

*Depósitos cuaternarios, Medellín,
García.*

ESTRATIGRAFÍA

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS DEPOSITOS DE VERTIENTE DEL VALLE DE ABURRÁ

Carolina García L.
Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT
cgarci10@eafit.edu.co

Recibido para evaluación: 21 de Septiembre de 2006 / Aceptación: 20 de Noviembre de 2006 / Recibida versión final: 30 de Noviembre de 2006

RESUMEN

Dentro de las formaciones superficiales que comprenden el Valle de Aburrá se destacan varias series sucesivas de depósitos fluviales y de vertiente genéticamente similares y de extensión considerable cuyo origen ha sido atribuido, entre otros, a eventos de intensa actividad tectónica. Estos depósitos presentan una típica disposición escalonada, en la cual los depósitos más antiguos se ubican en la parte superior de las laderas y los depósitos más recientes, derivados en parte del material de los depósitos antiguos, se ubican en la parte inferior de la vertiente.

A pesar de que en las últimas dos décadas se han realizado diversos trabajos que destacan la importancia de estos depósitos en la evolución del Valle de Aburrá, son muy pocos los que presentan relaciones temporales sustentadas en edades obtenidas por dataciones absolutas que permitan confirmar las relaciones de los depósitos con eventos orogénicos importantes. Las edades que se tienen hasta el momento son de 3.12 Ma (Rendón et al., en prensa) para los depósitos más antiguos y 0.19 Ma (Aristizabal, 2004) a 0.62 (Ortiz, 2002) para los depósitos más recientes de la serie.

PALABRAS CLAVES: Depósitos de Vertiente, Depósitos Fluviales, Valle de Aburrá, Geomorfología, Estratigrafía, Sedimentos Fluviales.

ABSTRACT

Surface formations of the Aburra Valley include several successive genetically similar series of extensive fluvial and slope deposits, possibly generated by events of intense tectonic activity. These deposits display a typical stepped structure, in which older deposits are located in the upper part of slopes and the recent ones, sometimes derived from the older, are located in the lower part of the slope.

Although in the last two decades several works emphasize the importance of these deposits in the evolution of the Aburra Valley, few are those with chronological relations sustained in ages obtained by absolute dating which would allow to confirm the relations of the deposits with important orogenic events. The absolute ages until the moment are 3,12 Ma (Rendón et al., in press) for the older deposits and 0,19 Ma (Aristizabal, 2004) to 0,62 (Ortiz, 2002) for the recent deposits of the serie.

KEY WORDS: Slope Deposits, Fluvial Deposits, Valle de Aburrá, Geochronology, Stratigraphy, Fluvial Sediments.

1. INTRODUCCIÓN

La densidad de población en el Valle de Aburrá ha aumentado ampliamente en los últimos años debido a factores político económicos que han ocasionado una fuerte migración del campo a la ciudad, lo cual, sumado al fuerte crecimiento de la industria de la construcción, ha generado que las zonas pobladas se expandan hacia las vertientes del valle. Estas zonas, en muchas ocasiones, se encuentran cubiertas de depósitos fluviales o de vertiente los cuales presentan propiedades físicas que demandan cuidados específicos para ser intervenidos.

El Valle de Aburrá se caracteriza por presentar una gran diversidad de unidades geológicas y geomorfológicas que han estado sometidas a eventos tectónicos y de meteorización complejos. Dentro de las formaciones superficiales se destacan series escalonadas de depósitos cuaternarios fluviales y de vertiente de extensión considerable con respecto a las dimensiones del Valle (Figura 1). Según Rendón et al. (2005), casi la totalidad de estos depósitos de vertiente corresponden a flujos de lodo y/o escombros controlados principalmente tanto por la red de drenaje existente en el momento de su depositación, como por el nivel base (Coussot & Meunier, 1996) que en este caso correspondería al río Medellín.

