

El relieve de la zona central de Antioquia: Un palimpsesto de eventos tectónicos y climáticos

Centro de Investigaciones Ambientales
Facultad de Ingeniería
Universidad de Antioquia

Luis Alberto Arias López
• Ingeniero Geólogo



Morfología del altiplano Páramo de Belmira en su zona más alta (3.200 msnm).

Obsérvese al fondo el altiplano de Santa Rosa, unos 400 metros por debajo.

En primer plano terrenos modelados en roca fresca, parcialmente meteorizada.

INTRODUCCION

La mayor parte de los estudios que hacen referencia al relieve de la zona central de Antioquia se pueden reunir en dos grupos:

- 1. En un primer grupo se tienen aquellos de carácter descriptivo, realizados por naturalistas y viajeros que se asombraron del carácter contrastado entre cañones y valles profundos de un lado y la presencia de amplias áreas onduladas y colinadas que conformaban las tierras altas o altiplanos.*

La mayor parte de estos estudios, realizados por geógrafos con orientación humanística, utilizaron conceptos

de tipo fisiográfico -valle, cañón, cerro, gargantas, cascadas, etc.-, acordes con un objetivo central de plasmar en prosa la impresión inmediata del relieve que encontraban en su recorrido.

Esta perspectiva se sintetiza muy bien en el trabajo de Reclus (1893).

2. En un segundo grupo se pueden reunir las interpretaciones marginales en torno al relieve realizadas por los geólogos cuando tratan de hacer la reconstrucción histórica de los diferentes procesos geológicos que subyacen a los levantamientos geológicos regionales. La diversidad de tipos litológicos y estructuras geológicas y las relaciones espaciales y temporales entre ellas, permiten inferir procesos de plutonismo, vulcanismo, metamorfismo, sedimentación, tectonismo y erosión. Esta línea de razonamiento sustenta sus apreciaciones en dos presupuestos básicos:

a. La primera, no argumentada, parte de considerar al relieve que nos circunda, como relieve actual, como producto final de una sucesión de eventos geológicos. El relieve y las formaciones o depósitos superficiales siempre se explican en aquellas partes del capítulo de geología histórica que hace referencia a los procesos ocurridos en el cuaternario, es decir, en los últimos 2.0 millones de años. Esta línea de reflexión fue la norma para la mayor parte de los estudios geológicos realizados con anterioridad a la década de los 70.

La estructura del relieve antioqueño nos permite afirmar que algunos de los productos de la evolución geomorfológica poseen edades que se remontan hasta el terciario medio-terciario superior.

b. El otro presupuesto consiste en considerar al relieve como un calco fiel de las diferencias litológicas y de las estructuras presentes en el subsuelo. Acorde con esta línea de pensamiento, las áreas que sobresalen (cerros, montañas, etc.) corresponden a tipos de roca que ofrecen mayor resistencia a los procesos externos (climáticos); igualmente en los casos mas extremos, se substraen la responsabilidad de la dinámica fluvial en el modelado de los valles para asignársela a eventos tectónicos.

Esta interpretación geológica del relieve persiste hoy día en las Universidades Colombianas posiblemente como una consecuencia del mayor peso presencial de la carrera de geología y a la ausencia en el contexto regional de programas curriculares de geografía e hidrología.

La ausencia de una oferta curricular adecuada en las áreas de geografía, climatología e hidrología ha llevado a que en el contexto regional sean los profesionales del área de la geología quienes se internen en el campo de los estudios geomorfológicos o del relieve, campo que necesariamente demanda un trabajo interdisciplinario de varias ciencias naturales.

El relieve es una membrana o interfase, que para el caso del relieve subaéreo, sirve de medio separador entre atmósfera y litósfera; por lo tanto, en su modelado participan tanto los procesos atmosféricos o climáticos como los procesos internos o geológicos. El mayor peso que unos procesos u otros jueguen en el modelado de un relieve específico no es motivo para descartar la ausencia del otro.

Desde los años 60, cogen fuerza en la comunidad científica unas nuevas formas de abordar el estudio del relieve; los principales gestores de esta nueva manera de comprender el relieve son Budel (1977), Tricart (1977) y mas recientemente Chorley, R.J., S.A. Schumm and D.E Sugden (1984).

Los planteamientos centrales de esta nueva geomorfología que nos sirven de apoyo para intentar una aproximación a la comprensión del relieve de la zona central de Antioquia son varios:

1. *El primer elemento consiste en considerar el relieve como un mosaico de sub-relieves de edades diferentes, de tal manera que los mas juvenes se desarrollan a expensas de los mas antiguos.*

En este aspecto se puede hablar en sentido estricto de una estratigrafía del relieve, aun cuando, obviamente, la disposición es mas compleja de la que se da en secuencias sedimentarias. En este contexto, no existe ninguna prescripción que restrinja la existencia de sub-relieves al intervalo temporal del cuaternario: Inclusive mas, como se demostrará mas adelante, una particularidad del relieve de la cordillera central en Antioquia es la presencia de áreas extensas cuya morfolología se remonta al terciario medio - terciario superior.

2. *Siguiendo a Budel (1982), las dos zonas en el globo mas eficientes en el desarrollo de relieves zonales son la zona polar de excavación excesiva de valles y la zona tropical de aplanamiento eficiente.*

En este sentido, las superficies de aplanamiento son un rasgo ambiental característico de las regiones tropicales con clima contrastado (zonas de sabanas) y persiste, aunque con menos eficiencia en las zonas del bosque húmedo tropical.

3. *Tratándose de relieves asociados a cadenas montañosas, es necesario incluir en el esquema de interpretación del relieve los procesos de levantamiento de estas cadenas.*

Por lo tanto, una combinación de estos procesos morfoclimáticos y tectónicos con una dinámica diferencial tanto espacial como temporalmente constituyen el eje de referencia para explicar el conjunto de tres altiplanos escalonados segmentados por cañones profundos que caracterizan el relieve antioqueño en su zona central.



Panorámica del altiplano de Rionegro en el sector El Peñol-Guatapé.

En primer plano el embalse de El Peñol. Hacia la parte central de la foto "La Piedra de El Peñol", uno de los inselbergs presentes en el altiplano Santa Rosa-Rionegro.

Al fondo, el escarpe regional que separa a este altiplano del altiplano de La Unión (altiplano antiguo).



Altiplano de Rionegro en los alrededores del aeropuerto José María Córdoba.
 - Al fondo el escarpe regional que lo separa del altiplano de Santa Elena.

1. LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al segmento de la cordillera Central enmarcado por los sistemas de fallas de Palestina al oriente y de Romeral al occidente; al norte, el límite corresponde a la zona del piedemonte frontal en una línea imaginaria que va desde Puerto Valdivia hasta El Bagre, y al sur, el límite formal se puede ubicar en la cuenca del río Arma; sin embargo, se trata de un límite arbitrario por que gran parte de la estructura del relieve en el norte del departamento de Caldas - al menos hasta Aranzazu - guarda grandes similitudes con la estructura de altiplanos del relieve antioqueño.

Esta zona cubre la totalidad del área central del departamento de Antioquia, involucrando así la totalidad o gran parte de las hoyas hidrográficas de los ríos Medellín - Porce, Negro - Nare, Nus y río Arma.

La mayor parte del área de estudio está modelada en la cuarzodiorita del batolito Antioqueño, roca de edad cretáceo tardío (68-80 m.a, según dataciones radiométricas) y en un conjunto de rocas metamórficas cuyas edades van desde precámbrico hasta cretáceo medio, a las cuales, Restrepo y Toussaint (1984) han denominado complejo poli-metamórfico de la cordillera Central .

Otras unidades geológicas de menor extensión son:

- La formación Quebradagrande con sus miembros volcánico y sedimentario.
- Una serie de rocas básicas y ultrabásicas agrupadas en el Complejo Ofiolítico del Cauca.
- Finalmente se tienen una serie de depósitos sedimentarios cuyas edades van desde el terciario tardío hasta el cuaternario, los cuales se acumulan preferencialmente hacia el borde oriental del área de estudio conformando una unidad, a la cual Feinenger (1972..) denominó: "Rocas sedimentarias terciarias del valle del Magdalena".

La selección del área de estudio no obedece a un criterio caprichoso; varios factores se tuvieron presentes en su selección.

La zona presenta una homogeneidad tectónica en el sentido de que en su interior no existen discontinuidades estructurales del tipo fallas regionales que pudiesen crear la incertidumbre en torno a posibles movimientos diferenciales.

Entre los sistemas de fallas de Palestina y Romeral sólo se presentó una falla de carácter regional geomorfológicamente significativa, la falla Espíritu Santo, la cual se ubica hacia el extremo noroeste del área de estudio. El sistema de fallas noroeste que parten desde la falla Palestina han desempeñado una función marginal en el modelado básico del relieve antioqueño en el transcurso del terciario-cuaternario, el cual se ha restringido a dislocaciones y a una tectónica de bloques basculados que no consigue oscurecer la estructura básica de los altiplanos involucrados.

La presencia de fallas regionales con un significado geomorfológico importante constituyen un límite para extrapolar, mas allá de ellas las correlaciones entre relieves. Así por ejemplo, en la cordillera Occidental es posible diferenciar al menos dos (2) niveles de altiplanos, el altiplano Frontino - Urrao y el altiplano Murri - Mandé; sin embargo es muy prematuro y muy incierta la posibilidad de establecer correlaciones con los altiplanos de la cordillera Central hasta tanto no se conozca con mayor profundidad la historia tectónica del sistema de fallas Cauca - Romeral.

2. TIPOLOGIA DEL RELIEVE

Tres elementos conforman la estructura básica del relieve en la zona central de Antioquia: altiplanos, escarpes regionales y cañones.

Estos elementos básicos han ido apareciendo en escena, a través de episodios repetidos, en una historia jalonada por el proceso discontinuo de levantamiento de la cordillera Central, historia que se remonta hasta el Terciario Medio-Superior.

En estas circunstancias, la estructura básica conformada por relieves de primer orden, corresponde a una sucesión de tres (3) altiplanos escalonados separados entre sí por dos peldaños o escarpes regionales. Durante la última fase del levantamiento se dio la formación de cañones profundos y alargados que se segmentaron y destruyeron unos altiplanos originalmente más extensos.

Durante el proceso de levantamiento se sobreimponen en los relieves primarios o de primer orden otras sucesiones de relieves de segundo y tercer orden que retocan, alteran o destruyen parcialmente los relieves primarios sin que se pierda la identidad de estos últimos.

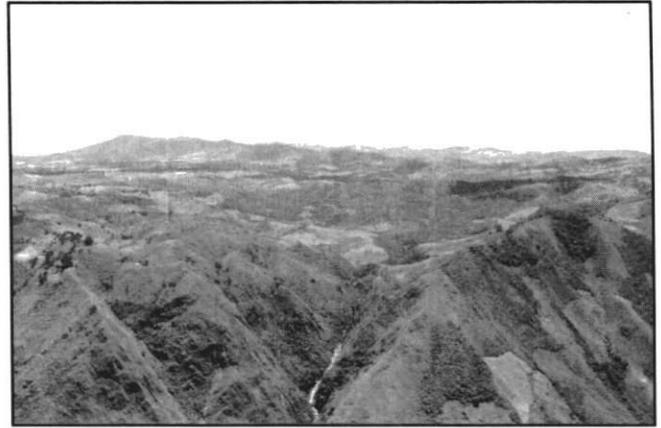
En este sentido el concepto de orden para describir el relieve contiene una doble connotación:

- La relación que guarda con la estructura básica, la cual la conforman los relieves de primer orden.
- Una relación temporal o evolutiva, en la cual, los relieves de segundo orden se sobre-imponen en los de primer orden al modo de una huella identificable que no destruye totalmente el medio donde queda impresa.

Idénticas relaciones se originan cuando entran en escena los relieves o geofomas de tercer orden.

2.1 Los Altiplanos

Los altiplanos corresponden a varias superficies planas y/o suavemente onduladas formadas inmediatamente después de que estas áreas emergen por encima del nivel del mar y que posteriormente un proceso de levanta-



Altiplano de Santa Rosa en el sector de San Pedro de los Milagros.

En primer plano el frente de erosión activo del cañón del Río Cauca que marca el límite tajante entre dos relieves contrastantes: el altiplano edinado y las vertientes abruptas de los respaldos de los cañones.

Al fondo la cadena de inselbergs La Lana, que sobresale unos 200-300 metros por encima del nivel del altiplano. Estas cadenas en este sector se orientan en una dirección N25-35°W.

tamiento tectónico complejo ubica en sus posiciones actuales.

La geomorfología genética identifica estas superficies de erosión como un rasgo característico y por lo tanto distintivo de la morfogénesis de las regiones tropicales bajas, especialmente del medio natural de las sabanas (regiones tropicales de clima contrastado). Budel (1982) denomina estos relieves con el vocablo alemán Rumpffläche y al inglés se ha traducido como Etchplain; en español, el vocablo más cercano sería el de «superficie de erosión y aplanamiento». La introducción de estos términos en diferentes idiomas tiene la finalidad de diferenciar e identificar un avance en el estudio del relieve, de tal manera que se pueda superar la inercia conceptual de la terminología davisiana de las penillanuras.

