

# SISTEMAS MORFOGÉNICOS CONTRASTADOS EN EL NORTE DE LA CORDILLERA CENTRAL COLOMBIANA

por

Michel Hermelín<sup>1</sup>

## Resumen

**Hermelín, H.:** Sistemas morfogénicos contrastados en el Norte de la Cordillera Central Colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **31** (119): 199-216, 2007. ISSN 0370-3908.

La regionalización de los procesos geomorfológicos en las montañas intertropicales ofrece varias dificultades que no se resuelven con la simple aplicación a los pisos altitudinales del concepto zonal, basado en la latitud. Se presentan diferencias notorias en los rangos y las frecuencias de los procesos que hacen necesaria una agrupación sui generis. En el caso de la región norte de la Cordillera Central de Colombia, la persistencia de los altiplanos, desarrollados sobre gruesos mantos de saprolitos, plantea la larga duración de procesos de meteorización química sin que intervengan simultáneamente fenómenos erosivos de importancia, tal como lo demuestra la preservación de minerales volcánicos procedentes de caídas de ceniza con edades hasta de 5 millones de años. Episodios erosivos cortos, evidenciados por capas de gravas intercaladas, no modificaron sustancialmente la topografía y se interpretan con base en datos obtenidos por fotoluminiscencia como resultado de condiciones más secas y más erosivas asociadas con el último máximo glacial. Por otra parte las vertientes sufren procesos erosivos intensos no sólo causados por fenómenos climáticos como aguaceros intensos y prolongados sino por sismos de magnitud >6.0 que generan múltiples procesos con grandes consecuencias tanto en modificación de geoformas como en suministro de sedimentos. Las condiciones anteriores dan como resultado la coexistencia de sistemas morfogénicos contrastados bajo condiciones climáticas similares.

**Palabras clave:** Geomorfología, procesos erosivos, altiplanos, Cordillera Central, Antioquia.

## Abstract

Regional classification of geomorphic processes in intertropical mountains present several difficulties which cannot be solved through the simple application of zonality concept, based on latitudinal divisions, to altitude floors. Several notorious differences in un ranges and frequencies

appear, which render necessary a new grouping. For the northern Colombian Central Cordillera, the preservation of plateaus developed over thick saprolitized mantles signifies long periods characterized by predominant chemical weathering processes with almost complete absence of important erosion phenomena, as demonstrated by the persistence of volcanic minerals deposited by airfall ashes with ages reaching 5 M years. Short erosive episodes, evidenced by intercalated stonelines were unable to substantially modify topography and are interpreted, on the basis of photoluminescence data, as associated with LGM. On the other hand, slopes are exposed to intensive erosive processes, not only as consequence of intense and prolonged rain storms but also of 6.0 magnitude earthquakes which generate multiple slope movements and torrential floods which drastically modify geofoms and sediment supplies. These conditions result in the coexistence of contrasting morphogenic systems under similar climatic conditions.

**Key words:** Geomorphology, erosive processes, plateaus, Central Cordillera, Antioquia.

## 1. Introducción

La geomorfología es el estudio de los paisajes, y si se toma el sentido literal de la palabra, la rama de la ciencia que se ocupa de las formas de la Tierra. Sensus lato, el conocimiento de las geoformas pasa por el de los procesos que las originan (**Chorley et al.**, 1984., **Bloom**, 1998); sin embargo la relación procesos-forma dista mucho de estar resuelta. Falta además establecer si una geoforma está en equilibrio con las condiciones actuales o si ha sido heredada de condiciones ambientales distintas, y por lo tanto determinar su edad. Este trabajo intenta, en primer lugar, una revisión a la interpretación de las geoformas que existen en Colombia, con énfasis en su región noroccidental, pero sobre todo una aproximación a la importancia relativa de los procesos que las han originado en la región norte de la cordillera Central.

### 1.1. Consideraciones históricas

Históricamente, la primera interpretación que le dió el hombre al paisaje fue considerarlo como el resultado de una creación, conjunto de acciones inmutables atribuidas a una divinidad o a varias, según el grado de inspiración de las culturas respectivas.

La influencia de las creencias religiosas fue bastante más importante de lo que suele admitirse para el desarrollo conceptual de la geomorfología: efectivamente existió desde el nacimiento de disciplinas conexas, como la paleontología, la idea de asociar la desaparición de especies, que ahora sólo se conocen como fósiles, con la ocurrencia del diluvio universal, fenómeno profusamente comentado en las religiones judeocristianas. Basta con mirar los trabajos de **Hettner** (1892) y de **Grosse** (1926), excelentes exponentes de la ciencia alemana de fines del siglo XIX y de principios del XX para ver que los depósitos aluviales aún reciben allí el nombre de “diluvium”.

La reacción de la escuela originada por **Hutton**, (1795) difundida por **Playfair** (1808), desarrollada por **Lyell** (1830) y que inspiró la teoría de la evolución de Darwin, queda resumida en la muy citada frase del primero:

“No veo la evidencia de un principio, no percibo la señal de un fin”.

Esa es la piedra de toque que va a establecer la separación de los conocimientos geológicos con respecto a la tradición religiosa, separación que si bien es generalmente aceptada, sigue puesta en tela de juicio por las creencias fundamentalistas. Exceptuando estas aberraciones que suelen florecer en tierras del norte del Río Grande, como lo muestra la polémica reciente acerca de la “intelligent design”, se puede afirmar que las Ciencias de la Tierra (como las otras) han logrado en general liberarse de la influencia de la religión. Sin embargo este rechazo de la posición que se denominó originalmente catastrofismo aún tiene sus consecuencias. Darwin influenció a Davis, exponente de la geomorfología americana, quien tuvo mucha resonancia en Europa, particularmente en cuanto a la difusión de su ciclo geográfico, en el que se plantea una evolución lenta y casi imperceptible de los paisajes (expresada en términos antropocéntricos que aún subsisten: juventud, madurez, senectud) por medio de unos procesos erosivos que **Davis** (1901) nunca definió a cabalidad. Después de establecer su ciclo, desarrollado con base en observaciones efectuadas en condiciones húmedas y templadas, lo modificó para incluir como subdivisiones el ciclo glacial y el ciclo desértico.

Sin embargo la orientación estaba dada: durante mucho tiempo los geomorfólogos - y los geólogos - consideraron que la evolución de los paisajes debía seguir las reglas del “uniformitarianismo” huttoniano: los procesos actuales explican todo lo que se observa en la tierra, no sólo los paisajes sino las rocas. Además los paisajes se modifican a velocidades imperceptibles para los seres humanos.

Cuando en la década de 1920 **Bretz** (1969) interpretó, por cierto correctamente, las megaestructuras sedimentarias de las Channeled Scablands en los Estados Unidos, fue refutado y descalificado porque el tamaño de la inundación que deducía de sus evidencias era descomunal con respecto a las observadas hasta ese entonces. Sólo fue “rehabilitado” a fines de la década de 1980 por la Sociedad Geológica de América. Un caso similar ocurrió con la hipótesis de **Alvarez et al.**, (1980) acerca de las evidencias del impacto de un meteorito de gran tamaño ocurrido en el límite entre el Cretácico y el Cenozoico: la comunidad científica reaccionó con una incredulidad molesta que duró varias décadas.

Se puede por lo tanto afirmar que la duradera influencia de Davis, pese a publicaciones tempranas como las de **Acosta** (1846, 1851), seguirá teniendo una gran influencia en la interpretación de los paisajes colombianos.

## 1.2. Geomorfología como parte de las Ciencias de la Tierra

Aunque parezca abusivo, se podría asimilar a las Ciencias de la Tierra la anécdota que cuenta **Echavarría Olázaga** (1962) acerca de la economía: para enseñarle a su amo el rajá los fundamentos del conocimiento, un filósofo indio hizo traer a varios ciegos de nacimiento y los puso en presencia de un elefante. Cada ciego asió la parte del animal que tenía más cerca y cuando se le preguntó a cada uno qué era un elefante, las respuestas variaron entre serpiente (la trompa), cuerda (la cola), manta (una oreja), columna (una pata) y espolón (una defensa).

Las Ciencias de la Tierra en Colombia (como en otras partes del mundo), han sido disciplinas aplicadas para profesiones que tienden a considerarlas como propias, aunque realmente conformen un conjunto articulado: la geología nació como auxiliar de la minería; la edafología fue enseñada para los agrónomos, la hidrología para los ingenieros civiles, la biogeografía para los ingenieros forestales, la geomorfología para los geógrafos y la meteorología ... en el exterior, por lo menos hasta hace relativamente poco (**Hermelín**, 1999).

Sin embargo, ¿cómo entender el origen y la evolución de un paisaje sin tener una buena base de las disciplinas anteriores? En un momento dado de la historia de la tierra, la disponibilidad de agua, íntimamente ligada al clima, es tan fundamental como el conocimiento del material rocoso subyacente para poder entender los suelos, las geoformas, los procesos erosivos y la biota predominante.

Sin entrar a discutir en detalle dichas relaciones, se encuentran buenos ejemplos en los trabajos de **Erhart** (1955)

(biostasia, con predominio de cubierta boscosa tropical, exportación de cationes en solución y en las costas formación de barreras coralinas en ambientes desprovistos de turbidez; rexistasia, con erosión generalizada, producción de sedimentos detríticos, formación de sedimentos clásticos), o de **Tricart & Cailleux**, (1965) donde se oponen la edafogénesis, situación estable, a la morfogénesis, en la que se modifican las formas previa destrucción del suelo.

## 1.3. Las limitaciones de la geomorfología climática

Si bien se reconoce a **Humboldt** (1950; **Humboldt & Bonpland**, 1807) como el iniciador de la fitogeografía, la geomorfología climática sólo floreció, particularmente en Europa, hacia finales del siglo XIX a raíz de los viajes de los grandes naturalistas, particularmente alemanes, a las otras regiones del mundo (**Tricart et Cailleux**, 1964; **Derbyshire**, 1973, **Buedel**, 1982; **Gutiérrez**, 2001).

El razonamiento es a primera vista sencillo: a cada clima está asociado un conjunto de procesos y por lo tanto de geoformas características. El planeta puede dividirse en zonas latitudinales cuya característica principal es la cantidad de calor que reciben del sol, pero también la circulación de los vientos y la humedad disponible.