Los flujos son movimientos en masa conformados por una mezcla de materiales finos (arena, arcilla y limo) y materiales gruesos (gravas y bloques), con una cantidad variable de agua que forma una mezcla fluida que se mueve pendiente abajo inducida por la gravedad y el colapso repentino del material de la ladera (Corominas et al., 1996). Cuando predominan los materiales gruesos (>70%) se denominan flujos de escombros y si predomina la matriz fluida se denominan coladas de barro, siendo los flujos de lodo la secuencia intermedia entre estos dos.

En la actualidad existe una cantidad apreciable de estudios y compilaciones sobre el Valle de Aburrá (Botero, 1963; Restrepo y Toussaint, 1984; James, 1982; Hermelin, 1976; Hermelin, 1983; Palacio, 1987; Salinas, 1988; Naranjo, 2001; Rendón, 1999, 2003; Aristizabal, 2004). Muchos de estos trabajos plantean la importancia del estudio de los depósitos que se encuentran a lo largo del valle para poder entender el origen del mismo. El problema radica en que son pocos los datos cronológicos (Restrepo, 1991; Toro, 1999; Rendón et al., 2005; Rendón et al., en prensa) y geofísicos (Lüschen et al., 1984; Rendón 2003) que permiten establecer una correlación completa entre los depósitos para así, junto con un análisis de la paleotopografía del valle y de las relaciones espaciales del valle con los relieves adyacentes, generar hipótesis sobre el proceso evolutivo del valle sustentadas en una base más sólida.

2. ESTUDIOS ANTERIORES

El primer trabajo que refiere la importancia de los depósitos en el Valle de Aburrá, específicamente en el municipio de Copacabana en los alrededores de Medellín, es el de Shlemon (1979), el cual luego de presentar un análisis bastante completo de las posibles causas generadoras de deslizamientos, asocia el origen de los depósitos a grandes terremotos ocurridos en el pasado. Shlemon plantea que los depósitos de edad intermedia alcanzan hasta 200 m de espesor y debido a su gran magnitud posiblemente ocasionaron en la zona del Ancón Norte el desvío del curso del Río Medellín hasta su posición actual. Shlemon plantea que depósitos antiguos se ubican en la parte superior de la ladera y los depósitos mas recientes en la parte inferior.

En la Universidad Nacional durante la década de los 80's se realizaron una serie de trabajos de grado sobre el estudio geomorfológico y estructural del Valle de Aburrá (Pineda, 1980; Toro y Velásquez, 1984; Álvarez y Trujillo, 1985; Cuadros, 1987). En cada trabajo se analizó detalladamente una determinada zona del valle con el fin de encontrar evidencias acerca de su origen. Una conclusión que se destaca de todos estos trabajos es el planteamiento de un origen tectónico para el valle sustentado con diversas evidencias geomorfológicas además de la presencia de grandes y antiguos deslizamientos. Esta teoría sobre el origen tectónico del valle fue planteada inicialmente por Hermelin (1978).

Salinas (1988) plantea una estratigrafía generalizada de las formaciones superficiales del Valle de Aburrá. La correlación es realizada mediante observaciones de campo como grado de meteorización, evolución del suelo desarrollado a partir del depósito, grado de oxidación y saprolitización y grado de disección del depósito debido a las quebradas. Las