Un rasgo actual y distintivo de las regiones tropicales bajas (no montañosas) es el desarrollo de perfiles de meteorización muy espesos, con valores normales en el rango de los 30-70 metros; en contraste, en las regiones húmedas de las latitudes medias los perfiles de meteorización recientes no superan el rango de unos pocos metros.

En estos perfiles de meteorización espesos, el desarrollo de superficie de erosión se da a través de un proceso de doble aplanamiento:

- Se inicia en profundidad, al contacto entre el suelo residual y la roca fresca, es decir, en el frente basal de meteorización (F.B.M), donde los procesos físicos y químicos de la alteración generan una interfase suelo - roca de morfología ondulada a plana y en la cual «sobresalen» ciertos núcleos mas resistentes a la descomposición.
- El proceso se complementa en superficie con una morfogénesis tropical que favorece la ablación o denudación areal del terreno e inhibe los procesos de disección vertical.

Los altiplanos existentes en la zona de estudio se pueden reunir en tres generaciones de desarrollo de superficies de erosión.

2.1.1 El Altiplano Antiguo o Altiplano Belmira-Sonsón

Este altiplano corresponde a una franja alargada de dirección norte - sur a N10 - 20W, de 120 km largo y 15 km de ancho que se ubica en el borde occidental del área de estudio.

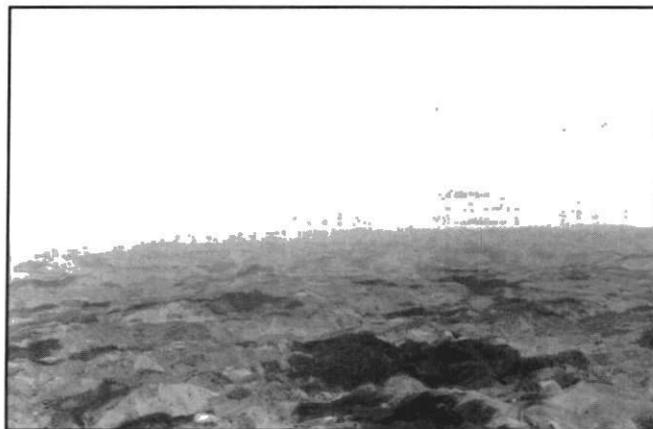
Además de corresponder al relieve mas antiguo es igualmente la zona mas alta y la que ha sufrido alteraciones erosivas mas pronunciadas como consecuencia de la sobre-imposición de otras generaciones de relieves. Por estas razones, se conserva como un conjunto de remanentes, como serranías o como cerros aislados.

El límite occidental de este altiplano es nítido y tajante y corresponde al frente de erosión activo del cañón del río Cauca, el cual constituye una línea pronunciada que se dispone en forma paralela con el sistema de fallas de Romeral, al menos en el tramo que va desde San José de la Montaña en el norte hasta la cuchilla de Romeral y El Alto de Minas al sur.

Los principales remanentes de este altiplano antiguo son:

- El altiplano del páramo de Belmira: Es el segmento mejor conservado, se extiende entre las poblaciones de San José de la Montaña y Belmira y en esta parte su altura alcanza los 3050-3150 msnm.

- La serranía de las Baldías ubicada al occidente de la población de San Pedro de los Milagros e inmediatamente al norte del sitio El Boquerón; los puntos más altos de esta serranía se ubican a 3.080 msnm.
- El cerro del Padre Amaya ubicado al occidente de Medellín y a una altura de 3.100 msnm.
- El altiplano de Santa Elena, ubicado a 2750 msnm, constituye el remanente mas oriental de este antiguo altiplano.
- La franja divisoria de aguas de los ríos Buey y Negro y Buey- Samaná Norte, en el cual vale resaltar el valle de la Unión, zona de «nacimientos» del Río Piedras.
- Más al sur, la conservación del altiplano se restringe a un relieve montañoso muy disecado, de tal forma que algunas cimas de cerros cerca a los nacimientos del río Medellín, al oriente del Alto de Minas y en alrededores de la población de Sonsón podrían correlacionarse con este altiplano. El avance muy dinámico del frente de erosión del cañón del río Cauca a lo largo de las redes fluviales de los ríos Buey y Arma ha conseguido destruir totalmente la estructura del antiguo altiplano en su parte sur. Sin embargo, este altiplano reaparece en el departamento de Caldas, al sur y sureste de la población de Aguadas, extendiéndose hasta la población de San Félix, donde el altiplano marca la cima de la cordillera Central.



Panorámica del altiplano degradado de Amalfi-Yolombó en el sector de Yalí.

2.1.2 El altiplano intermedio o altiplano Santa Rosa-Rionegro

Constituye el altiplano más extenso y ocupa la parte central de la cordillera. Se extiende desde San José de la Montaña y Yarumal en el norte hasta El Retiro y Carmen de Viboral en el sur; en su parte occidental y sur el límite lo determina el escarpe regional que lo separa del altiplano antiguo; en su parte oriental el límite lo define la corona del escarpe regional San Pablo - Yarumal y el frente de erosión activo del río Magdalena.

El modelado de este altiplano estuvo acompañado del desarrollo de geformas típicas de la morfogénesis tropical tales como los peñoles (El peñol de Guatapé, el Peñol de Entreríos), algunos inselbergs como El Capiro y El Chuscal entre el Retiro y La Ceja y algunas cadenas de inselbergs de poca longitud como los ubicados al noreste de Guarne, al norte de Don Matías y al oriente de San Pedro de los Milagros.

La formación del valle de Aburrá y del cañón del río Medellín segmentó este altiplano intermedio en dos porciones: El altiplano de Santa Rosa y el altiplano de Rionegro.

En el altiplano de Santa Rosa se ubican las partes más elevadas (2750-2800 msnm) y mejor conservadas de la morfología original del altiplano mientras que en el altiplano de Rionegro se localizan las partes más bajas (2.200 msnm).

A lo largo de la carretera que va de Llanos de Cuivá a San José de la Montaña se presentan una serie de colinas saprolíticas masivas y muy amplias de tope plano; igualmente, en los alrededores de Llanos de Cuivá se presentan depósitos aluviales de poco espesor (5-7 m), cuyo origen se puede asociar con el proceso de formación del altiplano.

