

# METEORIZACION QUIMICA EN LA PARTE OCCIDENTAL DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS GUATAPE Y SAN CARLOS\*

\*\* Mario González Betancur

## 1. INTRODUCCION

Este trabajo tiene como objetivo, estudiar la secuencia y caracterización de los horizontes de meteorización del perfil, en las cuencas de los ríos Guatapé y San Carlos ( Véase Figura 1 ) con base en las propiedades mineralógicas y mecánicas.

Se estudió la secuencia de meteorización de la Cuarzodiorita del Batolito Antioqueño en un ambiente tropical húmedo ( 17°a 24° de temperatura y 2.000 a 4.000 mm. de precipitación ) obteniéndose un perfil generalizado, el cual sirvió de base para el estudio de las propiedades mineralógicas y mecánicas del mismo.

## 2. RESULTADOS

### 2.1. *Introducción*

En una Región Tropical húmeda, los mecanismos de alteración de los minerales están ligados a las altas precipitaciones y en menor grado a las variaciones de temperatura; de allí que los principales procesos de meteorización química sean aquellos en los cuales actúa el agua como agente de reacción: Hidrólisis, Oxidación-Reducción, Hidratación y Solución.

Estos procesos generan un regolito bastante profundo en las zonas de topografía suave, mientras que en las regiones de pendientes abruptas, es menos espeso ya que en estas predominan los procesos de erosión.

### 2.2. *Perfil de Meteorización Generalizado*

Aunque no en todos los sitios, puede observarse la secuencia de meteorización completa, es posible establecer un perfil de meteorización generalizado, a partir de las correlaciones establecidas entre los horizontes de las diferentes estaciones analizadas (ver Figura 2 ). Predominando la formación de arcillas en los horizontes superiores y la paulatina desintegración de los minerales

---

\* Condensado de un Proyecto de grado.

\*\* Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional. Medellín.



FIGURA 1 . Mapa general de localización.

de la roca original a medida que se avanza en profundidad. Los suelos residuales del Batolito Antioqueño, se pueden dividir en cinco horizontes así :

- HORIZONTE I

Horizonte orgánico. Superficialmente está recubierto por pastos matorrales y arbustos. En ocasiones está desarrollado sobre una capa de ceniza volcánica, la cual no tiene ninguna relación con el material infrayacente derivado del Batolito Antioqueño. Su espesor promedio es de 0.40 m .

- HORIZONTE II

Está compuesto por arcillas limosas de color naranja a café rojizo. Debido a la alta descomposición que ha sufrido la roca , los rasgos texturales y estructurales han desaparecido por completo. Espesor promedio 1.90 m .

- HORIZONTE III

Horizonte Transicional. Está compuesto por arenas limosas de colores muy variados : amarillo rosáceo y violeta rojizo con motas blancas, producidas por alteración de feldespatos. Ha perdido parcialmente la textura original de la roca, presentándose al observador en forma de parches de saprolito bordeados por materiales limo arcillosos y/o arcillo limosos. El espesor promedio de este horizonte es 1.15 m .

- HORIZONTE IV

Saprolito. Está compuesto por arenas limosas de colores amarillo, rosado, granate, gris, etc. Algunas veces estos colores se combinan de tal manera que dan saprolitos abigarrados. Dado el grado de descomposición de la roca, en el saprolito, se conservan los rasgos texturales y estructurales de la roca original. Su espesor varía : en cortes entre 3 y 11.5 m; en perforaciones hasta 45 m.

En los horizontes III y IV, es muy común, la presencia de núcleos de exfoliación de diámetros y proporción variable, los cuales pasan unas veces gradacionalmente y en otras tajantemente a saprolito.

HORIZONTE V

Gruss. Producto de la desintegración granular del granito o rocas graníticas. Debe destacarse la naturaleza polimineral de sus fragmentos en los cuales se conservan todos los minerales relativamente frescos ( conservan su textura ).

Una característica muy importante de la roca en este grado de meteorización es su alta friabilidad que permite reducirla a una arena gruesa.

## HORIZONTE VI

Roca Fresca. Como decíamos anteriormente es una cuarzodiorita de grano medio, masiva y equigranular, compuesta por: andesina, cuarzo, ortosa ( muy poca cantidad ), biotita, hornblenda y accesorios; los cuales no fueron tenidos en cuenta en este trabajo ( Feininger et al 1972 ).

Esta roca presenta una gran variedad de conjuntos de fracturas y microfallas, las cuales en algunos sitios se combinan de tal manera que forman bloques de aspecto paralelepípedicos.

### 2.3. Mineralogía del perfil de meteorización generalizado

En esta sección se analiza la composición, variación y transformación de los Feldespatos, Biotita, Hornblenda y Cuarzo en el perfil de meteorización generalizado.

#### 2.3.1. Roca Fresca y Gruss ( Estudio con microscopio polarizante)

- FELDESPATOS: En la roca fresca se presentan en granos euhedrales de brillo vítreo o perlado conservando sus marcas, planos de clivaje, zonaciones, etc.

Superficialmente se encuentran alterados a materiales finogranulares de aspecto escamoso y brillo sedoso ( sericítica ? ).

En el gruss se intensifica la alteración sericítica? y los granos se dividen en fragmentos de diferentes tamaños los cuales conservan en parte las características texturales de la roca fresca.

Un aspecto que merece tenerse en cuenta es los diferentes grados de alteración que presentan sus granos: los Feldespatos zonados presentan un grado de alteración más avanzado en sus núcleos mientras que sus bordes permanecen más frescos. Esto es debido a la presencia de Feldespatos más cálcicos en su centro los cuales son más vulnerables a los procesos de meteorización química.

BIOTITA : En la roca fresca se presenta en granos perfectamente euhedrales ( Hexagonales ) de color negro, brillo reluciente y pleocronismo entre amarillo pálido y café oscuro.

En el gruss, los granos pierden su forma, brillo y el color

se torna un poco más claro; disminuyen la intensidad de los colores de interferencia y pleocronismo y los planos de clivaje se ven manchados por óxidos de Fe. de color café oscuro.

**HORNBLENDA :** Con excepción de una leve oxidación en los planos de clivaje del gruss, no presenta cambios apreciables en el gruss ni en la roca fresca.

**CUARZO :** En la roca fresca se encuentra en granos anhedral de brillo vítreo, algo translúcidos, superficie muy limpia y poco fracturado. Fuera de la fracturación de los granos, en el gruss, no ha sufrido modificaciones sustanciales.

### 2.3.2. Regolito ( Saprolito, horizonte transicional y horizonte limo arcilloso ).

Estos análisis fueron hechos por el método de conteo de granos en el microscopio binocular.

La variación mineralógica que presentan los feldespatos alterados, biotita, hornblenda y cuarzo a través del perfil de meteorización ( variación con la profundidad ) es la siguiente:

- Los Feldespatos alterados y la biotita alterada decrecen proporcionalmente de la roca fresca hacia la superficie.
- Hornblenda: desaparece por completo en el saprolito transformándose en óxidos de Fe de color café rojizo, porosos y fibrosos.
- Cuarzo: disminuye con la profundidad.
- Óxidos de Fe : presentan un comportamiento errático a través del perfil.

### 2.3.3. Minerales de alteración formados a partir de Feldespatos , Biotita y Hornblenda.

Estas determinaciones fueron hechas por medio de la difracción de rayos X y a partir de sus resultados se concluyó lo siguiente:

#### ROCA FRESCA.

No presenta ningún cambio con respecto a sus minerales primarios.