La división zonal iniciada por los edafólogos, encabezados por Dokuschaiev, fue seguida por los geomorfólogos (**Tricart & Cailleux**, 1964, **Buedel**, 1982), Si bien es cierto que hay conjuntos de procesos y de formas que sólo se dan en climas característicos (polar, desértico), también existen otros que son comunes a varias zonas: la división tiene que completarse con otras consideraciones, como la temperatura del mes más frío del año y el número de meses sin lluvia (**Chorley et al.**, 1984).

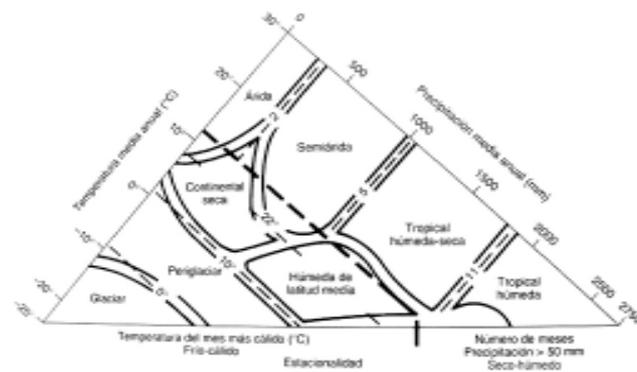


Figura 1. Triángulo de Chorley et al. (1984): regiones morfogénicas).

El otro problema que debe afrontar la geomorfología climática tiene que ver con el tiempo de formación de las geoformas específicas y su resistencia a cualquier cambio

climático posterior; nace entonces el concepto de geoformas heredadas, que corresponden a climas pasados y el de palimpsesto: como los antiguos pergaminos donde se escribía varias veces sin borrar del todo el escrito anterior, existen paisajes cuyos componentes son el resultado de la acción sucesiva, muchas veces incompleta, de paleoclimas sobrepuestos (**Chorley et al.**, 1984).

Pueden existir inclusive casos en los cuales, como para los inselbergs (en Colombia se utiliza el viejo término español peñol), la geoforma sea realmente el resultado de dos climas sucesivos: húmedo con meteorización química profunda seguido de erosión intensa (etchplanation) que elimina toda la capa de alteritas y sólo deja el piso rocoso. (**Botero**, 1963; **Linton**, 1955).

Finalmente otro problema que presenta la geomorfología climática es el hecho de que algunos fenómenos climáticos actúan directamente sobre las rocas (por ejemplo la gelifracción) mientras que otros, como la meteorización química, están condicionados por la atmósfera, el agua corriente y la presencia de suelo con materia orgánica que acidifica el agua lluvia. (Fig. 2) Se presentan, por lo tanto, dudas acerca de la velocidad a la cual ocurren los procesos y por lo tanto acerca del tiempo necesario para su desarrollo.

## 2. Climas y montañas

### 2.1. Los climas de las montañas ecuatoriales

¿Es una montaña alta, localizada cerca del ecuador, un microcosmos del planeta? La respuesta parece simple, pues como lo pretende Holdridge (en **Espinal**, 1977); en su diagrama (Fig. 3), bastaría con sustituir latitud con altitud: la zona polar quedaría reemplazada por el piso nival, y así sucesivamente. Sin embargo la situación real dista mucho de ser así. En primer lugar, si bien es cierto que los pisos van desde biotemperaturas de 30°C en el nivel del mar hasta temperaturas de 0°C o inferiores, hay diferencias notorias (**Tricart et al.**, 1962):

- En primer lugar no existen entre los trópicos estaciones térmicas como en latitudes medias. En Colombia la máxima diferencia entre la temperatura media del mes de Diciembre sólo difiere a lo sumo de un grado de la temperatura media de Junio (IGAC, 2002).
- En segundo lugar la duración de los días prácticamente no varía, a lo largo del año, siendo la diferencia máxima en el centro del país sólo de unos 15 minutos.
- En tercer lugar la secuencia altitudinal puede iniciarse en la base con climas semidesérticos (Guajira) o hiperhúmedos (Chocó). (**Espinal**, 1977; **Espinal et al.**, 1977).

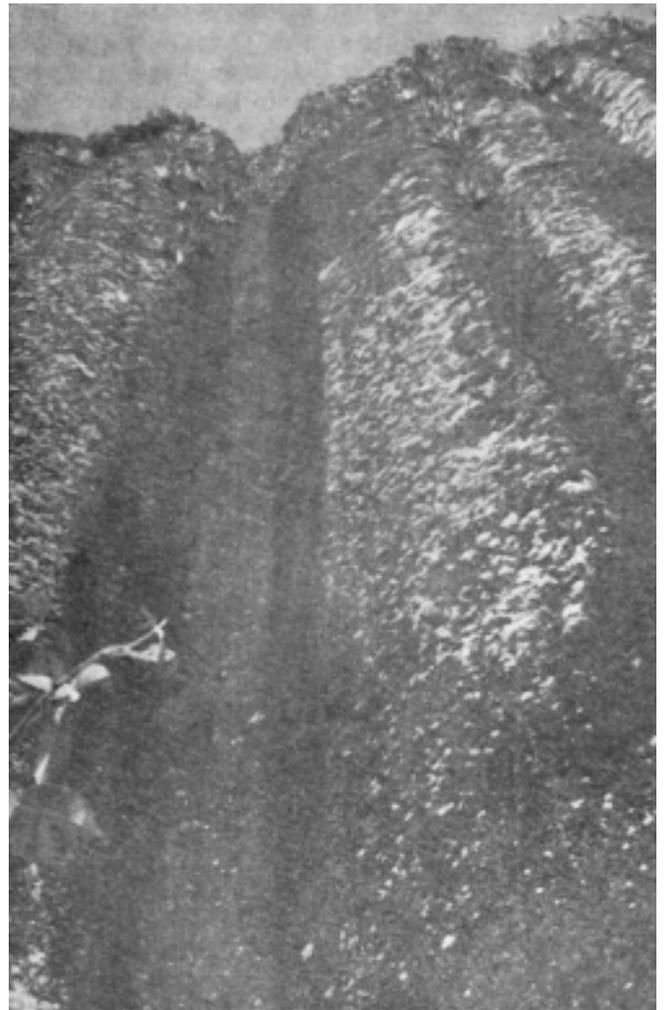


Figura 2. Acanaladuras en el peñol de Guatapé.



Figura 3. Diagrama de Holdridge.

- A lo largo de las pendientes pueden presentarse depresiones secas y máximos pluviométricos (**Khobzi & Usselmann**, 1974) y eso se refleja también en la altura a la que aparecen los glaciares.
- La lluvia varía en función del traslado de la zona de convergencia intertropical, con una precipitación bimodal en la zona andina y unimodal en los Llanos Orientales y la Guajira. La topografía también tiene una influencia marcada sobre la precipitación.
- La densidad de la atmósfera también disminuye hacia arriba.

El clima de los Andes daría lugar para muchas más observaciones, iniciadas por Caldas, Humboldt y Boussingault y refinadas recientemente por autores como **Jaramillo** (2006) y **Mesa et al.** (1997). Sin embargo el tema por ahora más importante es el de la distribución de los pisos altitudinales de las montañas tropicales en función de los procesos geomorfológicos que allí ocurren. Al respecto varios autores han producido contribuciones como **Tricart et al.** (1962) y **Mainguet-Michel** (1963) para los Andes Venezolanos de la región de Mérida y los Andes de Perú; **Bik** (1967) para las montañas Centrales de Nueva Guinea; **Bartels** (1984) para la Sierra Nevada de Santa Marta; **Thouret** (1983) para la Cordillera Central. En forma más general, **Khobzi & Usselman** (1974), (Cuadro 1) **Hermelín** (1976) y **Flórez** (s.f., 2003, 2005) (Cuadro 2) han intentado una separación en pisos altitudinales (escalonamiento, según el término utilizado por **Gutiérrez**, 2001) para Colombia.

**Cuadro 1.** Principales sistemas geomorfológicos según **Khobzi & Usselmann** (1974)

|   |
|---|
| Glaciares y formas asociadas<br>Piso periglacial<br>Páramos inferiores<br>Vertientes boscosas de las cordilleras<br>Depresiones secas de las cordilleras<br>Regiones selváticas<br>Regiones secas |
|---|

**Cuadro 2.** Sistemas morfogénicos principales según **Flórez** (2003)

|  |
|--|
| Alta montaña<br>Montaña media<br>Montaña baja<br>Depresiones tectónicas<br>Litorales<br>Dominio amazónico<br>Dominio orinoqués<br>Sistemas insulares |
|--|

## 2.2. Procesos Geomorfológicos en las montañas tropicales húmedas

La descripción y la distribución de los diferentes procesos que modelan la superficie de la tierra en las montañas tropicales parece relativamente sencilla, como sería una simplificación de la figura 1, pero la realidad es mucho más compleja por varios motivos:

- La dificultad que aún existe para identificar la importancia relativa y actual de dichos procesos (p. e. **Khobzi**, 1981).
  - La presencia de procesos externos que actúan en varios pisos altitudinales: ríos, movimientos en masa por ejemplo.
  - La existencia de procesos exogénicos que tienen una ocurrencia muy espaciada pero que revisten una importancia fundamental en la evolución de los paisajes: los aguaceros excepcionalmente fuertes en las zonas pendientes (p.e. **Hermelín**, 1993).
  - La ocurrencia de fenómenos endógenos como los sismos, y las erupciones volcánicas, que presentan efectos similares a los anteriores (**Cárdenas**, 2005; **Velásquez**, 2005; **Wilches-Chaux**, 2005).
  - La influencia de movimientos tectónicos recientes o por lo menos cuaternarios complica a menudo la interpretación de los paisajes, muchas veces ya modificados por los productos volcánicos (p.e. **Toro et al.**, en prensa).
  - Finalmente la intervención humana ha causado grandes cambios que se reflejan tanto en la aparición de procesos nuevos como en tasas de sedimentación extremadamente altas (p.e. **Restrepo et al.**, 2006).
- Pese a las dificultades anteriores, muchos autores han podido estudiar tanto en Colombia como en otros países tropicales los procesos característicos de cada piso:
- Los pisos glaciales, periglaciales y los páramos han sido estudiados en Venezuela y Colombia por **Schubert** (1979) **Brunschweiler** (1981), **Khobzi**, 1981 **Zuluaga & Mattson** (1981), **van der Hammen**, 1979; 1984) entre otros.
  - Las pendientes boscosas también han sido el objeto de numerosos estudios, entre los cuales se cuentan los de **Ruxton** (1967) en Nueva Guinea, **Imeson & Vis** (1983), **Thouret & Fabre** (1989) y de **Greiff et al.**, (2002) para Colombia, entre otros.

