



Geformas Asociadas al Batolito Antioqueño

ANA CRISTINA LONDOÑO G.

Ingeominas, Apartado Aéreo 65160, Medellín, Colombia.

Especialización en Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, EAFIT

LONDOÑO, G., A.C. (1998): Geformas asociadas al Batolito Antioqueño.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 23, pgs. 133-143, 5 Figs., 4 Tablas, Santafé de Bogotá.

Resumen: El Batolito Antioqueño es uno de los cuerpos plutónicos de mayor extensión en la Cordillera Central de Colombia, intrusivo en todas las rocas que lo encajan y a diferencia de los grandes plutones de cadenas orogénicas, se caracteriza por su homogeneidad litológica y poca variabilidad petroquímica donde predominan rocas granitoides de la serie granodiorita-tonalita, macizas, faneríticas equigranulares de grano medio.

Actualmente las rocas del Batolito Antioqueño se meteorizan en un medio ecuatorial húmedo que favorece la acción de los agentes meteorizantes sobre un macizo rocoso fracturado, lo cual ha dado origen a saprolitos profundos.

La forma trapezoidal del Batolito Antioqueño y la deformación relacionada con su emplazamiento no han sido explicadas adecuadamente; en el borde oriental se encuentran zonas de cizalladura a lo largo de las cuales se acentúan procesos de meteorización y erosión que facilitan el desarrollo de geformas particulares.

Las geformas desarrolladas son el resultado de procesos geológicos y de las condiciones climáticas que han actuado desde su afloramiento hasta épocas recientes. La evolución morfológica depende de fenómenos como la meteorización química, los agentes de transporte que modifican las vertientes y los agentes erosivos que modelan los paisajes.

Las geformas características desarrolladas sobre el Batolito Antioqueño son: peñoles, organales, acanaladuras, bloques de cuarzo, formas tabulares y pseudokarst enmarcadas en un macrorelieve denominado superficies de erosión generadas por varios levantamientos en la Cordillera Central e interrumpidas por valles profundos.

Palabras claves: Batolito Antioqueño, Meteorización, Geformas, Cordillera Central, Antioquia-Colombia.

Abstract: The Antioquian Batholith is the biggest plutonic body in the Central Cordillera of Colombia. It intrudes all the surrounding rocks, and differs from other plutonic bodies from orogenic chains by its lithological homogeneity and low petrochemical variations; its most important facies are the granodiorite-tonalite series: massive, phaneritic, equigranular and medium grained rocks.

The humid equatorial climate of Colombian Andes favors chemical weathering of the Antioquian Batholith, and has produced a thick saprolith cover.

The trapezoid shape of the Antioquian Batholith and the deformation associated with its emplacement have not been entirely explained yet; on the eastern edge shear zones occur where weathering and erosion processes take place and accelerate the development of particular geofoms such as quartz blocks and tabular forms.

The geofoms are the result of geological processes and the climatic conditions that had affected the batholith since it reached the surface. The morphologic evolution depends on several phenomena such as chemical weathering, and the transport and erosive agents that modify the landscape.

Characteristic geofoms developed on the Antioquian Batholith are: "peñoles", boulders, "organales", "acanaladuras", quartz lines, tabular forms and pseudokarst, and several erosion surfaces generated by the uplift of the Central Cordillera and separated by deep valleys.

Key words: Antioquian Batholith, Weathering, Geofoms, Central Cordillera, Antioquia-Colombia.

INTRODUCCION

Los trabajos sobre el Batolito Antioqueño han hecho referencia ante todo a dos aspectos:

- Las características geológicas en trabajos realizados

por geólogos regionales que han permitido conocer su mineralogía y química y plantear hipótesis sobre su origen y forma en profundidad (BOTERO 1963; FEININGER *et al.* 1972; HALL *et al.* 1972; FEININGER & BOTERO 1982; GONZÁLEZ 1993, 1997)

- Interpretaciones en torno al relieve, realizadas por geólogos-geomorfólogos, que incluyen reconstrucciones históricas de los levantamientos geológicos regionales y su incidencia sobre los procesos ocurridos durante el Cenozoico (BOTERO 1963; FEININGER 1969; GONZÁLEZ 1980, 1993; PAGE & JAMES 1981; ARIAS 1995).

Sin embargo, la configuración del relieve del Batolito Antioqueño y de algunas de las geoformas que lo caracterizan indican que los productos de su evolución geomorfológica son resultado de una historia compleja en el tiempo y que no sólo dependen de los procesos geológicos internos sino de los procesos climáticos y estructurales.

Este trabajo recopila la información geológica disponible sobre el Batolito Antioqueño y con base en ella y las características litológicas, químicas y estructurales, analiza y describe las geoformas que se han desarrollado sobre él a través del tiempo, por acción de los diversos procesos. La combinación de los procesos morfoclimáticos pueden ayudar a explicar las diferentes geoformas que se han desarrollado sobre un cuerpo granitoide en una zona ecuatorial sometida a levantamiento diferencial de bloques.

GENERALIDADES

El Batolito Antioqueño (BOTERO 1940, 1942) está localizado en el Departamento de Antioquia de donde recibe su nombre. Corresponde a uno de los cuerpos plutónicos de mayor extensión (cerca de 7800 km², Fig. 1) en la Cordillera Central donde ocupa la parte axial de su extremo septentrional. Tiene forma trapezoidal, con su mayor dimensión en dirección NW-SE.

Es un cuerpo intrusivo en todas las rocas que lo encajan, produciendo efectos térmicos en las sedimentitas y en las rocas metamórficas de bajo grado y recristalización y desdoblamiento de minerales en las rocas de alto grado. Se presentan en los contactos rocas en las facies albita-epidota hasta piroxeno-cornubianita, lo cual indicaría que su emplazamiento fue al menos a una profundidad de unos

Tabla 1
Porcentajes de los diferentes tipos de roca en el Batolito Antioqueño

Granodiorita	62%
Tonalita	26%
Cuarzodiorita	4%
Monzogranito	4%
Cuarzo-monzodiorita	2%
Gabro	1%
Diorita	1%

15 km (GONZÁLEZ 1997).