## GRUSS

De las muestras analizadas se obtuvo lo siguiente :

### Feldespatos alterados

- Feldespato inalterado sin gibbsita en unas muestras.
- Coexistencia de gibbsita con feldespato inalterado y parcialmente alterado en otras.

### Biotita alterada

En algunas muestras Biotita inalterada acompañada por hidrobiotita. En otras hidrobiotita únicamente.

### Hornblenda

No se observó ningún mineral de alteración con excepción de una muestra en la cual aparece hidrobiotita. Este mineral puede ser debido a impurezas de biotita.

## SAPROLITO

La Evolución que presentaron los minerales en este grado de meteorización fué la siguiente:

### Feldespatos alterados

- Aparición de caolinita con gibbsita, desaparición del feldespato original.
- Restos de Feldespatos y aparición de caolinita.
- Desaparición del feldespato y aparición de caolinita.

### Biotita alterada

En todos los casos se notó la desaparición completa de la biotita original siendo reemplazada por :

- Caolinita
- Caolinita con gibbsita
- Caolinita con hidrobiotita
- Hidrobiotita

### Hornblenda alterada

En ninguna de las muestras, se observaron remanentes; aparentemente sufrió una transformación completa a óxidos de Fe u otros minerales secundarios.

### 2.3.4. Interpretación de los Resultados Mineralógicos.

La coexistencia de gibbsita con Feldespato inalterado en el Gruss y su asociación con caolinita en el saprolito, permite concluir que el proceso de alteración es el siguiente :

Plagioclasa  $\longrightarrow$  Gibbsita  $\longrightarrow$  Caolinita

La coexistencia de Feldespatos y caolinita en el saprolito, con exclusión de gibbsita hace pensar que la segunda secuencia también es posible :

Plagioclasa  $\longrightarrow$  Caolinita  $\longrightarrow$  Gibbsita

Aquí tiene importancia la recombinación de la sílice en la zona de pendientes más bajas o menos drenadas.

La coexistencia de biotita inalterada acompañada por hidrobiotita en el gruss y las asociaciones caolinita - hidrobiotita, caolinita - gibbsita en el saprolito hace pensar que la secuencia de transformación de la biotita es la siguiente :

Biotita  $\longrightarrow$  Hidrobiotita  $\longrightarrow$  Caolinita  $\longrightarrow$  Gibbsita

### 2.4. *Propiedades físico mecánicas del perfil de meteorización generalizado*

En este numeral se describen las propiedades físico-mecánicas intrínsecas de los horizontes de meteorización II, III y IV del perfil de meteorización generalizado.

Las propiedades de los horizontes I ( orgánico ), V ( Gruss ) y VI ( Roca Fresca ) no fueron tenidas en cuenta.

#### HORIZONTE II

Relación de vacíos :	0.64	-	1.16
Porosidad :	39	-	54%
Densidad seca :	1.20	-	1.65 gr/cm <sup>3</sup>
Límite líquido :	40	-	58%
Límite plástico :	34	-	50%
Índice de plasticidad :	1	-	15%
Clasificación unificada :	M1a	Mh .	Impera el M1 sobre el Mh.
Permeabilidad :	10 <sup>-6</sup>	-	10 <sup>-5</sup> cm/seg

Cohesión :	0.15	-	1.20	Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción interna :	9	-	33°	
Resistencia a la compresión simple :	0.64	-	1.26	Kg/cm <sup>2</sup>

### HORIZONTE III

Relación de vacíos :	0.85	-	1.02	
Porosidad :	46	-	50%	
Densidad seca :	1.25	g/cm <sup>3</sup>		
Límite líquido :	41	-	46%	
Límite plástico :	35	-	45%	
Índice de plasticidad :	1	-	6%	
Permeabilidad :	10 <sup>-4</sup>	cm/seg		
Resistencia a la compresión simple	0,76	-	1.00	Kg/cm <sup>2</sup>

### HORIZONTE IV (saprolito)

Relación de vacíos :	0.93	-	1.23	
Porosidad :	48	-	55%	
Densidad seca :	1.21	-	1.40	g/cm <sup>3</sup>
Límite líquido :	33	-	43%	
Límite plástico :	30	-	42%	
Índice de plasticidad :	0	-	9%	
Permeabilidad :	10 <sup>-4</sup>	-	10 <sup>-3</sup>	cm/seg
Cohesión :	0.10	-	0.80	Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción interna :	20	-	30°	
Resistencia a la compresión simple	0.24	-	0.95	Kg/cm <sup>2</sup>

\*Continuación .....

## \*VARIACION DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS CON LA PROFUNDIDAD

### CONTENIDO DE FINOS

El contenido de finos presenta una tendencia a disminuir con la profundidad, llegando a decrecer hasta el 32% del total en el horizonte saprolítico. En el horizonte limo arcilloso es siempre mayor del 50%.

En la Figura 3 se observan graficamente los resultados anteriores y en la 4 el campo granulométrico de los horizontes de meteorización II, III y IV.

### RELACION DE VACIOS

La relación de vacíos presenta una dispersión mayor en el horizonte limo arcilloso que en el saprolito. Esto puede ser debido tanto al mayor número de muestras analizadas en el horizonte limo arcilloso como a la variedad de procesos que actúan a través del perfil: en el horizonte limo arcilloso opera el fenómeno de transporte en suspensión y deposición de partículas de arcilla.

En el saprolito el proceso dominante es la erosión química que transporta en solución los elementos constituyentes de los minerales de la roca. La menor relación de vacíos encontrada en el horizonte limo arcilloso está relacionada con la depositación de minerales de arcilla que ocurre en la parte superior del perfil. Estos resultados se pueden apreciar en la Figura 5.

### DENSIDAD SECA

La densidad seca presenta una relación de tipo inverso con respecto a la relación de vacíos, ver Figura 6.

### PLASTICIDAD

Al analizar las Figuras 7, 8 y 9, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Los límites de Atterberg son en general menores en el horizonte saprolítico que en el limo arcilloso.

- El rango de variación de los límites es menor en el horizonte saprolítico que en el limo arcilloso.
- Ninguno de los límites presenta una variación regular con la profundidad.
- En la carta de plasticidad de Casagrande se puede observar que los horizontes II y IV presentan campos perfectamente diferenciables.

El horizonte transicional con límites entre 40 y 43 . comparte los campos de los horizontes II y IV .

#### PERMEABILIDAD

Los horizontes de meteorización del perfil, presentan valores para los coeficientes de permeabilidad, perfectamente diferenciables : el II entre  $10^{-6}$  y  $10^{-5}$  cm/seg ; el III  $10^{-5}$  y  $10^{-4}$  cm/seg y el IV  $10^{-4}$  y  $10^{-3}$ .

En estos resultados, la permeabilidad más alta del horizonte IV, se debe al proceso de erosión química que saca en solución gran parte de los constituyentes de la roca aumentando la relación de vacíos y permeabilidad ( Deere et al, 1971 ).

#### COHESION

La cohesión presenta valores muy dispersos tanto en el horizonte limo arcilloso como en el saprolítico. Esta dispersión es menos acentuada en el saprolito. A pesar de lo anterior, los suelos del horizonte II poseen una mayor cohesión, la cual se debe en su mayor parte a su relativo mayor contenido de finos. ( Ver Figura 10 ).

#### ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA

El ángulo de fricción interna presenta valores en un rango muy alto en el horizonte limo arcilloso. En el saprolito, los valores se encuentran en un rango más estrecho que se mantiene dentro de la mitad superior del rango de valores del horizonte limo arcilloso. Ver Figura 11 .