- Los cambios climáticos recientes han dejado huellas que a menudo pueden ser confundidas con las de procesos actuales o subactuales, particularmente en las zonas periglaciales (p.e. **van der Hammen**, 1984).

Los paisajes más característicos del norte de la Cordillera Central son sus altiplanos modelados a partir de rocas ígneas cretácicas y sus vertientes empinadas, internas (como el Valle de Aburrá) y externas (como el frente de erosión del Magdalena (**Botero**, 1963)). Serán por lo tanto analizados detalladamente a continuación.

### 3. Los altiplanos del Norte de la Cordillera Central

#### 3.1. Superficies de erosión

**Botero** (1963) englobó lo que ahora se reconocen como altiplanos norte y altiplano sur en su macizo oriental, que va desde el cañón del Río Cauca hasta el frente de erosión del río Magdalena (Fig. 4). Los altiplanos, separados por el Valle de Aburrá, se extienden de 6 a 7° de latitud norte aproximadamente y se caracterizan por una topografía masiva, con entalles de ríos limitados a zonas fracturadas (Fig. 5). Están en su mayoría situados sobre el Batolito Antioqueño, rodeados por las rocas metamórficas que éste intruyó.

**Page & James** (1981a) plantean la existencia en la zona de 4 superficies de erosión:

- Pre Cordillera Central
- SI (cordillera Central) (Llanos de Cuivá, La Unión) formada Oligoceno al Mioceno
- SII (Río Negro) formada durante el Mioceno-Plioceno, a partir de las observaciones de **Soeters** (1981).
- Superficie SIII (El Peñol)
- Superficie IV (actual)

El esquema propuesto por **Page & James** (1981a) implica levantamientos sucesivos de la Cordillera Central que culminan al iniciarse el Cuaternario. Se planteó la posibilidad de que la superficie inicial fuera una sola y que los niveles observados fueran el resultado de fallamientos en bloques ocurridos durante el levantamiento (**Hermelín**, 1983; 1988).

El análisis morfotectónico de **Toro et al.** (sometido), basado en consideraciones estadísticas de la topografía de la región circundante a Medellín, les permite señalar

la existencia de 4 niveles de altiplanos entre 2100 y 2750 m sobre el nivel del mar, separados por elementos tectónicos y relacionados con la actividad tectónica.

Por otra parte resultados preliminares recientes (**Rendón et al.**, en preparación) obtenidos a partir de la determinación del espesor de saprolitos derivados del Batolito Antioqueño indican una mayor profundidad para las superficies más altas, lo que parecería conformar la hipótesis de levantamientos sucesivos. (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Profundidades de los saprolitos derivados de plutones granodioríticos en la región central de Antioquia.

| Lugar           | Profundidad Min (m) | Profundidad Max (m) | Promedio (m) |
|-----------------|---------------------|---------------------|--------------|
| Llano de Ovejas | 55.7                | 101.6               | 73.1         |
| Llanos de Cuivá | 52                  | 88.6                | 69.22        |
| La Unión        | 32.9                | 51.5                | 43.84        |
| Llano Grande    | 30                  | 44.6                | 34.92        |
| Aeropuerto      | 50.4                | 62.8                | 54.6         |

#### 3.2. Meteorización química

La meteorización química intensa (**Reiche**, 1950, **Carrol**, 1970; **Ollier**, 1969; **Hermelín**, 1979; 1981), características del trópico húmedo, acompañada por una escasa erosión en los altiplanos, ha producido saprolitos de gran espesor (**Botero**, 1963; **Feininger**, 1971; **Hoyos et al.**, 1985; **Rendón et al.**, en preparación) (Fig. 6). El Batolito Antioqueño, como cuerpo ígneo homogéneo, ofrece una serie de ventajas para estudiar los productos de meteorización de sus componentes. Los principales procesos son:

- la hidrólisis, que afecta principalmente los feldespatos, transformándolos isovolumétricamente (**Millot & Bonifas**, 1955) en arcillas caoliníticas. Los minerales ferromagnesianos comunes (biotita y hornblenda) se transforman en óxidos e hidróxidos de hierro mezclados con caolinita.

El cuarzo permanece estable hasta que en una etapa más avanzada de meteorización se vuelve sacaroidal y pulverulento. También en caso de meteorización máxima aparece la gibbsita como producto de neoformación de la caolinita. Los minerales accesorios como el circón el apatito y la magnetita no suelen ser afectados.

- el proceso paralelo a la hidrólisis es el de oxidación-reducción. En general predominan las condiciones oxidantes, excepto en las cercanías de las

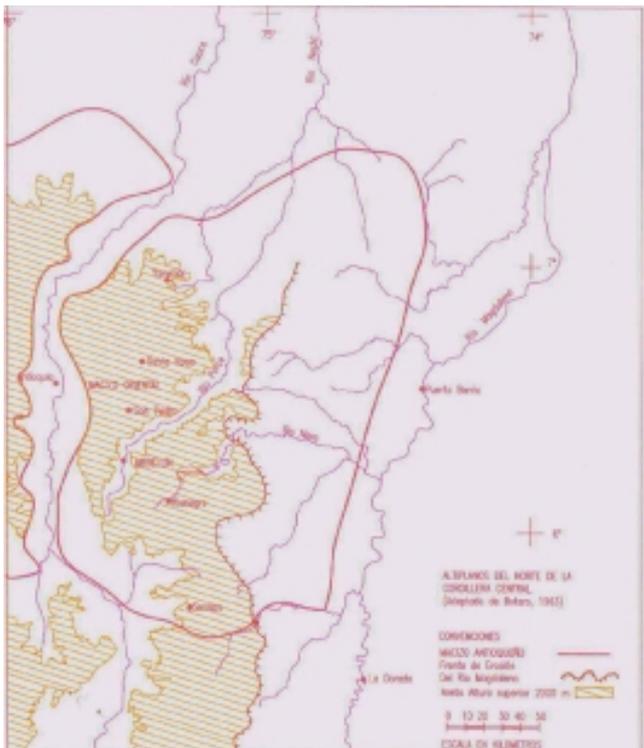


Figura 4. Macizo oriental del norte de la Cordillera Central, según Botero (1963).



Figura 5. Foto área obliqua altiplano de Rionegro (SII).

corrientes donde la reducción mezclada con la hidrólisis produce un saprolito blanco (caolinita) con manchas grises (ferromagnesianos descompuestos y reducidos (Fig. 7). En la actualidad se están realizando estudios sobre la evolución de los mine-



Figura 6. Corte vertical de 27 m en saprolito derivado del Batolito Antioqueño, 5 km al oeste de Rionegro.



Figura 7. Vista detallada del saprolito.

rales ferromagnesianos así cómo sobre una sustancia de color negro que aparece en la periferia de los minerales oscuros que sufren meteorización, pero también en venas y en forma de manchas discretas en medio de feldspatos (Hermelin, *et al.*, en curso). Se ha interpretado tradicionalmente esa sustancia como un óxido de manganeso (G. Botero, comunicación verbal), pero observaciones microscópicas preliminares parecen indicar más bien la presencia de hematita, posiblemente con características de hierro especular.

### 3.3. Los saprolitos

El saprolito, en cortes recientes, siempre aparece húmedo pero nunca saturado. Preserva, en forma muy exac-

ta, tanto el volumen como las estructuras que existían en la roca fresca, pese a que su densidad en seco puede haber pasado de 2.7 a 1.5 y aún 1.3 g/cm<sup>3</sup> (**Hermelín, et al.**, 1983; **Hoyos et al.**, 1985). A pesar de ofrecer permeabilidades bajas (10<sup>-8</sup> cm s<sup>-1</sup>) el saprolito parece ser un vehículo importante en la alimentación del nivel freático de los altiplanos. Aún queda mucho por hacer en la comprensión de este fenómeno, en particular en cuanto a la importancia de las diaclasas en el proceso.

Otro tema que merece ser investigado es el de la retención por parte de los minerales ferruginosos de neoformación del campo magnético terrestre, existente en el momento de la reacción, fenómeno que recibe el nombre de “chemical remnant paleomagnetism”. En Colombia se han hecho determinaciones de edades preliminares con base en ese método (**Page & James**, 1981a). En la actualidad se está obteniendo una calibración por medio de comparación con otros métodos para datar las formaciones superficiales de los altiplanos (**Sierra et al.**, en preparación).

Los gruesos saprolitos derivados del batolito ofrecen la posibilidad de determinar edades de formación a partir del CRPM (Chemical remnant paleomagnetism). Hasta ahora sólo se han hecho ensayos sistemáticos en formaciones superficiales de poco espesor en Australia (Pr. M. Thomas, comunicación verbal, 2006).

### 3.4. Tasas de meteorización:

Los altiplanos han sido interpretados todos como el resultado de una larga exposición a los fenómenos de meteorización química sin que ocurran fenómenos erosivos destructores (**Shlemon**, 1979; **Page & James**, 1981a). Una evaluación directa de la edad del altiplano de Río Negro (S II según Page y James) basada en la datación de circones volcánicos encontrados en el Oriente Antioqueño es de unos 6 Ma (**Toro et al.**, sometido) Ese dato lleva a pensar que esa preservación de tipo “biostasia” (**Erhart**, 1955), se caracteriza por el único proceso de “erosión química” de **Tricart & Cailleux** (1964) es decir pérdida de cationes en solución, exportados por el sistema fluvial con la consiguiente formación de saprolitos bajo la protección de un manto pedológico y de una cubierta vegetal permanente. Con el fin de conocer la tasa de meteorización química, se efectuó el análisis de los cationes transportados en las corrientes del oriente Antioqueño (**Geale & Hermelín**, 1988) y se llegó a la conclusión que en áreas correspondientes a formaciones vegetales de tipo bosque muy húmedo tropical, la sílice en solución transportada por los ríos era del orden de 10 veces mayor que el promedio mundial. Por otra parte, a partir de los datos obtenidos

por **Geale & Hermelín** (1988) se puede calcular la velocidad de formación de saprolito. Si se consideran espesores promedio de 80m, se deduce que se requieren del orden de 5 Ma para que el frente de meteorización llegue a esa profundidad (**García & Hermelín**, 2004). Se trata obviamente de una aproximación que no tiene en cuenta cambios climáticos y de altura, pero se considera que el razonamiento es fundamentalmente correcto por los resultados obtenidos (Cuadro 4) y variando la manera de efectuar los cálculos.

