmente está generalizado el uso de éste término para designar simplemente una laterita con abundancia de hidróxido de aluminio, sin implicar fórmula química o propiedades físicas determinadas que constituye la mena laterítica de aluminio. Harder y Greig (1960) son claros sobre este punto al definir bauxita como "a rock consisting of one or more aluminium mineral together with impurities. The term is now used synonymously with aluminium ore".

En el presente informe se entiende por bauxita aquel material que reúne las características establecidas para los diversos grados de bauxita, según la clasificación de Thoenen-Burchard, con las modificaciones de Cloud (1967, p.26), tal como se presenta en el Cuadro No. 1.

## ARCILLA BAUXITICA

Se entiende aquí como arcilla bauxítica al material que muestra las características de la bauxita grado D en la clasificación modificada de Thoenen-Burchard (Cuadro No.1). Esta definición corresponde al significado más común de arcilla bauxítica.

(Valores en porcentaje)

Grado	Alúmina	Sílice
A	+ 55	Menos de 7
B	50 - 55	Menos de 15
C	45 - 50	Menos de 30
D	30 - 45	Porcentaje menor que el de alúmina
D'	30 - 45	Porcentaje mayor que el de alúmina

CUADRO 1. Clasificación modificada Thoenen-Burchard para distintos grados de Bauxita.

### CLIACHITA

Quien primero usó este término fue Goldman (1955) para referirse al hidróxido aluminico de aspecto amorfo que se encuentra frecuentemente en la bauxita y que Goldman describe como "more less amorphous-looking generally brownish material".

La definición de Goldman aparece en el "Glossary of Geology" de American Geological Institut (1966, p. 12 sup). Un significado similar le dan a este término Clockman and Ramdohr (1961, p.455), quienes lo consideran sinónimo de alumogel. Kerr (1959, p.126-206) al tratar de los hidróxidos aluminicos, describe la cliachita como un mineral microamorfo, pisolítico o masivo, sin indicación alguna de estructura bajo el microscopio polarizante. Kerr aclara que el término "microamorfo" se emplea porque los estudios de rayos X indican que este material presenta propiedades direccionales sensibles a las longitudes de onda corta. En el presente informe el término cliachita se refiere al material que presenta en seccion delgada las mismas propiedades descritas por Kerr.

## GEOMORFOLOGIA

### TOPOGRAFIA Y FISIOGRAFIA

La mayor parte del área pertenece al altiplano de Popayán que constituyó una superficie plana en el Paleo-Cuaternario y hoy se encuentra intensamente disectado por su red hidrográfica. Esta acción disectora destruyó la antigua superficie llana y le imprimió al altiplano una fisiografía caracterizada por cadenas de colinas bajas de formas redondeadas, separadas entre sí por valles cuya profundidad no supera regularmente los 60 m. Sin embargo, el antiguo llano aún se refleja en el relieve actual, debido a que las cimas de las colinas se hallan aproximadamente al mismo nivel, formando éstas, en conjunto, un plano casi horizontal. La elevación media de este plano es de 1.700 m.

Dentro del área cartografiada, el accidente fisiográfico más sobresaliente lo constituye el río de Piendamó que corre en dirección noroeste y sirve de límite entre la jurisdicción de Morales al norte y la de Cajibío al sur.

El río forma un estrecho valle flanqueado por escarpes verticales. Hacia el extremo oriental del área, el valle de este río tiene 100 metros de profundidad, mientras que en el extremo occidental su profundidad alcanza los 400 metros. En este extremo occidental, sobre el lecho del río, se encuentra el punto topográficamente más bajo, a 1.270 metros sobre el nivel del mar.

### GEOLOGIA

En la depresión andina del Alto Cauca, entre las latitudes de Cali y Popayán, afloran rocas cuya edad varía entre Paleozoico y Cuaternario (fig.2). Sin embargo, las principales zonas de ocurrencia de bauxita, entre ellas la de Morales - Cajibío, están localizadas dentro de la formación Popayán. Por esta razón, solo esta última formación será descrita con algún detalle.

#### FORMACION POPAYAN

Está compuesta de conglomerados, aglomerados, tobas volcánicas y algunos flujos de lavas de edad Plio-Pleistoceno que se depositaron en una cuenca fluvioacustre entre las cordilleras Central y Occidental.

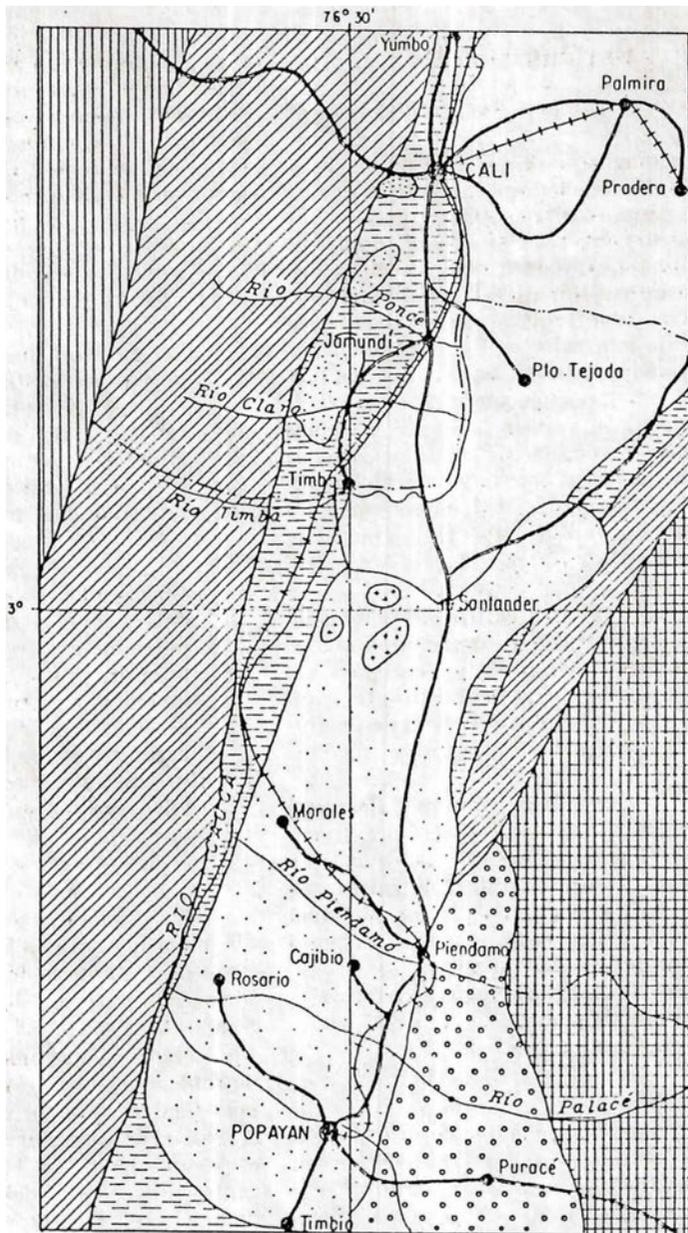
La formación Popayán reposa discordantemente sobre rocas de edad variable entre Paleozoico y Eoceno. Debido a las irregularidades de la superficie topográfica sobre las cuales se depositó esta formación, su espesor varía entre menos de 1 metro y 500 m.

Dentro de la formación Popayán se han reconocido dos miembros:

1. Un miembro inferior, hasta de 300 m de espesor, constituido por conglomerados y aglomerados que alternan con tobas y flujos de lava. Este miembro aflora en el borde oriental de la cuenca, y aparece afectado por un ligero tectonismo, lo cual sugiere una edad Plioceno.
2. Un miembro superior sin flujos de lava, enteramente clástico. Por lo demás, este miembro es litológicamente similar al inferior, y está compuesto de conglomerados, aglomerados y capas túficas. El miembro superior aflora hacia la parte central de la cuenca, y sus capas se encuentran esencialmente horizontales, casi indisturbadas. A este miembro se le ha asignado una edad Pleistoceno.

En el área Morales - Cajibío, lo mismo que en la mayoría de las demás áreas bauxíticas, sólo aflora el miembro superior de la formación Popayán. Este miembro presenta algunos cambios laterales en su composición. En Morales - Cajibío predominan los cantos de toba andesítica provenientes de la Cordillera Central y se aprecia en pequeña escala el aporte de otros materiales como diabasa, esquisto y chert. En cambio, cerca de Cali, cantos provenientes del grupo diabásico predominan sobre los cantos andesíticos. Los fragmentos varían entre pequeños guijos y bloques de más de 1 metro de diámetro. En general las capas son muy irregulares, comúnmente lenticulares. Localmente los planos de estratificación pueden resultar imperceptibles.

El carácter alumínico de las rocas de la formación Popayán, su condición clástica, su bajo contenido de cemento y consecuentemente su buena permeabilidad, ofrecen condiciones litológicas favorables para la meteorización química y la bauxitización.



CONVENCIONES

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  | Cuaternario  |  | Capas sedimentarias (Terciario medio)                |
|  | Popayán Superior (Plio-pleistoceno)                            |  | Diabasas, sedimentos del Grupo Diabásico (Mesozoico) |
|  | Popayán Inferior (Plioceno)                                    |  | Rocas metamórficas del Grupo Dagua (Mesozoico)       |
|  | Rocas hipabisales de composición dácítica (Terciario Superior) |  | Rocas Metamórficas del Grupo Cajamarca (Paleozoico)  |



FIGURA 2. ESQUEMA GEOLOGICO DEL VALLE MEDIO DEL RIO CAUCA

## CARACTERISTICAS DE LOS DEPOSITOS

## DESCRIPCION

Los depósitos forman una capa de arcilla bauxítica, con espesor variable desde pocos centímetros hasta 3 metros, situada a una profundidad máxima de 3,50 metros. Esta capa corresponde aproximadamente al horizonte "B" en el sentido que se le da en pedología (Millar, Turk y Foth, 1966).

La arcilla bauxítica es de color amarillo crema, moderadamente plástica. Puede retener un peso de agua equivalente al 180% de su peso en base seca. El peso específico promedio del horizonte enriquecido es de 1,5 gramos por centímetro cúbico.

Uno de los principales constituyentes de la arcilla bauxítica es el hidróxido de aluminio coloidal en forma de hidrogeles. Estos le imprimen al material una textura plástica; pero a medida que la arcilla bauxítica, pierde humedad, los hidrogeles se deshidratan, y las partículas de hidróxido se aglutinan para formar agregados sólidos, en parte amorfos (clachita) y en parte cristalinos (gibsite).