A pesar de lo anterior, estos valores presentan una leve tendencia a incrementarse con la profundidad, tendencia que puede ser reafirmada cuando se aumente el número de datos en trabajos posteriores.

## RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

La resistencia a la compresión simple presenta una tendencia general a disminuir con la profundidad, particularmente en el saprolito.

La mayor resistencia a la compresión simple en los suelos del horizonte II, se debe en su mayor parte a la cohesión y a la carencia de textura que hace que el saprolito sea bastante deleznable.

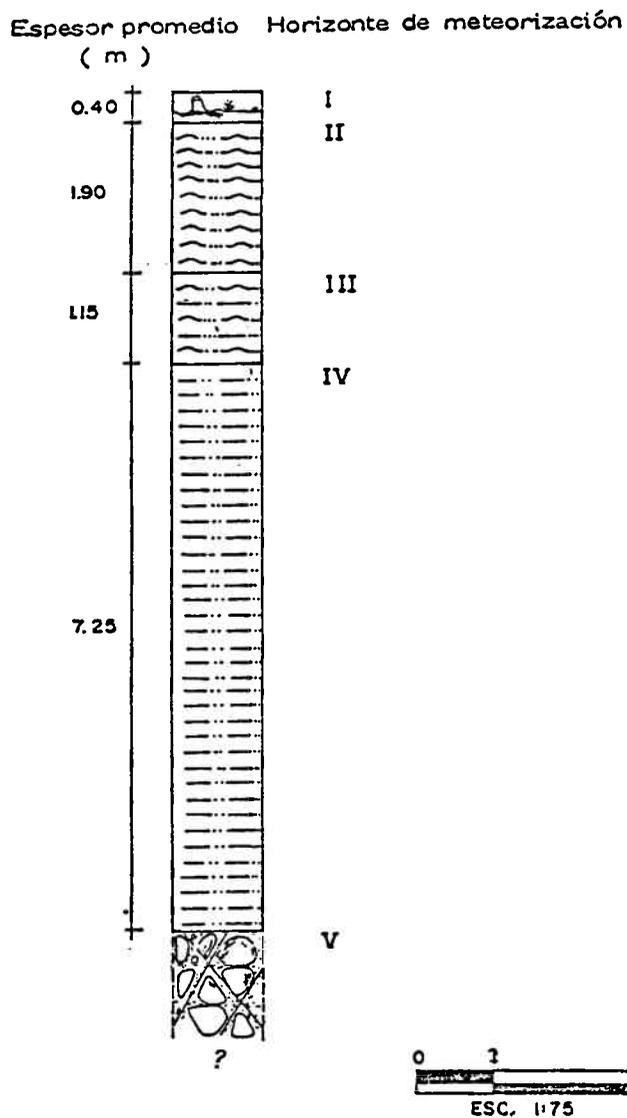


FIGURA 2. Perfil de meteorización generalizado.

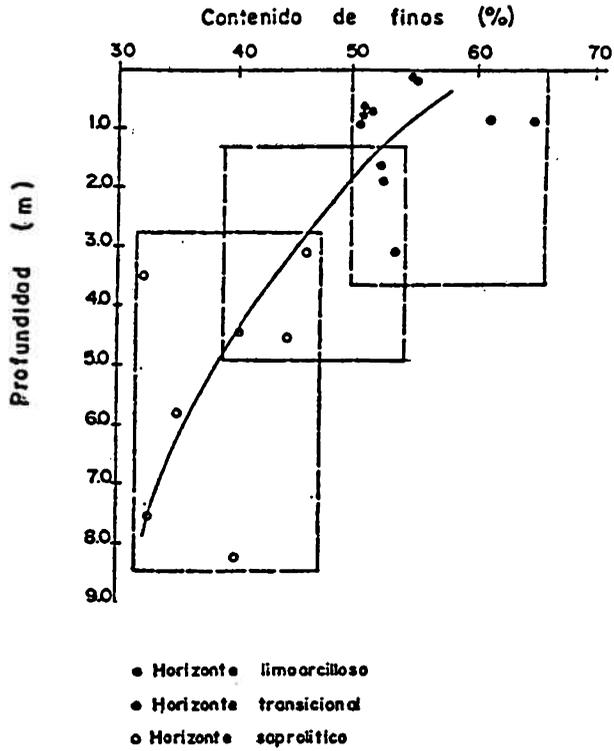


FIGURA 3. Contenido fino Vs profundidad.

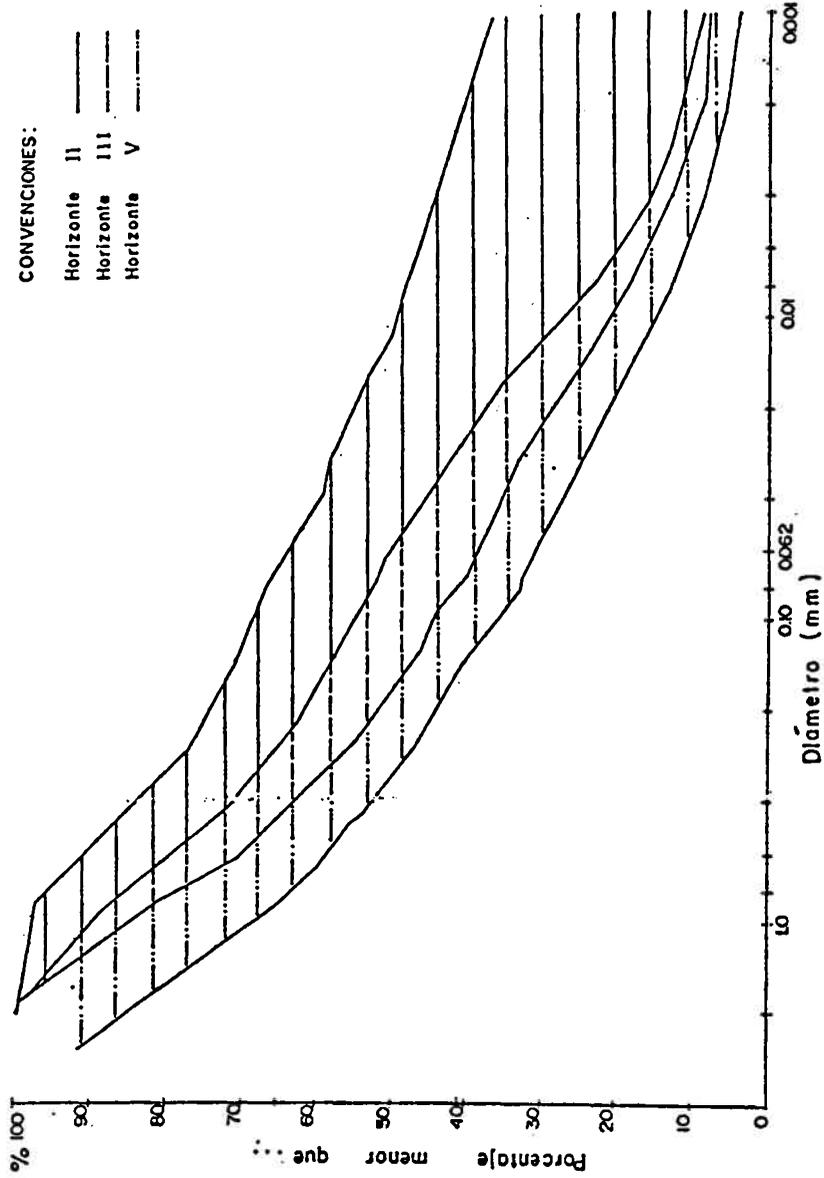


FIGURA 4 Campo granulométrico de los horizontes de meteorización II, III y IV del perfil generalizado.