**Cuadro 4.** Resultados utilizando sólo el Si disuelto en las aguas superficiales

|   | Río<br>Calderas | Río<br>Tafetanes | Q.<br>Jaguas | Q.<br>Juanes |
|---|-----------------|------------------|--------------|--------------|
| T <sub>M-kg</sub> (kg/ha-año)           | 379.27          | 370              | 599.29       | 354.31       |
| T <sub>Ma</sub> (m/Ma)                  | 34.5            | 33.6             | 54.5         | 32.2         |
| Años (para formar<br>80 m de saprolito) | 2 320 274       | 2 378 404        | 1 468 408    | 2 483 722    |
| Años para formar<br>200 m de saprolito  | 5 800 685       | 5 946 009        | 3 671 020    | 6 209 305    |

Existen métodos más perfeccionados para datar el saprolito, como el desarrollado recientemente por **Vasconcelos & Conway** (2003). Se espera poder utilizarlos más adelante.

Finalmente la utilización de métodos basados en isótopos de oxígeno y de hidrógeno contenidos en los saprolitos debería permitir obtener la historia térmica de las aguas de meteorización durante el levantamiento de la cordillera.

### 3.5. Terrazas

Las terrazas de la región de Río Negro fueron estudiadas inicialmente por **Hermelín & Durango** (1976), sin la posibilidad de datarlas en esa época. Un poco más tarde, **Page & James** (1981a) utilizando paleomagnetismo residual químico remanente (RCPM) obtuvieron dataciones preliminares que las señalan como cuaternarias. Análisis recientemente realizados con el método de OSL (Luminiscencia óptica) en las terrazas del Llano de Ovejas dan para los depósitos aluviales superiores edades de 56 000 a 92 300 años BP, (**López et al.**, en prensa) que corresponderían a los estadios isotópicos marinos No 3 y 4 (**Clapperton**, 1993; **van der Hammen & Hooghiemstra**, 2000). Más dataciones por ese método están en curso para los depósitos aluviales de la zona de Río Negro.

### 3.6. Línea de piedras

Este término es una traducción literal de “stone line”, (nappe de gravats, de los autores franceses, línea de cantos en **Gutiérrez** (2001) y designa una capa delgada (máximo unos 30 cm de espesor) caracterizada por una acumulación de materiales gruesos como cuarzos angulares o redondeados, nódulos de gibbsita o restos de costras de óxidos e hidróxidos de hierro. Estos materiales han sufrido un desplazamiento superficial corto sobre la superficie del terreno, como se evidencia en muchos afloramientos del Oriente Antioqueño y del Llano de Ovejas (**Hermelín**, 1993). En el Oriente Antioqueño la línea de piedras suele estar asociada con un horizonte gris (ambiente reductor), en la base de las capas de cenizas volcánicas que recubren la mayor parte de la topografía suave de los altiplanos antioqueños (Fig. 8). Dataciones por trazas de fisión de circones de origen volcánico localizados arriba y abajo de la línea de piedras indican para esos cristales edades de 340 000 a 430 000 años BP (**Toro et al.**, 2006). Dataciones recientes de tiempo de enterramiento de granos de cuarzo basados en OLS (Luminiscencia óptica) en los Llanos de Ovejas dan edades de 18900 y 21800 Años B P (**López et al.**, en prensa). Esas fechas corresponden al inicio de un período seco y frío del pleniglacial. Por razonamiento geomorfológico, **Hermelín** (1993) había sugerido la coincidencia cronológica del emplazamiento de la línea de piedras con el estadal de Fúquene en la Cordillera Oriental. Las dataciones con OSL parecen confirmar esa hipótesis. La línea de piedras sería el resultado de un época relativamente corta durante la cual la vegetación arbórea desapareció y se produjeron fenómenos erosivos laminares generalizados en las vertientes de las colinas de los altiplanos. Se deduce la corta duración del evento porque los suelos derivados del saprolito del Batolito Antioqueño (capas anaranjadas y rojizas) por bioturbación fueron preservados en buena parte durante ese evento erosivo. Se están adelantando mediciones similares para la línea de piedras del Oriente Antioqueño.

Por otra parte se han observado líneas de piedras en zonas más pendientes como la cuenca alta del río Medellín (**Toro et al.**, 2003) y en el norte del departamento de Caldas, lo que indica seguramente un origen regional de tipo climático

### 3.7. Cenizas volcánicas

Una de las características de los altiplanos antioqueños es su recubrimiento por cenizas volcánicas: su espesor aumenta hacia el sur y su fuente principal es el macizo del Ruiz-Tolima. Fueron inicialmente estudiadas por edafólo-

gos (**Fernández y Santa**, 1964) pero atrajeron la atención de las otras ramas de las Ciencias de la Tierra (**Hermelín**, 1973; 1975a; 1975b; 1977a; 1978a; 1984a, 1984b; 1992a; 1992; **Hermelín & Velásquez**, 1983; **Toro & Hermelín**, 1993; **Toro**, 1999; **Toro et al.**, en prensa) por las grandes posibilidades cronoestratigráficas y geomorfológicas que ofrecen: no sólo son la confirmación de la estabilidad de los altiplanos desde el episodio del emplazamiento de la línea de piedras, sino que desempeñan un papel predominante en la infiltración y la preservación del agua y de la vegetación. (Fig. 9).

El estudio mineralógico de su fracción arena (minerales primarios) ha permitido distinguir por lo menos 5 eventos de emplazamiento, pese a no presentar suelos enterrados. Este último fenómeno se atribuye a un suministro de tefras en cantidades demasiado limitadas que no “sellaron” el suelo preexistente: por lo tanto el horizonte A de éste siguió creciendo hacia arriba, asimilando los nuevos aportes, tal como se pudo observar en los límites de Cundinamarca con Boyacá (Villapinzón) en 1983, unos meses después de la erupción del cráter Arenas.

Se está preparando un análisis sistemático de la presencia de cuarzo en los perfiles, que permita eventualmente establecer una cronología detallada por medio de OSL.

Las vertientes del norte de la Cordillera Central presentan evidencias de numerosos movimientos en masa y sus respectivos depósitos. **Botero** (1963) cartografía en el Valle de Aburrá la enorme extensión de lo que él llamó “taludes”, que corresponde a depósitos de vertiente producidos por deslizamientos y flujos de muchas procedencias litológicas y procesos. Sin embargo no les atribuyó un significado especial y no discutió su génesis. **Shlemon** (1979) los analizó, así como el origen del Valle de Aburrá y **Page & James** (1981b) los consideraron los grandes movimientos de vertientes como procesos de gran importancia en la generación de los paisajes de la cordillera Central. En este capítulo se tratará de explorar el tema de la estabilidad de las vertientes, sin pretender aportar respuestas definitivas a ese tema complejo.

Se examinarán varios ejemplos, empezando por el Valle de Aburrá, que por un alto grado de urbanización ha recibido mucha atención; el caso de San Carlos, (Antioquia) localizado en el “frente de erosión del río Magdalena” (**Botero**, 1963) también merece ser analizado por la ocurrencia de un fenómeno muy significativo de 1990, que fué bien documentado. Finalmente se presentarán algunos casos complementarios de otras áreas, que permitirán completar ese panorama sobre la dinámica de las vertientes del norte de la Cordillera Central.

#### 4. Las Vertientes de la Región Norte de la Cordillera Central

A diferencia de los altiplanos, donde los fenómenos erosivos son escasos, en las vertientes ocurren a menudo fenómenos como movimientos de vertientes y crecientes torrenciales que dejan a veces evidencias cuya preservación es aleatoria. El trabajo de Botero no discute a fondo los procesos de vertiente. En cambio **Shlemon** (1979) analiza el origen de los depósitos del valle de Aburrá y **Page & James** (1981b) consideran los grandes movimientos de masa como procesos de gran importancia en la Cordillera Central. En este capítulo se explora el tema de la estabilidad de las vertientes y por medio de varios ejemplos (Valle de Aburrá, frente de erosión del Magdalena, entre otros) se analiza el tema.

##### 4.1. Valle de Aburrá

**Botero** (1963) cartografió el centro del departamento de Antioquia y a partir de ese trabajo se fueron desarrollando mapas posteriores que en general conservaron sus unidades litológicas (INGEOMINAS, 1999). Botero identificó y mapeó la enorme extensión de los depósitos de vertiente (taludes) pero no les dedicó análisis alguno. En cambio **Shlemon** (1979) discutió ampliamente su posible origen así como el del Valle de Aburrá.

Con base en su similitud con el valle de Caracas, **Hermelín** (1977a), planteó la posibilidad de un origen tectónico, idea ampliada **Hermelín** (1982) y discutida más detalladamente (**Hermelín et al.**, 1984a, 1984b, **Salinas & Hermelín**, 1988).

La primera determinación de edad del Valle de Aburrá y de sus depósitos se hizo por CRPM sobre material arcilloso intercalado en una terraza basculada de un antiguo afluyente occidental del Río Medellín (zona de la Tablaza, La Estrella) y arrojó un comportamiento magnético invertido (**W. Page**, comunicación personal, 1980): por primera vez se sabía que existían en el Valle de Aburrá depósitos que no habían sido emplazados en los últimos milenios. De ese depósito y de otros producidos por flujos de lodo con cenizas volcánicas de caída se obtuvieron por trazas de fisión de circones valores de unos 2 millones de años. (**Toro et al.**, 1996) Posteriormente se encontraron en otros depósitos sepultados del suroriente del Valle de Aburrá cenizas volcánicas que fueron datadas por el mismo método con edades mínimas de 2.6 Ma BP. (**Rendón et al.**, 2006).

Otras muestras obtenidas en depósitos aluviales localizados en la parte superior de la vertiente suroriente del Valle de Aburrá (Envigado-La Fé) dieron edades de 4.0 Ma BP, lo que indica que en esa fecha seguramente no se

había iniciado la apertura del valle en esa zona. El valle por lo tanto parece haber iniciado su apertura entre 4.0 y 3.0 Ma BP. (Fig. 10).

Es sorprendente que depósitos de vertientes tan antiguos y tan expuestas a los procesos erosivo sigan presente allí. Se iniciará pronto un estudio sistemático de dichos depósitos por medio de CRPM.