Un rasgo particular a este altiplano es la presencia de prolongaciones lineales de la superficie de erosión a través de corredores estrechos de dirección N40 W flanqueados por cadenas de inselbergs. Un corredor de este tipo se inicia cerca a la población de Guarne prolongándose hacia el Alto de la Sierra y proyectándose hacia San Pedro y hacia el actual valle del río Chico. Una bifurcación de este corredor se inició en el Alto de la Sierra y se orientó hacia el suroeste, dando lugar a la



El valle del río Chico en su tramo NW.
Prolongación lineal del altiplano de Santa Rosa que penetra y disecta profundamente al altiplano antiguo (A. Páramo de Belmira).
A la izquierda el cañón del río Cauca.
Al fondo, los sitios más elevados del altiplano antiguo.

fase más temprana de desarrollo del valle de Aburrá.

Los perfiles longitudinales levantados en este altiplano indican que su levantamiento, una vez formado fue en la forma de un bloque basculado hacia el sur, de tal modo que entre las partes más septentrionales y meridionales se dio una diferencia de altura de unos 600 metros aproximadamente.

Este basculamiento hacia el sur se puede identificar hoy día en la dirección que forman algunas corrientes (río Chico, río Grande, río Aurrá y quebrada La Mosca) y en la acumulación preferencial de sedimentos aluviales, posteriores a la formación del altiplano, en las partes más bajas que corresponderán a los alrededores de la población de Rionegro.

La historia denudativa de este altiplano es muy compleja, posiblemente por ser el altiplano más rico en geformas bien preservadas.

En este altiplano se pueden diferenciar :

- Inselbergs típicos, modelados en roca fresca como La Piedra del Peñol y El Peñol de Entreríos.
- Cerros aislados con cobertura de alteritas que se pueden considerar como fases inmaduras de inselbergs típicos o como una evolución posterior de los inselbergs en condiciones de un clima tropical húmedo.



Cañón de la quebrada Santiago entre "El Túnel de la Quebra" y "Porcecito".
 En primer plano, morfología de los respaldos del cañón.
 Al fondo, los altiplanos de Yolombó y Rionegro.

- c. Cadenas de inselbergs, con un control litológico marcado en algunos casos.
- d. Ramificaciones del cuerpo central del altiplano que penetraban en las tierras altas adyacentes segmentándolas. La ramificación mas importante del altiplano de Rionegro avanzó por el actual valle de la quebrada La Mosca hasta alcanzar el Llano de Ovejas y el actual «valle» del río Aurrá al occidente y NW de San Pedro.

La otra ramificación importante, se dio en el altiplano de Santa Rosa en el tramo NW del «valle» del río Chico, aguas arriba del actual embalse de Riogrande II. Muy posiblemente, la formación de esta rama es el avance dentro del altiplano del Páramo de Belmira del eje de drenaje antiguo marcado por el Rio Grande y su continuidad oriental en el río Nus.

Las ramificaciones de una superficie de aplanamiento (Etchplain) penetrando en las áreas aledañas mas altas es un proceso de aplanamiento en microescala (Budel, 1982).

Por lo observado en el relieve antioqueño, estas ramificaciones evolucionaron en una fase posterior como valles aluviales típicos, siendo el valle del río Chico, el valle del río Aurrá y el valle de Aburrá ejemplos adecuados.

La ramificación del altiplano de Rionegro por el corredor del actual valle de la quebrada La Mosca, avanzando hacia el occidente constituye posiblemente la fase mas temprana en el proceso de formación del actual valle de aburrá.

2.1.3 El altiplano inferior o altiplano del Nordeste

Se ubica hacia el norte y nordeste del área de estudio; se encuentra separado del altiplano de Santa Rosa por un gran escarpe regional que va desde la población de San Pablo hasta Yarumal. La formación de los cañones segmentó considerablemente este altiplano. Conforman el altiplano inferior, los siguientes segmentos:

- El altiplano Carolina - Gómez Plata: Es un pequeño remanente en el cual se encaja la red de drenaje de la quebrada Hojas Anchas y se ubica al occidente del río Porce.
- El altiplano de Anorí: Corresponde al remanente mas septentrional y a diferencia de la mayor parte de los otros altiplanos se encuentra modelado en rocas metamórficas.
- El altiplano de Amalfi - Yolombó: Este altiplano es modelado tanto en la cuarzodiorita del batolito Antioqueño como en las rocas metamórficas paleozóicas.

La disposición espacial de este altiplano corresponde a la de un bloque basculado al oriente indicando con ello que al momento de su ascenso las tasas de levantamiento eran mas intensas en el sistema de falla de Romeral que en el sistema Palestina.

2.2 LOS ESCARPES EROSIVOS REGIONALES

Corresponden a franjas alargadas y estrechas de relieve abrupto que marcan el límite entre dos altiplanos sucesivos. La combinación de escarpes y altiplanos le dan al relieve de la zona central de Antioquia un aspecto escalonado característico.



Valle de Aburrá (parte norte) y cañón del río Medellín.

Obsérvese que tanto el valle como el cañón se encajan en altiplanos.

Al fondo, obsérvese el estrechamiento del cañón del río Medellín, en el sector del Ancón Norte.

Budel (1982) denomina a estos escarpes como «Rumpfstufe» y al inglés se ha traducido como «Etchplain Escarpment». En español el vocablo más indicado sería el de Escarpes Erosivos Regionales. El adjetivo «Erosivo» permitiría diferenciarlos de otros escarpes de carácter regional ya sean de origen tectónico o asociados con líneas de falla que ponen en contacto unidades litológicas con resistencias a la erosión contrastantes. El adjetivo «Regional» permite diferenciarlos de un sinnúmero de escarpes de carácter local, sin embargo, el criterio central para su identificación es el hecho de que marcan la separación entre dos niveles de altiplanos.

Siguiendo a Budel (1982) este elemento del relieve se produce cuando una superficie de erosión formada cerca al nivel del mar sufre un levantamiento, permitiendo así la formación de una nueva superficie de erosión más joven. El escarpe marca así el límite de ampliación de la nueva superficie a expensas de la más antigua; este proceso se repetirá cuando la nueva superficie sufra a la vez un levantamiento.

De acuerdo con este mecanismo de formación de los escarpes regionales, estos registran la magnitud del levantamiento relativo entre los dos altiplanos separados por esta unidad del relieve.

En la zona de estudio se tienen dos escarpes regionales que sirven de separación a los tres altiplanos descritos.