El paso del hidróxido alumínico, del estado de gel (plástico) a un estado sólido granular (no plástico) por pérdida de la fase líquida, se traduce en un cambio irreversible de las propiedades físicas del material. Por esta razón el suelo bauxítico, que en su estado natural presenta una textura arcillosa plástica, al deshidratarse se torna arenoso, y pierde su anterior plasticidad.

El tamaño de los agregados depende en parte del grado de compactación que haya experimentado el material durante el secado. A mayor grado de compactación, mayor tamaño de los agregados. En material disgregado, extraído del suelo original, bajo condiciones atmosféricas, los agregados de hidróxido difícilmente alcanzan a crecer hasta 1 cm de diámetro; la mayoría logra un tamaño arena. En cambio, en afloramientos de material "in situ", con grado de compactación más alto que en el caso anterior, se observaron agregados hasta de 20 cm de diámetro.

En material "in situ", el crecimiento de los agregados es favorecido por una contribución adicional de partículas de hidróxi-

do alumínico que migran en aguas de infiltración desde el interior del suelo hasta la superficie. Este enriquecimiento superficial generalmente se acentúa cuando las impurezas son removidas por las aguas lluvias. En ese caso los agregados gibsíticos se hacen más conspicuos, lo cual llevó a Cathcart (1972, p.31) a creer que los agregados sólo ocurrían en la superficie de los afloramientos.

Los agregados gibsíticos exhiben formas irregulares, redondeadas, tabulares y cilíndricas. En muchos casos las formas de los agregados sugieren movimiento de hidróxido alumínico en suspensión coloidal.

Cuando los afloramientos de arcilla bauxítica presentan paredes fuertemente inclinadas, los agregados suelen adoptar allí formas cilíndricas alargadas generadas por escurrimiento de fluidos coloidales alumínicos.

## PERFIL DE LA ZONA DE METEORIZACION

El perfil continuo de la zona de meteorización (fig. 3) presenta los siguientes horizontes en orden descendente:

1. Capa vegetal, caracterizada por alta actividad biótica y acumulación de materia orgánica. El material es de color negro en la parte superior del horizonte y ligeramente más pálido hacia la base. Espesor promedio: 1 metro.
2. Zona relativamente pobre en hidróxido de aluminio, debido a que la alta actividad química y alguna biótica que caracteriza este horizonte produce la disolución y lixiviación de los hidróxidos de aluminio. El material es de color café oscuro, de textura arcillosa, poco plástico. Espesor promedio: 1,5 metros.
3. Zona de enriquecimiento en hidróxido de aluminio. El material es arcilla bauxítica de color crema, textura arcillosa, moderadamente plástica. En esta zona los hidróxidos de aluminio se encuentran en estado coloidal formando geles. Por pérdida de agua las partículas de hidróxido se aglutinan y forman agregados gibsíticos compactos hasta de 20 cm de diámetro. Espesor promedio: 2 metros.

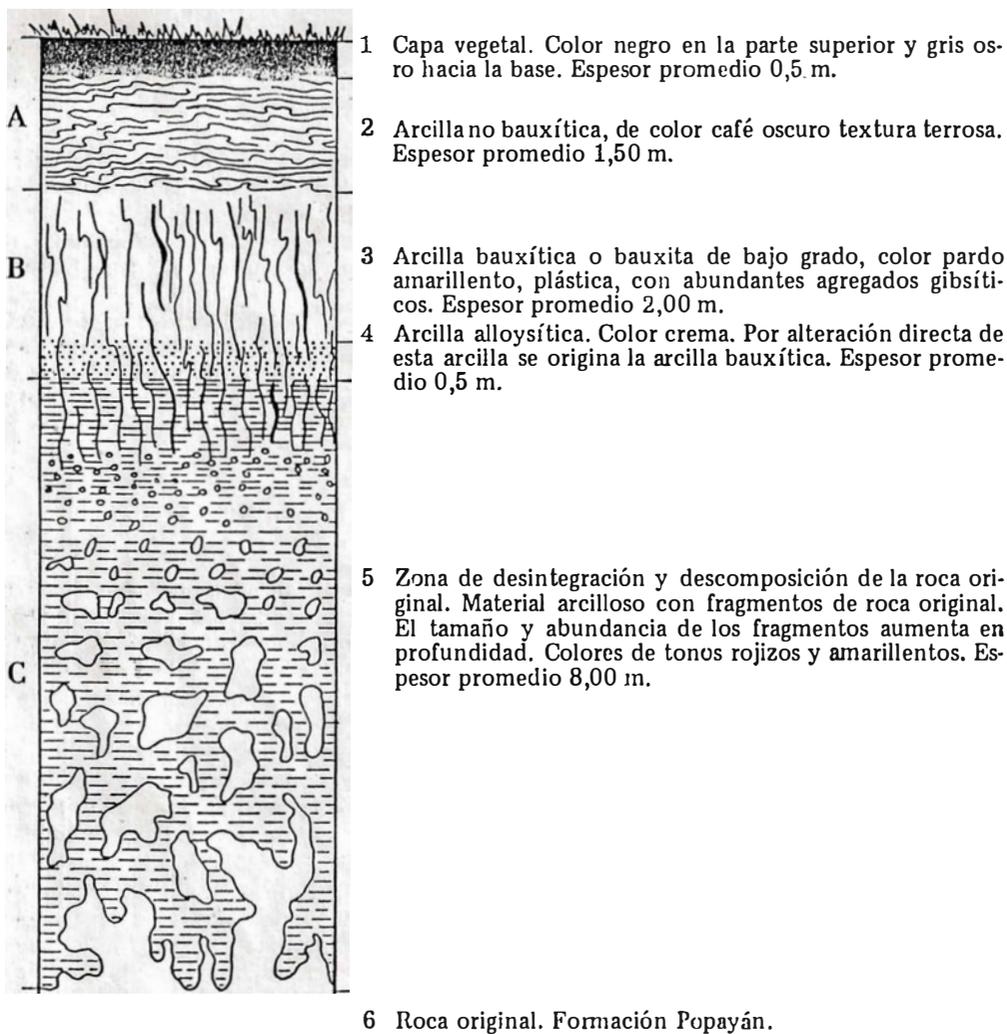


FIGURA 3.

PERFIL DE LA ZONA DE METEORIZACION

4. Zona que representa una etapa inmediatamente anterior a la bauxitización, antes de producirse la lixiviación de la sílice. El aspecto macroscópico que presenta este material es similar al del horizonte 3 aunque un poco más compacto y posee un color crema ligeramente más claro que el de la arcilla bauxítica. Espesor promedio: 0,50 m.
5. Zona de desintegración y descomposición de la roca original. El material presenta tonos rojizos y amarillentos. Hacia el tope es arcilloso, y hacia la base pasa gradualmente a la roca original.
6. Roca original formación Popayán.

Los contactos entre los distintos horizontes del suelo son conformes, a grandes rasgos, con la superficie topográfica.

#### CONDICIONES GENERALES PARA LA FORMACION DE DEPOSITOS BAUXITICOS RESIDUALES

Las siguientes condiciones se consideran indispensables para la formación de depósitos bauxíticos:

1. Presencia de rocas aluminicas susceptibles de producir material bauxítico en condiciones adecuadas de meteorización.
2. Clima tropical o subtropical húmedo.
3. Disponibilidad de reactivos que produzcan la descomposición de los silicatos y la disolución de la sílice.
4. Superficies que favorezcan la infiltración descendiente del agua meteórica.
5. Buen drenaje para lograr el arrastre de los productos sobrantes disueltos.
6. Ubicación de la roca por encima del nivel freático.
7. Erosión mínima para lograr la preservación del mineral.
8. Las condiciones anteriormente enumeradas deben prevalecer por un prolongado intervalo de tiempo.

#### ORIGEN DE LOS DEPOSITOS

Inicialmente la formación Popayán formaba una planicie la cual fue gradualmente disectada por la erosión. Sobre esta planicie disectada se formaron por meteorización química los depósitos de bauxita. Las rocas aluminicas de la formación Popayán al ser expuestas a la superficie, fueron atacadas por los agentes meteorizantes, y los silicatos primarios alterados a minerales arcillosos (hidrosilicatos de aluminio).

Un clima subtropical con alternancia de períodos de sequía y de humedad, favorece la descomposición de estas arcillas en óxidos hidratados de hierro y aluminio, y la disolución y lixiviación de otros constituyentes como sílice, sodio, potasio, calcio y magnesio. Según Bateman (1957, p. 239), la estación húmeda estimula la formación de  $Al_2O_3$  y la estación seca da lugar a la lixiviación de la sílice.

Los depósitos de Morales - Cajibío se originaron en formas topográficas suaves con pendientes menores de  $20^\circ$ . En relieves más abruptos, las condiciones de erosión y de drenaje impidieron la acumulación de material bauxítico.

En el horizonte enriquecido, los hidróxidos de aluminio han sido disueltos, han perdido la sílice, y se hallan parcialmente en forma de gibsita, o como cliachita dispuesta a formar gibsita por deshidratación. Debajo del horizonte bauxítico el material revela etapas cada vez más tempranas del proceso de bauxitización.

El predominio de hidróxido aluminico amorfo (cliachita) en la arcilla bauxítica indica que los depósitos se encuentran en una etapa incipiente de formación. A partir del hidróxido aluminico amorfo habrían de formarse con el tiempo los demás minerales bauxíticos, gibsita, bohemita y diásporo (Frederickson, 1952, p.3; Milligan y McAttec, 1952, p. 98).

La escasa profundidad a la cual se encuentran los depósitos y el alto grado de concordancia que presentan con el perfil del suelo moderno, no solo corroboran la reciente edad de la bauxitización sino sugiere que los depósitos continúan formándose en el presente. En efecto, las condiciones climáticas

actuales llenan ciertos requisitos que se consideran necesarios para la formación de bauxita por meteorización química; esto es, un clima tropical con alternancia de períodos lluvioso y secos (Harder, 1952, p. 35).

Mohr (1933, p.15) explica el efecto de la temperatura sobre los suelos tropicales por medio de la relación entre macroflora que elabora humus y la microflora que lo destruye, y demuestra que 25°C es la temperatura crítica por encima de la cual el humus es destruido más rápidamente de lo que se forma. Mohr (1933 p. 17, 18) también considera que el ácido silícico de los minerales es más soluble en las aguas puras que en las aguas que contengan humus, mientras que el hidróxido aluminico es insoluble en agua pura pero es soluble en presencia de humus.