A diferencia de los grandes plutones caracterizados por su heterogeneidad petrográfica, éste presenta homogeneidad y poca variabilidad petroquímica (ALVAREZ 1983). Según FEININGER & BOTERO (1982) y de acuerdo con los análisis publicados, los porcentajes de los diferentes tipos de roca presentes se indican en la Tabla 1. Son rocas, en general, macizas, faneríticas, equigranulares de grano medio, compuestas por cuarzo, plagioclasa, feldespato de potasio, biotita y hornblenda. La composición modal varía entre los valores (GONZÁLEZ 1997) indicados en la Tabla 2.

Aunque no existe un estudio petroquímico detallado de este cuerpo, los resultados de los análisis químicos publicados y recalculados con base en los parámetros de CHAPPELL & WHITE (1971), indican que es un cuerpo granitoide de tipo I. La variación química de los elementos mayores se indica en la Tabla 3. En general, el Batolito Antioqueño posee un porcentaje mayor en Al₂O₃, FeO*, MgO, CaO y menor en SiO₂, Na₂O, K₂O con respecto a las granodioritas promedias de la corteza terrestre (TUREKIAN & WEDEPOHL 1961). Otro factor importante en los procesos de meteorización química es el rango de variación del total de álcalis y de las relaciones indicadas en la Tabla 4. Las variaciones en la composición química están de acuerdo con las de las series calcoalcalinas (CARMICHEL *et al.*

Tabla 2
Variación modal en rocas del Batolito Antioqueño

	Valores	Promedio	Desviación estándar
Cuarzo	15,6-31,4%	25,5%	5,2
Plagioclasa	61,2-43%	48,7%	7,8
Feldespato de potasio	0,8-14,6%	8,6%	7,1
Hornblenda	12 -4,2%	7,6%	6,1
Biotita	12,8-5,1%	7,9%	7,4
Accesorios primarios	0,8-0,1%	0,3%	0,3
Accesorios de alteración	0,3-4,1%	1,9%	2,7

(Valores máximos y mínimos para 180 muestras de las facies granodiorita-tonalita)

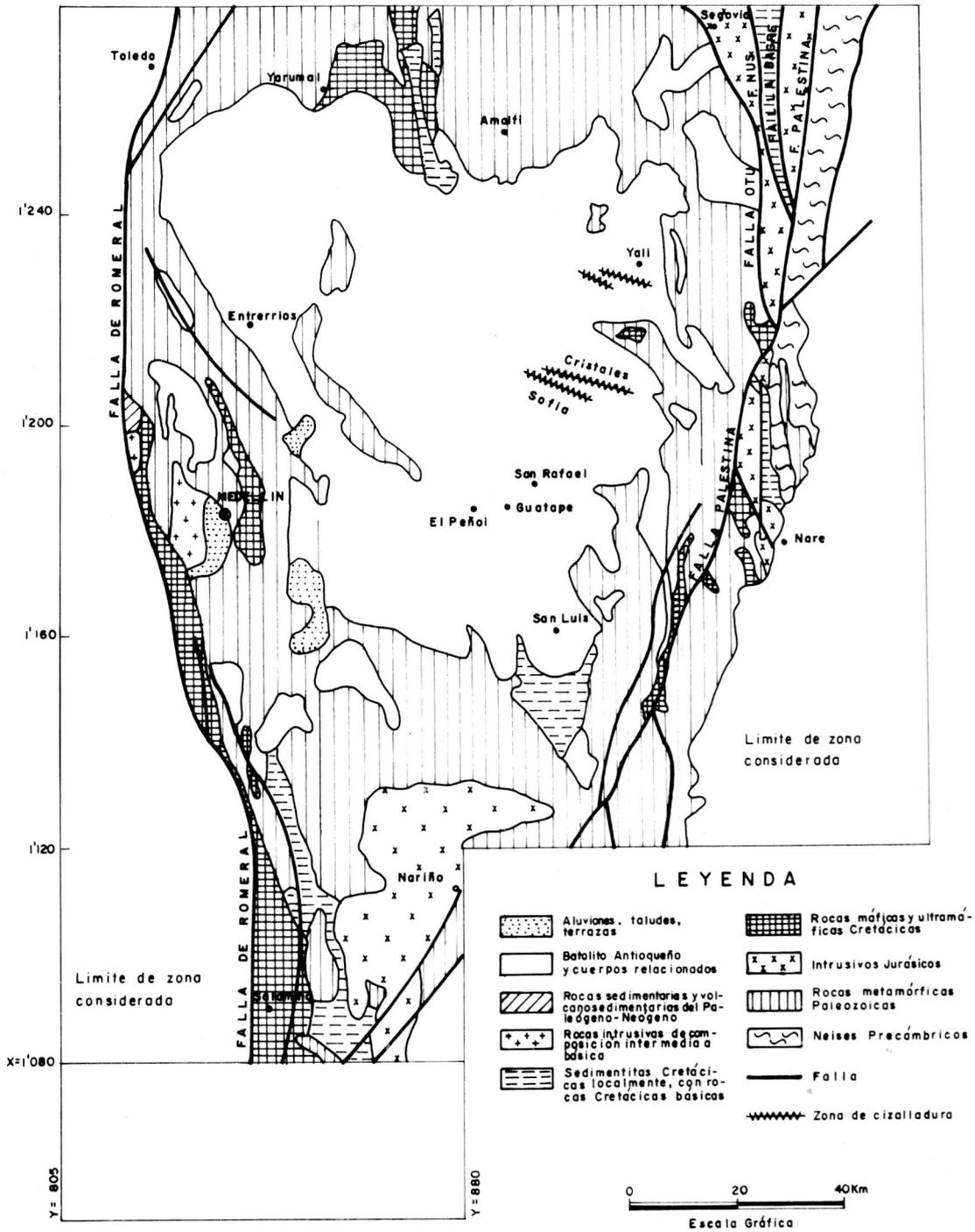


Fig. 1. Esquema geológico generalizado para el Batolito Antioqueño y relaciones regionales (modificado de GONZÁLEZ 1993).

1974).

El 77% de las muestras con cálculos normativos (GONZÁLEZ 1997) tiene un porcentaje normativo de $Ab + An + Or + Q$ mayor del 80% y por consiguiente, la composición del cuerpo sería una aproximación a la del magma

a partir del cual cristalizó.

