
MODELO CRONOESTRATIGRÁFICO PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS DE VERTIENTE EN EL VALLE DE ABURRÁ

Diego Armando Rendón G., Gloria Elena Toro V. y Michel Hermelin A.
Grupo de Geología Ambiental e Ingeniería Sísmica, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia
drendong@eafit.edu.co, gtoro@eafit.edu.co, hermelin@eafit.edu.co

Recibido para evaluación: 25 de Abril de 2006 / Aceptación: 13 de Mayo de 2006 / Recibida versión final: 30 de Mayo de 2006

RESUMEN

En este artículo se sintetizan nuevos datos estratigráficos y cronológicos obtenidos en el Poblado, sector sur-oriental de la ciudad de Medellín y Envigado, donde aflora una compleja y extensa secuencia de depósitos de vertiente.

Basados en cartografía geomorfológica, levantamientos estratigráficos de algunas excavaciones del sector y dataciones por trazas de fisión sobre cenizas volcánicas intercaladas en los depósitos o mezclados en la matriz, se establece la existencia de al menos cuatro series de eventos depositacionales sobre la ladera, series I, II, III y IV. Los depósitos de vertiente se clasifican como flujo de lodos y/o escombros y su distribución es escalonada (telescópica). Los depósitos más antiguos se presentan en la parte media y alta de la ladera, series I y II, mientras los más jóvenes de las series III y IV con forma de abanicos amplios y poco incisados se localizan a la base de la vertiente.

Las edades más antiguas, halladas en circones volcánicos, de los depósitos estudiados (30 m de profundidad) alcanzan los 2.63 Ma, Plioceno Tardío, correspondientes a la serie I, donde se encontró un rango de edades entre 2.6 y 1.8 Ma. La serie II presenta un amplio rango de espesores, con edades que oscilan entre 2.0 y 0.90 Ma, Plioceno Tardío-Pleistoceno. Finalmente, dentro de la serie III otros autores han hallado niveles de turba cuya edad supero el tiempo de aplicación del método de C-14 (mayor a 40 k.a.). Las dataciones son concordantes con otros datos publicados. Adicionalmente, en los depósitos se encontraron circones del basamento con edades aparentes TF entre 45 y 48 Ma

PALABRAS CLAVES: Valle de Aburrá, Cronoestratigrafía, Geomorfolología, Poblado, Envigado.

ABSTRACT

This paper presents new stratigraphic and chronologic data related with a widespread and complex sequence of slope deposits located at "El Poblado" sector, southeast area of the Medellín City, and Envigado County.

Geomorphologic cartography, stratigraphic work in civil excavations, and fission track ages of interbedded volcanic ash deposits let us to divide the slope deposits in at least four stages: I, II, III, and IV. Such slope materials, mainly mud and debris flows, present a staircased distribution (telescopic). The oldest deposits, stages I and II, crop out on the middle and higher parts of the slope; while the younger ones, stages III and IV, show wide and nicely preserved fan shape over slope foothills.

The oldest ages found in volcanic zircons (obtained around 30 m depth) reach 2.63 Ma, Early Pliocene, representing the maximum age of stage I, which lower age is approximately 1.8 Ma. Stage II has a wide thickness range, and ages between 2.0 and 0.9 Ma, Late Pliocene-Pleistocene. Finally, behind deposits belonging to stage III, other authors report peat layers with ages beyond of the application time span of C-14 method (older than 40k.a.). In addition, several basement zircons were found in the deposits, with ages between 45 and 48 Ma.

KEY WORDS: Aburrá Valley, Chronostratigraphy, Geomorphology, Poblado, Envigado.

1. INTRODUCCIÓN

El Valle de Aburrá ha sido estudiado por diferentes autores durante varias décadas (Botero, 1963; Schlemmon, 1979; Restrepo y Toussaint, 1984, Integral S.A., 1982, Hermelin, 1983, Naranjo, 2001; Alvarez et al., 1984, Toro y Velásquez, 1984, Salinas y Hermelin, 1988, Rendón, 1999, 2003, Aristizabal, 2004 entre otros); sin embargo, la falta de información geofísica, estratigráfica, cronológica precisa y aún petrológica, no ha permitido a la fecha tener un modelo concreto sobre su origen y evolución.

Rendón (2003) en su cartografía geomorfológica regional, divide el Valle de Aburrá en dos sectores. El sector inferior corresponde a un cañón en "V" de dirección N50°W donde se localizan las poblaciones de Copacabana, Girardota y Barbosa (Figura 1). Mientras el sector superior, donde tienen su asiento las localidades de Bello, Medellín, Itagui, Envigado, Sabaneta y Caldas, corresponde a una depresión rómbica de 45 km de largo en el sentido N-S, 22 km de ancho y 1.2 a 1.5 km de profundidad respecto a los remanentes de las superficies de erosión adyacentes. Este sector corresponde a la coalescencia de una serie de cuencas cerradas de origen tectónico, las cuales se rellenaron con materiales aluviales, lacustres y depósitos de vertiente (Rendón, 2003). Una de las características más relevantes del sector superior del valle, es la presencia en muchas de sus laderas de extensos y espesos depósitos de vertiente sin litificar, descritos como flujos de escombros y/o lodos. Sin embargo, se tiene poco conocimiento sobre la edad de su emplazamiento. Teniendo en cuenta que la distribución de las facies sedimentarias en cuencas esta controlada por efectos de tectonismo dominante (Crowell, 1974; Hempton et al., 1983; Allen y Allen, 1990; Cavinato et al. 2002), el estudio de la estratigrafía y la cronología de los materiales sin consolidar sobre las laderas constituye una clave para el entendimiento del proceso evolutivo y su correlación con eventos regionales.

Las columnas estratigráficas estudiadas se localizan al sur-oriente de la ciudad de Medellín, sector de El Poblado y el Municipio de Envigado (Figura 1). En esta zona del Valle de Aburrá se encuentra una secuencia de depósitos de vertiente compleja y de amplia extensión areal y altitudinal. En este artículo se sintetiza la información estratigráfica generalizada y las principales características de cada una de las series de eventos.

Se han propuesto dos causas principales para la generación de los flujos de escombros y/o lodos. La primera consiste en la progresiva transformación de los deslizamientos en flujos, debido a la disgregación de las partículas en su desplazamiento ladera abajo y su mezcla con agua. Este tipo de mecanismo tiene lugar en vertientes con pendientes importantes (>20°) afectadas por un flujo de agua. El segundo mecanismo está relacionado con una erosión generalizada de la superficie adyacente a una corriente, produciendo la mezcla del material producto de pequeños colapsos en las orillas con las aguas de la corriente. Este tipo de fenómenos pueden ser detonados por sismos o por lluvias inusualmente fuertes (Schlemmon, 1979; Corominas et al., 1996; Coussot y Meunier, 1996).

Los flujos normalmente siguen los drenajes existentes, depositándose en donde el gradiente del canal decrece o en el piedemonte. Eventos depositacionales sucesivos conformarán una típica forma de abanico, la cual está caracterizada por pendientes suaves, oscilando entre los 2° y 15° (Corominas et al., 1996).