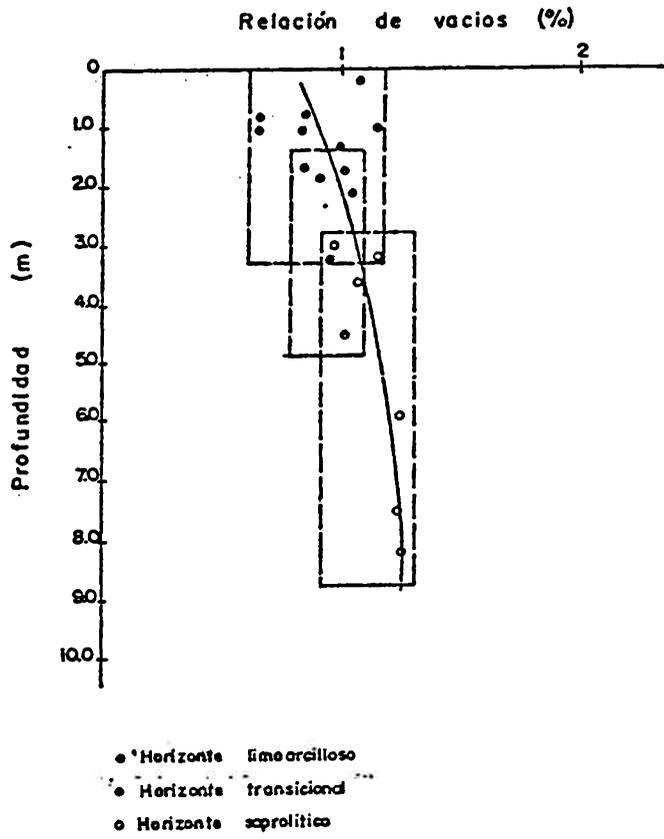


FIGURA 5 . Relación de vacíos Vs profundidad.

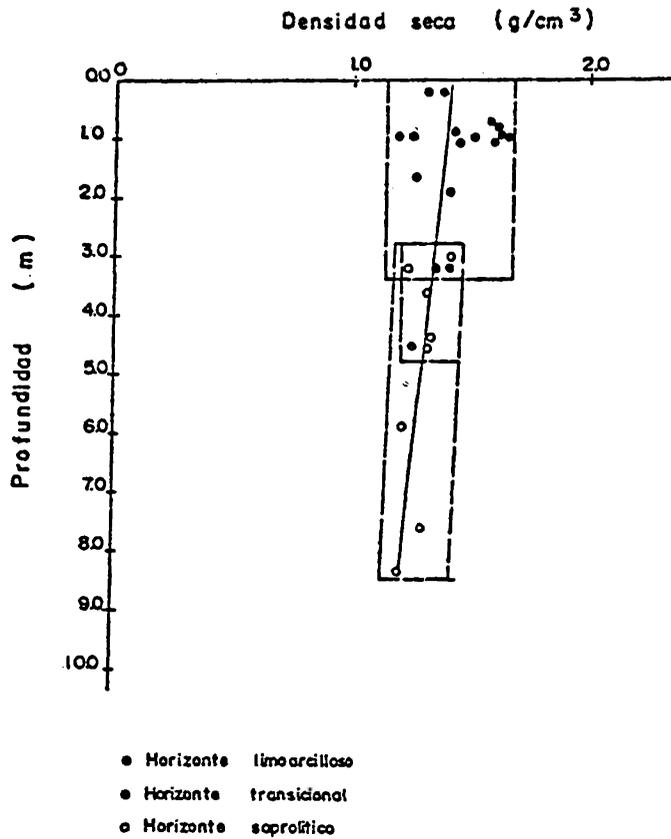


FIGURA 6 . Densidad seca Vs profundidad.

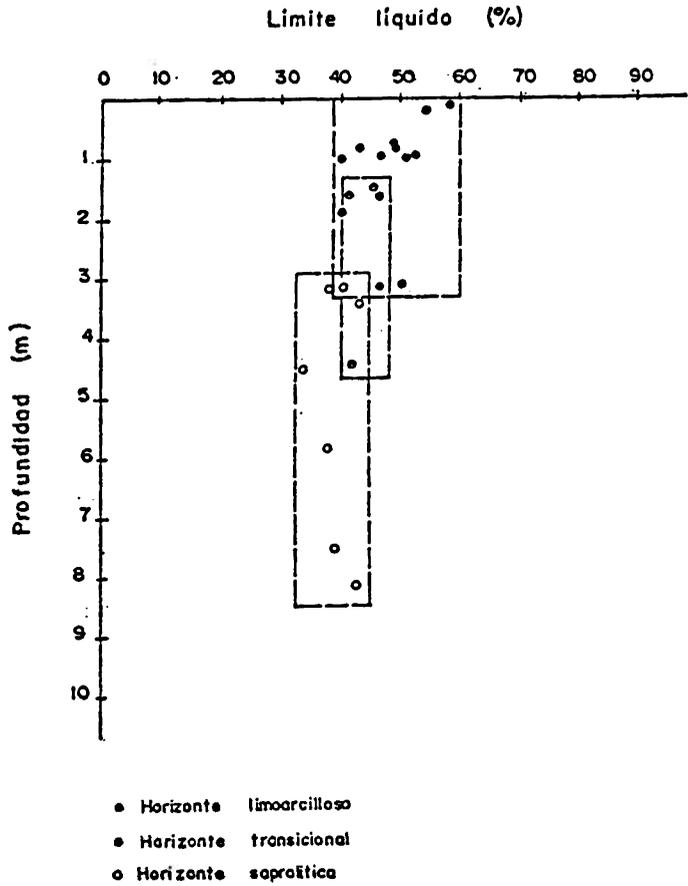


FIGURA 7. Límite líquido Vs profundidad.

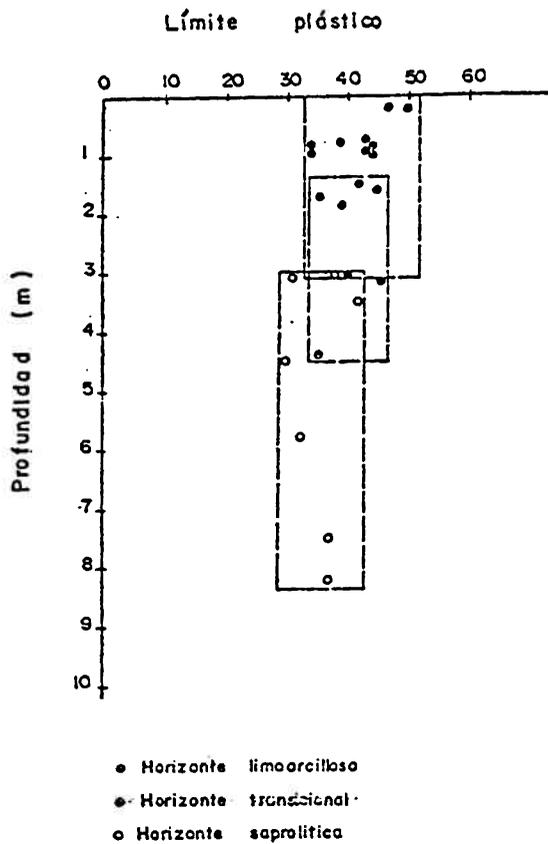


FIGURA 8. Límite plástico Vs profundidad.