En términos generales, y aunque el número de muestras considerado es bajo, no se observan variaciones significativas en el contenido de elementos mayores en perfiles longitudinales (norte-sur) o transversales (este-oeste)

Tabla 3
Variación en la composición química del Batolito Antioqueño

	Valores	Promedio
SiO ₂	72,49 – 55,94	60,63
TiO ₂	0,77 – 0,08	0,49
Al ₂ O ₃	19,39 – 13,86	5,02
Fe ₂ O ₃	6,39 – 0,91	5,02
FeO	4,36 – 1,34	3,23
MnO	0,13 – 0,03	0,09
MgO	4,64 – 0,18	2,49
CaO	6,27 – 1,65	5,01
Na ₂ O	4,04 – 2,40	3,01
K ₂ O	0,84 – 5,00	2,28
P ₂ O ₅	0,16 – 0,56	0,40
H ₂ O ⁺	4,81 – 0,44	1,43
FeO*	6,56 – 1,47	4,52

(Valores máximos y mínimos para 22 muestras. ALVAREZ 1983)

FeO* = FeO + 0,9 Fe₂O₃

con excepción de Al₂O₃, aunque su coeficiente de correlación con respecto a la sílice es bajo (ALVAREZ 1983).

La tectónica anterior al emplazamiento del Batolito Antioqueño ha sido poco estudiada: BARRERO *et al.* (1969) indican fallas de dirección NW en la parte central de la Cordillera Central y para la mayoría de los autores (HAMILTON & MYERS 1967), la forma y posición de los batolitos es controlada por rasgos estructurales corticales. En el área del Batolito Antioqueño no hay estudios estructurales en detalle que expliquen la forma trapezoidal y la deformación relacionada con el emplazamiento, en especial en su borde oriental donde se han desarrollado zonas de cizalladura (FEININGER *et al.* 1972; GONZÁLEZ 1993) que favorecen posteriormente procesos de meteorización y erosión que conforman geoformas características por su dirección lineal, a diferencia del rumbo estructural NS del sistema andino. Existen fallas que afectan el intrusivo en su sector oriental con dirección N60°W y que tectonizan tanto al batolito como a las rocas encajantes.

Existe otro sistema de fracturas conjugadas o perpendiculares al primero que, aunque de extensión menor, incide en los procesos posteriores de meteorización, generando formas particulares de relieve controladas estructuralmente.

Estudios gravimétricos (CASE *et al.* 1971) muestran que los afloramientos más orientales del batolito podrían representar una masa relativamente delgada de cuarzdiorita o una fase más densa del batolito en profundidad. El con-

Tabla 4
Variación de álcalis y algunas relaciones de elementos mayores en el Batolito Antioqueño

K ₂ O / Na ₂ O	0,21 - 1,11
K ₂ O / (Na ₂ O + K ₂ O)	0,17 - 0,67
Na ₂ O + K ₂ O	3,86 - 6,78
Kx10 ² / Si	4,75 - 19,48
FeO* / MgO ☒	1,31 - 8,16

☒ El rango más común es 1,31 a 3,04

tacto occidental, según estos mismos autores, está mejor definido y coincide con el indicado en los trabajos de cartografía regional (FEININGER *et al.* 1972).

Las edades K - Ar en biotita (MAYA 1992) dan valores mínimos, en su mayoría concordantes, entre 68±2 y 80±3 M.a. que corresponderían al lapso entre el Santoniano y el Maastrichtiano. El corto plazo entre las diferentes edades implica un emplazamiento con enfriamiento relativamente simultáneo, pero en general las edades más jóvenes están al occidente, lo cual podría indicar que este sector se emplazó o se enfrió más tarde que el sector oriental; no existen evidencias que indiquen que el cuerpo se haya emplazado por pulsos magmáticos durante períodos de tiempo prolongados.

METEORIZACION EN ROCAS GRANITICAS

Los mecanismos a través de los cuales se llevan a cabo los procesos de transformación de las rocas graníticas son diversos en función del clima, de la textura y composición mineralógica de la roca y del grado de fracturamiento que facilita el acceso de aguas meteóricas al sistema. La meteorización y las reacciones que ocurren por efecto del agua sobre la estructura mineral son función de la textura y los factores físicos que la puedan modificar y pueden asociarse con reacciones de adsorción y desorción mediante las cuales el H^+ se adsorbe sobre el mineral penetrando superficialmente en la estructura, desestabilizándola eléctricamente, lo cual ocasiona la salida de los cationes metálicos constituyentes de la misma. Las reacciones de intercambio como tales no son factores de alteración (Dejou 1971, *en*: TWIDALE 1982).

Las tonalitas del Batolito Antioqueño se meteorizan actualmente en un medio ecuatorial húmedo, con precipitación entre 1500-2800 mm/año y temperatura promedio entre 14-20°C (PAGE & JAMES 1981) y se caracterizan por presentar las siguientes etapas evolutivas:

- El proceso inicial de meteorización es favorecido por el fracturamiento del macizo rocoso posiblemente debido a fenómenos de enfriamiento del mismo y a procesos tectónicos posteriores que generan fragmentación y cambios texturales en la roca, que facilitan la circulación de los agentes meteóricos y químicos.

- La transformación inicial se manifiesta por la alteración de la biotita que libera el Fe^{+2} el cual reacciona con el agua para formar hidróxidos insolubles que se acumulan alrededor del mineral original. Los feldespatos se sericitizan tomando un color blancuzco y el cuarzo permanece inalterado.

- En la etapa siguiente se genera el saprolito, con feldespatos caolinizados, láminas finas de mica y cuarzo sacaroidal. Las variaciones en tonalidades amarilla-rojizas se deben a la acumulación diferencial de óxidos e hidróxidos de hierro. El saprolito resultante es profundo con poca alteración del cuarzo en las fracciones gruesas, transformación de plagioclasa en caolinita posiblemente a partir de haloisita y biotita en minerales del grupo de la caolinita; se encuentran además algunas fracciones de gibsita (tomado de IGAC 1995). En depósitos de arcillas en el municipio de La Unión, se encuentra caolinita, haloisita y en menor proporción gibsita (ELLWANGER 1966).