El Valle de Aburrá está caracterizado por la presencia de extensos y ampliamente distribuidos depósitos sin consolidar, principalmente flujos de escombros y de lodos (Hermelin, 1983). Estos materiales están localizados sobre la partes inferior y media de las laderas (Figura 1), e incluso algunos de ellos recubren parcialmente la planicie aluvial (Rendón, 1999). Desde los años sesenta varios abanicos se han cartografiado como una característica particular del valle (Botero, 1963; Schlemmon, 1979; Restrepo y Toussaint, 1984; Integral S.A., 1982; Hermelin, 1983; Naranjo, 2001; Álvarez et al., 1984; Toro y Velásquez, 1984; Salinas y Hermelin, 1988), sin embargo, la escasez de edades absolutas y la combinación de diversas metodologías cartográficas ha generado complejos e incluso contradictorios marcos cronoestratigráficos para estos eventos de depositación. Algunos autores han definido secuencias locales de flujos de escombros, con los más antiguos recubriendo la parte baja de la vertiente, tornándose más jóvenes y más ricos en bloques hacia arriba de la ladera. Este modelo está basado en observaciones en campo de aspectos como: grado de meteorización, grados de disección, color de los materiales, etc (Álvarez et al., 1984; Toro y Velásquez, 1984; Grupo Aburrá, 1984; Salinas y Hermelin, 1988).

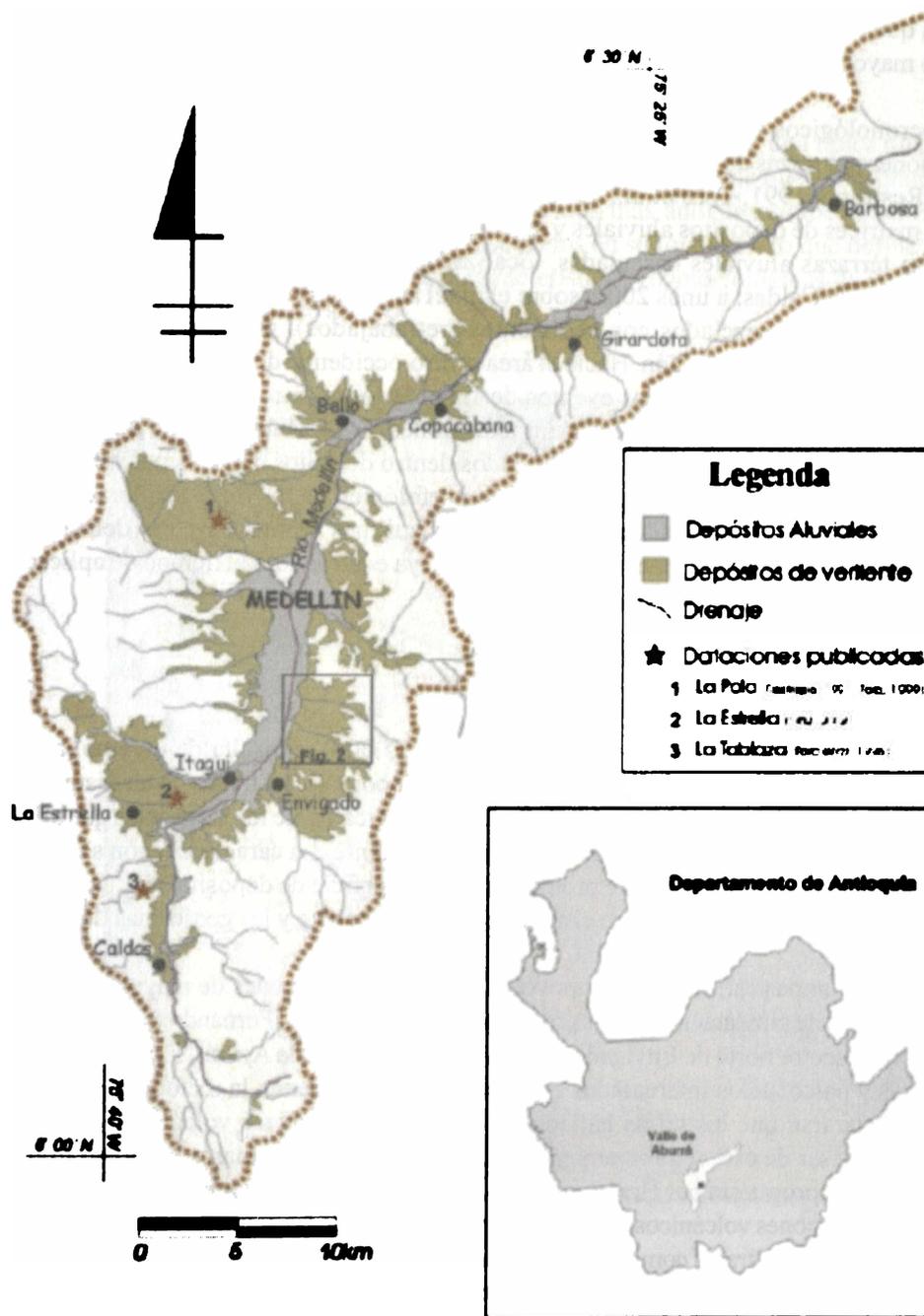


Figura 1.

Localización de la zona de estudio. Se indica con una estrella los sitios con dataciones por trazas de fisión publicadas. El recuadro señala el área con trabajo estratigráfico y geomorfológico detallado (El Poblado)

Adicionalmente y con resultados opuestos, Schlemmon (1979) llevó a cabo una investigación geomorfológica en el sector norte del Valle Alto de Aburrá, en inmediaciones de los Municipios de Bello y Copacabana. Allí este autor definió detalladamente tres grupos de depósitos de vertiente, basado en relaciones espaciales y estratigráficas, espesor de las capas de meteorización, disección relativa e inclinación de la superficie de depositación. El grupo de depósitos relativamente más antiguo, localizado más arriba, aflora completamente disectado y con una fuerte inclinación. Por el

contrario los depósitos que recubren la parte baja están constituidos parcialmente por material retrabajado y exhiben superficies suaves y de mayor continuidad lateral.

Los escasos datos geocronológicos publicados sobre los depósitos de vertiente del Valle de Aburrá, corresponden principalmente a dataciones por trazas de fisión sobre circones volcánicos obtenidos de horizontes de tefras intercaladas en dichos materiales (Restrepo, 1991, Toro et al., 1996, Rendón et al., 2005) (Figura 1). Así mismo se han aislado circones a partir de las matrices de depósitos aluviales y de vertiente. La edad más antigua, 3.06 Ma - Plioceno Tardío, fue obtenida sobre unas terrazas aluviales basculadas, localizadas en la parte alta del Valle de Aburrá, Vereda La Tablaza, cerca al Municipio de Caldas; a unos 200m sobre el nivel actual del río (Toro *et al.*, 1996). En este sitio los circones analizados se presentan mezclados con sedimentos (retrabajados), por lo que las dataciones obtenidas corresponden a edades máximas de depositación. Hacia el área centro-occidental de Medellín, en el sector de "La Pola", se dató un nivel de cenizas volcánicas entre dos eventos de flujo de lodos, arrojando edades entre 1.98 y 2.04 Ma (Restrepo, 1991; Toro, 1999). Hacia el sur del valle, en inmediaciones de los Municipios de Itagüi y La Estrella, Ortiz (2002) reporta fragmentos de materiales tufáceos involucrados dentro de flujos de vertiente y cuya edad alcanzo los 0.62 Ma, resultando también una edad máxima. El patrón geomorfológico de los flujos explorados por Ortiz (2002), puede continuarse hasta el fondo del valle, sector del Cementerio Jardines Montesacro. Por debajo de ellos, Rendón (2003) halló sedimentos de afinidad fluvial, con niveles de turba cuya edad supero el tiempo de aplicación del método de C-14 (Ariztizabal, 2004), indicando edades mayores a 40 k.a.