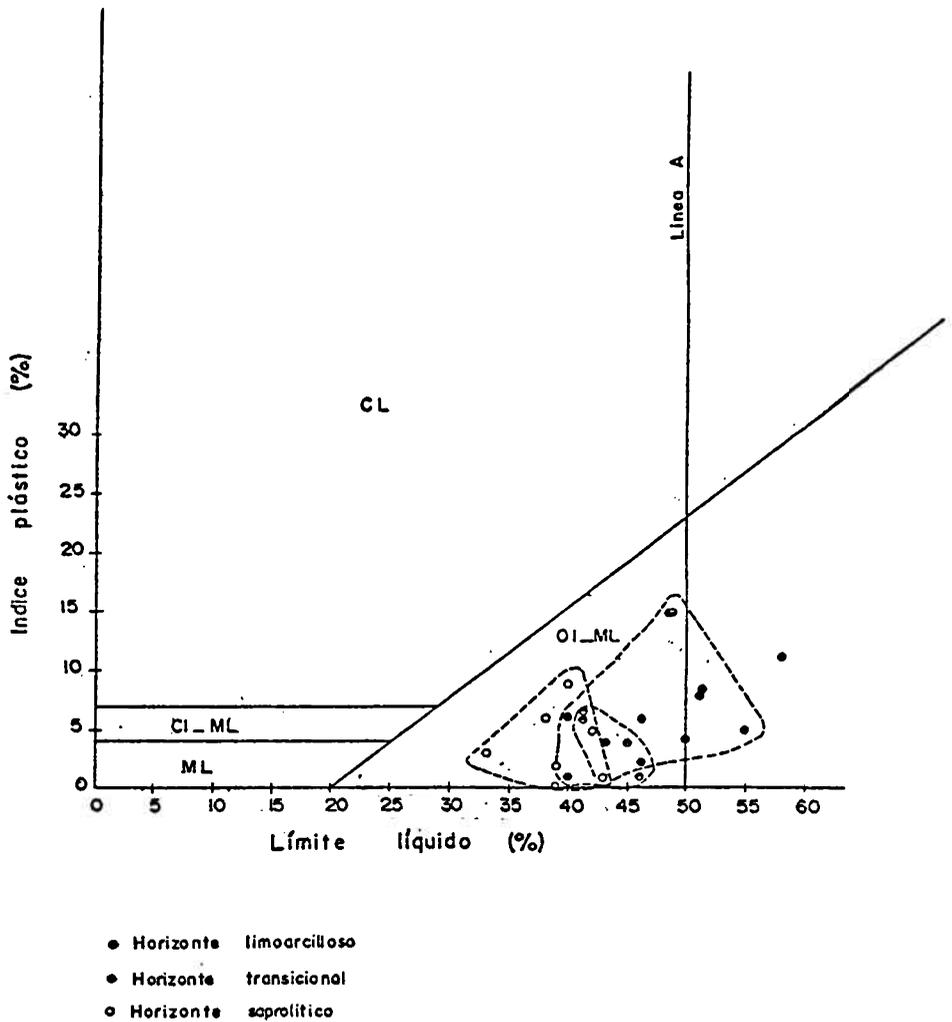


FIGURA 9. Carta de plasticidad de A Casagrande.

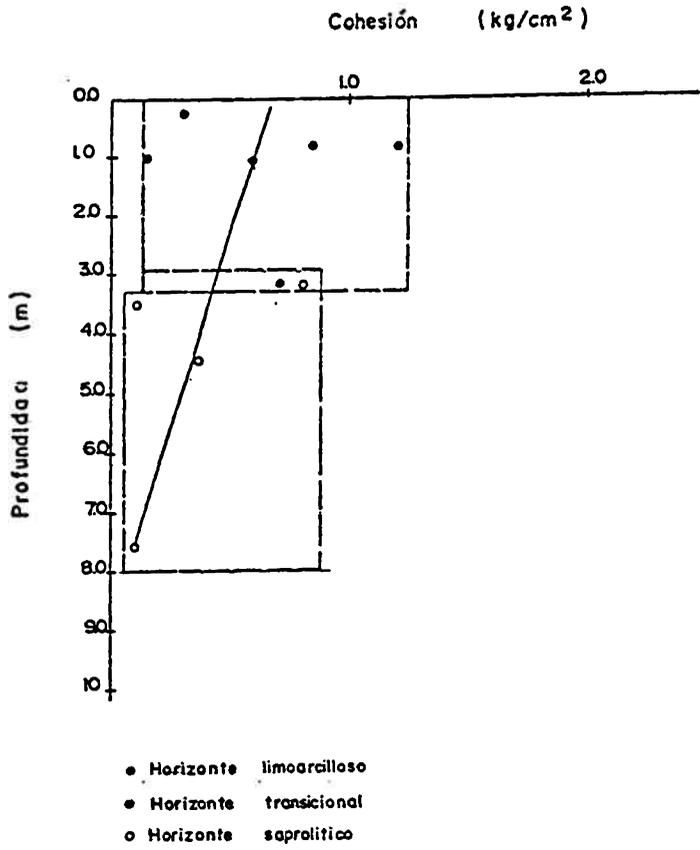


FIGURA 10. Cohesión Vs profundidad.

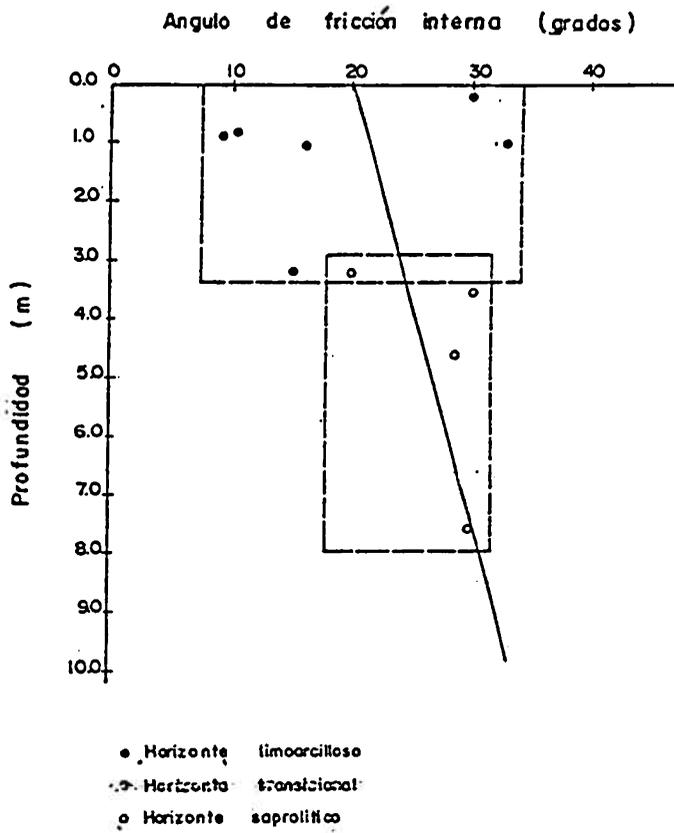


FIGURA 11. Angulo de fricción interna Vs profundidad.