Por otra parte los hallazgos de **Rendón** (2003) parecen confirmar un origen tectónico, no sólo por el control ya definido de fallas (**Toro et al.**, 2003) sino también porque ensayos geoelectrónicos de precisión indican que en la zona del Aeropuerto Olaya Herrera (Suroccidente del Valle de Aburrá) existen depósitos de sedimentos aluviales de más de 270 m de espesor.

Pese a la estabilidad de muchos depósitos antiguos, siguen ocurriendo deslizamientos catastróficos como el de Villa Tina en 1985 (Fig. 11) (**Bustamante**, 1988; **García**, 2004) y los de La Estrella en 2000 (**Cadavid et al.**, 2004; **Cadavid & Hermelín**, 2005), así como avenidas torrenciales como la de la Quebrada La García en Bello en 2005 (L. J. Mejía, geóloga, comunicación verbal, 2006) que causó 23 víctimas.

Se han realizado además estudios acerca de la cuenca del Río Medellín (Alto de San Miguel) (**de Greiff et al.**, 2004) así como de la variación geoquímica de sus aguas superficiales (**Osorio et al.**, 2003) y de las propiedades hidrológicas de los suelos derivados del Plutón de Altavista (**Patiño et al.**, 2004) A pesar de los estudios anteriores y de numerosos otros, tanto geotécnicos como hidrológicos y geohidrológicos, el grado de conocimiento que se tiene acerca de los procesos actuales que actúan sobre las vertientes del Valle de Aburrá aún es muy insuficiente, si se tiene en cuenta la gran densidad de población que lo habita. Se está, en este momento, completando una red hidrometeorológica detallada y de estaciones geomorfológicas que permiten entender mejor el comportamiento de esas laderas.

##### 4.2. El frente erosivo del Magdalena

Con este término describe **Botero** (1963) las fuertes pendientes y cañones entre 2 100 y 1 000 m que separan la superficie de erosión de Rionegro (II según **Page & James**, 1981a) de las tierras más bajas localizadas hacia el este.

Estudios geomorfológicos realizados en esa zonas para el ISA (**Hermelín et al.**, 1983) en la zona de los embalses no revelaron evidencias de fenómenos como el aguacero catastrófico que ocurrió el 1° de septiembre de 1990: en



Figura 8. Línea de piedras, Oriente Antioqueño.

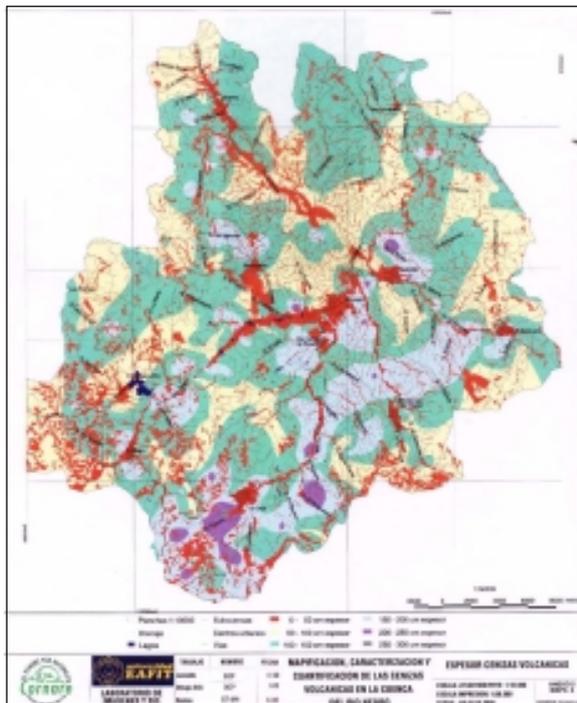


Figura 9. Distribución de las cenizas volcánicas en la zona de Rionegro.



Figura 10. Dataciones de cenizas volcánicas asociadas con depósitos de vertientes en el valle de Aburrá.



Figura 11. El deslizamiento de Villa Tina.



Figura 12. Deslizamientos en San Carlos, 1990.



Figura 13. Deslizamientos de Murindó.

esa fecha cayeron en 2 horas 208 mm de agua y en el resto de la noche 23 mm más sobre una superficie de unos 11 km<sup>2</sup>. (**Hermelín et al.**, 1992; **Hermelín et al.**, 1992a, 1992b) **Velásquez & Hermelín**, 2005; **Velásquez et al.**, 1991) como consecuencia de ese evento se produjeron más de 1000 movimientos de masa (Fig. 12) en el área directamente afectada tanto en las vertientes como por causa directa de la socavación de los cauces por los flujos torrenciales; se generaron flujos de lodo torrenciales que causaron grandes daños en toda la zona y arrastraron bloques hasta de 8 m de diámetro. El material total (bloques y arena) del materia removido fue calculado en por lo menos  $1.15 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. La tasa de denudación, calculada en forma preliminar en 70 mm a<sup>-1</sup> para el área directamente afectada, fue para el evento casi 10 veces la calculada anteriormente. Con base en correlaciones de cenizas volcánicas, se estimó que la recurrencia de este tipo de eventos puede ser de unos 3 en los últimos 10 a 20 000 años. Se puede concluir (**Velásquez et al.**, 2002) que la importancia de este tipo de eventos sobre la modelación de los paisajes de las vertientes es mucho mayor que lo que previamente se había pensado.

#### 4.3. Otros casos

En otras regiones del país se pueden citar otros casos recientes de eventos catastróficos (algunos autores usan el término “convulsivo”, tal vez más apropiado) (**Clifton**, 1988):

- en Marsella (cordillera Central, Risaralda) (**Curvelo et al.**, 1992) ocurrieron en 1991 fenómenos de menor magnitud de los de San Carlos igualmente producidos por un fuerte aguacero cuya intensidad no pudo ser determinada
- en Murindó (cordillera Occidental, vertiente occidental) dos sismos ocurridos en 1992 provocaron el desencadenamiento de decenas de miles de movimientos de vertiente (Fig.13) que a su vez produjeron “palisadas”, represas de troncos de madera formados en la zona más plana de las cuencas (**Velásquez**, 2005; **Martínez et al.**, 1992).
- en Tapartó (cordillera Central, vertiente oriental, Departamento de Antioquia) otro aguacero causó grandes estragos en 1993 (**Piedrahita & Hermelín**, 1996; 2005). En este caso existen antecedentes de por lo menos un evento igual ocurrido a principios del siglo XX.
- en la cuenca del Río Paez (cordillera Central, Departamento del Cauca) (**Wilches-Chaux**, 2005) un sis-

mo produjo en 1994 una serie de eventos catastróficos: deslizamientos y creciente torrencial que arruinaron la región.

La importancia de eventos como el sismo y los deslizamientos ocurridos en la frontera panameña en la década de 1970 fue señalada por **Garwood et al.**, (1979) desde el punto de vista biológico, sugiriendo estos autores la posible desaparición de especies endémicas.

La existencia de estos fenómenos convulsivos y su influencia en la evolución del relieve no pueden ser subestimadas. Significan grandes liberaciones de energía que modifican sustancialmente y en forma brusca el paisaje de las áreas donde ocurren. Sin embargo el conocimiento que se tiene acerca de ellos sigue siendo limitado por causas que incluyen:

- su ocurrencia poco frecuente
- la ausencia de información histórica y prehistórica
- el crecimiento rápido de la vegetación después de su ocurrencia, lo que complica o impide totalmente percibir su rastro.
- la ocurrencia de muchos de estos eventos en zonas relativamente poco pobladas, que antes de existir los medios de observación satelitales podían pasar completamente desapercibidos.

Al sur de la zona descrita se debe contar con la influencia directa de los volcanes, que además de causar tragedias como las de Armero y Chinchiná causan por medio de lahares grandes cambios tanto erosionales como deposicionales (p.e. **Thouret et al.**, 1989).

Si bien es cierto que aún no se tiene informaciones suficientes para cuantificar la importancia relativa de estos fenómenos en cuanto a la producción de sedimentos y a la evolución del relieve, se trata sin lugar a dudas de un tipo de erosión cuya distribución, intensidad y frecuencia debe merecer más atención por parte de los geomorfólogos que estudian el trópico.

#### 5. Influencia humana en la evolución del relieve

En términos globales, se acepta ahora que el volumen de material movilizado por el hombre en la superficie del planeta supera el que mueven los procesos naturales, incluyendo la tectónica de placas (**Hooke**, 2000)

En un país como Colombia, la influencia humana ha ido creciendo desde la época prehispánica (**Cavelier de Ferrero et al.**, 1990) y hoy en día se manifiesta práctica-

mente en todo el territorio nacional en función de la densidad de su población (**Hermelín**, 1992; **Flórez**, 2003) **Poveda & Mesa** (1995) discuten por ejemplo la influencia de la deforestación sobre la dinámica hidrológica; otros autores analizan los efectos de la urbanización (**Adarve & Hermelín**, en preparación; **Cadavid et al.**, 2004; **Cadavid & Hermelín**, 2005), de la ganadería (**Aristizábal & Hermelín**, en preparación) de la urbanización campestre (**Hermelín**, 1989, 1992) y de la minería (**Hermelín & Velásquez**, 1984).

Por otra parte trabajos recientes de **Restrepo** (2005) y **Restrepo et al.**, (2006) muestran, para la cuenca del Río Magdalena, la gran importancia de la influencia humana sobre la producción de sedimentos en sus afluentes. Estudios más detallados permitirán en un futuro cercano identificar más precisamente dicha influencia, tratando de contrastar la producción de sedimentos en los altiplanos con respecto a las áreas de pendientes mayores.

## 6. Conclusiones

El itinerario seguido en este trabajo parece llegar a una conclusión que siempre ha sido considerada como bastante obvia: los sistemas erosivos de las pendientes montañosas son más afectadas por los procesos erosivos que los de las áreas más planas. Sin embargo surgen consideraciones que son del caso discutir:

- no se trata de un aumento paulatino de la eficiencia de los procesos erosivos sino de verdaderos umbrales, que posiblemente se puedan cuantificar cuando estén disponibles métodos modernos de cartografía digital suficientemente detallados: ciertos procesos de vertientes, por ejemplo, causados por sismos o por aguaceros fuertes sólo aparecen a partir de determinadas pendientes.
- aunque el uso de la tierra por el hombre revista importancia en la aparición de determinados movimientos en masa, a partir de ciertos umbrales (p.e. ondas sísmicas o pluviosidad), esta diferencia desaparece, tal como se pudo observar en San Carlos o en Murindó.
- en la comprensión de la dinámica de las vertientes de las montañas tropicales deben participar todas las Ciencias de la Tierra y deben conjugarse tanto las observaciones en tiempo real como la interpretación de las evidencias de eventos pasados. Esta segunda tarea es naturalmente mucho más fácil de realizar en las zonas de altiplanos que en las vertientes, donde los depósitos suelen ser rápidamente erosionados. Sin

embargo cualquier generalización puede significar errores, como se analizó en el caso del valle de Aburrá.