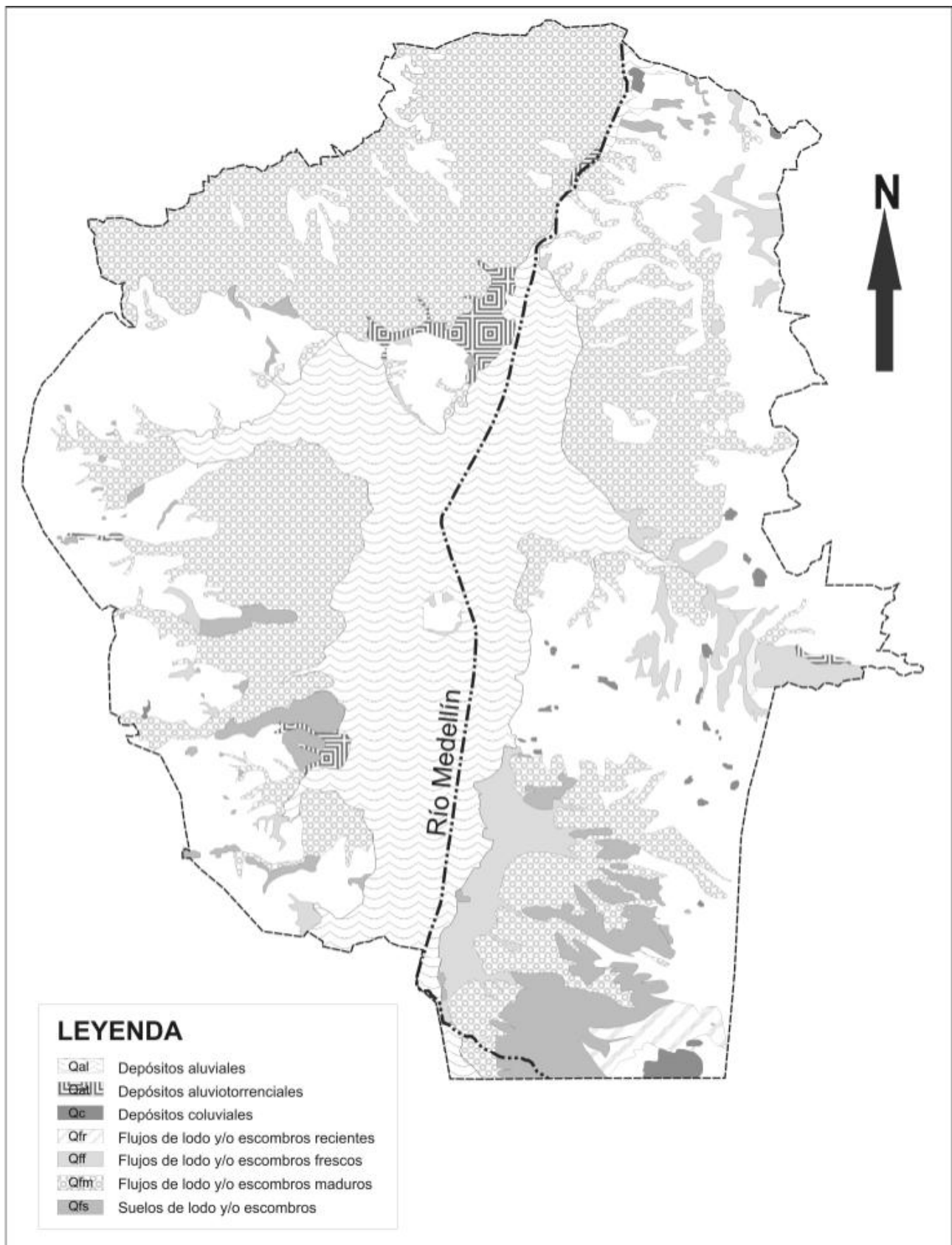


Figura 1. Mapa generalizado de depósitos cuaternarios de la zona urbana de la ciudad de Medellín, sin escala (Modificado de GSM, 1999)

características anteriores le permiten a esta autora establecer una edad relativa de los diferentes depósitos estudiados donde los más antiguos se localizan en las partes más bajas del valle (lo que coincide con los trabajos de Toro y Velásquez, 1984 y Álvarez y Trujillo, 1985), además incluye en la estratigrafía la posición en el perfil de algunas unidades de ceniza volcánica. Salinas concluye que el modelado de las vertientes del valle se produce por eventos tectónicos complejos superpuestos tipo graben.