2.2.1 Escarpe erosivo regional San José de la Montaña - Guatapé

Marca la separación entre los altiplanos antiguo e intermedio. Se puede seguir desde un punto al oriente de San José de la Montaña, pasando por Labores y Aragón hasta interceptar el valle del río chico cerca a «la cola» del embalse del proyecto hidroeléctrico Riogrande II. Vuelve a reaparecer en el altiplano de Rionegro en el sitio del Alto de la Sierra; a partir de este punto avanza por el valle de la quebrada La Mosca continuando hacia Sajonia, El Retiro, Carmen de Viboral, El Peñol para terminar cerca de Guatapé.

Entre el río Chico y el Alto de Quitasol, el escarpe fue parcialmente destruido como consecuencia de las prolongaciones lineales del altiplano intermedio dando origen a corredores del altiplano flanqueados por dos (2) pequeñas cadenas de inselberg que conservan la dirección del antiguo escarpe.

En la parte norte, el escarpe San José de la Montaña - Labores - Río Chico separa el altiplano del páramo de Belmira del altiplano de Santa Rosa. El escarpe tiene una dirección N20-30W, bastante constante y una altura de 400 metros. El escarpe está modelado en rocas metamórficas y se ubica al contacto de estas rocas con la cuarzodiorita del batolito Antioqueño; igualmente es paralelo con el sistema de fallas de Belmira (Integral, 1982). El carácter marcadamente lineal de este escarpe refleja que en su ubicación hay un control litológico y estructural muy marcado; sin embargo se trata de un control pasivo controlado por contrastes marcados de resistencia a la erosión de las dos unidades litológicas.

En la parte sur el escarpe marca el límite entre los altiplanos de Santa Elena y La Unión con el altiplano de Rionegro. El escarpe presenta una distribución en planta en forma de herradura, abierta hacia el norte y el noreste; un extremo de la herradura se ubica en el Alto de la Sierra cerca a Guarne y el otro extremo se ubica cerca a Guatapé.

En esta parte el escarpe aparece modelado tanto en rocas metamórficas como en cuarzodiorita y en ambos tipos de roca presenta alturas que fluctúan entre 400-450 m.

El escarpe erosivo regional N° 1 termina abruptamente



Cañón del río Porce en la región de Amalfi-Anorí.
 Obsérvense los contrastes morfológicos entre altiplanos y cañón.
 Al fondo, la cascada del río Guadalupe en el sitio "El Salto" y el
 altiplano Carolina - Gómez Plata.
 En estos sitios, el lecho del río Porce se ubica unos 1.000 - 1.100
 m por debajo del nivel de los altiplanos.

en ambos extremos: En la parte mas norte termina contra el frente de erosión activo del río Cauca que avanza por el río San Andrés y en su extremo sur lo interrumpe el frente de erosión activo del río Magdalena que avanza por el río Guatapé.

En su parte media lo interrumpe el valle de Aburrá y el cañón del río Medellín.

2.2.2 Escarpe Erosivo Regional San Pablo - Yarumal

Marca el límite entre los altiplanos de Santa Rosa y Carolina- Gómez Plata; presenta una altura de 500-600 metros, una dirección N15 - 20 W y una longitud de unos 30-35 km.

Este escarpe es semiparalelo con el escarpe mas antiguo y está modelado en su totalidad dentro de las rocas del batolito Antioqueño y además, no guarda ninguna relación con el sistema de fallas N30-45 W que afectan a esta unidad litológica.

En ambos extremos este escarpe ha sido borrado por el desarrollo de cañones profundos: El cañón del río Grande en el extremo sur y el cañón del río Nechí en su extremo norte.

2.3 LOS CAÑONES

Los cañones y valles encajados completan el grupo de relieves de primer orden.

Las relaciones espaciales entre los cañones y valles encajados con los altiplanos y escarpes regionales indican que la generación mas reciente de relieves primarios corresponden al desarrollo de estas arterias fluviales cuya formación modificó drásticamente los patrones de drenaje que existían durante el período de formación de altiplanos escalonados.

Los cañones en la zona de estudio se pueden agrupar en dos tipos diferentes en función del grado de ramificación que presentan.

2.3.1 Cañones sin ramificación significativa

El uso del concepto de «cañón» en contraposición con el de «valle», quiere resaltar para los relieves a analizar una característica común a ellos: El grado avanzado de encajamiento dentro del macizo levantado de la cordillera Central, en contraposición a los valles modelados sobre los altiplanos, en los cuales el ancho supera significativamente la profundidad.

Dentro de este grupo se tienen:

- El valle de Aburrá.
- El cañón del río Medellín entre Bello y Porcecito.
- El cañón del río Porce.
- El cañón del río Nus.
- El curso inferior del Río Grande, aguas abajo del sitio de presa del proyecto hidroeléctrico Rio Grande I.
- El curso inferior del río Guadalupe, aguas abajo de la población de El Salto.

Estos cañones se han formado a partir de valles aluviales amplios levemente encajados en los altiplanos; el proceso de disección vertical y ampliación lateral les permitió un encajamiento significativo que condujo finalmente a una segmentación de los dos altiplanos mas jóvenes. Este proceso explica el por que todos los cañones antes mencionados se encuentran limitados lateralmente por altiplanos equi-altitudinales.

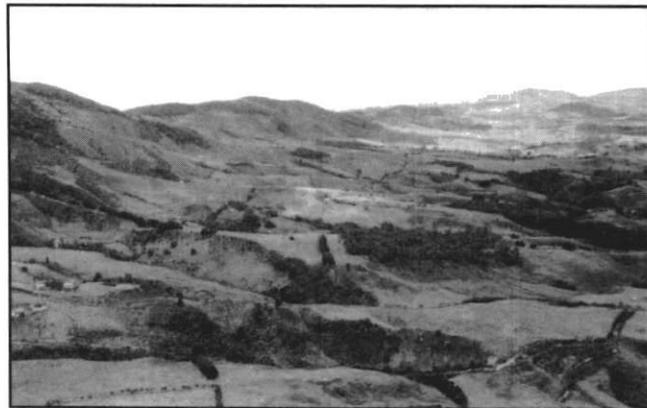
El análisis detallado de las redes de drenaje presentes sobre los altiplanos y sus relaciones con las redes asociadas al desarrollo de los cañones constituyen otro elemento que reafirma el carácter reciente de la formación de los cañones. A modo de ejemplo mencionaremos dos casos significativos:

1. Algunas geoformas fluviales de segundo orden (valles) presentes en el altiplano de Amalfi se pueden continuar en el altiplano de Anorí, a pesar de que ambos altiplanos se encuentran separados por el cañón del río Porce. Así por ejemplo, la continuidad del valle del río Riachón se puede seguir en el valle de la quebrada La Soledad. Esta situación indicaría que con anterioridad a la formación del cañón, la red de drenaje en este sector del altiplano inferior fluía de éste a oeste. Sólo así es posible explicar ciertas anomalías en el relieve a saber:

- Todas las corrientes que drenan el altiplano de Anorí «nacen» cerca al borde entre el altiplano y el cañón y ninguna presenta la estructura en anfiteatro («Head Valley») característica del nacimiento. Por el contrario todas arrancan con una sección en V.
- Más anómalo aún es el hecho de que la quebrada La Soledad en su supuesto nacimiento presenta una terraza aluvial de más de 10 m de espesor.