2. METODOLOGÍA

Basados en fotointerpretación detallada (escalas entre 1:9.000 y 1:25.000), consulta de un amplia base de datos de perforaciones, trabajo de campo y procesamiento de la información topográfica a través de un Sistema de información Geográfica (SIG), se consiguió caracterizar y cartografiar geomorfológicamente los materiales que afloran en el sector suroriental de Medellín, con especial énfasis en los depósitos de vertiente. La caracterización se basó en parámetros como: rango de alturas de afloramiento, pendiente promedio de la superficie de depositación, profundidad y grado de incisión de dicha superficie y la coincidencia entre el actual patrón de drenaje y las geoformas de los depósitos.

Así mismo, se levantaron columnas estratigráficas aprovechando las excavaciones de mayor profundidad realizadas para la construcción de las pilas de cimentación en los proyectos urbanísticos San Fernando Plaza y edificio Cantagirone, además en un talud vial en el sector norte de Envigado (Urbanización Villas de la Ayurá). Especial atención se prestó en la identificación de tefras y paleosuelos intercalados en los depósitos, siguiendo la metodología sugerida por Toro y Hermelin (1989). Debe aclararse que los tefras hallados corresponden a cenizas volcánicas de caída que han sido localmente retrabajadas. A pesar de este retrabajamiento, dichos horizontes son marcadores estratigráficos donde es factible aplicar la metodología propuesta por Brandon (1992, 1996), para determinar edades máximas de depositación con base en la datación de los circones volcánicos. Durante el levantamiento de las columnas estratigráficas se describieron las principales características de los estratos como: espesor, tamaño de grano, porcentaje de matriz, humedad, composición de los fragmentos, imbricación, continuidad lateral, color, textura, estructuras tectónicas, etc.

Para las dataciones por trazas de fisión y con el objeto de lograr representatividad estadística, se tomaron siete kilos de cada una de los horizontes de interés. Las muestras fueron lavadas por malla 325 para la eliminar la arcilla y se tamizaron a través de las mallas 60 y 200 (fracción entre 150 y 75 mm). Por medio de la batea se realizó un concentrado de minerales densos y posteriormente, empleando el separador magnético de Frantz se separaron los circones. Los montajes en teflón se realizaron por morfología (euhedrales, subhedrales y redondeados) empleando la lupa binocular. El pulido y ataque químico (solución eutéctica con 8.0g de NaOH y 11.5g de KOH) se realizó siguiendo las normas establecidas por Huford (1990); el tiempo de ataque a 220° centígrados fue de 33 horas, hasta lograr el revelado de trazas paralelas al eje cristalográfico c, según lo recomendado por Seward y Kohn (1997). Como detector externo se empleó kaptón. Las irradiaciones se realizaron en el reactor nuclear La Reina, Santiago de Chile. Las dataciones se realizaron en el laboratorio de trazas de fisión de la Universidad EAFIT.

3. RESULTADOS

3.1 Marco estratigráfico y geomorfológico de los depósitos

Se establece para el Valle de Aburrá la existencia de cuatro series de eventos con una típica disposición escalonada, de las cuales hay 4 series bien representadas en el sector de El Poblado. Cada serie queda definida por el emplazamiento de abanicos más o menos simultáneos (Figura 2). Los depósitos más antiguos se localizan hacia la parte alta de la vertiente, cuyos abanicos correspondientes ya fueron disectados en su totalidad, lo que define un patrón particular en las curvas de nivel. La Tabla 1 resume las principales características geomorfológicas de las tres principales series de depósitos de vertiente observadas en este sector.

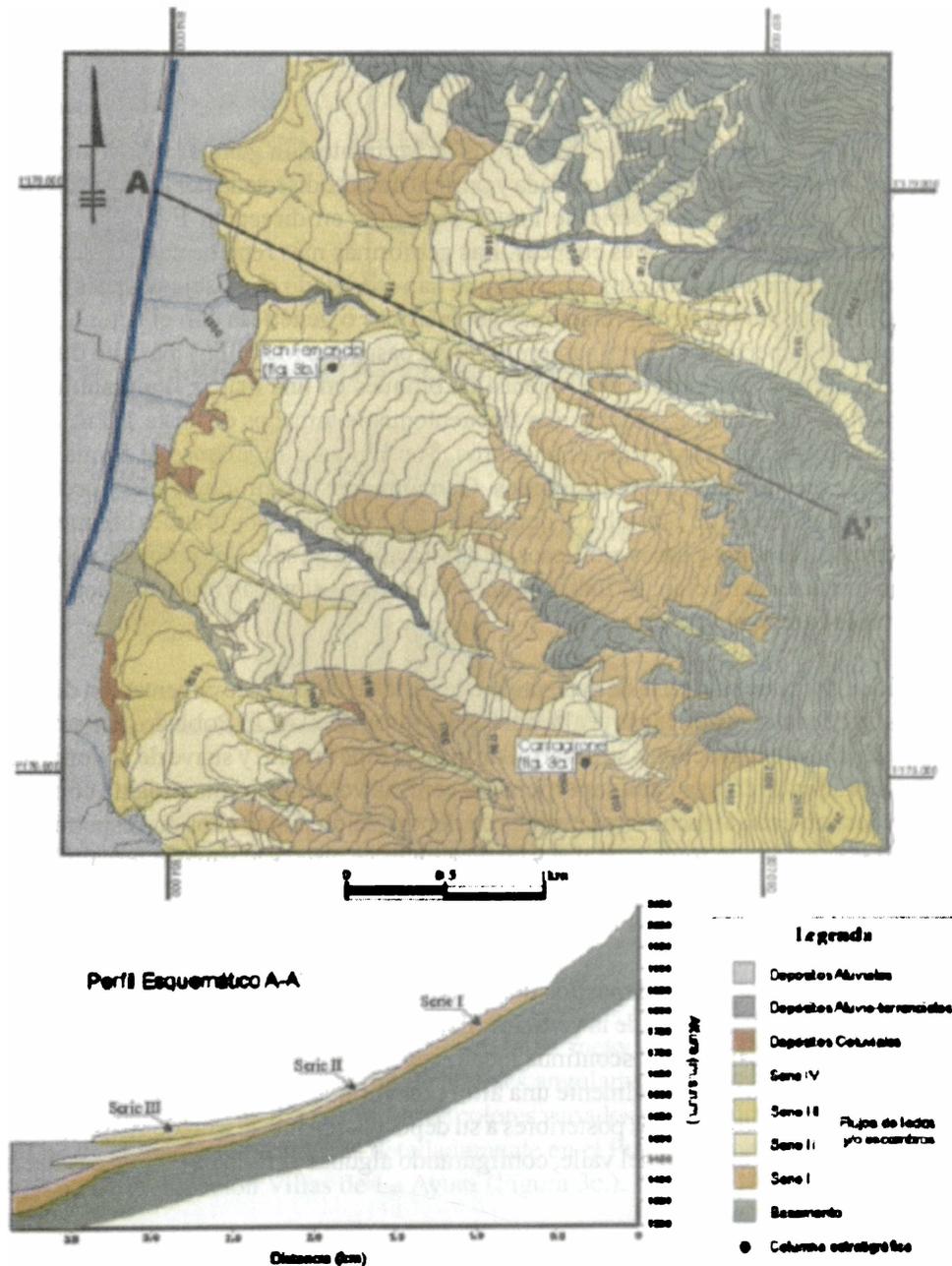


Figura 2.