Con base en las anteriores consideraciones, Gordon y Tracey (1958, p. 145), suponen que la formación de bauxita por meteorización requiere ausencia de humus y por tanto condiciones climáticas en las cuales la temperatura supera los 25°C la mayor parte del año.

La formación de humus en los suelos modernos del área de Morales y Cajibío, bajo 25°C, concuerda con las observaciones de Mohr. Sin embargo, la bauxitización de estos suelos sugiere que la presencia de humus no impide necesariamente la formación de bauxita.

Debido a la moderna edad de los depósitos, éstos aparecen genéticamente influidos por las formas topográficas actuales.

#### CONTROL TOPOGRAFICO DE LOS DEPOSITOS

La estrecha relación existente entre los rasgos topográficos actuales y la distribución del horizonte bauxítico ha permitido establecer ciertos parámetros que han servido de guía para la delimitación del horizonte en el campo. Los más importantes (fig. 4), aplicables al altiplano de Popayán son:

- a) El horizonte bauxítico ocurre en formas topográficas suaves, con pendientes de 0 a 20°.
- b) El espesor del horizonte bauxítico tiende a ser máximo en pendientes topográficas de 5 a 10°.

- c) A mayor extensión de las formas topográficas, corresponde mayor espesor del horizontes bauxítico.
- d) Los cambios cóncavos de pendiente topográfica provocan, por lo regular, aumentos locales de espesor en el horizonte bauxítico.

#### EDAD DE LOS DEPOSITOS

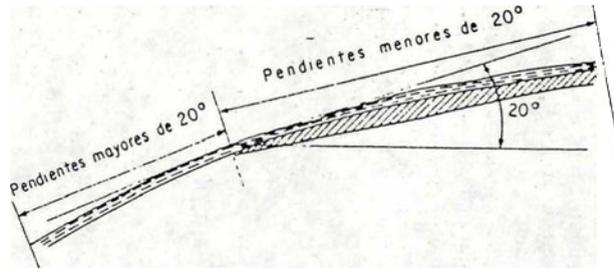
Los depósitos se formaron después de la depositación de la formación Popayán, de edad Plio-Pleistoceno, cuando la cuenca se había desecado, sollevantado y entrado en proceso de erosión. Por lo tanto la edad de los yacimientos no puede ser anterior al Cuaternario. Todavía se carece de datos suficientes para establecer el momento del Cuaternario en que empezó la laterización en la región.

De algunas relaciones geomorfológicas se deducen datos adicionales sobre la edad de los depósitos. Como se mencionó anteriormente, éstos presentan una notable concordancia con el relieve actual, lo cual indica que a partir de su formación las condiciones fisiográficas no han variado apreciablemente y por lo tanto debió transcurrir un intervalo de tiempo relativamente corto desde que se inició la lateritización hasta el presente.

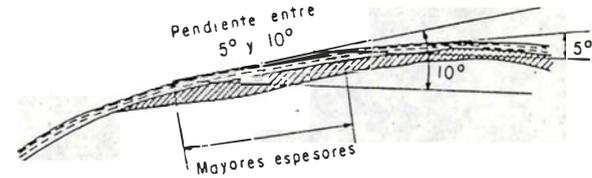
Por ejemplo, existen depósitos residuales formados en zonas recientemente excavadas de algunos valles aluviales, a sólo 2 m por encima del cauce actual de la corriente. Asumiendo que la rata de erosión producida por la corriente fuera extremadamente baja, 1 metro en 15.000 años, que es aproximadamente la rata promedio de erosión del continente (Grabau, 1960, p.247), se tendrá que la edad máxima de los depósitos situados 2 m por encima del cauce actual sería 30.000 años.

De otra parte, como se mencionó al tratar sobre el origen de los depósitos, la reciente edad de la arcilla bauxítica está corroborada por el predominio de hidróxido aluminico amorfo el cual es característico de una fase temprana de la bauxitización.

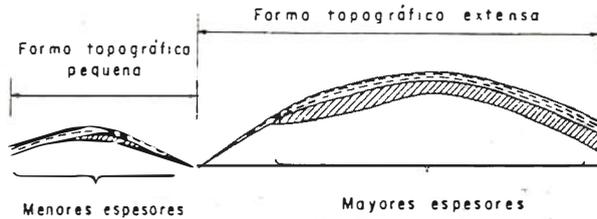
Aún más, existen razones suficientes para pensar que los depósitos continúan formándose en el presente, toda vez que las características litológicas, climáticas y topográficas



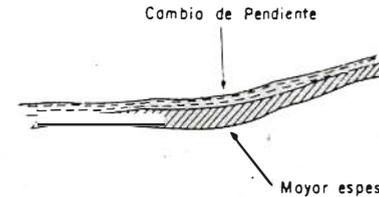
a) El horizonte bauxítico ocurre en formas topográficas suaves con pendientes de  $0^\circ$  a  $20^\circ$ .



b) El espesor del horizonte bauxítico tiende a ser máximo en pendientes topográficas de  $5^\circ$  a  $10^\circ$ .



c) A mayor extensión de las formas topográficas mayor espesor del horizonte bauxítico.



d) Los cambios cóncavos de pendiente topográfica, producen por lo regular aumentos locales de espesor en el horizonte bauxítico.

Horizontes 1 y 2

Horizonte bauxítico

FIGURA 4. CORTES ESQUEMATICOS QUE ILUSTRAN EL CONTROL TOPOGRAFICO DE LOS DEPOSITOS

ficas de la región son actualmente favorables para la bauxitización. El alto grado de concordancia que presenta el horizonte bauxítico con el suelo moderno y con la topografía actual, también está reflejando la influencia genética de eventos presentes. Además, no se ha visto indicio alguno que revele la interrupción del proceso de bauxitización.

Según lo anterior, las conclusiones sobre edad de los depósitos pueden resumirse así:

1. Los depósitos son de edad Cuaternario. Todavía no es posible determinar el momento en que empezó esta bauxitización, pero muy probablemente no se remonta a más de 50.000 años.
2. El proceso de formación de arcilla bauxítica residual no ha concluido sino que continúa desarrollándose en el presente.

#### RELACION ENTRE ROCA ORIGINAL Y TIPO DE DEPOSITO

En el área de Morales - Cajibío, donde se concentró la mayor parte de los trabajos, los depósitos provienen de la descomposición de rocas de la formación Popayán, litológicamente heterogénea. Esta heterogeneidad se refiere más a características texturales, que a composición química y mineralógica. En conjunto, son rocas compuestas en su mayor parte por material de origen ígneo tipo andesita.

Las diferencias de textura modifican la porosidad de la roca y por lo tanto la capacidad de acceso y circulación de agua. De allí que tales diferencias puedan producir variaciones en las condiciones de meteorización y consecuentemente en las características de los depósitos resultantes. Sin embargo, en el proceso de bauxitización, la meteorización en el área ha sido suficientemente intensa y uniforme para atenuar la influencia que las pequeñas variaciones mineralógicas y texturales de la roca original ejercen sobre las características de los depósitos. Según Patterson S. H. (1967) en el proceso de formación de bauxita, las características de la roca original no son tan importantes como la intensidad y duración de la meteorización. Los ligeros cambios litológicos de la roca original han repercutido tan débilmente sobre los depósitos, que las diferencias entre éstos resul-

tan demasiado sutiles para tratar de hacer subdivisiones de carácter práctico. Así que, por sus notables semejanzas, todos los depósitos en el área de Morales - Cajibío, genética, litológica y mineralógicamente pueden ser considerados como del mismo tipo.

#### CARACTERISTICAS QUIMICAS

En el Cuadro 2, se muestran los resultados promedios de análisis químicos de arcilla bauxítica, comparados con los de agregados gibsíticos, después de aislar éstos por lavado y tamizado. Como puede apreciarse, mediante este sencillo proceso se logra eliminar gran parte de las impurezas de la arcilla bauxítica ya que, en los agregados gibsíticos resultantes, decrecen considerablemente los valores de hierro y de sílice y se incrementa el contenido de alúmina.

Los análisis químicos y espectrográficos practicados sobre muestras de pozos y de canal, procedentes de los suelos de Morales y Cajibío, mostraron los siguientes hechos en relación con los componentes:

Las muestras del horizonte B presentan mayor contenido de  $Al_2O_3$  con respecto al  $SiO_2$ , que las tomadas en el horizonte A. La relación Sílice/Alúmina es menor que 1 en la zona de arcilla bauxítica y mayor que 1 en los demás horizontes. En todos los casos se observó que el aumento del contenido total de alúmina está acompañado por un aumento de plasticidad de la arcilla.

(Valores en Porcentaje)

Componente	Arcilla Bauxítica	Agregados Gibsíticos
$Al_2O_3$	35,70 - 43,87	59,02
$SiO_2$	20,07 - 32,34	3,02
$Fe_2O_3$	10,16 - 13,03	4,43
$TiO_2$	0,74 - 1,11	1,19
CaO	0,03 - 0,08	0,05
MgO	0,24 - 0,71	0,12
MnO	0,04 - 0,10	0,02
Pérdidas por ignición	16,67 - 23,41	32,15

Analizado por J. Rodríguez, Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras.

CUADRO 2. Composición de la arcilla bauxítica y de los agregados gibsíticos cos en el área de Morales - Cajibío, Cauca.

El valor del calcio generalmente decrece con la profundidad, particularmente hacia los límites de los horizontes A y B donde aparecen los agregados gibsíticos (fig. 5). Es posible que la plasticidad de la arcilla sea debida en parte a la disminución del contenido de calcio.

El hierro y el manganeso decrecen hacia el horizonte de arcilla bauxítica y en la capa vegetal (fig. 5).

El cobalto y el níquel se comportan en forma parecida al hierro y manganeso.

El bario presenta un valor máximo de 700 ppm, y decrece en los niveles inferiores del suelo hasta llegar a ser menor de 20 ppm en algunas muestras.

Cobre y molibdeno tienden a ser detectables en las muestras más profundas.

El cromo y titanio varían notablemente en su concentración, pero parecen menos concentrados en suelos ricos en materia orgánica, quizás debido simplemente a su disolución.

En la figura 6 se ilustran las variaciones de  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  y  $Al_2O_3$ , según análisis químicos de muestras de canal. El aumento de la relación Alúmina/Silice hacia el horizonte B, particularmente dentro de la arcilla bauxítica, se ilustra con el cruce de las líneas.