- las tasas de denudación de los altiplanos están entre las más bajas del mundo. Su preservación misma durante por lo menos 5 a 6 millones de años, parece algo excepcional ya que las primeras decenas de metros del material que lo forma consiste en saprolito, altamente susceptible a cualquier tipo de erosión cuando está expuesto en superficie.
- por otra parte las observaciones puntuales realizadas en las vertientes apuntan en la misma dirección que los resultados de **Restrepo** (2005): las tasas de transporte de sedimentos en los ríos colombianos están entre las más altas del mundo, rompiendo así con la vieja tradición de afirmar que en el trópico húmedo la erosión es inhibida por la cubierta de bosques. Sin embargo la conexión entre los dos procesos (producción de material suelto en las vertientes y su transporte medido en zonas más planas de las corrientes fluviales) no parece estar totalmente clarificada.

Se espera que este recorrido, que seguramente planteó más dudas que soluciones, contribuya a motivar más estudios acerca de la dinámica de las montañas del trópico.

## Bibliografía

- Acosta, J.** 1846. Relation de l' eruption boueuse sortie des volcan de Ruiz et de la catastrophe de Lagunilla dans la République de la Nouvelle Grenade Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris, Tome 22, p. 709-710.
- . 1851. Sur les montagnes de Ruiz et de Tolima et les éruptions boueuses de la Madeleine. Lettres a Elie de Beaumont, Bull. Soc. Géologique de France, 2<sup>e</sup> éme serie, tome 8, p. 489-497.
- Adarve, D. & Hermelín, M.**, en preparación. Influencia de la urbanización sobre la estabilidad de las vertientes: el caso de San Antonio de Prado.
- Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. & Michel H.V.** 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction: experimental results and theoretical interpretation Science v. 208, p. 1095-1108.
- Aristizábal, A.F. & Hermelín, M.**, en preparación. Aparición de caminos de ganado en vertientes con pastos en los alrededores de Medellín, Cordillera Central, Colombia. (para ser sometido a la Revista Brasileira de Geomorfología).
- Bartels, G.** 1984. Los pisos morfoclimáticos de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) in Studies on Tropical Andean Ecosystems, Vol. 2: La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) Transecto Buriticá La Cumbre, Th. van der Hammen & P.M. Ruiz, Editores, p. 99-129.

- Beniston, M.** 2000. Environmental change in mountains and uplands London: Arnold, 172 p.
- Bik, M.J. J.** 1967. Structural geomorphology and morphoclimatic zonation in the Central highlands, Australia New Guinea in Landform Studies from Australia and New Guinea, J.N. Jennings & J.A. Mabbutt, Editors, Australia National University Press, Canberra, p. 26-63.
- Bloom, A.L.** 1998. Geomorphology, a Systematic Analysis of Cenozoic Land forms. Prentice-Hall, Saddle River, USA, 482 p.
- Botero, G.** 1963. Contribución al conocimiento de la Geología de la zona central de Antioquia. Anales Facultad de Minas No. 57, 101 p., Medellín.
- Bretz, J.H.** 1969. The Lake Missoula floods and the Channeled Scablands J. Geology v. 77, p. 503-543.
- Brunnschweiler, D.** 1981. "Glacial and periglacial forms systems of the Colombian Quaternary". Rev. CIAF No. 6 (1-3): 53-76.
- Buedel, J.** 1982. Climatic Geomorphology (Translated by L. Fischer & D. Busche) Princeton University Press, Princeton.
- Bustamante, M.** 1988. Los desastres en Medellín, naturales? Segunda Conferencia Riesgos Geológicos Valle de Aburrá, 39 p.
- Cadavid, M.F., de Greiff, P. & Hermelín, M.** 2004. Lessons learned from the May 2000 catastrophic events in the town of la Estrella, Antioquia, Colombia. Journal of Human Security and Development, v. 1 p. 75-90.
- \_\_\_\_\_ & **Hermelín, M.** 2005. La avenida torrencial de La Estrella, Antioquia de 2000. In Desastres de Origen Natural en Colombia 1979-2204. Fondo Editorial Universidad EAFIT-Universidad del Valle OSSO, p.187-198.
- Caldas, F. J. de.** 1951. Memoria sobre la nivelación de las plantas que se cultivan en la vecindad del Ecuador. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales v. 8 No. 30 p. 168-172.
- Cárdenas, C.** 2005. Erupción de 1985 del Volcán Nevado de Ruiz; el despertar del león dormido. Desastres de Origen Natural en Colombia 1979-2204. Fondo Editorial Universidad EAFIT-Universidad del Valle OSSO, p. 39-53.
- Carroll, D.** 1970. Rock Weathering. New York, Plenum Press, 203 p.
- Cavelier de Ferrero, I., Mora, S. & Herrera de Turbay, L. F.** 1990. Estabilidad y dinámica agrícola: las transformaciones de una sociedad agrícola, in: Ingenierías prehispánicas, Fondo FEN Colombia. Instituto Colombiano de Antropología. Colcultura, p. 73-110.
- Chorley, R.J., Schumm, S.A., Sudgen, D.E.** 1984. Geomorphology. Methuen, London, 607 p.
- Clapperton, C.** 1993. Quaternary Geology and Geomorphology of South America. Elsevier Science Publishers, 779 p.
- Clifton, H.** 1988. Sedimentologic relevance of convulsive geologic events, in H. Clifton, Editor: Sedimentologic consequences of convulsive geologic events, Special Paper, Geological Society of America No. 229, p. 1-5.
- Curvelo, C., Osorio, V. L. & Hermelín, M.** 1992. Estudio de los fenómenos ocurridos en la Cuenca del Río San Francisco a raíz del aguacero del 20 de Marzo de 1991. Memorias II Conferencia Latinoamericana sobre Riesgo Geológico Urbano y II Conferencia Colombiana sobre Geología Ambiental, v.2., p. 147-176.
- Davis, W.M.** 1901. The Geographical Cycle. Geographical essays. p. 249-278. Dover publications, INC.
- de Greiff, P., Hermelín, M. & Rendón D. A.** 2004. Procesos erosivos en una microcuenca andina: el valle alto del Río Medellín, Cordillera Central, Antioquia. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales v. 28 No 109, p. 487-496.
- \_\_\_\_\_ & **Toro, G.** 2002. Erosion rates obtained by fission track dating in soils derived from volcanic ashes in the Central Cordillera, Colombia. International Symposium on Land Use Change and Geomorphic, Soil and Water Processes in Tropic Mountain Areas, Quito, Cuenca, Ecuador. Book of Abstracts, p. 29.
- Derbyshire, E.** Editor, 1973, Climatic Geomorphology, MacMillan, London, 296 p.
- Durango, J. & Hermelín, M.** 1975. Quaternary Alluvial Deposits in the Rio Negro Area (Antioquia, Colombia). Abstracts, International Symposium on Quaternary; Boletín Paranaense de Geociencias, No. 33, p. 32.
- Echavarría Olózaga, H.** 1962. El Sentido Común en la Economía Colombiana. Norma, Cali, 371p.
- Erhart, 1955.** La Génèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson, Paris, 90p.
- Espinal, L.S.** 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico de Colombia. IGAC, Bogotá.
- \_\_\_\_\_, **Tosi, J., Montenegro, E., Toro, G. & Díaz Granados, G.** 1977. Mapa Ecológico de Colombia. IGAC, Bogotá, escala 1:1.500.000
- Feininger, T.** 1971. Chemical weathering and glacial erosion of crystalline rocks and the origin of till USGS Professional Paper 750C, p. C65-C81.
- Fernández, E. & Santa, N.** 1964. Estudio general de los suelos del Oriente Antioqueño. IGAC, Bogotá., L6-4, 94p.
- Flórez, A.** 1986. Geomorfología del Área Manizales-Chinchina, Cordillera Central, Colombia. Tesis, Universidad Amsterdam, 158p.
- \_\_\_\_\_ 2003. Colombia: evolución de sus relieves y modelados. Universidad Nacional, Bogotá, 238 p.
- \_\_\_\_\_ 2005. Aspectos geomorfológicos del área del Transecto Tatamá (Cordillera Occidental de Colombia) in La Cordillera Occidental de Colombia, Transecto Tatamá, Studies on Andean Ecosystems, v. 6, p. 117-153.
- Flórez, A., s. f.** Escalonamiento geomorfológico de los Andes Centrales de Colombia in Análisis Geográficos, IGAC, No 11, p. 85-104.
- Folster, H. & von Christen, H.** 1977. The influence of Quaternary upplifts on the altitude zonation of mountain soils on diabase and volcanic ash in humid parts of the Colombian Andes. Catena v.3 p. 233-263.