Secuencia estratigráfica para los depósitos del sector del Poblado, Valle de Aburrá. Se diferencian cuatro series de depósitos de flujos de lodo y escombros en disposición escalonada. Se indica la ubicación de los sitios donde se levantaron las columnas estratigráficas.

Tabla 1.

Características morfológicas de los principales depósitos de vertiente alrededor de El Poblado. Los valores marcados con * son mayores hacia el frente del abanico del depósito, debido al proceso erosivo del Río Medellín cuando su trazado era meándrico.

Depósito de vertiente	Rango de alturas	Inclinación de la superficie de depositación	Profundidad de incisión	Patrón actual de drenaje vs. Morfología del depósito
Serie I	1540-2000m	8-13°	Rango: 9-36m Media: 20m	No hay correlación
Serie II	1520-1950m	6-9°	Rango: 4-14m Media: 11m	Correlación débil
Serie III	1495-2150m	1-3° *	Rango: 1-9m Media: 4m*	Buena Correlación

Se denomina Serie 1 a la coalescencia de varios depósitos de vertiente que generaron una superficie originalmente homogénea y suave, que actualmente se presenta erodada y profundamente disectada por la red de drenaje. Los remanentes de la superficie original constituyen una serie de lomos alargados en dirección E-W con topes suaves a planos, constituyendo las divisorias entre las actuales cuencas. Las geoformas más representativas desarrolladas sobre estos materiales están relacionadas con los procesos erosivos que han modelado el paisaje después de su depositación. Su distribución areal y altitudinal no presentan relaciones geométricas o genéticas con el actual sistema de drenaje. La reconstrucción de la posible superficie original sugiere un nivel base (Río Medellín) más alto durante su depositación. Estos depósitos corresponden a una mezcla heterogénea de bloques en una matriz finogranular. Los bloques por lo general presentan tamaños centimétricos, alcanzando frecuentemente tamaños de hasta 1.0 m. Su composición varía entre metagabros, dunitas, anfíbolitas y localmente gabros. Son bloques angulares, de forma irregular, con un alto grado de meteorización, especialmente hacia los bordes. Comúnmente los afloramientos pueden ser descritos como suelos tropicales derivados de flujos de escombros, donde solo los núcleos de los grandes bloques permanecen frescos. La matriz consiste en arcillas limosas y limos arcillosos de coloración diversa, especialmente pardo amarillento y pardo rojizo. Esta unidad no presenta selección, ni imbricación y en general son matriz soportados. Sin embargo, algunas texturas grano-soportadas fueron observadas.

La columna estratigráfica típica de esta serie de depósitos se levantó en las pilas de cimentación del proyecto urbanístico Cantagironne (Figura 3a), localizado en la parte alta del sector suroriental de El Poblado, con una altura cota de 1815-1820 m.s.n.m (Figura 2). Estas excavaciones se desarrollaron en el tope amplio y suave de un lomo dispuesto en sentido E-W. En esta columna se identificó una capa superficial de cenizas volcánicas concordante con la morfología actual. Hacia profundidad se describieron al menos tres eventos de depositación, todos ellos correspondientes a flujos de lodo y/o de escombros. Los contactos son transicionales y en ocasiones se observan capas intercaladas de materiales finos con evidencias de bioturbación, donde se presenta una alta concentración de cenizas volcánicas. El evento tres (Figura 3a.) corresponde a depósitos más recientes y de carácter local.

La Serie II se emplea para agrupar varios depósitos de vertiente en forma de abanico con canales alimentadores que descienden de diferentes lugares del interior de la vertiente. Estos abanicos pueden ser correlacionados topográficamente definiendo una superficie de depositación discontinua localizada debajo de la serie de depósitos de la serie I. La altitud e inclinación de esta superficie sugiere igualmente una altura mayor que la actual para el nivel base del Río Medellín durante su emplazamiento. Procesos erosivos posteriores a su depositación han disectado su topografía suave y ondulada inicial, levemente inclinada hacia el fondo del valle, configurando algunas vertientes empinadas hacia los flancos de las quebradas.

La composición de estos depósitos varía debido a sus diferentes áreas fuentes. Hacia el norte, las zonas de proveniencia corresponden a perfiles de meteorización de gabros, dunitas, metagabros y localmente anfíbolitas y gneises, mientras en la parte central y sur esta serie de depósitos se originaron principalmente a partir del retrabajamiento de depósitos de

como de la Serie II (Figura 2). Allí, la topografía corresponde a una topografía suavemente ondulada con inclinación leve hacia el fondo del valle. En este sitio se observó una capa de cenizas volcánicas continua y concordante con la topografía actual. En profundidad se identificaron cuatro eventos de depositación, todos ellos correspondientes a flujos de escombros con espesores variables entre 2.5 y 26.0 m. La característica predominante de la columna es el alto grado de meteorización, llegando incluso a formar suelos residuales donde no es factible identificar el depósito original. Se levantaron y se tomaron muestras de dos paleosuelos ricos en cenizas volcánicas re trabajadas y de la matriz de los depósitos para la datación por trazas de fisión (Figura 3b).

En el Municipio de Envigado se describió un talud sobre el frente de avance de los depósitos de vertiente que recubren los depósitos aluviales del fondo del Valle de Aburrá (Figuras 1 y 3c). Allí se presenta una secuencia de depósitos de vertiente, separados entre sí por al menos cuatro horizontes de paleosuelos ricos en cenizas volcánicas re trabajadas. La geoforma asociada y la altura respecto a los depósitos aluviales permitió asociarlo a la serie II, descrita anteriormente. Como característica general de estos materiales se tiene el alto grado de meteorización y la presencia de bloques de roca de hasta 2.5m de diámetro, además, en la parte sur del talud se observaron discontinuidades con superficies planas, lisas, persistentes y recubiertas con óxidos de manganeso, cuyas disposiciones se muestran en la Figura 3c.

En la Serie III se agrupan los depósitos que actualmente exhiben los tres elementos morfológicos típicos de los flujos de escombros: un área fuente identificable, los canales de transporte representados por el actual sistema de drenaje y los abanicos de inclinación suaves hacia el fondo (Corominas et al., 1996). La proyección de la inclinación de estos abanicos se uniría suavemente con la llanura aluvial del río, definiendo una superficie de coalescencia homogénea, con una inclinación aproximada de 2° y un incipiente grado de incisión. La correlación entre los canales alimentadores y la red de drenaje sugiere una estrecha relación genética y una edad relativa más joven con respecto a las anteriores series de depósitos. Sin embargo, el frente de avance de esta serie de depósitos corresponde a una vertiente empinada (>35°) de unos 25-30 m de altura, que describe en planta un patrón de drenaje sinuoso. Estas características son difíciles de explicar como una forma original de depositación y estaría relacionada a la variación natural de cauce del Río Medellín dentro de su llanura aluvial, el cual presentaba un claro patrón meándrico antes de su canalización. Los depósitos de la Serie III tienen características heterogéneas. Los bloques alcanzan dimensiones métricas y exhiben un amplio espectro de composición y grado de meteorización, debido a que las zonas fuente corresponden a depósitos más antiguos previamente meteorizados, mezclados con perfiles de meteorización de las rocas del basamento. En términos generales estos depósitos son matriz soportados.

Finalmente en la serie IV se agrupan los depósitos asociados a los cauces de los actuales drenajes que afloran en la parte inferior de la vertiente suroriental del Valle de Aburrá. La morfología de esta unidad es suave y está restringida a un estrecho corredor a largo de las corrientes. Corresponden a materiales aluviales de alta energía (aluviotorrenciales), con predominio de matrices arenosas y limo-arenosas. Estos depósitos se hacen menos espesos gradualmente hasta confundirse con la llanura aluvial del río.