Estos hechos sólo son comprensibles si se supone la existencia previa de una corriente que avanzaba desde el altiplano de Amalfi hacia el altiplano de Anorí y que posteriormente fue interrumpida por el encajamiento del cañón del río Porce.

2. En los alrededores del Valle de Aburrá, la expresión geomorfológica de valles aluviales interrumpidos y colgados se tiene en el valle de la quebrada La Mosca, en el sitio de El Alto de la Sierra; en este supuesto sitio de nacimiento no hay la estructura de «Head Valley» sino una sección en V abierta. Aquí se interrumpe bruscamente la continuidad «Aguas Arriba» del valle de la quebrada La Mosca para reencontrarla



Cadena de inselberg "La Lana - Quitasol", sobresaliendo unos 200 metros por encima del nivel del altiplano de Santa Rosa. Sector: Al norte de la población de San Pedro de los Milagros.

de nuevo en el tramo N30W del río Chico, aguas arriba del actual embalse de Riogrande II.

Entre ambas corrientes se presentan un mosaico de valles pequeños y cadenas de inselbergs N20-30W ubicadas entre la serranía de Las Baldías y el sector de La Lana al norte de San Pedro.

En estas circunstancias, el Alto de Medina y la vereda Piedras Blancas marcan el flanco occidental de este valle, mientras que la cuchilla El Contador y la vereda San Antonio al oriente de Guarne marcan el flanco oriental.

De nuevo el corredor que va de Guarne a San Pedro y al río Chico marcan una prolongación lineal del altiplano intermedio, anterior al encajamiento posterior del Valle de Aburrá.

Al iniciarse la fase de formación de cañones, la red de drenaje tenía las siguientes orientaciones:

- En la zona norte los drenajes fluían en sentido Este-Oeste, desde el altiplano de Amalfi hacia el altiplano de Anorí.
- En la parte intermedia, el Río Grande continuaba a través del río Nus conformando una red de drenaje con una dirección Oeste-Este. A este dre-



Llano de Ovejas, en primer plano; al fondo el altiplano de Rionegro. Entre ambos, el cañón del río Medellín aguas abajo de Ancón Norte.

naje tributaba el antiguo río Medellín cuyos nacimientos se ubicaban a la altura de Ancón Norte, de tal manera que las aguas del paleo- río Medellín llegaban al río Magdalena a través del río Nus.

- En los alrededores del valle de Aburrá, los drenajes confluían hacia El Alto de la Sierra y salían a través de la quebrada La Mosca. En este cuadro, el río Aurrá, la quebrada La García y los drenajes del antiguo o paleo-valle de Aburrá convergían hacia el Alto de la Sierra, encontrando su salida hacia el altiplano de Rionegro.

Los valles de todas estas corrientes serían amplios y poco profundos asemejándose a los actuales valles de los ríos Negro y Riachón.

En estas circunstancias, el corredor comprendido entre El Alto de la Sierra, Ancón Norte y el Alto de Medina marcaría una divisoria de aguas entre el paleo-río Medellín y los drenajes del antiguo valle de Aburrá.

La poca profundidad de estos valles queda parcialmente registrada en el sitio La Quiebra cerca a Cisneros, donde la divisoria de agua entre la quebrada Santiago y el río Nus se ubica a 150 m por debajo del nivel de los altiplanos de Amalfi - Yolombó y Rionegro.

De todos los valles, el que tenía un encajamiento mayor sería el valle de Aburrá, con una profundidad de 400-800 m que es la diferencia de cota entre el Alto de la

Sierra (2.300 msnm) y el altiplano de Santa Elena (2.700 msnm) o con el cerro del Padre Amaya (3.100 msnm).

Las relaciones actuales entre los cañones sin ramificación las determinó la formación del cañón del río Porce.

La formación de los cañones está asociada con la última fase de levantamiento de la cordillera, la cual consistió en un ascenso de 1.800-2.200 m que elevó los altiplanos hasta sus posiciones actuales.

En el transcurso de este proceso se formó el cañón del río Porce, proceso que arranca en un punto cercano a las poblaciones de Zaragoza y El Bagre y que avanzó por el eje de la cordillera Central hasta alcanzar el sitio de Porcecito.

La formación de este cañón estuvo acompañada de una serie de procesos de capturas de drenaje, entre las cuales conviene mencionar:

- La captura de la red de drenaje del río Guadalupe, la que previamente se continuaba a través del río San Pablo.
- La erosión remontante por este río dio lugar a la formación de un cañón amplio y profundo aguas abajo de la población de El Salto, cerca a Guadalupe.
- Este proceso de captura es el responsable del gran contraste en la morfología del río Guadalupe: Aguas arriba de El Salto presenta la morfología típica de los valles suavemente encajados en los altiplanos, con un discurrir sinuoso sobre una llanura aluvial discontinua flanqueada por colinas. Luego de El Salto, el río presenta una caída libre de unos 700-800 metros para luego discurrir como un torrente de montaña a lo largo de un cañón que puede alcanzar 900-1.100 m de profundidad.

En su avance remontante, el cañón del río Porce intercepta la arteria fluvial Río Grande - Río Nus que fluía de occidente a oriente, integrando al río Grande a la nueva red de drenaje en formación. Igualmente, consigue avanzar hacia el río Nus dando lugar a la formación de la

quebrada Santiago, originando así una divisoria de aguas en el sitio del túnel de La Quebra, la cual se ubica a unos 150 m por debajo del nivel de los altiplanos aledaños; esta diferencia de altura marca aproximadamente la magnitud máxima del encajamiento del Paleo - río Grande - Nus.