## B I B L I O G R A F I A

- ALEZANDER, L.T., and CADY, J.G. Genesis and hardening of laterite in soil. U.S.D.A. Techn Bull. New York, No. 1282, 90p. 1962.
- BATES, F.L. and JACKSON, T. Glossary, of geology. 2ed. New York, American Geological Institute, 1980. 749p.
- BOTERO, Gerardo. Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. Anales de la Facultad de Minas. Medellín, No. 57 101p. 1963.
- BUREAU OF YARDS AND DOCKS. Desing manual. Soil Mechanics, foundations and earth structures. New York, U. S. Navy, 1962. 980p.
- CARROL, D Rock weathering. New York, Plenum press, 1970. 203p.
- CARRILLO, Josue. Propiedades físicas de los suelos derivados del Batolito Antioqueño. Tesis Ing., Geolog. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Facultad Nacional de Minas, 1973. 78p.
- DEERE, D.U. et al. Estabilidad de taludes en suelos residuales. New York, American Society of civil Engineers, 1971. 420p.
- DELVIGNE, J. Pedogenese en zona tropical. Formation des mineraux secondaires en milieu ferralitique. Paris, Orton, 177p. 1965
- ESPINAL, L.S. Formaciones vegetales del Departamento de Antioquia. Rev.Fac. Agronomía. Medellín, Vol. 24, No. 60, 83p. 1977.
- FEINNINGER, T. et al. Geología de parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas (Subzona IIB). Boletín geológico. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras. Bogotá, Vol. 20 No. 2, 173p. 1972.
- Chemical weathering and glacial erosion of crystalline rocks and the origen of till. Geological Survey Research. Quito, vol. 1, No. 1, pp. 65-81, 1971.
- GRANT, W.H. Kaolinita stability in the central pidmont of Georgia. Clays and Clay Minerals. New York, vol 1, No. 13, pp. 131-140, 1964.
- HERMELIN, Michel, et al. Physico mechanical characteristics of saproliths and mudflow deposits derived from ingeous and metamorphic rocks in the Central Cordillera, Colombia. Geol. Eng. Bull. Clondnes, 25p. 1983.
- Análisis mineralógico de suelos, significado e interpretación. Medellín, 1976. 18p. (Documento inédito).
- Bases para el estudio geomorfológico del Departamento de Antioquia. Boletín de Ciencias de la Tierra. Medellín, No. 1, pp. 49-70, 1976.

- JENNY, H. The factors of soil formation. New York, McGraw Hill, 1941. 281 p.
- LENEUF, N.L. L'alteration des granites calco-alcalins et des granodiorites en cote d'ivoire forestiere et les sols qui en sont derives. Paris, Orton Public., 1959. 210p.
- LIEGEOIS, P.G. Structure et morphologie de la Cordillere Centrale des Andes. Bull soc Belge. Paris, vol. 67, No. 3, pp. 530-569, 1959.
- MILLOT, Georges. Geologie des arqilles. Paris, Masson, 1964. 499p.
- MILLOT, G. y BONIFAS, M. Transformations isovolumetricas dans les phenomenes de laterisation et de bauxitisation. Bull Serv. Carte Geologique ALS-Lorr. Paris, vol. 8, pp. 3-20, 1955.
- PAGE, W. D. and YAMES, M.E. The antiquity of the erosion surfaces and late cenozoic deposits near Medellin, Colombia. Implication to tectonics and erosion rate. Rev. CIAF. Bogotá, Colombia, vol.6, No. 1-3, pp. 421-454. 1981.
- PEDRO, G. Distributions des principaux types d' alteration chimique á la surface du globe. Presentation d'une esquisse geographique. Revue de geographie physique et de geologie dynamique. Paris, vol. 20, No. 5, pp. 457-470. 1968.
- PEREZ, C. Proyecto hidroeléctrico San Carlos. Estudio Ecológico. Medellin, Integral, 1976. 610p.
- ROBET, M. Etude expérimentale de L' evolution des micas (Biotites). Annales Agronomiques. Paris, vol. 22, No. 2, pp. 155-181, 1971.
- RUXTON, B.P. and BERRY, L. Weathering profiles and geomorphic position on granite in two tropical region. Rev Geomorf Dyn. Paris, No. 12, pp. 16-31, 1961a.
- SEGALEN, P. L' aluminium dans les sols. Paris Orton, 1974. 281p.
- TASDY et all. Trois modes de genese des montmorillonites dans les alterations et les sols. Bull groupe franc argiles. Paris, vol. XXII, pp. 69-77, 1970.
- TERZAGHI, K. y PECK, R.B. Mecánica de suelos en la Ingenierfa práctica 2ed. Barcelona, Ateneo, 1980. 722p.
- THOURET, J.C. y VAN DER HAMMEN, T. Una secuencia holocénica y tardiglacial en la Cordillera Central de Colombia. Aspectos geomorfológicos, pedológicos, palinológicos y paleoecológicos en el área del Parque Natural Nacional de los Nevados (Tolima, Risaralda). Revista CIAF. Bogotá, vol. 6, No. 1-3, pp. 609-634, 1981.

THOMÁS, H.F. Tropical geomorphology. A Study of weathering and land form development in warm climate. London, Macmillan, 1974. 332p.

USSELMAN, P. Relation entre divers facteurs et caractéristiques mécaniques de formations superficielles meubles affectées par des mouvements de masse. Revue de géomorphologie dynamique. Paris, vol. 20, No. 2, p. 15, 1971.

VAN DER HAMMEN, T. Glaciales y glaciaciones en el cuaternario de Colombia. Paleoecología y estratigrafía. Revista CIAF. Bogotá, vol. 6 No. 1-3 pp. 635-638, 1981.

ESTUDIO GEOQUIMICO Y PETROGRAFICO DE LAS ROCAS SUB-VOLCANICAS  
DEL AREA ARQUITA - CHIRAPOTO\*

Por: Luis Hernán Sánchez Arredondo\*\*  
Rosa Amelia Parra Cartagena \*\*\*

RESUMEN

Se presentan en este trabajo los resultados de un estudio geoquímico y petrográfico realizado en un área de 25 Km<sup>2</sup> al norte de Marmato (Caldas) donde se encuentra un ambiente geológico con características muy similares a las de esta importante zona aurífera.

Un total de 50 muestras de roca fueron analizadas por el método de absorción atómica para determinar el contenido de metales básicos, principalmente cobre y molibdeno. Simultáneamente se estudiaron petrográficamente 41 muestras de rocas porfídicas que permitieron definir en ellas una extensa alteración propilítica, secundaria en importancia se encontró una alteración filica.

La mineralización metálica y la zona de alteración están estrechamente ligadas con rocas de composición dacítica y andesítica, aunque también ha afectado a las varias rocas intrusivas por los pórfidos.

En estas rocas se encontraron dos tipos de ocurrencias minerales, una de tipo filoniano y otra de tipo diseminado. La mineralización consta esencialmente de pirita, calcopirita, molibdenita, esfalerita.

El estudio geoquímico realizado mostró los siguientes valores para los elementos analizados: cobre, contenido promedio de 61 ppm con un rango de variación de 1 ppm a 1830 ppm; molibdeno, 2 ppm de contenido promedio y valores menores de 4 ppm a 106 ppm; zinc, mostró 70 ppm promedio y variación de 11 ppm a 2800 ppm; plomo, 15 ppm promedio y variación de 5 ppm a 890 ppm; por último la plata en un promedio de 1 ppm y un rango de variación entre valores menores de 1 ppm y 22 ppm.