3.2 Dataciones por trazas de fisión en circones

Del total de 15 muestras tomadas en el Proyecto Urbanístico Cantagirone; el Proyecto Comercial San Fernando Plaza y el Talud en frente de la Urbanización Villas de La Ayurá, nueve permitieron su datación. La localización de ellas puede observarse en la Figura 3 y los resultados analíticos se sintetizan en la Tabla 2 y Figura 4.

Estas edades trazas de fisión, combinadas con el marco cartográfico y geomorfológico (Figura 2) muestran que los depósitos de Cantagirone re trabajaron cristales de cenizas volcánicas de caída datados en 1.84 Ma a los 8.5 m de profundidad y en 2.63 Ma a los 30 m. Por el contrario edades similares en San Fernando Plaza solo se consiguen a partir de los 22 m. Es importante aclarar, que la edad de 1.46 Ma hallada en la parte superficial de Cantagirone corresponde a depósitos de extensión local y se obtuvo por ponderación de dataciones cruzadas (negrilla en Tabla 2).

Tabla 2.
Resultados analíticos de las dataciones por trazas de fisión.

#	No.taf No. Campo	Ob	n	ρ_s (tr*10 ⁶ /cm ²) Ns	ρ_i (tr*10 ⁶ /cm ²) Ni	P(χ^2) (%)	Dis. (%)	ρ_d (tr/cm ²) Nd	Edad $\pm 1\sigma$ Ma
1	388 Cant. 1	DR	22	0.347 316	2.101 1914	98	<1	50550 6066	1.59 \pm 0.10
1	388 Cant. 1	GT	7	0.353 103	2.558 747	48	<1	50550 6066	1.28 \pm 0.12
									1.46\pm0.08
1	367 Cant. 1	GT	11	6.614 395	1.250 2090	7	13	47013 6123	45.58 \pm 1.3
2	391 Cant. 2	GT	16	0.416 1241	2.082 248		<1	50410 3930	1.84 \pm 0.12
3	459 Cant. 3	DR	11	0.654	2.778	56	<1	51980 7173	2.33 \pm 0.13
4	366 Cant. 4	GT	11	0.805 866	2.821 247	45	1	50410 3930	2.63 \pm 0.16
4	370 Cant. 4	GT	6	11.286 299	2.136 1580	49	<1	47013 6123	45 \pm 1.26
5	461 S.F. 5	DR	8	0.393 114	2.669 774	74	<1	51980 7173	1.45 \pm 0.13
5	462 S.F.5	DR	13	6.042 2284	1.246 471	21	9	51980 7173	47.84 \pm 1.6
6	463 S.F. 6	DR	15	0.536 461	2.538 2183	85	<1	51980 7173	2.09 \pm 0.11
7	464 S.F.7	DR	6	0.537 938	2.039 247	48	<1	51980 7173	2.6 \pm 0.17
8	314 Env 9	GT	6			No pasa	49	47013 6123	1.51*
9	310P1 Env. 8	GT	15	0.228 2273	2.231 232	97	<1	47013 6123	0.94 \pm 0.05
9	310 Env.8	GT	29	0.423 4051	2.102 816	>99	12	47013 6123	1.78 \pm 0.08

indica el número en la Figura 3; No. taf corresponde el número interno del laboratorio de datación por trazas de fisión del laboratorio de la Universidad EAFIT; Ob. Observador; n: número de cristales contados; ρ_s y ρ_i densidad de las trazas espontáneas e inducidas respectivamente (en trazas*cm⁻²); Ns y Ni, total de trazas espontáneas (circón) e inducidas (kapton); P(χ^2), es la probabilidad del valor χ^2 ; ρ_d y Nd, densidad de trazas contadas sobre el kapton asociadas al monitor de vidrio dosimétrico (en trazas*cm⁻²) y el número total de trazas contadas respectivamente. La edad central y la dispersión (dis) se calculó según la metodología propuesta por Galbraith y Laslett (1993). Zetas G.T. =366; D.R. =381 Ver diagramas radiales en las Figura 4, construidas empleando la metodología propuesta por Galbraith (1988,1989). En *itálica* datación de cristales del basamento. * datación con amplia dispersión pero el poco número de cristales datados no permite la diferenciación de poblaciones. En **negrilla**: edad ponderada.

En los depósitos situados a 30 m de profundidad de Cantagirone se encontraron cristales con una edad TF de 2.63 \pm 0.16Ma, donde las edades individuales varían entre 1.7 y 4.9 Ma, con una dispersión inferior al 1% (Ver Figura 4). Cristales del basamento mezclados en estos depósitos dieron edades aparentes TF de 46 Ma, con dispersión del 12%; estos resultados del basamento son concordantes con otras edades de la zona y representan etapas de levantamiento en la medida que marcan la edad en la que las rocas alcanzaron una temperatura de aproximadamente 250°C (Huford, 1990). En los depósitos situados entre 18 y 8 m de profundidad se dataron a la base circones volcánicos retrabajados con una edad TF de 2.33 \pm 0.13 Ma, donde las edades individuales varían entre 1.5 y 2.9 Ma, mezclados con cristales del basamento datados en 45.3 Ma (Ver Figura 4 y Tabla2). En la parte superior los cristales datados dieron una edad T.F. de 1.84 \pm 0.12 Ma, donde las edades individuales varían entre 1.2 y 2.6 Ma. La edad de 1.84 establece una edad máxima de depositación