La erosión remontante en Porcecito se continuó por tres ejes:

- Un eje, relativamente corto que dio origen al «cañón» de la quebrada Santiago. Este fenómeno de captura explicaría el por qué una quebrada de tan poca longitud (6.0 km) forma un cañón tan amplio y profundo.
- Un segundo eje continuo por el Río Grande, avanzó por la Vereda de Macorongo hasta alcanzar el actual sitio de presa de Riogrande I.
- Un tercer eje avanzó a lo largo del antiguo valle del río Medellín, reactivando muy dinámicamente la disección vertical y la ampliación lateral transformándolo así de un valle abierto y amplio en un cañón en V como ocurre actualmente entre Porcecito y la estación de tren de Popalito aguas abajo de Barbosa.

La reactivación pronunciada de la dinámica fluvial asociada con el proceso de levantamiento fue lo suficientemente eficiente como para conseguir manifestarse en la zona de los nacimientos, los cuales se ubicaban a la altura de Ancón Norte.

La acción remontante en este sitio consiguió integrar al palco río Medellín los drenajes del valle de Aburrá.

Con esta última captura se completan las relaciones actuales de la red drenaje.

Una vez conformada la arteria fluvial río Porce - Río Medellín - drenajes del valle de Aburrá, los cañones continuaron un desarrollo geomorfológico tradicional: Un proceso continuado de disección vertical y ampliación lateral cuyas eficiencias entran a depender del tipo de roca sobre las cuales actúan y que en general responden a un proceso de levantamiento que continua hasta el presente.



Relieves de segundo orden: Valles aluviales ligeramente encajados en el relieve de los altiplanos.

Valle del río Riachón cerca a Amalfi, con un encajamiento de 30-50 metros respecto al nivel del altiplano.

Obsérvese el quiebre neto entre la llanura aluvial y el relieve edinado.

2.3.2 Cañones muy ramificados

Los cañones muy ramificados constituyen una última generación de formación de relieve con una gran eficiencia morfológica en la medida que transforma el relieve de los altiplanos en un relieve montañoso típico conformado por cuchillas alargadas y agudas, vertientes largas y empinadas y cañones profundos, estrechos e interconectados.

En términos cronológicos es un relieve joven que avanza desde los bordes del bloque levantado de la cordillera y en su avance consume parte de la extensión original de los altiplanos.

De esta manera se desarrollan unos límites muy nítidos y tajantes entre estas dos generaciones de relieves que conforman una línea en el relieve a la cual denominamos «Frente activo de erosión».

Los tres cañones que más eficientemente avanzan sobre los altiplanos son:

- **El cañón del río Cauca:** El avance más eficiente lo consigue a través del río San Andrés, consumiendo parte de los altiplanos antiguos e intermedio.

En el borde más occidental del área de estudio el retroceso del escarpe de la falla de Romeral avanza

en forma muy uniforme destruyendo una franja de 5 km de ancha que se prolonga desde la población de Toledo al norte hasta la cuchilla de Romeral, al suroeste de la población de La Estrella. En la parte sur, la erosión remontante, a lo largo de los ríos Arma y Buey ha conseguido penetrar hasta el eje de la cordillera, destruyendo gran parte del altiplano de Abejorral.

- **El cañón del río Nechí:** En su avance ha destruido gran parte de los altiplanos de Anorí y Santa Rosa; el avance remontante consigue llegar incluso aguas arriba de Yarumal.

- **El cañón del río Nare:** Su avance frontal se asemeja bastante al patrón que exhibe el frente activo de erosión del río Cauca: se trata de un avance «de frente» conformando una línea norte - sur que va desde las cercanías de Guatapé hasta un punto al oriente de la población de Sonsón.

Es importante resaltar que en el cuadrante limitado por los ríos Nus y Porce, es decir, en el altiplano de Amalfi - Yolombó, este desciende suavemente hacia el oriente hasta quedar sepultado bajo los sedimentos terciarios de la cuenca del río Magdalena, sin que se de la presencia de un relieve montañoso.

3. GEOMORFOLOGIA Y TECTONICA

Una característica del relieve de la zona central de Antioquia es que su conformación escalonada contiene un registro perdurable del proceso de levantamiento de la cordillera Central en su parte mas norte.

El proceso de levantamiento se puede subdividir en tres fases de levantamiento rápido, generadoras de dos escarpes regionales y de los cañones profundos.

Estas fases de levantamiento se encuentran separadas entre sí por fases de relativa calma tectónica durante las cuales se generaron tres superficies de aplanamiento en regiones bajas cercanas al nivel del mar, o al me-



Relieves de segundo orden: Fondo de valles en el altiplano del Páramo de Belmira.

Valle de la quebrada Santa Inés, al sur de San José de La Montaña.

Obsérvese el contraste morfológico con el valle del río Riachón (Nº 15) como consecuencia del efecto de procesos periglaciares en este último.

nos con unas tasas de levantamiento que son contrarrestadas por el proceso de ablación.

La disposición espacial de los altiplanos refleja que las fases de levantamiento ocurrieron en la forma de un basculamiento regional con una tasa de actividad tectónica mayor en el sistema de fallas de Romeral y Espíritu Santo y menor en el sistema de falla Palestina.

Este basculamiento regional se refleja en el hecho de que:

- El altiplano más antiguo - el altiplano páramo de Belmira constituye la divisoria de aguas entre las cuencas del río Cauca y las de los ríos Nechí, Porce y Magdalena.
- El altiplano más extenso, el altiplano inferior en la zona del nordeste Antioqueño, zona en la cual no ha sido modificado significativamente por el frente de erosión del río Magdalena, desciende en forma continua desde los respaldos orientales del cañón del río Porce hasta encontrar la falla de Palestina.
- Finalmente los dos escarpes regionales identificados con direcciones N20º - 30ºW se inclinan hacia el E. y NE. Esta orientación indica que los bordes internos

de los altiplanos se ubican hacia el W y SW mientras que los bordes externos se orientan hacia el N. y NE.

De acuerdo con la estructura del relieve se puede establecer el siguiente esquema del proceso de levantamiento de la cordillera Central en la zona de Antioquia.

Una primera fase de levantamiento regional hace «aflojar» por encima del nivel del mar una franja relativamente estrecha. Esta franja se puede seguir en forma discontinua entre la región del Páramo de Belmira y el Páramo de Sonsón y posiblemente se puede continuar hasta la población de San Félix en el Departamento de Caldas. Este bloque levantado estaba limitado al occidente por la falla de Romeral. La extensión al oriente de esta franja se desconoce pero por la disposición actual de los remanentes de este altiplano es factible que se tratara de un bloque basculado hacia el oriente. Este levantamiento consolida hacia el norte la existencia de una divisoria de aguas de relieve bajo entre los ríos Cauca y Magdalena.