- García, C.** 2004. El deslizamiento de Villatina. Desastres de Origen Natural en Colombia 1979-2204, Fondo Editorial Universidad EAFIT-Universidad del Valle OSSO, p. 55-64.
- \_\_\_\_\_ & **Hermelín, M.** 2004. Cálculo preliminar de la tasa de meteorización del Batolito Antioqueño, Cordillera Central, Colombia. *Revista Brasileira de Geomorfología*, v. 5 p. 43-53.
- Garwood, N.C., Janos, D.R. & Brokaw, N.** 1979. Earthquake-caused landslides: a major disturbance to tropical forests. *Science*, v. 205, p. 997-999.
- Geale, B. & Hermelín, M.** 1988. Influencia de la meteorización química en la composición de las aguas superficiales del Batolito. *Memorias III Simposio Colombiano de Hidrogeología*, Bogotá . p. 129-150.
- Grosse, E.** 1926. *El Terciario Carbonífero de Antioquia*. Resmer, Berlin, 361p.
- Gutiérrez, M.** 2001. *Geomorfología climática*. Omega, Barcelona, 642 p.
- Hermelín, M.** 1973. Depósitos y actividad volcánica cuaternarios en el norte de la Cordillera Central: Revisión de Literatura. *Suelos Ecuatoriales* , v. 5. No. 2, p. 43-60.
- \_\_\_\_\_ 1975a. Primera excursión del V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Medellín. Guía: Geomorfología y Pedogénesis del Oriente Antioqueño. Mimeografiado, 27 p.
- \_\_\_\_\_ 1975b. Segunda excursión del V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Medellín. Guía: Geomorfología y Pedogénesis del Valle de Aburrá y Área Norte del Macizo Antioqueño: mimerografiado, 3 p.
- \_\_\_\_\_ 1976. Bases para un estudio geomorfológico del Departamento de Antioquia, *Boletín de Ciencias de la Tierra*. No. 1 p. 49-76.
- \_\_\_\_\_ 1977a. Quaternary Volcanic ashes in the Northern Central Cordillera, Colombia. Abstract. X<sup>th</sup> INQUA Congress. Birmingham, Great Britain, p. 205.
- \_\_\_\_\_ 1977b. Estudio geomorfológico del Valle de Aburrá y del Oriente Cercano (Departamento de Antioquia). Informe al Plan Metropolitano, 42 p.
- \_\_\_\_\_ 1978a. Guía para la excursión: "Geomorfología del Valle de Aburrá y Oriente Antioqueño" del II Congreso Colombiano de Geología; manuscrito, 20 p.
- \_\_\_\_\_ 1978b. Geomorfología del Valle de Aburrá , Antioquia. Resumen. Segundo Congreso Colombiano de Geología. Bogotá , p. 48.
- \_\_\_\_\_ 1979. Classification of silicates based on their susceptibility to weathering in the humid tropics. Abstracts, International Seminar on Lateritisation Processes. Trivandrum, India, p.1.
- \_\_\_\_\_ 1981. Clasificación de algunos minerales con base en su resistencia a la meteorización en condiciones tropicales húmedas. 117p., U. Nacional, Manuscrito.
- \_\_\_\_\_ 1982. El origen del Valle de Aburrá : evolución de las ideas; *Boletín de Ciencias de la Tierra*, U. N., Medellín. No 7-8 p. 47-65.
- \_\_\_\_\_ 1983. Aspectos genéticos de algunas propiedades de los regolitos, *Memorias de la V Conferencia Regional de Geotecnia*, Armenia.
- \_\_\_\_\_ 1984a. El estudio de las cenizas volcánicas cuaternarias en el Departamento de Antioquia. *Revista Dyna* (Facultad de Minas, Medellín). No. 103. p 53-58.
- \_\_\_\_\_ 1984b. Utilización de cenizas volcánicas cuaternarias en la planeación y el manejo de cuencas. *Memorias Primer Seminario Latinoamericano sobre Presas y Embalses*. Bogotá. Tomo II. p. 16-23.
- \_\_\_\_\_ 1988. Aspectos Geológicos y Geomorfológicos del Área de Jurisdicción de CORNARE. Informe CORNARE.
- \_\_\_\_\_ 1989. Estudio de la llanura aluvial de la Quebrada La Mosca, Guarne, Informe a CORNARE.
- \_\_\_\_\_ 1992. Los suelos del Oriente Antioqueño como recurso no renovable, *Bull Institut Français Etudes Andines*, Lima. v. 21 (1) (Perú) p. 25-36.
- \_\_\_\_\_ 1993. Stone lines in the Antioquia highlands. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* (Balkema, Amsterdam). v. 8 p. 137-156.
- \_\_\_\_\_ 1999. La Ley de Ordenamiento Territorial: un desafío para las Ciencias de la Tierra en Colombia. In *Situación de las Ciencias de la Tierra en Colombia*, Sociedad Geográfica de Colombia, Academia de Ciencias Geográficas, Bogotá, p. 135-146.
- Hermelín, M.**, en preparación. La huella del hombre.
- Hermelín, M, Alvarez, C. H & Trujillo, R.** 1984a. Aspectos geomorfológicos y estructurales del Valle Norte de Aburrá. *Memorias I Seminario Riesgo Geológico en el Valle de Aburrá*.
- \_\_\_\_\_ **Arroyave, M. & Jaramillo, J. M.**, en curso. Estudio con difracción y respetografía de rayos X de la meteorización del Batolito Antioqueño.
- \_\_\_\_\_ & **Durango, J.** 1976. Quaternary Alluvial Deposits in the Rio Negro Area (Antioquia, Colombia). Abstracts, International Symposium on Quaternary; *Boletín Paranaense de Geociencias*, No. 33, p. 32.
- \_\_\_\_\_ **Hoyos, F, Gutiérrez, A, Zuluaga, J &.** 1983. Physico-mechanical characteristics of saprolite and mudflow deposits derived from igneous and metamorphic rocks in the Central Cordillera, Colombia; genetic aspects, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. Int. Assoc.Engin. Geology Bull. No 28. p.129-132.
- \_\_\_\_\_ & **Marín, W.** 1983. Estudio Geomorfológico de las cuencas de los Ríos Nare y San Carlos, Informe a ISA (Contrato UN/ISA).
- \_\_\_\_\_ **Toro, G. E, Velásquez, A, Alvarez, C.H, Trujillo, R, Cuadros, M. Ospina, C & Bustamante, M.** 1984. El origen del Valle de Aburrá (20 páginas). *Memorias I Seminario Riesgo Geológico en el Valle de Aburrá*.
- \_\_\_\_\_ **Mejía, O. & Velásquez, E.** 1992a. Erosional and depositional features produced by a convulsive event, San Carlos, Colombia, Sept. 21st, 1990. *Bull. Intern Assoc. Engineering Geology*, v. 45, p. 89-95.

- \_\_\_\_\_ **Toro, G. E & Velásquez, A.** 1984b. Génesis de los depósitos de vertiente en el sur del Valle de Aburrá. Memorias I Seminario Riesgo Geológico en el Valle de Aburrá.
- \_\_\_\_\_ **Velásquez, E. & Mejía, O.** 1992. Consideraciones sobre las Cenizas Volcánicas de la Región de San Carlos, Antioquia, Colombia. Memorias III Conferencia Latinoamericana sobre Riesgo Geológico Urbano. II Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. v. I. p. 449-460.
- \_\_\_\_\_ **& Velásquez, A.** 1983. Correlaciones estratigráficas de cenizas volcánicas del Departamento de Antioquia, manuscrito.
- \_\_\_\_\_ 1984. Evolución reciente de la Quebrada Iguaná: Aspectos Humanos. Memorias I Seminario Riesgo Geológico en el Valle de Aburrá.
- Hermelín, M., Velásquez, E. & Mejía, O.** 1991. Algunas reflexiones acerca de la catástrofe del 21 de Septiembre de 1990 en San Carlos, Antioquia, AGID Report No 16 Environmental Geology and Applied Geomorphology in Colombia p. 115-128.
- Hettner, A.** 1892. Die Kordillere von Bogotá Supplement Hefte 104, Pertermans Mitteilungen Traducido por E. Guhl, Banco de la República, Bogotá, 351p. (1966).
- Hoyos, F, Hermelín, M, & Toro, G. E.** 1985. Régimen de aguas subterráneas en suelos residuales derivados de rocas ígneas y metamórficas en la Cordillera Central de Colombia, II Seminario Colombiano de Hidrogeología, p. 107-125.
- Hooke, R.L.** 2000. On the history of humans as geomorphic agents Geology v. 28 p. 843-846.
- Humboldt, F.A., & Bonpland, A.** 1807. Ideas para una geografía de las plantas Bogotá: Jardín Botánico Celestino Mutis, Litografía Arco, 178p (1985).
- Humboldt, F.A von** 1950. Geografía de las plantas, cuadro físico de las regiones ecuatoriales. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. v 8 No. 29 p. 65-103.
- Hutton, J.** 1795. Theory of the Earth, with proofs and Illustrations, Edinburg, Royal Society.
- IGAC.** 2002. Atlas de Colombia. Imprenta Nacional, Bogotá, 342 p.
- Imeson, A.C., & Vis, M.** 1983. Los procesos de erosión bajo bosque en suelos cenizas volcánicas en La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados (Introducción y datos iniciales) Th. van der Hammen, A. Pérez P & P. Pinto P., Editores VI, studies on tropical Andean Ecosystems, p. 88-112.
- Ingeominas,** 1999. Mapa geológico del Departamento de Antioquia. 1: 1. 400.000, Bogotá, Ingeominas.
- Jaramillo, A.** 2006. Clima andino y café en Colombia. Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Chinchina, 192 p.
- Khobzi, J.** 1981. Aspectos de geomorfología periglacial, glaciaria y fluvio-glaciaria en las montañas húmedas norandinas. Geología Norandina v.3. p. 37-43.
- \_\_\_\_\_ **& Usselman, P.** 1974. Problemas de Geomorfología en Colombia Bull. Inst. Fr; Etudes Andines (Lima), 1.3, No 4, p. 59-86.
- Linton, D.L.** 1995. The problems of tors. Geographical Journal, V. 121, p. 65-85.
- López, G. I, Hermelín, M.,García, C., Toro, G.E., Rink, W.J.,** en prensa. Evaluation of the evolution of a high plateau in the northern Central Cordillera of the Andes, Colombia, South America: first optical ages and preliminary results. Submitted to a Geomorphology.
- Loughnan, F.C.** 1976. Chemical weathering of silicate minerals. Catena v3. p. 233-263.
- Lyell,** 1830. Principles of Geology, Penguin Book, London, 471 p.
- Maignuet-Michel, M.** 1963. Quelques aperçus sur les manteaux de décomposition des roches dans les Andes Vénézuéliennes de Merida Mémoires et Documents, v. 4, CRDCG, CNRS, Paris, 100p., planchas.
- Martínez, J. M., Parra, E., Paris, G., Forero, C., Bustamante, M., Cardona, O.D., Jaramillo, J. P.** 1992. Los sismos del Atrato Medio 17-18 de Octubre de 1992, noroccidente de Colombia. Revista Ingeominas, No. 4 p. 35-76.
- Millot, G. & Bonifas, M.** 1955. Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de lateritisation et de bauxitisation Bull. Ser. Carte Géologique v 8. p. 1-20.
- Mesa, O, Poveda, G., & Carvajal, L.F.** 1997. Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 390 p.
- Ollier, C.D.** 1969. Weathering Oliver & Boyd Ltd, Edinburgh: Oliver & Boyd Ltd, 304 p.
- Osorio, J.C., López, R., J. E & Hermelín, M.** 2003. Balance Geoquímico para la cuenca alta del Río Medellín, Cordillera Central (Antioquia, Colombia). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, v. 27, No 102, p 71-84.
- Page, W.D. & James, M.E.** 1981a. "The Antiquity of the erosion surfaces and the Late Cenozoic deposits near Medellín, Colombia: implications to tectonics and erosion rates" Rev. CIAF, 6 (1-3): 421-454.
- \_\_\_\_\_ 1981b. Landslides and mudflows, major contributors to the landscape in Northwest Colombia. Revista CIAF v.6, p. 455-468.
- Patiño, J. E., Montoya, J. J., Botero, V. & Hermelín, M.** 2004. Zonificación geomorfológica de una microcuenca del occidente del valle de Aburrá. Boletín de Ciencias de la Tierra, Medellín, No. 16, p. 23-36.
- Piedrahita, I, & Hermelín, M.** 1996. Amenazas geológicas por eventos torrenciales en la vertiente occidental del Río San Juan, Antioquia. VII Congreso Colombiano de Geología. IV Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. Conferencia No 13 (Abstracts).
- \_\_\_\_\_ 2005. La avenida torrencial del Río Tapartó, (Antioquia) de 1993. Desastres de Origen Natural en Colombia 1979-2204, Fondo Editorial Universidad EAFIT-Universidad del Valle OSSO, p. 109-120.
- Playfair, J.** 1802. Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth Dover, New York, 528 p.
- Posada, B. O., Toro, G.E. & Hermelín, M.** 2003. Quaternary volcanic ashes indicators for land degradations in the Northern Andes,