Ciertos hechos muy singulares se hallaron en los análisis de muestras tomadas a 50 cm de profundidad, con intervalos regulares siguiendo una línea. Los perfiles de Ca, Fe y Mn resultaron notablemente concordantes con el perfil topográfico, especialmente los de Fe y Ca (fig. 7). Solamente en las dos últimas muestras de la parte izquierda del perfil, donde se presentan las cotas más bajas, los valores de los elementos resultan tan altos que desarmonizan con la topografía. Esta desarmonía puede ser debida, al menos en parte, a la erosión en virtud de la cual la superficie topográfica es desplazada hacia horizontes más bajos del suelo.

#### MINERALOGIA

La arcilla bauxítica está constituida esencialmente por tres clases de minerales:

minerales arcillosos, hidróxidos de aluminio y óxidos de hierro. El mineral arcilloso predominante es la halloysita. Los óxidos de hierro están representados por magnetita, hematites y goetita. Los hidroxidos de aluminio son cliachita y gibsita.

En la arcilla bauxítica bajo condiciones naturales de humedad, el hidróxido de aluminio se encuentra principalmente en estado coloidal formando geles. Cuando la arcilla se deshidrata, decrece el grado de dispersión de las partículas coloidales aluminicas y estas pasan a formar agregados de cliachita compactos y estables en agua. Si la pérdida de agua continúa, se produce cristalización de gibsita a expensas de la cliachita.

Los agregados gibsíticos vistos al microscopio en sección delgada, presentan numerosas cavidades en cuyas paredes se produce crecimiento de cristales de gibsita a partir de cliachita. La cristalización de cliachita en gibsita se corroboró mediante estudios de difracción de rayos X.

#### CARTOGRAFIA DE LOS DEPOSITOS

Los mapas de los depósitos se hicieron sobre la base de datos obtenidos directamente en afloramientos, apiques, cortes y perforaciones, complementados con la fotointerpretación de dos hechos geomorfológicos principales:

1. La fisiografía actual está estrechamente relacionada con la forma, tamaño y espesor de los depósitos.
2. Las zonas bauxíticas son ligeramente más resistentes a la erosión que las zonas estériles. Por esta razón en las fotografías aéreas las zonas bauxíticas aparecen más prominentes que las no bauxíticas y comúnmente muestran superficies más llanas que las estériles.

Los mapas que se incluyen en el presente informe son: 1) Un mapa no detallado (fig. 8) que muestra la distribución de la bauxita en la totalidad del área Morales - Cajibío. Debido a que el horizonte bauxítico es discontinuo y sólo ocurre a manera de manchas en el área, en este mapa se diferenciaron unidades de 10, 20, 25 y 30%, de acuerdo al porcentaje de área que contiene bauxita. 2) Ma-

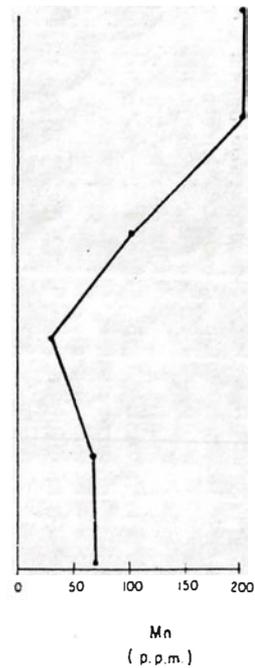
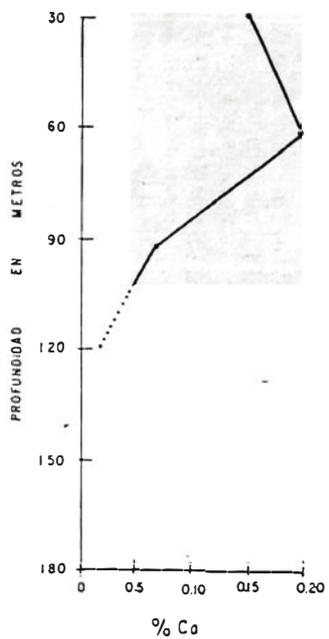


FIGURA 5.

VARIACIONES DE Ca, Mn, Y Fe EN PROFUNDIDAD

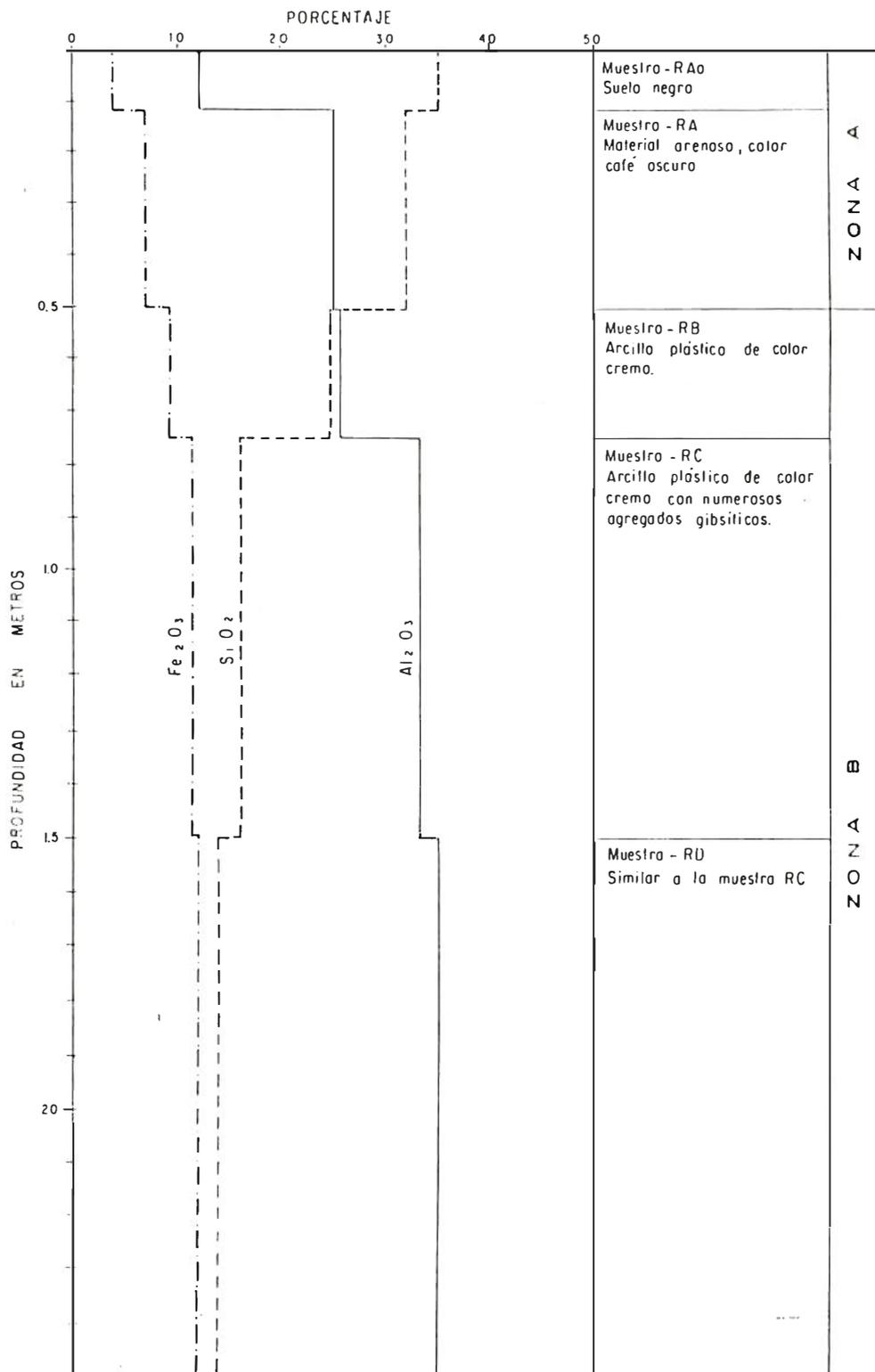


FIGURA 6. VARIACIONES DE Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> Y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> EN PROFUNDIDAD MUESTRAS DE CANAL - CAMINO MORALES - SANTA ROSA