Los procesos de meteorización intensa que afectan en gran parte las rocas del Batolito Antioqueño están controlados por la estructura de la roca, la topografía y la vegetación, incluyendo en el primer factor tanto la composición mineralógica como las características físicas

(THORNBURY 1969): diaclasas, fracturas y cavidades. En las rocas masivas y homogéneas como las del batolito, cuando no hay un fracturamiento muy denso, la descomposición se efectúa a lo largo de diaclasas que controlan los frentes de erosión, dando bloques redondeados de roca relativamente fresca, rodeados de costras delgadas de roca parcialmente meteorizada (GONZÁLEZ 1980).

Cuando las diaclasas están dispuestas de una manera ortogonal (Fig. 2a) se facilita el ataque químico de las aguas lluvias y la acción de otros agentes externos que arrastran el material meteorizado y ensanchan las diaclasas por donde luego actúan los agentes meteorizantes; los vértices y aristas de los paralelepípedos limitados por el conjunto de diaclasas, se meteorizan más profundamente por tener una mayor superficie expuesta a la meteorización y en consecuencia se van redondeando. Este proceso es iterativo a medida que se separan las capas, notándose una mayor esfericidad hacia el centro. En conjunto, este proceso recibe el nombre de exfoliación ó meteorización esferoidal y es común sobre grandes áreas del Batolito Antioqueño en las regiones de Yarumal–Campamento, Rionegro–Guatapé–El Peñol, Cocorná–San Luis, San Félix–San Pedro de los Milagros–Entrerrios.

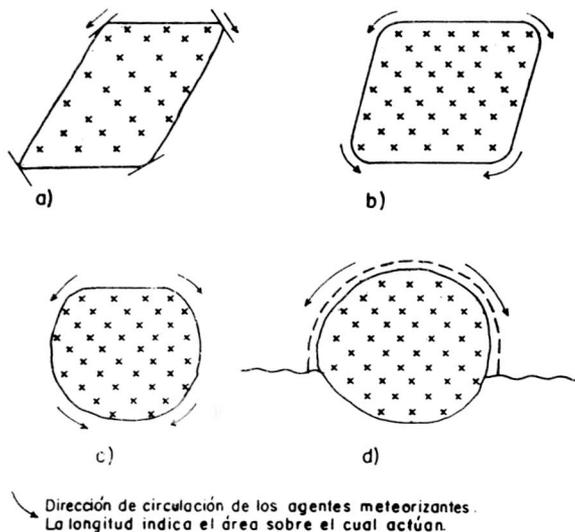
MORFOLOGIA

La evolución morfológica y las geoformas son el resultado de la acción de los agentes de la erosión, en función de factores que expresan las características del macizo rocoso y de su respuesta a la acción de los agentes, bajo condiciones variables de clima y que están ligadas a la historia geológica de la región.

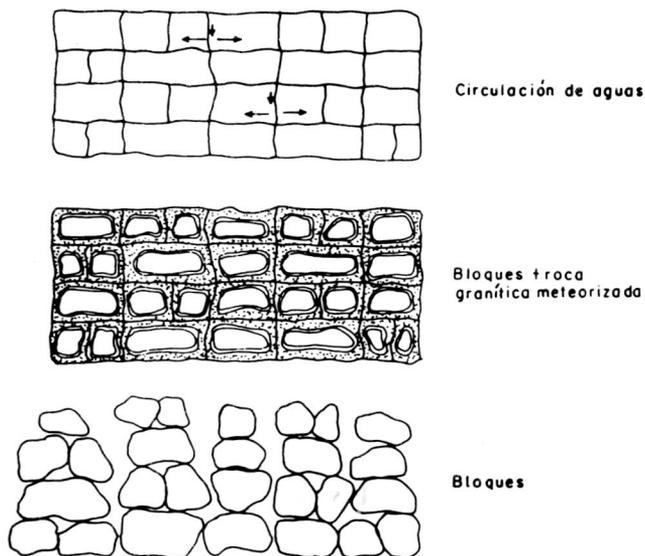
Los agentes de la erosión son los fluidos de la atmósfera y de la hidrosfera caracterizados por su dinámica. Los factores de la erosión son de orden geológico y corresponden esencialmente a las características litológicas y estructurales de las rocas granitoides sometidas a la erosión bajo diferentes condiciones físicas y químicas y agentes climáticos.

Las condiciones de la erosión y por lo tanto las geoformas resultantes dependen del clima y de las características físicas y litológicas. En este caso su interpretación es comparativa con las condiciones actuales ya que el clima ha cambiado a través del tiempo geológico y varias veces durante el Cuaternario, de tal modo que la morfología actual es debida, en gran parte, a condiciones climáticas pasadas, ya que la evolución morfológica reciente detalla las geoformas resultantes de procesos anteriores.

La evolución morfológica lleva a la generación de las geoformas en el Batolito Antioqueño y depende de agentes cuya acción en general es, en el espacio y en el tiempo: la meteorización, que juega un papel esencial en la



a.



b.

Fig. 2. Procesos de fracturamiento y meteorización en rocas granitoides:
a. Meteorización esferoidal en el Batolito Antioqueño
 (Modificado de GONZÁLEZ 1980)
b. Formación de bloques por fracturamiento diferencial
 (tomado de TWIDALE 1992).

disgregación; los agentes de transporte, que modelan las vertientes facilitando la acción de las aguas corrientes, y los agentes erosivos, que retocan paisajes. Algunos de estos macrorre-lieves y geofomas son:

Superficies de Erosión

La meteorización en las rocas graníticas del Batolito Antioqueño genera saprolitos profundos (60-80 m) que pueden ser removilizados por procesos erosivos, quedando al descubierto roca relativamente fresca. Este proceso es cíclico en el tiempo (ARIAS 1995).

Durante el Neógeno, la Cordillera Central ha estado levantándose como bloques (PAGE & JAMES 1981) quedando expuesta a los agentes meteorizantes y modeladores del paisaje, generando durante el proceso superficies escalonadas conocidas como superficies de erosión.

En el área de influencia del Batolito Antioqueño se han identificado tres superficies de erosión denominadas pre-Cordillera Central, Cordillera Central y Rionegro, y dos estados de erosión; estas superficies presentan las siguientes características (PAGE & JAMES 1981):

- **Superficie pre-Cordillera Central:** Corresponde a la superficie de erosión más alta y antigua; los remanentes de ella se encuentran hacia las cimas de las partes más altas de la Cordillera y posiblemente fue formada en el Terciario temprano.