- Colombia (Abstract) Regional Geomorphology Conference: Geomorphic Hazards: toward the prevention of disasters; México City, México. Abstracts Volume, p. 67.
- Poveda, G. & Mesa, O.** 1995. Efectos hidrológicos de la deforestación. *Energética* No. 16. p. 91-102.
- Reiche, P.** 1950. A survey of weathering processes and products. The U of New Mexico Press, Albuquerque, 95 p.
- Rendón, D.A.** 2003. Tectonic and sedimentary evolution of the upper Aburra Valley, Northern Colombian Andes, MSc Thesis, Shimane University, Japan, 123 p.
- \_\_\_\_\_ **Hermelín, M. & Toro, G.E.** en preparación. Interpretation of saprolite thicknesses determined by geoelectrical methods on the Batolito Antioqueño, Central Cordillera, Colombia (para ser sometido a la Revista Brasileira de Geomorfología).
- \_\_\_\_\_ **Toro, G.E. & Hermelín, M.** 2006. Chronostratigraphic model for the slope deposits in the upper Aburrá Valley. Abstract, I.A.G, Regional Conference on Geomorphology, IV Brazilian Symposium on Geomorphology, Goiania, Brasil: Tropical and subtropical Geomorphology.
- Restrepo, J.D.** Editor, 2005. Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental Fondo Editorial U. EAFIT, 267 p.
- \_\_\_\_\_ **Kjerfve, B., Hermelín, M. & Restrepo, J.C.** 2006. Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia *Journal of Hydrology*, v. 316, p. 213-232.
- Ruxton, B.P.** 1967. Slopewash under nature primary rainforest. in *Landform Studies from Australia and New Guinea*, J.N Jennings & J.A. Mabbutt, Editors, Australia National University Press, Canberra, p. 85-94.
- Salinas, I. & Hermelín, M.** 1988. Cartografía e interpretación de formaciones superficiales en el Valle de Aburrá. *Memorias 2ª Conferencia de Riesgos Geológicos en el Valle de Aburrá*, 14 p.
- Schubert, C.** 1979. La zona del páramo: morfología glacial y periglacial de los Andes de Venezuela in *El Medio Ambiente Páramo*, Actas del seminario de Mérida, Venezuela, CEA-IVIC, UNESCO, CIFCA. p. 11.23.
- Shlemon, R.J.** 1979. Zonas de deslizamientos en los alrededores de Medellín Antioquia (Colombia). *Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS*, No. 5, 45 p.
- Sierra, G. M., Toro, G. E., López, G. I., García, C & Hermelín, M.** en preparación. Comparación de métodos de datación para las formaciones superficiales del Oriente Antioqueño. Proyecto financiado por U. EAFIT. COLCIENCIAS.
- Soeters, R.** 1981. "Algunos datos sobre la edad de dos superficies de erosión en la cordillera Central de Colombia". *Rev. CIAF*, v. 6 (1-3): p. 525-528.
- Thouret, J.C.** 1983. Aspectos y problemas geomorfológicos In la Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados, *Studies on Tropical Andean Ecosystems*, v. 1, p. 56-87.
- \_\_\_\_\_ **& Fabre, D.** 1989. Procesos morfodinámicos sobre las vertientes de la Cordillera Central in *La Cordillera Central Colombiana Transecto Parque Los Nevados*, *Study of Tropical Andean Ecosystems*, v. 3, Th. van der Hammen, H de Vries, S, Diaz & V. J. Alvarez, Editores, p. 279-291.
- \_\_\_\_\_ **Gourgaud, A., Vatin-Perignon, N. & Calvache, M.L.** 1989. The eruption of the Nevado del Ruiz on the 13th November 1985. in *La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque los Nevados (segunda parte)* v. 3, *Study of Tropical Andean ecosystems*, J, Cramer, Berlin.- Stuttgart, p. 217-278.
- \_\_\_\_\_ **& Pérez, A.** 1981. Geodinámica actual y reciente de las vertientes de la Cordillera Central. *Revista CIAF* v. 6, p. 587-608.
- Toro, G.E.** 1999. *Téphrochronologie de la Cordillère Centrale*, PhD Thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble, 302 p.
- \_\_\_\_\_ **& Hermelín, M.** 1993. Stratigraphy of volcanic ashes from South Antioquia, Colombia: possible climatic implications. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, V. 8 p. 201-217.
- \_\_\_\_\_ **Hermelín, M, Schwabe, E., Posada, B.O, Silva, D. & Poupeau, G.** 2006. Fission-track datings and geomorphic evidence for long-term stability in the Central Cordillera highlands, Colombia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, supplement band, Band 145, p. 1-16.
- \_\_\_\_\_ **Rendón, D. A. & Ríos, V.** sometido. Geomorphologic frame and morphotectonic analysis of the north of the Central Cordillera of Colombia. Submitted to *Geomorphology*.
- \_\_\_\_\_ **Restrepo J. J., Poupeau, G., Hermelín, M., Saenz, E. & Ardimousa, A.** 1996. Terraza pliocénica tardía al Sur del Valle de Aburrá por datación por trazas de fisión: implicaciones sobre la edad del valle. VII Congreso Colombiano de Geología, II Seminario sobre el Cuaternario de Colombia, Conferencia No. 9 (Abstracts).
- \_\_\_\_\_ **Schwabe, E., Hermelín, M.** 2003. Síntesis de las Dataciones por Trazas de Fisión del Norte de la Cordillera Central de Colombia y Análisis Tentativo de las áreas fuente y de la evolución del paisaje. IX Congreso Colombiano de Geología, Resúmenes, p. 189.
- Tricart, J. & Cailleux, A.** 1964. *Introduction a la Géomorphologie Climatique Société D' Édition D' Enseignement Supérieur*, Tome I. p. 306.
- \_\_\_\_\_ 1965. *Traité de Géomorphologie. Le modelé des régions chaudes forêt et savanes Société d' Édition d' Enseignement Supérieur*, Tome v, p. 322.
- \_\_\_\_\_ **& Raynal, R.** 1962. Les particularités de la morphogénèse dans les régions de montagne CEDES. Paris, 136 p.
- Van der Hammen, Th.** 1979. Historia y Tolerancia de Ecosistemas Parameros in *El Medio Ambiente Páramo*, M. L. Salgado- Labouriau, Ed., CFA- IVIC- Unesco- CIFCA, Mérida, Venezuela.
- \_\_\_\_\_ 1984. Datos sobre la historia de clima, vegetación y glaciación de la Sierra Nevada de Santa Marta in *La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) Transecto Buritaca*. La Cumbre Th. van der Hammen & P. Ruiz, Editores, *Studies on Tropical Andean Ecosystems*, v. 2, p. 561-580.

- \_\_\_\_\_ & **Hooghiemstra, H.** 2000. Neogene and Quaternary history of vegetations, climate and plants diversity in Amazonia. *Quaternary Science Reviews*, v. 19 p. 735-742.
- Vasconcelos, P. M. & Conway, M.** 2003. Geochronology of weathering and landscape evolution, Dugald River valley, NW Queensland, Australia. *Geochem. & Cosmoch. Acta*, v. 67, p. 2913-2930.
- Velásquez, A.** 2005. Los terremotos del Atrato Medio-Murindó en Octubre de 1992. *Desastres de Origen Natural en Colombia 1979-2204*. Fondo Editorial Universidad EAFIT-Universidad del Valle OSSO, p. 91-108.
- Velásquez, E. & Hermelín, M.** 2005. El evento de San Carlos (Antioquia ) de 1990. *Desastres de Origen Natural en Colombia 1979-2204*, Fondo Editorial Universidad EAFIT-Universidad del Valle OSSO, p. 77-90.
- \_\_\_\_\_ & **Mejía, O.** 1991. Movimientos de Masa causados por el aguacero de Septiembre 21 de 1990 en San Carlos, v. 1, *Memorias IV Congreso Colombiano de Geotécnica*, Bogotá p. 567-582.
- \_\_\_\_\_ **Mejía, O., & Hermelín, M.** 2002. El evento torrencial de Septiembre de 1990 en San Carlos (Colombia) y sus consecuencias catastróficas. In *Desastres Naturales en América Latina*. José Lugo Hubp & Moshe Inbar (compiladores). Fondo de Cultural Económica, México, p. 335-348.
- Wilches-Chaux, G.** 2005. El terremoto, la avalancha y los deslizamientos de la cuenca del Río Paéz (Cauca), 1994. *Desastres de Origen Natural en Colombia 1979-2204*. Fondo Editorial Universidad EAFIT-Universidad del Valle OSSO, p.121-133.
- Zuluaga, J.E & Mattson, L.** 1981. Glaciaciones en la Cordillera Occidental de Colombia, Páramo de Frontino. *Revista CIAF*, v. 6, p. 639-654.

Recibido el 21 de marzo de 2007.

Aceptado para su publicación el 10 de abril de 2007.