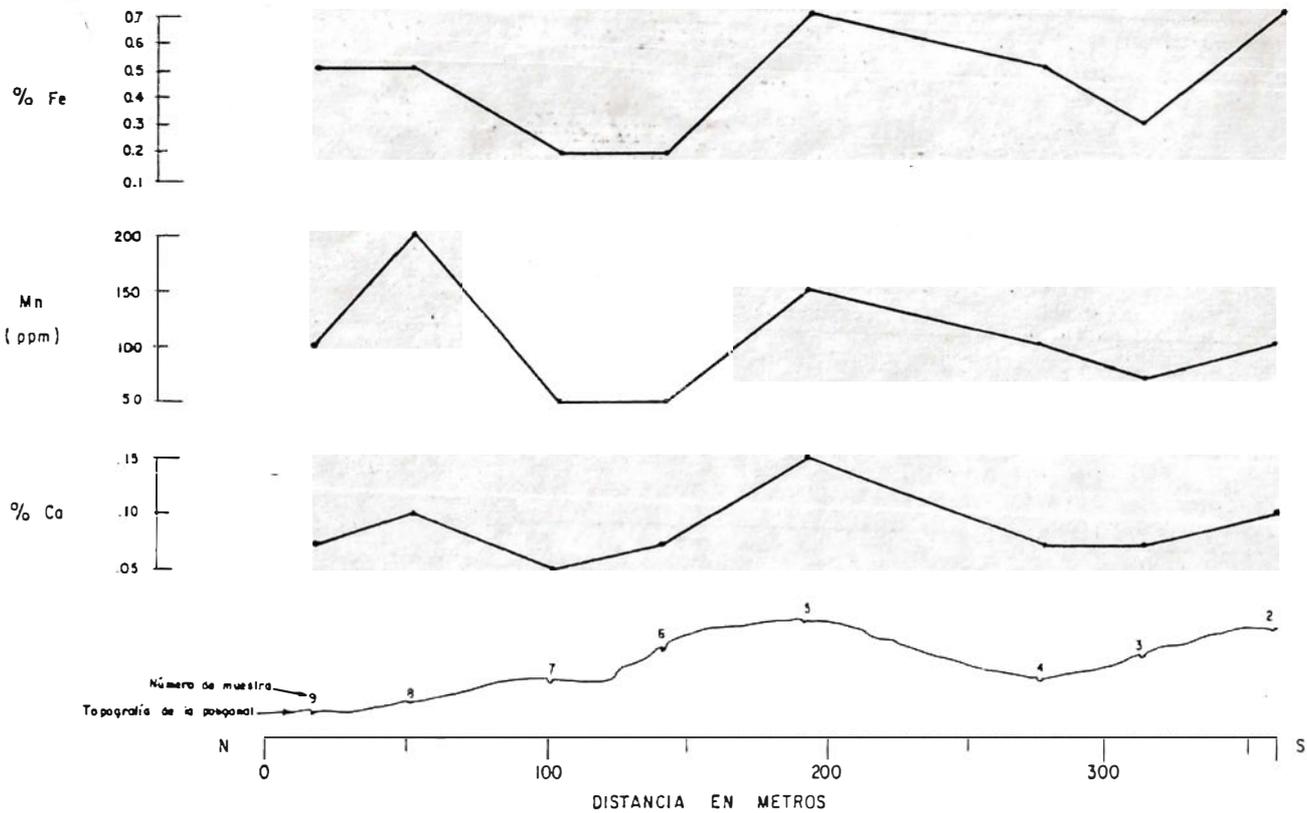
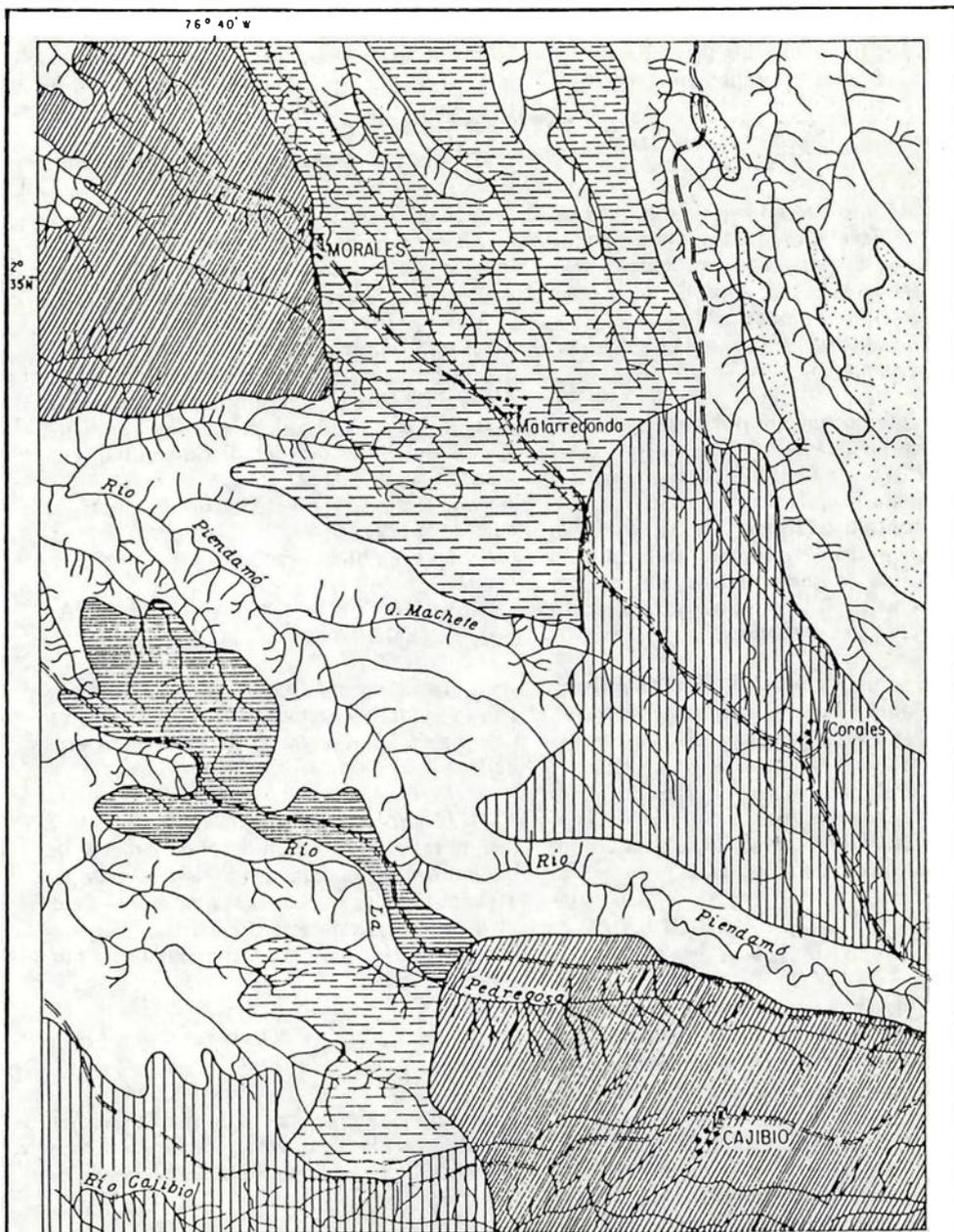


FIGURA 7. VARIACIONES DE Fe, Mn Y Ca EN MUESTRAS SUPERFICIALES Y RELACION CON LA TOPOGRAFIA



 35% del área con bauxita infrayacente.

 30% del área con bauxita infrayacente.

 25% del área con bauxita infrayacente.

 20% del área con bauxita infrayacente.

 10% del área con bauxita infrayacente.

 Terreno estéril.

0 1 2 3 4 km.  
Escala

FIGURA 8. DISTRIBUCION DE LOS DEPOSITOS DE BAUXITA EN EL AREA DE MORALES CAJIBIO

pas detallados (planchas 1 a 8) en los que se muestran los contornos de la capa bauxítica.

### EXPLOTACION DE LA ARCILLA BAUXITICA

Debido a lo delgado de la cubierta superficial que yace sobre el horizonte de arcilla bauxítica (ver perfil de la zona de meteorización, fig. 3), la explotación de los depósitos se reduciría a remover esta capa superficial con un buldozer y extraer la arcilla bauxítica a cielo abierto.

Un aspecto muy importante que debe considerarse en la explotación de estos suelos residuales en la factibilidad de rehabilitar las tierras para la agricultura una vez removido el horizonte bauxítico. Para tal efecto, la explotación podría contemplar un método que permitiera extender uniformemente sobre el terreno explotado la cubierta superficial removida en el descapote.

En los municipios de San Antonio y Villa Colombia (Valle) se explotan rudimentariamente, a pico y pala, depósitos de arcilla bauxítica residual similares a los de Morales y Cajibío. De allí se obtienen cerca de 1.000 toneladas de bauxita mensualmente, las cuales son empleadas en su totalidad para la producción de sulfato de alúmina.

### BENEFICIO DE LA ARCILLA BAUXITICA

La importancia económica de estas arcillas bauxíticas radica en la facilidad con que puede eliminarse la fracción arcillosa para obtener bauxita de alta calidad.

En San Antonio (Valle), la arcilla bauxítica se beneficia mediante un simple proceso de lavado y tamizado con agua; la arcilla es removida por el agua mientras los agregados gibsíticos quedan retenidos en la malla.

En algunas pruebas de laboratorio con muestras del área de Morales - Cajibío, se observó que la pérdida de humedad natural en la arcilla bauxítica causa dos efectos opuestos en el proceso de beneficio por el método de lavado y tamizado: Un efecto positivo, al favorecer el crecimiento de agregados gibsíticos, lo cual permite recuperar agregados más gruesos; y un efecto negativo, por que promueve la aglutinación de partículas de

óxido de hierro en granos de mayor tamaño, impidiendo la separación de agregados gibsíticos menores.

Estos ensayos indicaron que, aunque de la arcilla bauxítica previamente deshidratada pueden recuperarse agregados gibsíticos de mayor tamaño, mayor cantidad puede obtenerse del material que conserva su humedad natural. Cuando esta humedad se pierde, es posible recuperar los agregados mayores de 2 mm, equivalentes a un 15% (en peso) del material en base seca; los agregados menores de 2 mm no pudieron ser separados en la malla, por resultar tan gruesos como los granos de óxido de hierro. En cambio, empleando arcilla bauxítica sin secar, se obtuvieron agregados gibsíticos de 0,5 mm, los cuales representan un 25% (en peso) del material total en base seca.

### RESERVAS DE BAUXITA EN EL AREA MORALES - CAJIBIO

Tomando como base el mapa de la distribución de los depósitos (fig. 8) se hizo un cálculo de las reservas de bauxita en el área de Morales - Cajibío.

El proceso de cálculo de reservas está resumido a continuación y se indican las magnitudes calculadas para cada una de las 10 zonas que aparecen en el mapa de la figura 8. Al final, bajo el título "totales" aparecen los valores para la totalidad del área Morales - Cajibío.

Los valores se obtuvieron en la forma siguiente:

Porcentaje del área con arcilla bauxítica infrayacente: Este valor, para cada una de las zonas bauxíticas, está dado en el mapa de la figura 8.