- **Superficie Cordillera Central:** Es la superficie de mayor extensión, desarrollada sobre rocas ígneas y metamórficas de la superficie de erosión pre-Cordillera Central, unos centenares de metros por debajo de ella. Se localiza entre el borde del cañón del Río del Cauca al oeste, hasta cerca de El Peñol donde se inicia el descenso brusco en la topografía hacia el valle del Río Magdalena.

Remanentes de esta superficie se encuentran desde cerca de La Unión en el sur hasta los Llanos de Cuivá en el norte; se proyecta hacia el valle del Magdalena donde es cubierta por los sedimentos de la Formación Honda y es afectada tectónicamente por las fallas del sistema Palestina-Jetudo.

Se considera que esta superficie se formó cerca al nivel del mar antes del levantamiento de la proto-cordillera hace unos 22-18 M.a. (Irving 1975 en: PAGE & JAMES 1981).

- **Superficie Rionegro:** Aunque está mejor preservada que la superficie Cordillera Central, es de menor extensión. La cuenca del Río Negro y el

Llano de Ovejas son el mejor ejemplo de esta superficie.

Se desarrolla sobre rocas metamórficas e ígneas formando cuencas separadas 200–400 m por debajo de la superficie Cordillera Central. Su proyección hacia el valle del Magdalena se encuentra cubierta por los sedimentos de la Formación Mesa y por lo tanto la edad de esta superficie es Mioceno tardío–Plioceno (18-5 M.a.).

ARIAS (1995) describe en la zona del Batolito Antioqueño y rocas encajantes tres generaciones de superficies de erosión profundamente disectadas denominadas altiplanos de Belmira–Sonsón, Santa Rosa–Rionegro y Nordeste, esta última separada en los altiplanos de Carolina–Gómez Plata y Amalfi–Yolombó, limitados por los escarpes erosivos regionales de San José de la Montaña–Guatapé y San Pablo–Yarumal (ARIAS 1995). Las características de estas superficies pueden resumirse en las siguientes apreciaciones:

- **Altiplano Belmira–Sonsón:** Corresponde a una franja alargada de dirección N–S a N10°–20°W, de 120 km de longitud y 15 km de amplitud, localizada en la parte centro–oriental del Departamento, limitando al occidente por el frente de erosión antiguo del Río Cauca.

Es la zona más antigua y está caracterizada por haber sufrido alteraciones erosivas sucesivas como consecuencia del continuo levantamiento y modelamiento de la Cordillera Central, quedando remanentes del antiguo frente de erosión como cerros aislados (ARIAS 1995).

Los principales remanentes de esta superficie localizados sobre el Batolito Antioqueño y rocas encajantes son (ARIAS 1995):

- Altiplano del Páramo de Belmira (3050-3150 msnm).
- Altiplano de Santa Elena (2250 msnm).
- La franja divisoria de aguas de los ríos Buey y Negro y Buey–Samaná Norte (especialmente en el valle de La Unión).

- **Altiplano Santa Rosa–Rionegro:** Ocupa la parte central de la Cordillera Central y es el más extenso; se extiende desde El Retiro y Carmen de Viboral en el sur, hasta Yarumal en el norte; su límite occidental y sur lo determina el escarpe regional que la separa del Altiplano Belmira–Sonsón y el oriental lo representa el frente de erosión activo del Río Magdalena (ARIAS 1995).

Esta superficie se caracteriza por presentar geoformas típicas de ambientes tropicales tales como los peñoles de Guatapé y Entrerrios y cadenas de montículos aislados de poca longitud como los ubicados al nordeste de Guarne, al norte de Don Matías y al oriente de San Pedro de los Milagros (ARIAS 1995), localizados tanto sobre el batolito como en las rocas que lo encajan.

El cañón del Río Medellín divide esta superficie en dos segmentos denominados Altiplano de Santa Rosa (2750-

2800 msnm) y Altiplano de Rionegro (2200 msnm.). Este altiplano se encuentra basculado hacia el sur con una diferencia de alturas entre los Llanos de Cuivá y el Municipio de Rionegro de 600 m.

- **Altiplano del Nordeste:** Está localizado al nordeste del Departamento de Antioquia y separado del Altiplano de Santa Rosa por un escarpe regional que se extiende desde San Pablo hasta Yarumal y está profundamente segmentado por numerosos cañones.

Los siguientes segmentos están localizados sobre el Batolito Antioqueño:

- Carolina–Gómez Plata: localizado al occidente del Río Porce y disectado por la red de drenaje de la Quebrada Hojas Anchas.
- Amalfi–Yolombó: desarrollado tanto sobre la tonalita del Batolito Antioqueño como en las metamorfitas del Paleozoico.

Peñoles

En la literatura geológica, estas geoformas han recibido diferentes nombres: "Inselbergs", Panes de Azúcar, domos de exfoliación y monolitos (TWIDALE 1982) y siempre se refieren a afloramientos de rocas plutónicas graníticas o neísicas de características isotrópicas. BOTERO (1963) propone el nombre de peñoles para referirse a estas formas, por ser de amplio uso en el Oriente Antioqueño desde hace años.

Según BOTERO (1963), la roca del Batolito Antioqueño que constituye estos peñoles corresponde a la facies normal y, por lo tanto, no es la mayor resistencia a la meteorización debida a variaciones en la composición mineralógica la que acentúa el proceso de meteorización, luego es posible que hayan sido originalmente núcleos de exfoliación exentos de fracturamiento y que rápidamente fueron expuestos a la intemperie por erosión.

Las características generales de estos peñoles son (BOTERO 1963):

- La roca que los conforma es una roca plutónica, maciza, compacta, localmente con estructura neísica.

- Las aguas meteóricas son el principal agente de meteorización y descomponen la roca en varias etapas hasta llegar a arcillas lateríticas. El núcleo se conserva relativamente fresco y está encerrado por capas concéntricas de exfoliación, producidos por hidratación o por remanentes de esfuerzos mecánicos.

- Los bloques rodeados por material descompuesto son afectados por una erosión activa, principalmente fluvio–pluvial, que remueve el material fino y deja expuestos los núcleos de roca fresca que sobresalen en el paisaje. A medida que los agentes de transporte actúan sobre los alrededores, estos núcleos se van individualizando,

quedando como formas aisladas que sobresalen topográficamente en zonas relativamente planas, pero pueden pasar desapercibidos en regiones de relieve abrupto.