El análisis estadístico de los resultados encontrados se efectuó mediante los métodos de Lepeltier, promedio móvil, y el análisis factorial. El tratamiento indica una relación entre los metales analizados que permite establecer dos asociaciones muy importantes:

- Cobre - molibdeno - plata  
- Zinc - plomo - plata

\* Resumen de un Trabajo de Grado presentado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional - Medellín - 1984.

\*\* Luis Hernán Sánchez - Dpto. de Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional - Medellín - A.A. 3840.

\*\*\* Rosa Amelia Parra Cartagena - Integral Ltda - Medellín - Colombia

La distribución de estas asociaciones permite establecer una zonación, con la concentración de la primera hacia la quebrada Chirapotó mientras que la segunda tiene preferencias por la quebrada La Guayita. Estas dos asociaciones representan áreas geoquímicamente anómalas y están correlacionadas con la presencia de mineralizaciones diseminadas, aunque también tienen alta influencia la presencia de mineralizaciones vetiformes próximas a éstas zonas.

## FASES TECTONICAS SUPERPUESTAS EN LA SECCION

### MEDELLIN-BOLOMBOLO (ANTIOQUIA)\*

Por: Oscar Darío Ruíz B.\*\*  
Adiela Martínez P.\*\*

#### R E S U M E N

Un examen geológica-estructural en la sección Amagá-Bolombolo permite afirmar que el menos ocho fases tectónicas compresionales han afectado esta zona desde el Paleozóico hasta el Cuaternario.

La primera de ellas parece afectar las rocas pretriásicas encajantes del plutón de Amagá.

Este cuerpo intrusivo, sin deformaciones de niveles estructurales profundos, sugiere una tectónica distensional en el lapso Triásico-Cretáceo inferior, a partir del cual actuaron tres fases compresionales claramente superpuestas y marcadas sobre los esquistos verdes de sabaletas.

La primera de estas nuevas fases desarrolló una esquistosidad de flujo debido a plegamientos isoclinales en estructuras pretectónicas primarias siendo por lo tanto plano axial de los pliegues en ellas. Es al parecer contemporánea con el metamorfismo de dicha unidad.

La siguiente fase produjo a su vez pliegues y micropliegues isoclinales recumbentes en la foliación inicial y ocasionó la primera esquistosidad de fractura marcada en éstos esquistos verdes; es ésta por lo tanto, plano axial de los pliegues y micropliegues de la foliación.

La última de éstas tres fases tectónicas cretáceas sobrepone a las dos esquistosidades iniciales una segunda esquistosidad de fractura menos acentuada que las dos anteriores.

Todas las deformaciones hasta aquí descritas fueron producidas en el nivel estructural inferior.

Rocas del Cretáceo medio y tardío como la Diorita de Pueblito y las rocas máficas de la quebrada Sinifaná presentan deformaciones tectónicas que pudieron desarrollarse contemporáneamente con las dos esquistosidades de fractura superpuestas en los esquistos verdes de Sabaletas. Sin embargo, los contactos siempre fallados entre las rocas máficas y los esquistos verdes, al igual que los de la unidad diorítica con los cuerpos adyacentes, no permiten definir con precisión las posibles relaciones entre las deformaciones mencionadas.

\* Condensado del Trabajo de grado presentado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional - Medellín.

\*\*Dpto de Ciencias de la Tierra - Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Medellín - A.A. 3840

Igualmente en el Cretáceo se produce una fase tectónica importante que ocasiona las fallas de rumbo del sistema Cauca-Romeral que afecta todas las unidades pre-oligocenas en la zona.

La siguiente fase tectónica solo actúa en el Mioceno medio, es decir, desde el Cretáceo superior hasta el Mioceno temprano predominaron nuevamente los fenómenos distensionales. La nueva fase plegó la Formación Amagá en el nivel estructural medio con un estilo general de pliegues amplios. Es posiblemente la misma fase ocasionante del fallamiento inverso que sobrepone rocas cretáceas(?) a los sedimentos terciarios.

Secuencialmente otra fase tectónica ocurrida en el Terciario tardío plegó de manera similar la Formación Combia (plegamiento isópaco en el nivel estructural medio) y acentuó un poco el plegamiento de los estratos de la Formación Amagá.

Por último, mediante recientes estudios geofísicos, se tiene una removilización de algunas fallas de rumbo pertenecientes al sistema Cauca-Romeral, hecho que permite asegurar que la última fase tectónica sobre la zona de estudio ocurre durante el Cuaternario.

## D I S C U S I O N

En la Tabla se muestran en orden cronológico las deformaciones tectónicas que afectan a las unidades litológicas de la zona, analizando para cada una de ellas la posible edad de ocurrencia, el estilo tectónico que presentan y el nivel estructural correspondiente.

Igualmente se buscó analizar cada deformación en su conjunto, es decir se analizó el efecto de las fases tectónicas que actuaron sobre rocas predeformadas, las cuales obviamente se afectan de alguna manera.

Se sabe que una fase tectónica produce al mismo tiempo diferentes tipos de deformaciones dependiendo directamente del nivel estructural, del gradiente tectónico, del gradiente térmico y de la litología misma. Se tiene así un desarrollo contemporáneo de deformaciones con estilo tectónico diferente según la relación que tengan las unidades deformadas con los factores geológicos anteriores.

El hecho de que la gran mayoría de los contactos mutuos entre las diferentes unidades sean fallados dificulta la aplicación de estos razonamientos en la zona estudiada.

Sin embargo, existen argumentos que permiten precisar, en el tiempo, algunas de las fases tectónicas detectadas, sin ser posible aún determinar detalladamente la forma en que algunas de ellas actuaron sobre las unidades pre-existentes.

Se puede afirmar que la primera fase tectónica detectada en la zona y que está relacionada con el metamorfismo que produjo las cuarcitas de la quebrada La Clara, en contacto intrusivo con el Plutón de Amagá, fue pre-Triásica ya que este último cuerpo no aparece metamorfoseado.

F A S E S T E C T O N I C A S

FORMACIONES AFECTADAS	FASE TECTONICA	CARACTERISTICAS	NIVEL ESTRUCTURAL
Todas las unidades existentes		Removilización de las fallas de rumbo pre-existentes y diaclasamiento general.	Superior
Formación Combia		Plegamiento Isopaco	Medio
Formación Amagá y Complejo ofiolítico del Cauca		Fallamiento inverso en el basamento de la formación Amagá que sobrepone serpentinitas cretáceas ( ? ) a la primera.	Medio-superior
Formación Amagá		Plegamiento Isopaco de la F. Amagá	
Unidades Litológicas pre-oligocenas		Fallamiento de rumbo (sistema Cauca-Romeral)	Superior
Rocas Básicas de la Q. Sinifaná		Plegamiento Isoclinal (?) en las rocas básicas	Transición Inferior-M
Diorita de Pueblito. Esquistos verdes de Sabaletas y negros de la Q. Matasanos.		Desarrollo de la esquistosidad S <sub>3</sub> en los esquistos verdes de Sabaletas	
		Deformación de las estructuras primarias en la diorita. Cabalgamiento(?) desarrollo de la esquistosidad S <sub>2</sub> en la unidad metamórfica	Transición Inferior-M
Unidades del Grupo Ayurá-Montebello		Desarrollo de la esquistosidad de flujo S <sub>1</sub> y metamorfismo	Inferior
		Metamorfismo permo-triásico en la cordillera Central. Desarrollo de esquistosidad y foliación.	Inferior
		Metamorfismo siluro-devánico en la cordillera central. Desarrollo de esquistosidad y foliación	Inferior

El Plutón de Amagá no aparece afectado por ninguna deformación propia del nivel estructural inferior; aunque posteriormente a su formación se produjeron varias fases tectónicas que sí desarrollaron este tipo de deformaciones en otras unidades menos antiguas (por ejemplo en los esquistos verdes de Sabaletas). Podemos por tanto asegurar que el Plutón de Amagá no se encontraba en el nivel estructural inferior durante el tiempo en el cual actuaron estas nuevas fases.