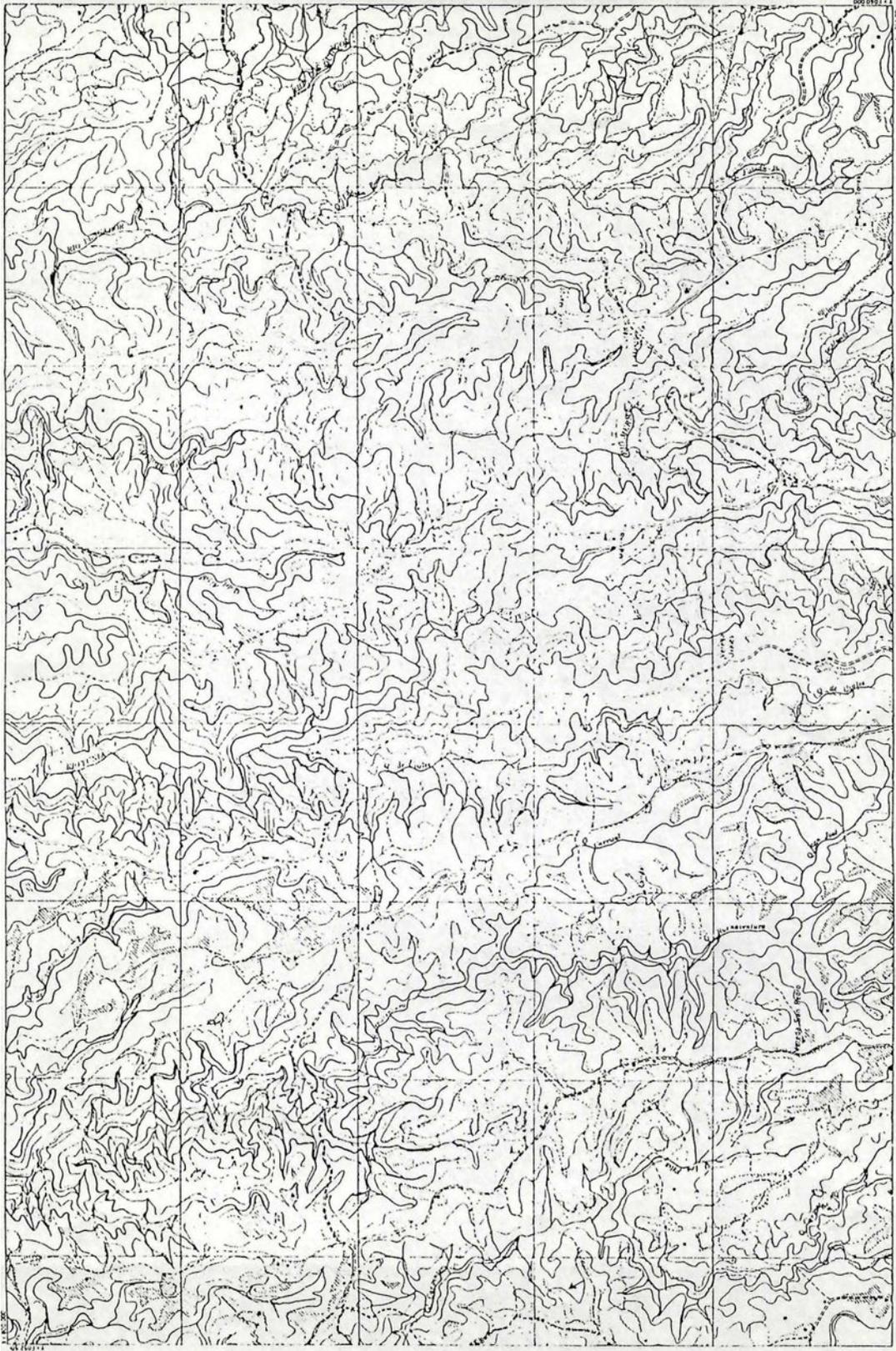
Area con arcilla bauxítica infrayacente: Resultado de multiplicar el área total de la zona por el porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente.

Volumen del horizonte bauxítico: Se obtiene multiplicando el área con arcilla bauxítica infrayacente, por el espesor promedio del horizonte bauxítico.

Densidad media de la arcilla bauxítica: Corresponde a la densidad de la arcilla bau-



MAPA DE LOS DEPOSITOS DE ARCILLA BAUNITICA EN EL AREA DE MORALES -CAJIBIO, DEPTO. DEL CAUCA

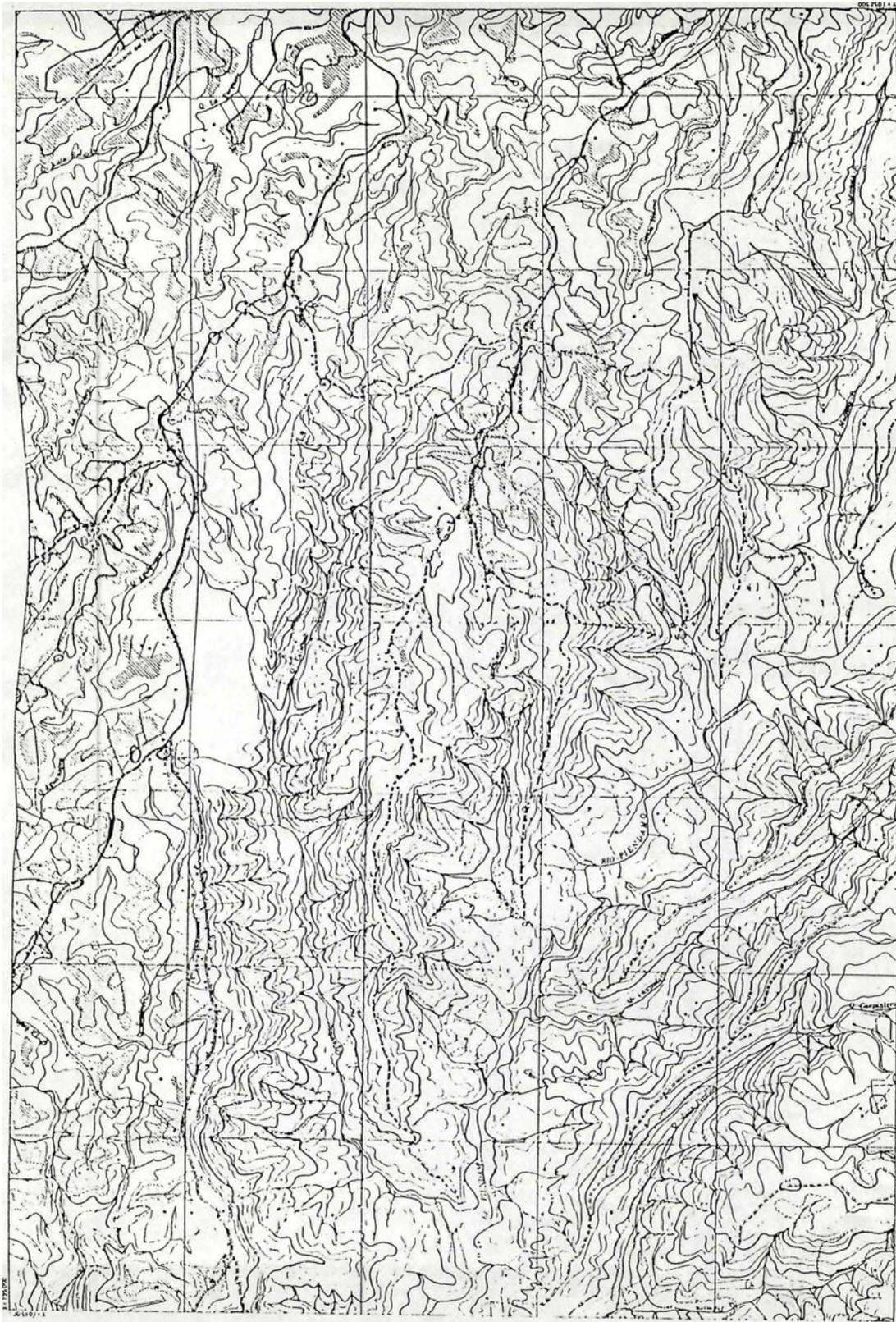


MAPA DE LOS DEPOSITOS DE ARCILLA BAUXITICA EN EL AREA DE MORALES-CAJIBIO, DEPTO. DEL CAUCA

PLANCHA N.º 2  
Escala 1:50,000

ESCALA 1:50,000

CONVENCIONES  
LINEAS DE BARRIO  
LINEAS DE CANTON



MAPA DE LOS DEPOSITOS DE ARCILLA BAUITICA EN EL AREA DE MORALES-CAJIBIO, DEPTO. DEL CAUCA

PLANCHA N° 3

MM 1154301:83

ESCALA 1:50,000

CONVENCIONES

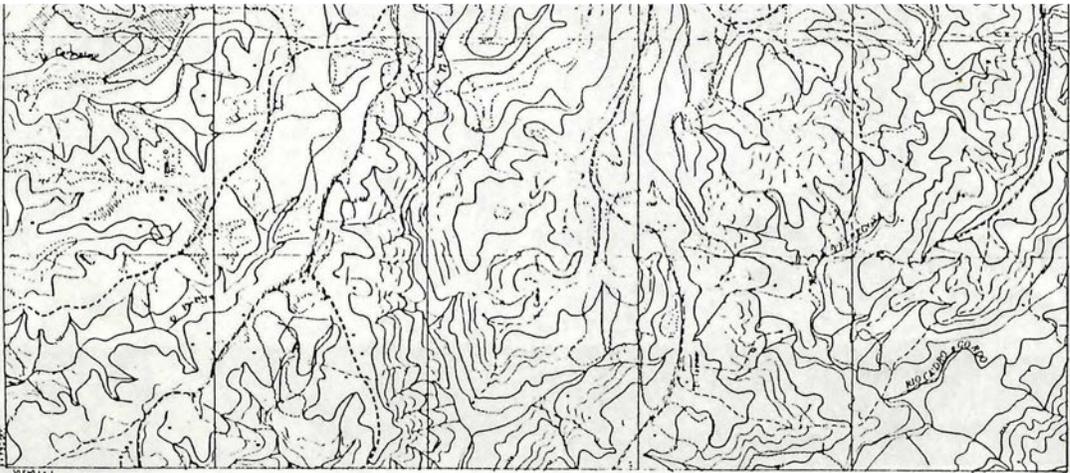
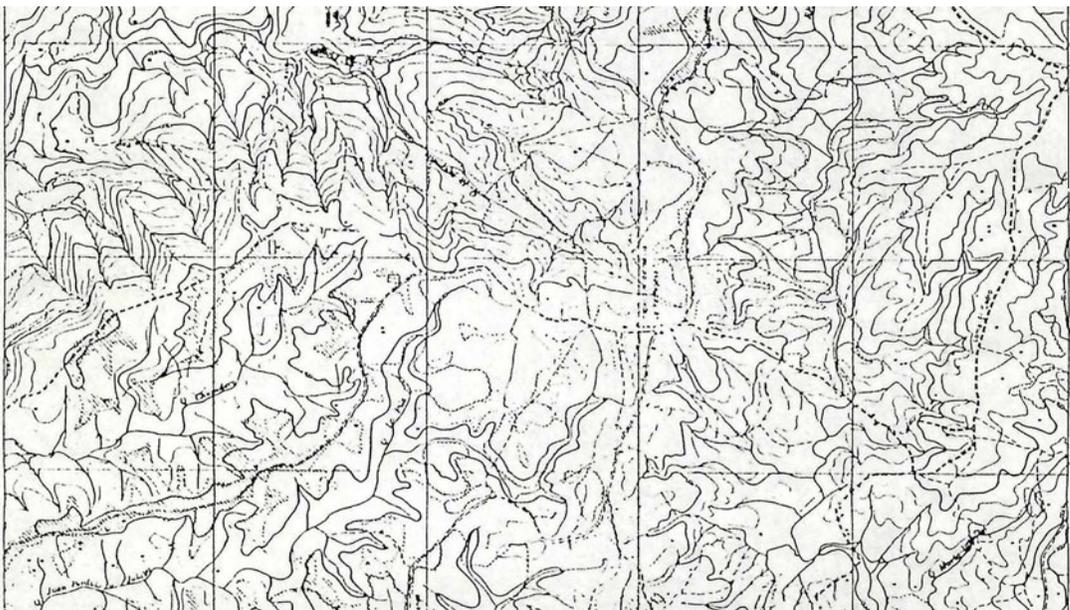
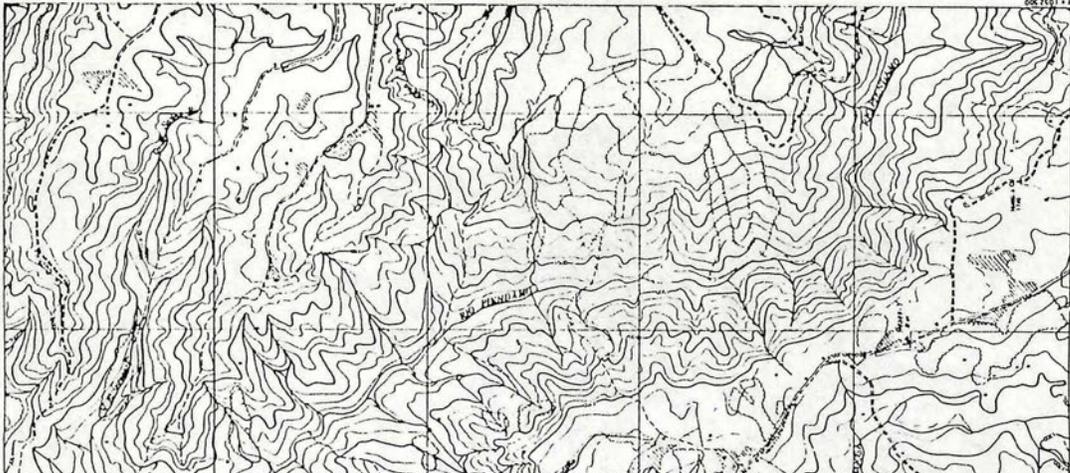
- ▲ PUNTO DE MUESTREO
- AREA DE DEPOSITO