En la zona de Antioquia resaltan y son ampliamente conocidos los peñoles de Entrerríos, Guatapé, Peñolcito, El Marial y El Colmillo, entre otros. El esquema correspondiente a los dos primeros se muestra en la Fig. 3.

Las aguas meteóricas enriquecidas en ácidos orgánicos, que se producen por descomposición de material vegetal, al deslizarse por su superficie, la corroen modelando canales que se desvanecen progresivamente hacia la base. Estas formas son denominadas acanaladuras (BOTERO 1963) y se encuentran especialmente en el Peñol de Guatapé, comúnmente denominado Piedra de El Peñol (Fig. 4), aunque es posible encontrarlas en otras regiones y en otros tipos de roca.

Bloques

Es una de las geoformas más características del Batolito Antioqueño. Estas se derivan a partir de la meteorización de la roca favorecida por el fracturamiento de la misma, permitiendo que los agentes meteóricos penetren en ella desgastando más fácilmente los ángulos de las paredes, pasando la roca de formas rectangulares a esféricas o elipsoidales. Por lo general, cuando la erosión actúa más intensamente que la meteorización, predominan los bloques en una matriz de saprolito, pero en el caso contrario ocurre el *gruss* (TWDIALE 1982), como los que se encuentran en las zonas de Guarne, Gómez Plata y Alejandría entre otras. El tamaño de los bloques indica el espaciamiento de las fracturas que los generaron (TWDIALE 1982). En la Fig. 2b se muestra el proceso de generación de bloques por fracturamiento y posterior exposición a los agentes atmosféricos.

Cuando estos bloques de gran tamaño (de orden métrico) son removilizados y acumulados en los cauces de quebradas y corrientes principales, constituyen los denominados organales (Fig. 5), conocidos comúnmente como puentes de tierra; son clásicos en la historia minera de Antioquia. Se encuentran en los ríos Cocorná, Bizcocho, Calderas, Porce, Grande, Nechí (entre Yarumal y Campamento) y Nare entre otros, y en los municipios de San Luis, San Rafael y San Roque.

Bloques de Cuarzo

El Batolito Antioqueño en su borde oriental se caracteriza por la presencia de una serie de estructuras con dirección noroeste, a lo largo de las cuales se menciona la presencia de rocas cizalladas caracterizadas tanto por

los cambios texturales como por cambios mineralógicos y químicos que acentúan los procesos de meteorización.

La Zona de Cizalladura de Cristales tiene dirección N55°W y un ancho máximo de 750 m y está compuesta por áreas de roca intensamente cizallada y ocasionalmente sin evidencias de deformación. Los análisis modales y químicos y los cambios en la densidad de las rocas (GONZÁLEZ 1993) indican que hay cambios progresivos al pasar de la zona menos cizallada a la zona de intenso cizallamiento que corresponde a un metamorfismo dinámico progresivo.

Los cambios químicos acentúan los procesos de meteorización, facilitando y acelerando la descomposición de la mica y los feldespatos y generando un progresivo aumento en la concentración de cuarzo. Después de cierto tiempo, sobre la superficie del terreno es notoria la acumulación de bloques residuales de cuarzo lechoso, con diámetro variable entre unos pocos centímetros y varios metros que por su mayor resistencia se concentraron durante los procesos de meteorización y erosión, lo cual indica que el material fue desplazado de la tonalita intensamente cizallada.

Estas líneas de cuarzo son especialmente notorias a lo largo de la Zona de Cizalladura de Cristales cerca de San José del Nus y en la región de Rionegro-San Vicente.

Formas Tabulares

Asociados al Batolito Antioqueño se encuentran diques, generalmente de formas tabulares, de composición entre intermedia y félsica; la variación en la composición mineralógica y química con respecto a las de la roca encajante crea una discontinuidad a lo largo de la cual se acentúan los procesos de meteorización lo que resulta en geoformas contrastantes tabulares, ya sea sobresaliendo topográficamente como en los diques andesíticos o como zonas deprimidas cuando estos son más ricos en feldespato que la roca normal del batolito.

Seudokarst

La ocurrencia de estas geoformas en el Batolito Antioqueño fue mencionada por FEININGER (1969). El pseudokarst de la Hacienda Monos, 20 km al este de Amalfi, cerca al extremo noroeste del batolito, es el mayor y mejor desarrollado, cubriendo un área de aproximadamente un kilómetro cuadrado que agrupa varias decenas de depresiones cerradas. Estas depresiones tienen en el fondo una cavidad de un metro o menos de diámetro y se desarrollan en material meteorizado.

Sus características, según FEININGER (1969) son:

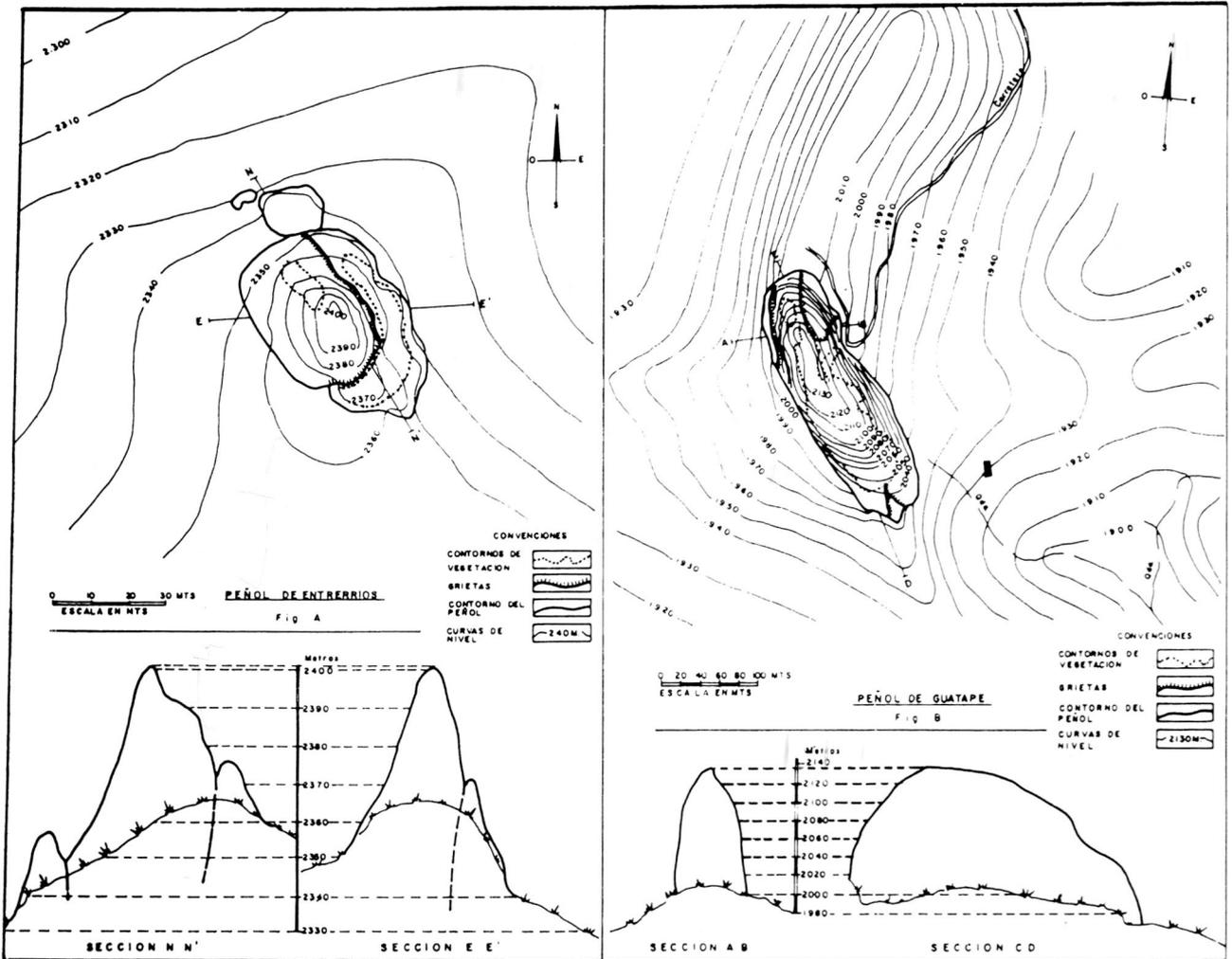


Fig. 3. Esquema topográfico y perfiles longitudinal y transversal de los peñoles de Entrerrios y Guatapé (Tomado de BOTERO 1963).

- Sólo se encuentran en el Batolito Antioqueño y se desarrollan sobre tonalitas de características texturales y composicionales similares a las del resto del batolito donde no se encuentran estas geoformas.

- El seudokarst ocurre sólo en áreas donde el relieve local es menor de 50 m.

- La distribución de las depresiones cerradas es dendrítica, similar al patrón de drenaje que predomina en el batolito.

que en la parte superior, donde está el punto de captura, se genera una depresión cerrada.

CONCLUSIONES

La distribución y diversidad de las geoformas presentes o desarrolladas sobre las rocas del Batolito Antioqueño, permiten plantear las siguientes conclusiones:

- La homogeneidad en la composición mineralógica y química y en las características texturales de las rocas del Batolito Antioqueño no permite plantear una relación entre el desarrollo de las diferentes geoformas encontradas en el cuerpo y variaciones en las características mencionadas.

- La variación en el espaciamiento y ángulo entre fracturas permite el desarrollo de bloques de formas y dimensiones variadas.

- La meteorización de las rocas graníticas del Batolito

Por lo anterior, FEININGER (1969) considera que el seudokarst se origina por sufosión en capas meteorizadas sobre las vertientes y cimas de colinas donde no interfieren con el desarrollo del drenaje superficial normal. El seudokarst se desarrolla cuando el fenómeno de sufosión alcanza el fondo del valle y captura el drenaje. El cauce de la corriente, a partir del punto de la captura, es abandonado y disminuye la tasa de profundización del valle de tal forma

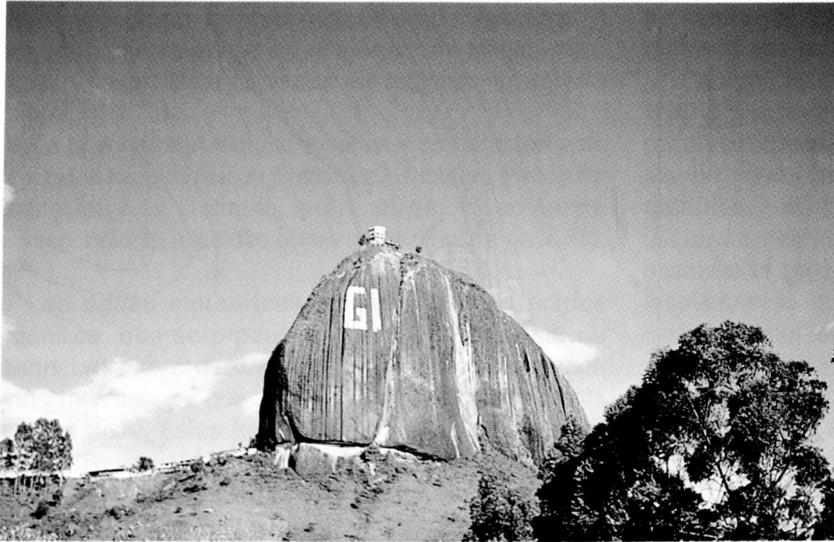


Fig. 4. Panorámica en sentido SW-NE del Peñol de Guatapé y acanaladuras presentes. Municipio de Guatapé, Departamento de Antioquia.



Fig. 5. Acumulación de bloques de diferente diámetro en las laderas y corrientes. Autopista Medellín – Bogotá, cruce con el Río Cocorná (vista SE – NW), Departamento de Antioquia.

Antioqueño genera saprolitos profundos que al ser removilizados por erosión dejan al descubierto núcleos de roca relativamente fresca. Este fenómeno (ARIAS 1995) asociado al levantamiento de la Cordillera Central genera superficies escalonadas ó superficies de erosión.

- La meteorización química sobre las rocas del Batolito Antioqueño

además de formar el saprolito, desarrolla acanaladuras sobre las superficies de roca relativamente fresca.