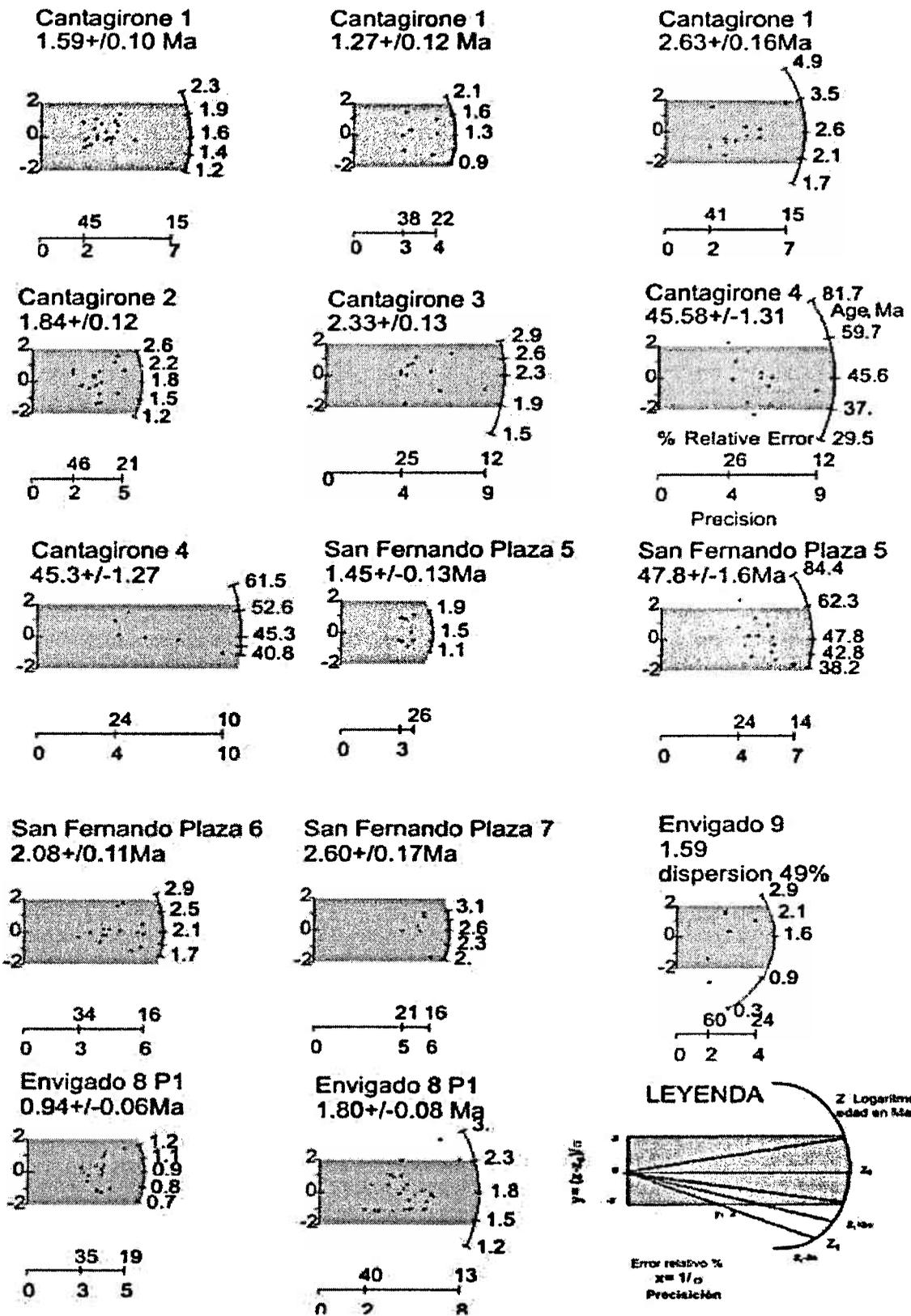


Figura 4.

Diagramas radiales de las muestras datadas por el método de trazas de fisión en circón. Ver datos en la Tabla 1 y leyenda de la Figura en el diagrama inferior derecho.

En San Fernando Plaza se dató a la base material volcánico retrabajado con una edad central de 2.60 ± 0.17 Ma, donde las edades individuales varían entre 2 y 31 Ma (Figura 4). Esta edad marcaría el límite máximo de depositación. El paleosuelo a 21 m de profundidad con material volcánico de caída fue datado en 2.08 ± 0.11 Ma, lo que permite establecer un límite superior para el emplazamiento de estos depósitos. Es importante resaltar que la caída de abundante material volcánico alrededor de la 2 Ma en el norte de la Cordillera Central de Colombia esta bien registrada y conservada en los paleo-lagos del oriente antioqueño (Toro, 1999). La edad de emplazamiento del depósito de flujo saprolitizado situado entre 20 y 14 m en San Fernando Plaza quedaría limitado por las edades de las cenizas volcánicas datadas a la base en 2.08 ± 0.11 Ma y en el techo en 1.45 ± 0.13 Ma (Figuras 3 y 4). En el paleosuelo (muestra 5, Figura 3) de San Fernando Plaza se encontraron cristales del basamento datados en 47.8 ± 1.6 Ma.

En los depósitos de Envigado se encontraron edades de circones volcánicos con edades de 1.78 ± 0.08 Ma y 0.94 ± 0.05 (Figuras 3 y 4).

4. DISCUSIÓN

A pesar de las grandes diferencias morfológicas, composicionales y aún de efectos tectónicos y de meteorización que exhiben las vertientes de la ciudad de Medellín, casi la totalidad de los depósitos de vertiente corresponden a flujos de lodos y/o escombros. Durante su emplazamiento estos materiales actúan como fluidos y por lo tanto su depositación esta controlada tanto por la red de drenaje existente en ese momento, como por la altitud del nivel base (Pierson y Costa, 1987; Coussot y Meunier, 1996; Sohn *et al.*, 1999), es decir, el Río Medellín. La coalescencia de una serie de eventos de flujo, ocurridos en un corto intervalo de tiempo geológico, conforman hacia la base de la vertiente un depósito en forma de abanico (Corominas *et al.*, 1996) con una estratigrafía variable tanto en la horizontal como en la vertical y con unas características geométricas acordes con el nivel del río de aquel momento. Cualquier cambio en el nivel base genera unas condiciones geométricas diferentes, así como variaciones en la red de drenaje, las cuales controlarán la depositación de los eventos de flujo mas recientes.

Las variaciones relativas de altura entre el fondo del valle y las vertientes, asociadas a la actividad tectónica del sector (Hutchings *et al.*, 1981; Integral S.A., 1982; Woodward-Clyde Consultants, 1986; Paris y Romero, 1994; Ego *et al.*, 1995; 1996), alteran el gradiente de las corrientes y favorecen el retroceso erosivo de este desnivel aguas arriba, hasta establecer nuevas condiciones topográficas favorables para la generación de nuevos eventos de flujo, los cuales se dispondrán de manera telescópica sobre los anteriores, pero con una posición altitudinal mas baja sobre la vertiente. Por todo ello existe la posibilidad que parte de los materiales que constituyen el nuevo depósito correspondan a elementos retrabajados a partir del primer evento, el cual tiene ya unas condiciones de meteorización o evolución más avanzadas. Siguiendo este ciclo natural, se puede establecer el marco general para el entendimiento de la distribución y evolución de los depósitos en el sector de EL Poblado y en general de la parte alta del Valle de Aburrá. Allí los depósitos de vertiente se distribuyen siguiendo una estructura escalonada o telescópica. Este modelo es corroborado por la cartografía geomorfológica que evidencia un relieve fuertemente incisado en la parte media-alta de las vertientes, donde incluso se observan lomos y colinas aisladas constituidas por espesos depósitos de vertiente, mientras la topografía se torna más suave y de mayor continuidad lateral en la parte inferior de la ladera. De manera concordante las superficies de depositación, caracterizadas por pendientes suaves (2° - 15°) que corresponden a los techos de los antiguos abanicos, presentan poca extensión y bajo grado de conservación en la parte media-alta de ladera (Barrio San Lucas), mientras en la parte baja (Barrio Manila) ocupan grandes extensiones y excelentes condiciones de conservación. Este modelo esta en concordancia con los resultados de Schlemmon (1979) en el sector norte del Valle de Aburrá, en inmediaciones de los municipios de Bello y Copacabana.

Así mismo, las edades trazas de fisión confirman este modelo (Figura 5). La edad máxima de emplazamiento de los depósitos más antiguos (Serie I), localizados en la parte alta de la vertiente, sería posterior a los 2.60 Ma y variaría hasta edades posteriores a los 1.80 Ma, según los indican los datos del Proyecto Urbanístico Cantagirone. La edad máxima de estos materiales (2.63 ± 0.18 Ma) correlacionaría con las dataciones realizadas sobre depósitos de La Tablaza

(Toro *et al.*, 1996, Toro, 1999), si se consideran rangos de confianza a 3 sigmas (3.17 Ma). En ambos lugares los circones analizados se presentan mezclados con sedimentos. Todo esto implica que para dicha época el Valle de Aburrá ya presentaba una conformación que permitía una dinámica fluvial hacia el fondo, con alturas superiores a los actuales y además unos importantes procesos de vertiente, asociados a la combinación de agentes climáticos y tectónicos. Estos últimos correlacionarían con el cierre final de del Istmo de Panamá, el cual tuvo lugar entre 3.6 y 3.1 Ma (Keigwin, 1978; Ibakary, 1997) con la consiguiente elevación de los niveles de esfuerzos y deformaciones en el noroeste de Sur América.