Se creó así un relieve que podría asimilarse, a modo de comparación, con las divisorias de aguas actuales entre los ríos Nechí y Cauca en la zona de Caucasia o mejor entre el río Cauca y el río San Jorge en la zona de Caucasia- Montelíbano.

- Después de un largo período de formación de la superficie de erosión antigua se produce una fase de levantamiento que eleva esta superficie desde una altura cercana al nivel del mar hasta unos 350-400 msnm.
- Transcurre un largo período de calma tectónica durante el cual se consolida una nueva superficie: El altiplano de Santa Rosa-Rionegro.
- A continuación viene una fase de levantamiento de este altiplano para elevarlo desde una altura cercana al nivel del mar hasta unos 600 metros. A este momento el altiplano Páramo de Belmira alcanza a ubicarse a los 1.000 msnm.

La historia tectónica de esta segunda fase de levanta-

miento con registro geomorfológico es bastante compleja. En este altiplano existen varios niveles de terrazas (Page 1982) e inclusive valles aluviales amplios como el del Río Negro que indicarían una historia compleja para esta segunda fase de levantamiento.

La disposición espacial del altiplano intermedio permite inferir que este levantamiento se dio en forma de un gran bloque basculado al sur con una diferencia de altura de unos 600 metros entre sus extremos norte y sur, que es la diferencia altitudinal actual entre los Llanos de Cuivá y la población de Rionegro.

Al final de esta fase de levantamiento prácticamente todo el resto de la extensión de la cordillera Central antioqueña se encontraba aflorante por encima del nivel del mar, dando lugar al desarrollo del altiplano más joven y más extenso: El altiplano del nordeste.

Una vez formado el altiplano inferior o altiplano del Nordeste se inicia una fase de ascenso rápido de la cordillera, con un levantamiento efectivo de unos 2.100-2.200 metros en las áreas adyacentes a la falla de Romeral, el cual llevó los altiplanos a su posición actual.

Este levantamiento se presentó en la forma de un bloque basculado hacia el nordeste, lo cual explica que el altiplano inferior presente una inclinación uniforme en esta dirección. Simultáneo con el levantamiento final se produce el modelado de cañones profundos.

La eficiencia morfológica de la última fase del levantamiento se reflejó en los siguientes productos:

1. La formación, simultánea con el levantamiento, del cañón del río Porce entre Segovia - Dos Bocas y Porcecito.
2. La captura por esta red de drenaje en formación del paleo-drenaje río Grande- río Nus y de un afluente, el río Medellín.

Estas corrientes capturadas modelaban valles cuya profundidad no excedía los 200-300 metros al iniciarse esta fase de levantamiento. Esta profundidad que-

da parcialmente registrada en la diferencia de altura entre El Alto de La Quebra (Cisneros) y los altiplanos de Yolombó y Rionegro.

3. La transformación de los valles aluviales del río Grande (abajo de Riogrande I), río Nus, río Medellín y río Guadalupe (abajo de la población de El Salto) en cañones profundos que segmentaron los altiplanos intermedios e inferior en una serie de satélites correlacionables (A Yolombó, A Carolina - Gómez Plata, A de Anorí y A de Amalfi).
4. Hacia el borde norte (cuenca del río Nechí) y en una parte del borde oriental (cuenca del río Nare), el levantamiento final dio paso a un relieve de cañones profundos equiparables a un relieve montañoso típico.

El levantamiento final de la cordillera polarizó tres dominios geomorfológicos que continuaron evolucionando con unas morfogénesis contrastantes:

- a. Los altiplanos localizados por debajo de los 2800 msnm evolucionan durante el Cuaternario o en su mayor parte a través de una morfogénesis de baja eficiencia que a lo máximo alcanza a generar mosaicos de vertientes cóncavas en el relieve colinado de colinas convexas. Asociado a ello se han producido fases de aluvionamiento fino y de poco espesor en las vaguadas de 1º y 2º orden; los mejores ejemplos de estos procesos tardíos se presentan en el altiplano de Carolina - Gómez Plata (Mejía Villegas Ltda, 1991) aunque son un rasgo común a todos los altiplanos.

En todas las corrientes mayores el rasgo dominante es una dinámica fluvial de retoque que en un contexto genético es poco significativa. En el ámbito de una geomorfología aplicada y de manejo de cuencas sólo son de consideración aquellas corrientes con alteraciones antrópicas importantes.

El sistema de altiplanos es así un conjunto de relieves reliquias que en su morfología, en la capa de alteritas y en sus suelos lateríticos antiguos conservan toda una historia ambiental de regiones morfoclimáticas tropicales bajas (sabanas y/o bosque).

- b. En contraste con el dominio anterior, los cañones

presentan un dinamismo morfogenético que parece alcanzar sus fases más intensas al final del Plioceno y comienzos del Pleistoceno.

En todos ellos, incluido el cañón del río Cauca existe un rasgo común a una fase de evolución fluvial generadora de rellenos aluviales le sucede una fase de rupturas masivas en los respaldos que llegan a cubrir los depósitos aluviales.

En los alrededores del sitio de presa de Porce II, rupturas masivas en rocas metamórficas generaron hasta dos episodios de flujo de lodo que alcanzaron a cubrir antiguos depósitos aluviales del río Porce.

Idéntica situación se observa a lo largo del río Medellín, siendo muy ejemplarizante el antiguo represamiento del río en el sitio el Hatillo y Popalito.

El mejor ejemplo de esta situación se tiene en el valle de Aburrá donde una fase de evolución del valle jalonada por procesos de movimiento en masa sucede a una fase de evolución fluvial «tranquila».

La estructura geomorfológica de estos cañones y valles profundos está jalonada en sus fases más recientes a través de un proceso de «Crisis morfogenéticas» sucesivas cuya ubicación cronológica, sus causas y sus períodos de retorno son de una importancia que va más allá de los estrictamente académicos, especialmente hoy día cuando el papel y la responsabilidad de las ciencias de la tierra es mayúsculo en el estudio y manejo de los «desastres naturales».

- c. El tercer dominio se concreta con el altiplano Páramo de Belmira. El levantamiento de este altiplano hasta los 3.200-3.250 msnm permitió que su estructura sufriera modificaciones importantes como consecuencia de morfogénesis glacial y periglacial en alguno o varios de los períodos fríos del Cuaternario.

La geomorfología glacial del Páramo de Belmira demanda de su ubicación temporal con el fin de determinar una edad mínima del proceso de levantamiento que llevó al sistema de altiplanos a su posición actual.