- La actividad tectónica regional produce a lo largo de fallas y zonas de cizalladura, cambios texturales y mineralógicos que permiten la segregación de las fases minerales más resistentes a partir de las cuales

se desarrollan formas tabulares.

- El levantamiento diferencial de la Cordillera Central (PAGE & JAMES 1981), ha permitido que la erosión actúe con distinta intensidad sobre el área del Batolito Antioqueño acentuando el desarrollo local de ciertas geoformas.

- Los peñoles son las geoformas más notorias en el Batolito Antioqueño; según BOTERO (1963) es probable que hayan sido originalmente núcleos de exfoliación exentos de fracturamiento y que fueron expuestos rápidamente a la intemperie por erosión.

- Los bloques se derivan de la meteorización de la roca favorecida por el fracturamiento y su tamaño indica el espaciamento de las fracturas (TWIDALE 1982). La acumulación de estos bloques en los cauces de las corrientes constituye los organales.

- Los cambios químicos a lo largo de zonas de cizalladura acentúan los procesos de meteorización, dejando después de cierto tiempo una acumulación residual de bloques de cuarzo lechoso alineados a lo largo de las trazas de la zona de cizalladura.

- Las formas tabulares se han desarrollado sobre diques de composición mineralógica y química diferente a la de la facies normal del batolito, acentuando los procesos de meteorización y erosión en las zonas de contacto.

- La capa superficial de roca meteorizada, presenta porosidad baja y permeabilidad alta secundarias que permiten el flujo subsuperficial de aguas meteóricas, superficiales, freáticas y subterráneas, arrastrando consigo partículas que al separarse de la masa, dejan espacios vacíos formando cavidades. Según FEININGER (1969) estas cavidades, al alcanzar la superficie, forman los pseudokarst.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado como parte del programa de Especialización en Cien-

cias de la Tierra y Medio Ambiente de la Universidad EAFIT, Medellín. Mis agradecimientos a los profesores Michel Hermelín A. y Humberto González I. por su asesoría y la revisión crítica del documento

REFERENCIAS

- ALVAREZ, J. (1983): Geología de la Cordillera Central y el Occidente Colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides Mesocenoicos.- Ingeominas, Boletín Geológico 26 (2), p 1-75, Bogotá.
- ARIAS, A. (1995): El relieve de la Zona Central de Antioquia: Un palimpsesto de eventos tectónicos y climáticos.- Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Número 10, p 9-24. Medellín.
- BARRERO, D.; ALVAREZ, J. & KASSEM, T. (1969): Actividad ígnea y tectónica de la Cordillera Central durante el Mesocenoico.- Ingeominas, Boletín Geológico 18 (1-3), p. 145-173, Bogotá.
- BOTERO, G. (1940): Geología sobre el Ordoviciano de Antioquia.- Revista Minería, 17 (99), p. 8249-8256. Medellín.
- ____ (1942): Contribución al conocimiento de la petrografía del Batolito Antioqueño.- Revista Minería, volumen. XX, p 115-117, Medellín.
- ____ (1963): Contribución al conocimiento de la geología de la Zona Central de Antioquia.- Anales de la Facultad de Minas. Número 57. 101p. Medellín.
- CARMICHEL, I.; TURNER, J. & VERHOOGEN, J. (1974): Igneous Petrology.- 739 p. Mc GrawHill, New York.
- CASE, J.; DURAN, L.G. & MOORE, R. (1971): Tectonic investigation in western Colombia and eastern Panama.- Geological Society of America Bulletin, 82 (10), p. 2686-2711.
- CHAPPELL, B. & WHITE, A. (1971): Two contrasting granitic rock types.- Pacific Geology, 8, p. 173-174.
- ELLWANGER, R. (1966): Informes sobre los ensayos de arcillas hechos en el laboratorio de la Facultad de Minas.- Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional, XIV (1-3), p. 55-132. Bogotá.
- FEININGER, T. (1969): Pseudokarst on quartz diorite, Colombia.- Zeitschrift für Geomorph., Vol 13 (3), p. 287-296.
- FEININGER, T. & BOTERO, G. (1982): The Antioquian Batholith.- Publicación Geológica Especial, Ingeominas 12, 50 p. Bogotá.
- FEININGER, T.; BARRERO, D. & CASTRO, N. (1972): Geología de Antioquia y Caldas (subzona IIB).- Ingeominas, Boletín Geológico, 20 (2), p 1-173, Bogotá.
- GONZALEZ, H. (1980): Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina).- Boletín Geológico, Ingeominas, Vol. 23(1):1-174. Bogotá.
- ____ (1993): Variaciones mineralógicas y químicas relacionadas con la zona de cizalladura de Cristales, Batolito Antioqueño, Cordillera Central, Colombia.- Revista Ingeominas 3, p 84-93. Santafé de Bogotá.
- ____ (1997): Mapa geológico de Antioquia, escala 1:400000, Memoria explicativa.- Ingeominas, informe 2199. 242 p. Santafé de Bogotá.
- HAMILTON, W. & MYERS, W. (1967): The nature of batholiths.- U.S. Geological Survey, Professional Paper 554-C, p. 1-30
- HALL, R.; ALVAREZ, J. & RICO, O. (1972): Geología de los departamentos de Antioquia y Caldas (Subzona II-A).- Boletín Geológico, Ingeominas, Vol. 1, 85 p. Bogotá.
- IGAC (1995): Suelos de Colombia.- Editorial IGAC, 432 p. Santafé de Bogotá.
- MAYA, M. (1992): Catálogo de dataciones radiométricas en Colombia.- Ingeominas, Boletín Geológico 32, p 127-188. Santafé de Bogotá.
- PAGE, W. & JAMES, M. (1981): Deposits near Medellín, Colombia: Implications to tectonics and erosion rate. Primer Seminario Sobre el Cuaternario en Colombia.- Revista CIAF, Vol. 6 (1-3), p 421-454. Bogotá.
- TUREKIAN, K. & WEDEPOHL, K.H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth crust.- Geological Society of American Bulletin, 72, p. 192-195.
- TWIDALE, C.R. (1982): Granite Landforms.- Elsevier, 372 p. New York.
- THORNBURY, W.D. (1968): Principles of Geomorphology.- John Wiley and Sons, 394 p. New York.

Manuscrito recibido, Febrero de 1998