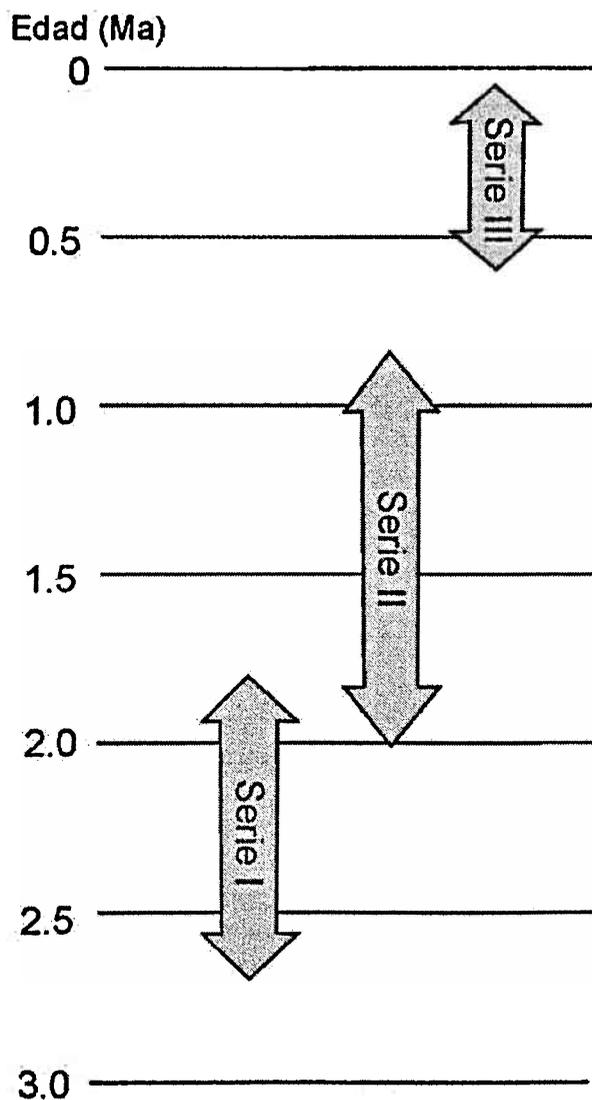


Figura 5.
Intervalos de edad para el emplazamiento de las series de depósitos de vertiente del Poblado, Valle de Aburrá.

La serie II, iniciaría alrededor de los 2.0 Ma y alcanzaría edades posteriores a los 0.9 Ma, según se reporta en la Urbanización Villas de La Ayurá. Estos datos correlacionan con las edades obtenidas en “La Pola” (Restrepo, 1991 y Toro, 1999), confirmando la propuesta cartográfica realizada por Rendón (1999), quien incluyó en la misma unidad

geológica los depósitos de la serie II de El Poblado con los flujos que afloran en el sector nor-occidental de la ciudad de Medellín.

Finalmente, la serie III de depósitos presenta rasgos más homogéneos a lo largo del Valle de Aburrá. El de mayor relevancia lo constituye su posición estratigráfica recubriendo los sedimentos de afinidad fluvial del fondo del valle, correlacionable con los depósitos de Itagüi. La edad máxima de estos materiales correspondería a 0.62 Ma. Ortiz, (2002), aunque con certeza solo se puede afirmar que superan los 0.04 Ma (Aristizabal, 2004).

5. CONCLUSIONES

Los depósitos de vertiente que afloran en las márgenes del Valle de Aburrá definen una estructura telescópica. El desplazamiento tectónico relativo entre el fondo del valle y las vertientes generó que la red de drenaje incisara los abanicos asociados a los flujos de escombros y/o lodos, conformando nuevos depósitos con alturas inferiores. Por todo ello, los materiales localizados a más bajas alturas son más jóvenes que aquellos asentados en posiciones altas sobre las vertientes. Este modelo está soportado por edades trazas de fisión, obtenidas a partir de diferentes niveles de los depósitos de vertiente. Se identifica de esta manera una actividad tectónica significativa en el Valle de Aburrá desde el Plioceno Tardío, contemporáneo con la más fuerte fase de levantamiento detectada en los Andes Colombianos.

Casi todos los depósitos derivados de las vertientes del Valle de Aburrá corresponden a flujos de escombros, a pesar de las marcadas diferencias en morfología, constitución geológica, estado de meteorización y grado de fallamiento exhibido por las laderas. Estos materiales actúan como fluidos, cuya depositación está controlada por la altitud del nivel base (el Río Medellín en este caso) y el patrón de drenaje reinante en dicho momento. La coalescencia de una serie de eventos de flujo, ocurridos en un corto intervalo de tiempo geológico, conforman hacia la base de la vertiente un depósito en forma de abanico. Por ejemplo, a pesar de sus diversas zonas fuente, espesor y rango de alturas, los depósitos localizados alrededor de Itagüi, Envigado y El Poblado han sido correlacionados, puesto que todos ellos recubren la extensa y continua planicie aluvial del Río Medellín. Tal vez estos materiales no se emplazaron simultáneamente, pero sí están restringidos a un corto período de tiempo. Por todo esto, las diferentes series de depósitos deben ser interpretadas como unidades geomorfológicas con una posición estratigráfica definida en la evolución del valle, en vez de considerarlas unidades geológicas de composición homogénea. Adicionalmente, los eventos que constituyen cada una de las series de depósitos son fenómenos de poca extensión areal, por lo cual su número y espesor no constituyen elementos de correlación regional, particularmente en condiciones tan heterogéneas como las vertientes del Valle de Aburrá.

La alta heterogeneidad en el grado de meteorización de los materiales involucrados en las diferentes series de flujos se debe en gran medida a que las zonas fuente son mixtas. En algunos puntos estas zonas corresponden al basamento rocoso de las laderas y sus suelos residuales asociados, mientras en otros lugares corresponden a flujos o depósitos de vertiente anteriores que ya han sufrido procesos de meteorización importante. Por todo ello, el grado de meteorización de los bloques no constituye un elemento cartográfico inequívoco en la separación de las series de flujos.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el marco del proyecto “Estudio del levantamiento de los Andes en el norte de la Cordillera Central de Colombia; una aproximación por geomorfología, estructural y cronología por trazas de fisión” (Cod. 1216-05-13572) financiado por COLCIENCIAS y la Universidad EAFIT.

Se agradece de manera especial a las compañías Londoño Gómez S.A. y Vieco Ingenieros de suelos por el apoyo logística y el aporte de información referente al Proyecto comercial San Fernando Plaza, al igual que a los ingenieros Ricardo Gonzalez y Juan Mesa del Proyecto Urbanístico Cantagirone. De igual forma se agradece al Doctor Julio Daie, jefe del reactor La Reina Comisión Chilena de Energía Nuclear por su apoyo en las irradiaciones de las muestras.