1:50,000



MAPA DE LOS DEPOSITOS DE ARCILLA BAUXITICA EN EL AREA DE MORALES-CAJIBIO, DEPTO. DEL CAUCA

-  Área con depósitos de arcilla bauxítica
-  Área agrícola



PLANCHA Nº 8  
 No. 1541 NIZBI

MAPA DE LOS DEPOSITOS DE ARCILLA BAUXITICA EN EL AREA DE MORALES-CAJIBO, DEPTO DEL CAUCA

ESCALA : 1:25,000

CONVENCIONES  
 (Symbol) Rio (Symbol) Arroyo (Symbol) Camino



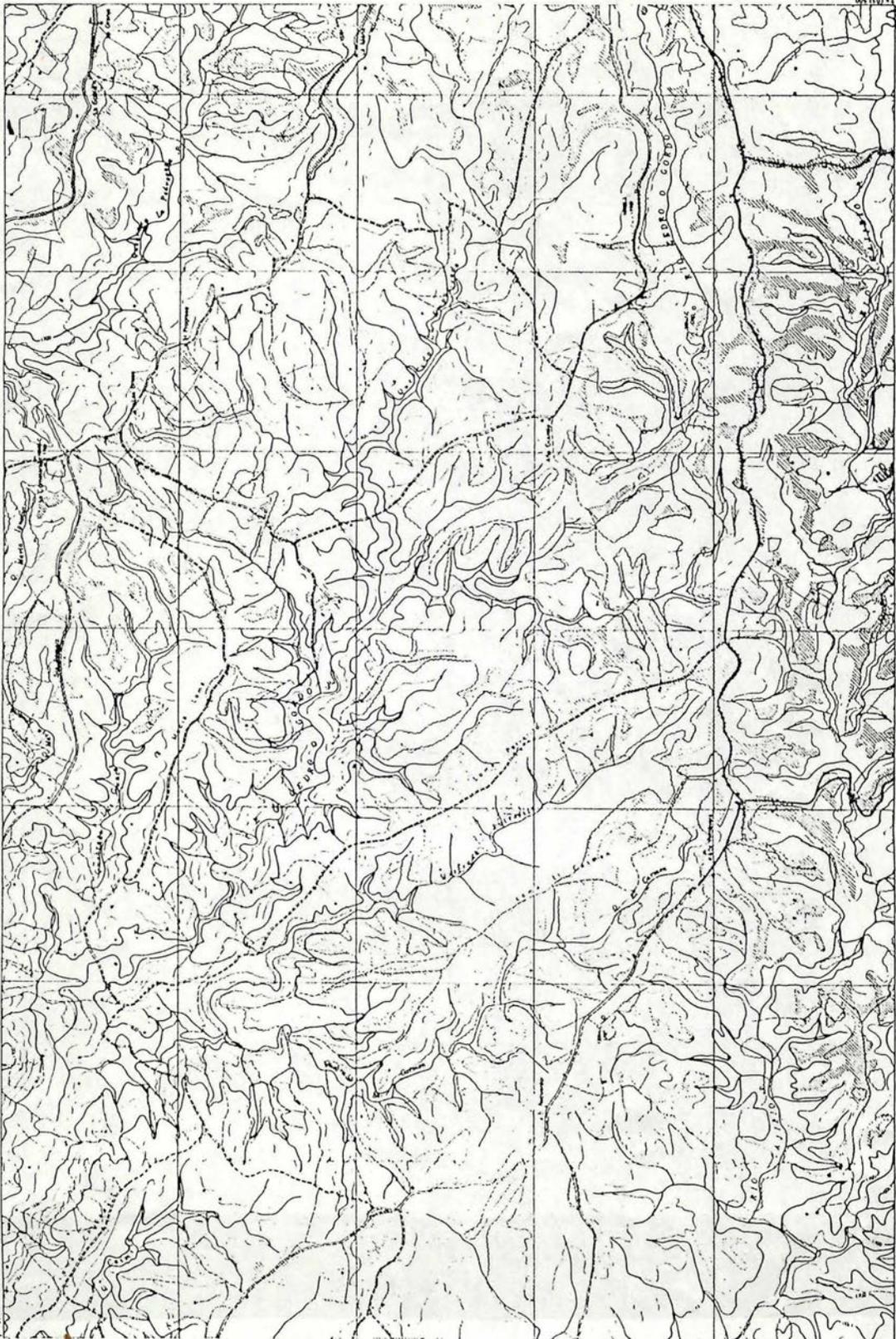
MAPA DE LOS DEPOSITOS DE ARCILLA BAUXITICA EN EL AREA DE MORALES-CAJIBIO, DEPTO. DEL CAUCA

PLANCHA N.º 11

CONVENCIONES

Escala

1:50,000



PLANCHA No 7  
MHI 1541 (M-2-53)

MAPA DE LOS DEPOSITOS DE ARCILLA BAUTITICA EN EL AREA DE MORALES-CAJIBIO, DEPTO. DEL CAUCA

ESCALA : 1:25,000

CONVENCIONES  
[Symbol] Rio en banco antiguo  
[Symbol] Rio actual



xítica en su estado natural. Se tomó un promedio de medidas efectuadas con hidrómetro sobre material "in situ".

Reservas de arcilla bauxítica: Resultado de multiplicar el volumen del horizonte bauxítico por la densidad media de la arcilla bauxítica.

Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda: Es la relación de pesos calculada en el laboratorio.

Reservas de arcilla bauxítica en base seca: Se obtiene multiplicando las reservas de arcilla bauxítica húmeda, por la relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda.

Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos: Se determinó en las pruebas sobre beneficio.

Reservas de agregados gibsíticos: Se obtiene multiplicando las reservas de arcilla bauxíticas seca, por el porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos.

ZONA 1

Area . . . . .	2.490,6 ha
Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	35%
Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	871,7 ha
Volumen del horizonte bauxítico. . . . .	21'792.500 m <sup>3</sup>
Densidad media de la arcilla bauxítica. . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Reservas de arcilla bauxítica húmeda. . . . .	32'688.750 ton
Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda. . . . .	50%
Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	16'344.375 ton
Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . . .	25%
Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado) . . . . .	4'086.084 ton

ZONA 2

Area . . . . .	4.734,5 ha
Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	20%
Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	946,9 ha
Espesor promedio del horizonte bauxítico. . . . .	2,0 m
Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	18'938.000 m <sup>3</sup>
Densidad media de la arcilla bauxítica. . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Reservas de arcilla bauxítica húmeda . . . . .	28'407.000 ton
Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda . . . . .	50%
Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	14'203.500 ton

Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . . .	25%
Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado) . . . . .	3'550.088 ton

ZONA 3

Area . . . . .	62,5 ha
Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	10%
Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	6,3 ha
Espesor promedio del horizonte bauxítico . . . . .	1,5 m
Volumen del horizonte bauxítico. . . . .	94.500 m <sup>3</sup>
Densidad media de la arcilla bauxítica . . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Reservas de arcilla bauxítica húmeda . . . . .	141.750 ton

Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda . . . . .	50%	Espesor promedio del horizonte bauxítico. . . . .	1,5 m
Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	70.875 ton	Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	1'087.500 m <sup>3</sup>
Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . . .	25%	Densidad media de la arcilla bauxítica. . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado)	17.719 ton	Reservas de arcilla bauxítica húmeda. . . . .	1'631.250 ton
<b>ZONA 4</b>		Relación entre arcillas bauxítica seca y húmeda. . . . .	50%
Area . . . . .	146,9 ha	Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	815.625 ton
Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	10%	Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos. . . . .	25%
Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	14,7 ha	Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado)	203.906 ton
Espesor promedio del horizonte bauxítico. . . . .	1,5 m	<b>ZONA 6</b>	
Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	220.500 m <sup>3</sup>	Area . . . . .	1.156,3 ha
Densidad media de la arcilla bauxítica. . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>	Porcentaje de área con arcilla infrayacente . . . . .	30%
Reservas de arcilla bauxítica húmeda. . . . .	330.750 ton	Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	346,9 ha
Relación entre arcilla bauxítica en base seca y húmeda	50%	Espesor promedio del horizonte bauxítico. . . . .	2,5 m
Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	165.375 ton	Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	8'672.500 m <sup>3</sup>
Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . . .	25%	Densidad media de la arcilla bauxítica. . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado)	41.344 ton	Reservas de arcilla bauxítica húmeda. . . . .	13'008.750 ton
<b>ZONA 5</b>		Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda. . . . .	50%
Area . . . . .	725,0 ha	Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	6'504.375 ton
Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente	10%	Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . . .	25%
Area con arcilla bauxítica infrayacente. . . . .	72,5 ha	Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado)	1'626.094 ton

		Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda . . . . .	50%
Area . . . . .	3.665,6 ha	Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	2'541.000 ton
Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . .	25%	Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . .	25%
Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	916,4 ha	Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado)	635.250 ton
Espesor promedio del horizonte bauxítico. . . . .	2,0 m		
ZONA 9			
Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	18'328.000 m <sup>3</sup>	Area . . . . .	3.337,5 ha
Densidad media de la arcilla bauxítica. . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>	Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . . . .	35%
Reservas de arcilla bauxítica húmeda. . . . .	27'492.000 ton	Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	1.168,1 ha
Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda. . . . .	50%	Espesor promedio del horizonte bauxítico. . . . .	2,5 m
Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	13'746.000 ton	Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	29'202.500 m <sup>3</sup>
Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . .	25%	Densidad media de la arcilla bauxítica. . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado)	3'436.500 ton	Reservas de arcilla bauxítica húmeda . . . . .	43'803.750 m <sup>3</sup>
ZONA 8			
		Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda. . . . .	50%
Area . . . . .	846,9 ha	Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	21'901.875 ton
Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . .	20%	Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . .	25%
Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	169,4 ha	Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado)	5'475.469 ton
Espesor promedio del horizonte bauxítico. . . . .	2,0 m		
ZONA 10			
Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	3'388.000 m <sup>3</sup>	Area . . . . .	1.451,1 ha
Densidad media de la arcilla bauxítica. . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>	Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . . . .	25%
Reservas de arcilla bauxítica húmeda . . . . .	5'082.000 ton	Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	363,3 ha

Espesor promedio del horizonte bauxítico . . . . .	2,5 m
Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	9'082.500 m <sup>3</sup>
Densidad media de la arcilla bauxítica . . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Reservas de arcilla bauxítica húmeda . . . . .	13'623.750 ton
Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda . . . . .	50%
Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	6'811.875 ton
Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . . .	25%
Reservas de agregados gibsíticos (bauxita de alto grado) . . . . .	1'702.969 ton
TOTALES	
Area total . . . . .	18.618,8 km <sup>2</sup>
Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	4.876,2 ha
Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	110'806.500 m <sup>3</sup>
Reservas de arcilla bauxítica húmeda . . . . .	166'209.750 ton
Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	83' 104.875ton
Reservas de agregados gibsíticos . . . . .	20'775.433 ton

#### RESERVAS DE BAUXITA EN LOS DEPARTAMENTOS DE CAUCA Y VALLE

La cartografía levantada en el área Morales - Cajibío permitió obtener suficiente información sobre el comportamiento de los depósitos para hacer un estimativo global de las posibles reservas de bauxita en los departamentos de Cauca y Valle. Con este propósito se hicieron algunos reconocimientos geológicos en las áreas que presentan características favorables para ocurrencias de bauxita.

Siguiendo un procedimiento esencialmente análogo al empleado en el cálculo de reservas para el área Morales - Cajibío, pero con menor grado de exactitud, se hizo un cálculo general del potencial de los depósitos en el Cauca y Valle incluyendo los de Morales - Cajibío. En el Cuadro 3 se indican las diferentes magnitudes estimadas.

Area total . . . . .	1.000 km <sup>2</sup>
Porcentaje de área con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	25%
Area con arcilla bauxítica infrayacente . . . . .	250 km <sup>2</sup>
Espesor promedio del horizonte bauxítico . . . . .	2,00 m
Volumen del horizonte bauxítico . . . . .	500'000.000 m <sup>3</sup>
Densidad media de la arcilla bauxítica . . . . .	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
Reservas de arcilla bauxítica húmeda . . . . .	750'000.000 ton
Relación entre arcilla bauxítica seca y húmeda . . . . .	50%
Reservas de arcilla bauxítica en base seca . . . . .	375'000.000 ton
Porcentaje de recuperación de agregados gibsíticos . . . . .	25%
Reservas de agregados gibsíticos . . . . .	93'750.000 ton

CUADRO 3. Cálculo de reservas de bauxita en los departamentos de Cauca y Valle.

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los aspectos más importantes relacionados con el posible aprovechamiento económico de los depósitos, son los siguientes:

1. El volumen de las reservas de arcilla bauxítica es suficiente para su explotación en gran escala.

2. La arcilla bauxítica, en su estado natural, presenta un contenido de impurezas demasiado alto para ser tratado directamente en una planta industrial.
  3. Las impurezas de la arcilla bauxítica se han podido eliminar en el laboratorio por lavado y tamizado con agua, lograndose una bauxita de alta calidad, apta para la obtención de alúmina y otros productos industriales.
  4. La misión técnica de las N.U. que recientemente visitó el país con el propósito de estudiar las perspectivas de industrialización de las bauxitas del Cauca, encontró bases suficientes para recomendar la realización de análisis industriales a escala de planta piloto con miras a promover la producción de aluminio en Colombia a partir de estas bauxitas (Sigmond, 1976).
- Formación Popayán como Recursos Potenciales de Bauxita en Colombia, Servicio Geológico Nacional, Inf. 1545 Inédito.*
- CLOUD, P.E. Jr., 1967.- Geology and Bauxite Deposits of the Rock run and Goshen Valley areas Northeast Alabama: U.S. Geological Survey, Bull, 1199-N, 74 p.*
- DUFRENOY, A., 1856.- Bauxites: Traité de Mineralogie, v.2, p. 347, 1845; v.3, p. 799, 1847; 2a. ed. v.2, p.467, París, 1856; Citado por Gordon M., et al, 1958.*
- FREDERICKSON, A.F., 1952.- The Genetic Significance of Mineralogy: Am. Inst. Mining Metall. Engineers, Problems of Clay and Laterite Genesis p. 1-11.*
- GOLDMAN, M. I., 1955.- Petrography of Bauxite Surrounding a core of Kaolinized Nepheline Syenite in Arkansas, Econ. Geol. v.50, p.586-609.*
- GORDON, M. Jr., TRACEY, J. I., Jr. and ELLIS, M. V., 1958.-Geology of the Arkansas Bauxite Region; U.S., Geol. Survey Prof. Paper 299, 268 p.*
- GRABAU, A.W., 1960.- Principles of Stratigraphy, 1a. edición, Dover publications, inc, New York.*
- HARDER, E.C., 1952.- Examples of Bauxite Deposit Illustrating Variations in Origin: Am. Inst. Mining Metall., Engineers, Problems of Clay and Laterite Genesis, 35-64.*
- HARDER, E.C., GREIG, E.W., 1960.-Bauxite en GILLSON, J.L., y otros, Industrial Minerals and Rocks, Nometallics other than fuels; 3a. edition, New York Am. Inst. Mining Metall. Petroleum Engineers, p. 65-85.*

#### REFERENCIAS CITADAS

- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE.- 1966.- Glossary of Geology and related Sciences, 2a. ed; Washington, D.C. Am. Geol. Inst.*
- BATEMAN, A.M., 1957.- Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico, 2a. edición, traducción de J. L. Amorós, Ediciones Omega S.A., Barcelona, p. 975.*
- CATHCART, J. B., 1970.- Phosphate Investigations in Colombia, 1969, a progress report, with a note on the aluminous laterite deposits of department of Cauca, U. S. Geological Survey, Colombia Investigations, p. 44.*
- , 1972.- Phosphate and bauxite investigations, Colombia, 1972, U.S. Geological Survey project report (IR) CO-26, p.62.
- CLOCKMANN, F. and RAMDORF, P., 1961.- Tratado de Mineralogía, editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 735 p. Translated from German by F. Pardo.*
- CUCALON, I. y RESTREPO, H., 1969.- Lateritas Gibsíticas en la Costra de la*
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, 1969.- Atlas de Colombia. Litografía Arco, Bogotá, 2a. ed., 219 p.*
- KERR, P.F., 1959.- Optical Mineralogy, 3a. ed., McGraw-Hill Book, Co., New York.*

- MILLIGAN, W.O., and McATEE, J.L., 1952.- *The Structure of Hydrous Aluminum Oxides and Hydroxides*, Am. Inst. Mining Metall. Engineers, *Problems of Clay and Laterite Genesis*, p.94-99.
- MILLAR, C.E., TURK, L.M., and FOTH, H. D., 1966.- *Fundamentals of Soil Science*; John Willey and Sons, Inc., ed. 491 p.
- MOHR, E.C.J., 1930.- *De Grond van en Sumatra*: 2a. ed., Amsterdam. English Translations by Pendleton R. L., 1933, *Tropical Soils with Special Reference to Java and Sumatra*: Peiping, China Natl. Geol. Survey.
- ORDOÑEZ, R., 1968.- *Preliminary Report on the Bauxite Deposits of Morales Cauca, Southwestern Colombia*. Inédito.
- , 1969.- *Depósitos de Bauxita en el Norte del Cauca como bases para Industria del Aluminio*, Química de Abrasivos Refractarios. Inédito.
- PATTERSON, S.H., 1967.- *Bauxite Reserves and Potencial Aluminium Resources of the World*; U.S. Geol. Survey Bull, p.176.
- ROSAS, G.H., 1970.- *Bauxitas del Cauca*, Segundo Congreso Nacional de Minería, Manizales, Vol. 2.
- , 1971.- *Depositos Bauxíticos en Morales y Cajibío, Cauca y nota sobre Recursos de Bauxita en los Departamentos de Cauca y Valle del Cauca*; Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras, presentado III Congreso Nacional de Minería, Bucaramanga, Colombia.
- , 1973.- *Bauxite in the Morales - Cajibío Area, Cauca, Colombia*. Presentado al III Congreso Internacional ICSOBA, Niza, Francia.
- SIGMOND, G., 1976.- *Report of the Technical Advisory Mission concerning technical assistance for the Establishment of the Aluminium Industry Using Indigenous raw Materials and Hydroelectric Energy in Colombia: United Nations Industrial Development. Organization IS/COL/75/012/11-01.*