Es posible que haya estado en una posición de nivel estructural medio y que no hayan desarrollado en él las deformaciones típicas de este nivel estructural (plegamiento isópaco) debido a su litología de características altamente competentes. Son claras en él deformaciones propias del nivel estructural superior, fallamiento y diaclasamiento.

Como se ve en la Tabla, al parecer no se produjo ninguna fase tectónica durante el lapso de tiempo comprendido entre la intrusión del plutón de Amagá, Triásico, hasta el Cretáceo inferior cuando se produjo la fase tectónica que desarrolló el metamorfismo de los esquistos verdes de Sabaletas.

Aceptando la edad radiométrica de  $127 \pm 5$  m.a. para el metamorfismo que los esquistos verdes de Sabaletas, se puede asegurar una edad contemporánea para la segunda fase tectónica propuesta en este trabajo.

Las siguientes fases tectónicas que desarrollaron las esquistosidades de fractura en los esquistos verdes de Sabaletas son seguramente posteriores a la esquistosidad de flujo  $S_1$ , ya que la atraviesan claramente.

Más precisamente se puede asegurar que las fases tectónicas compresionales que produjeron las distintas esquistosidades en la unidad metamórfica de Sabaletas son pre-oligocenas, basados en el hecho de que la Formación Amagá reposa discordantemente sobre los esquistos verdes de Sabaletas y sobre las rocas básicas de la quebrada Sinifaná en algunos sitios y en que los sedimentos de la Formación Amagá no presentan deformaciones propias del nivel estructural inferior y como sabemos, no se pasa bruscamente de un nivel estructural a otro.

Se puede afirmar que las fases tectónicas que afectaron a la diorita Jura-Cretácea de Pueblito y las rocas básicas Cretáceas de la quebrada Sinifaná tienen una edad posterior a la de la formación de las unidades que afectan.

Aceptando las interpretaciones propuestas para la posición actual de las estructuras primarias en la diorita de Pueblito y la posición vertical de los sedimentos de mar profundo intercalados en las rocas básicas de la quebrada Sinifaná mediante plegamientos isoclinales, sería posible que las fases tectónicas que produjeron estos fenómenos fueran igualmente las causantes del desarrollo de las dos esquistosidades de fractura en los esquistos verdes de Sabaletas.

El hecho de que los contactos entre estas unidades sea fallado (fallas de rumbo limitando esquistos verdes-rocas verdes e inversas en los límites de la diorita de Pueblito, poniéndola en posición de horst), impide asegurar la relación entre las deformaciones que presenta cada unidad.

En particular para la diorita de Pueblito, que presenta una posición de horst, la interpretación propuesta como explicación de la posición actual de las estructuras primarias mediante imbricaciones tectónicas implica un desarrollo de esta

fase en un nivel estructural superior.

Posteriormente durante el Cretáceo mismo ocurre una fase tectónica que produce las fallas de rumbo del sistema Cauca-Romeral que afectan varias unidades pre-oligocénicas; por tanto puede afirmarse un límite de edad igualmente pre-oligoceno para esta fase tectónica.

Durante el Mioceno medio se produjo otra fase tectónica que ocasionó el plegamiento isópaco de la Formación Amagá. Como para esta misma época los esquistos verdes de Sabaletas y las rocas básicas de la quebrada Sinifaná estaban en una posición estructural semejante, nivel estructural medio, debieron sufrir deformaciones propias de este nivel estructural.

En el Mioceno medio y durante un tiempo relativamente corto, la Formación Amagá se vió afectada por una fase tectónica que ocasionó un fallamiento, hasta el punto de colocar rocas cretáceas (?) sobre ella mediante fallas inversas con buzamientos subhorizontales, que debieron producirse en el nivel estructural superior. Esta misma fase tectónica compresional podría corresponder a la misma que plegó isópacamente los estratos de la Formación Amagá. De lo contrario tendríamos como consecuencia dos fases tectónicas que habrían actuado en el intervalo post-Formación Amagá y pre-Formación Combia, ya que ésta última parece no estar afectada por ellas.

La Formación Combia es afectada posteriormente a su formación por una nueva fase tectónica compresional y que ocasiona en ella deformaciones típicas del nivel estructural medio, plegamiento isópaco y que lógicamente acentúa las deformaciones en los sedimentos de la Formación Amagá.

Por último, recientes estudios geofísicos afirman una removilización de algunas fallas del rumbo del sistema Cauca-Romeral, que evidencian una tectónica cuaternaria. (Arias, 1981), Cline y otros (1981), Hutchings y otros (1981).

## CONCLUSIONES

La zona de estudio ha sido afectada al menos por ocho fases tectónicas compresionales, las cuales han actuado desde el Paleozóico hasta el Cuaternario.

La primera fase tectónica ocurre en el Paleozóico y produce metamorfismos con esquistosidad de flujo en las rocas encajantes del Plutón de Amagá.

El Plutón de Amagá no se encuentra afectado por ninguna deformación propia del nivel estructural inferior.

Durante el Cretáceo actuaron varias fases tectónicas, tres de las cuales se manifiestan particularmente en los esquistos verdes de Sabaletas y negros de la quebrada Matasanos mediante una esquistosidad de flujo y dos esquistosidades de fractura claramente superpuestas a la primera.

Las esquistosidades superpuestas en los esquistos de Sabaletas y de la quebrada Matasanos se desarrollaron en el nivel estructural inferior.

La diorita de Pueblito presenta estructuras primarias que se encuentran actualmente con un buzamiento general alrededor de 50° hacia el Oeste. Esta estructura puede ser el resultado de un plegamiento isoclinal o de imbricaciones tectónicas.

Los sedimentos de mar profundo intercalados con las rocas básicas de la quebrada Sinifaná están en posición subvertical debido probablemente a un plegamiento de la unidad.

Posteriormente a las fases que deformaron los esquistos de Sabaletas y en el lapso Cretáceo superior-Oligoceno, sucede una nueva fase tectónica que ocasiona las importantes fallas de rumbo del sistema Cauca-Romeral.

La Formación Amagá está afectada por deformaciones con un estilo tectónico de cobertura, con dominio de pliegues amplios, isópacos propios del nivel estructural medio acompañados por ocasionales disarmonías y por despegue en las superficies de estratificación.

La fase tectónica que plegó los estratos de la Formación Amagá actuó durante un tiempo relativamente corto durante el Mioceno medio.

Durante el Mioceno y en el nivel estructural superior ocurre una fase tectónica de cierta magnitud que sobrepone rocas posiblemente cretáceas a la Formación Amagá mediante fallas inversas localmente subhorizontales.

La Formación Combia presenta un plegamiento del nivel estructural medio con desarrollo de pliegues isópacos característicos de tectonismo de cobertura pero marcadamente más amplios que los de los estratos de la Formación Amagá.

Desde el final del Paleozóico hasta el Cretáceo inferior no se ha detectado en la zona ninguna fase tectónica compresional. Suponiendo que los esquistos verdes y negros sean de edad Cretácea. Durante este tiempo probablemente sólo actuaron fenómenos distensionales.