7. REFERENCIAS

- Allen, P. y Allen, J., 1990. Basin analysis. Principles and applications. Blackwell Scientific publications. Londres, 451 P.
- Alvarez, C.H., Trujillo, R. y Hermelin, M., 1984. Aspectos geomorfológicos y estructurales del valle norte de Aburrá, Mem. 1st conf. sobre riesgos geológicos en el Valle de Aburra, Vol. 1: pp 1-12.
- Aristizábal, E., 2004. Geomorphological evolution of the Aburrá Valley, Northern Colombian Andes, and implication for landslide occurrence. Tesis de Maestría, Universidad de Shimane. Japón, 163 P.
- Botero, G., 1963. Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia, Anales Facultad de Minas, Vol. 57: pp1-101.
- Brandon, M. T., 1992. Decomposition of fission-track grain-age distribution, American Journal Science, Vol. 292: pp 535-564.
- Brandon, M.T., 1996. Probability density plot for fission-track grain-ages samples, Radiation Measurements, Vol. 26: pp 663-676.
- Cavinato, G.P., Carusi, C., Dall'Asta, M., Miccadei, E. y Piacentini, T., 2002. Sedimentary and tectonic evolution of Plio-Pleistocene alluvial and lacustrine deposits of Fucino Basin (central Italy). Sedimentary Geology, Vol. 148: pp 29-59.
- Corominas, J., Remondo, J., Farias, P., et al., 1996. Debris Flow. En: R. Dikau, D., Brunnsden, L. Schrott, M. Ibsen, editores. Landslide Recognition, Identification, Movement and causes, Willey and Sons: pp 161-187.
- Cousot, P. y Meunier, M., 1996. Recognition, classification and mechanical description of debris flows. Earth-Science Reviews, Vol. 40: pp 209-227.
- Crowell, J.C., 1974. Sedimentation along the San Andreas Fault, California. En: R.H. Dott Jr. and R.H. Shaver, editores. Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral, Vol. 19: pp 292-303.
- Ego F., Sebrier M. y Yepes H. 1995. Is the Cauca-Patia and Romeral fault system left or right lateral? Geophysical Research Letters, Vol. 22: pp 33-36.
- Ego F., Egues A., Sebrier M., Lavenu A. y Yepes H. 1996. Quaternary state of stress in the northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. Tectonophysics, Vol. 259: pp 101-116.
- Galbraith, R.F., 1988. Graphical Display of Estimates Having Differing Standard Errors. Technometrics, Vol. 30: pp 488-491.
- Galbraith, R.F., 1989. The radial plot: graphical assessment of spreads in ages, Int. J. Radiat. Appl. Instrum, Part D., Vol. 17: pp 207-214.
- Galbraith, R.F. y Laslett, G.M., 1993. Statistical models for mixed fission track ages, Nucl. Tracks Radiat. Meas, Vol. 21: pp 459-470.
- Grupo Aburrá, 1984. Origen del Valle de Aburrá. Memorias de la Primera Conferencia sobre riesgos geológicos en el Valle de Aburrá. Pp 1-20
- Hempton, M.R., Dunne, L.A. y Dewey, J.F., 1983. Sedimentation in an active strike-slip basin, Southern Turkey. Journal of Geology, Vol. 91: pp 401-412.
- Hermelin, M., 1983. Origen del Valle de Aburrá. Evolución de las ideas. Boletín de Ciencias de la Tierra, Vols.7-8: pp 47-65.
- Huford, 1990. Standarization of fission track dating calibration: Recommendation by fission Track Working Group of the I.U.G.S Subcomission on Geochronology, Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), Vol. 80: pp171-178.

- Hutchings, L., Turcotte, T., McBride, J. y Ochoa, H., 1981. Microseismicity along and near the Dolores shear zone in Antioquia, Colombia. *Revista CIAF* Vol. 6, Nos.1-3: pp 243-257.
- Ibakari, M., 1997. Closing of the Central American Seaway and Neogene coastal upwelling along the Pacific coast of South America. *Tectonophysics*, Vol. 281: pp 99-104.
- Integral S.A., 1982. Aprovechamiento múltiple del Río Grande. Estudio geológico y evaluación preliminar del riesgo sísmico. Informe interno. 86 P.
- Keigwin, L., 1978. Pliocene closing of the Isthmus of Panama, based on biostratigraphic evidence from nearby Pacific Ocean and Caribbean sea cores. *Geology*, Vol. 6: pp 630-634.
- Naranjo, J., 2001. Aproximación al estado del conociendo de las formaciones superficiales y origen del Valle de Aburra. Mem. 8 th Congreso Colombiano de Geología, Vol. 1: pp 1-16.
- Ortiz, E.A., 2002. Evaluation of Neotectonic Activity of the Cauca-Romeral Fault System near western Medellín, Colombia. Tesis de Maestría, Universidad de Shimane. Japón. 113p.
- Paris, G. y Romero, J.A., 1994. Fallas activas en Colombia. *Boletín Geológico, Ingeominas*, Vol. 34, Nos.2-3: pp 1-25.
- Pierson, T. y Costa, J., 1987. A rheologic classification of subaerial sediment-water flows. *Geological Society of America. Reviews in Engineering Geology*, Vol. VII: pp 1-12.
- Rendón, D.A., 1999. Cartografía y caracterización de las unidades geológicas de la zona urbana de Medellín. Trabajo dirigido de grado, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 113 P.
- Rendón, D.A., 2003. Tectonic and sedimentary evolution of the Upper Aburrá Valley, northern Colombian Andes. Tesis de Maestría, Universidad de Shimane. Japón, 203 P.
- Rendón, D.A., Toro, G. y Trillos, D., 2005. Dataciones de los depósitos en el sur oriente de Medellín; nuevos referentes para la evolución del Valle de Aburrá. *Memorias X Congreso Colombiano de Geología*, 123 P.
- Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F. 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. *Memorias 1er Conferencia de Riesgos geológicos en el Valle de Aburrá*, Vol. 1:pp 1-25.
- Restrepo, J.J., 1991. Datación de algunas cenizas volcánicas de Antioquia por el método de trazas de fisión. *AGID report*, Vol 16: pp 148-157.
- Salinas C. y Hermelin, M., 1988. Cartografía e interpretación de las formaciones superficiales en el Valle de Aburrá. Mem. 2da conf. sobre riesgos geológicos en el Valle de Aburra, Vol. 1: pp 1-14
- Schlemon, R., 1979. Zonas de deslizamientos en los alrededores de Medellín, Antioquia (Colombia). *Boletín Geológico Ingeominas, Publicación Especial*, Vol. 5: pp 1-45.
- Seward, D. y Kohn, B.P., 1997. New zircon fission-track ages from New Zealand Quaternary tephra: and interlaboratory experiment and recommendations for the determination of young ages, *Chemical Geology*, Vol. 141: pp 127-140.
- Sohn, Y.K., Rhee, C.W. y Kim, B.C., 1999. Debris flow and hyperconcentrated flood-flow deposits in an alluvial fan, northwestern part of Cretaceous Yongdong Basin, Central Korea. *The Journal of Geology*, Vol. 107: pp 111-132.
- Toro, G. y Velásquez, A., 1984. Estudio geomorfológico y estructural del Valle de Aburrá comprendido entre el Municipio de Caldas y las Quebradas La Iguana y Santa Elena. Trabajo dirigido de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 250 P.
- Toro, G. y Hermelin, M., 1989. Tefraestratigrafía del Departamento de Antioquia, informe proyecto de investigación, U. EAFIT, Medellín, 164 P.
- Toro, G., Restrepo, J.J., Poupeau, G., Sáenz, E. y Azdimousa, A., 1996. Datación por trazas de fisión de circones rosados asociados a la secuencia volcano-sedimentaria de Irrá (Caldas), *Memorias VII Congreso colombiano de geología*, Bogotá.

- Toro, G, 1999. Téphrocronologie de la Colombie centrale (département d'Antioquia et abanico de Pereira). Tesis Doctoral. Universidad Joseph Fourier, Grenoble-Francia, 250 P
- Woodward-Clyde Consultants, 1986. Seismic Geology and Seismicity of the Northwestern Colombia. Informe interno, 156 P.