En cuanto a inventarios de deslizamientos, hay que destacar los trabajos de Hormaza (1991) y Saldarriaga (2003). Hormaza (1991) realiza una recopilación histórica que va desde 1880 hasta 1988 y concluye que las principales causas de los deslizamientos estudiados son la alta precipitación seguida por fenómenos de reptación. El trabajo de Saldarriaga (2003) incluye una recopilación de deslizamientos que va desde 1900 hasta 2002 realizada en el marco de un inventario mundial de deslizamientos aportando además información para la base de datos de deslizamientos a nivel nacional denominada Desinventar. Otro inventario de deslizamientos en el valle es el de Rico (1990) el cual se limita al flanco sur oriental del valle.

Respecto las causas de la activación de los deslizamientos, se plantea que los depósitos antiguos pueden haber sido activados por sismos (Shlemon, 1979), pero en los estudios de depósitos recientes se plantea que las causas de los deslizamientos actuales están asociados más bien a factores como altas precipitaciones, actividad antrópica, reptación (Hormaza, 1991), altas pendientes, alto fracturamiento y meteorización de las rocas de las laderas, entre otros. Respecto a las precipitaciones como factor desencadenante, Paz y Torres (1989) plantean que para activar deslizamientos en las laderas del valle no son necesarios eventos de altas concentraciones de lluvia, sino que con la cantidad promedio de lluvia del valle es suficiente para contribuir en la desestabilización de las laderas.

Hermelin et al. (1984), plantean que los depósitos de vertiente en el valle fueron generados como consecuencia de la combinación de procesos tectónicos (principalmente fracturamientos NS y NW) y procesos erosivos facilitados por periodos lluviosos o aguas subterráneas y posiblemente por vibraciones sísmicas pretéritas.

Hoyos et al. (1990) a partir de datos de suelos del Oriente Antioqueño, sugieren como mecanismo de falla una súbita disminución de la resistencia a la cizalladura en amplias zonas del subsuelo por licuefacción de la parte inferior del regolito con ocasión de grandes terremotos.

A nivel mundial se han reportado numerosos casos de deslizamientos activados por sismos. Cabe resaltar dos trabajos que recopilan los principales sismos históricos que han activado deslizamientos: Keefer (1984) con datos desde 1811 a 1980 y Rodríguez, Bommer y Chandler (1999) con datos de 1980 a 1997. Dentro de los deslizamientos estudiados más importantes se pueden destacar los activados por el sismo de Huascarán en Perú 1970 (Lomnitz, 1970) el sismo de Chi-Chi, en Taiwán 1999 (Lin y Tung, 2003; Khazai y Sitar, 2003), el sismo de Loma Prieta en Estados Unidos 1989 (Seed, Dickenson e Idriss, 1991), el sismo de Northridge en Estados Unidos 1994 (Harp y Wilson, 1995), el sismo de Páez en Colombia 1994 (Martínez et al., 1995), los sismos del Salvador 2001 (EERI, 2001), el sismo de Avaj, Irán 2002 (MahdaviFar, Solaymani y Safari, 2006).

3. ASOCIACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DEL VALLE DE ABURRÁ

De los trabajos anteriores, aunque incluyen en su mayoría un estudio detallado de los depósitos del valle, sólo el trabajo de Shlemon (1979), basado en las relaciones geomorfológicas entre los diferentes depósitos, los separa en tres grupos: flujos recientes, intermedios y antiguos.

Posteriormente, en los trabajos de GRUPO DE SISMOLOGÍA DE MEDELLÍN (1999) y de Rendón (1999) se plantea una clasificación que incluye dentro de los depósitos no litificados: depósitos aluviales, depósitos aluviotorrenciales, depósitos coluviales (posible edad cuaternaria aunque por su madurez podrían ser mayores) y flujos de escombros y/o lodos. Estos últimos según el grado de madurez, meteorización, grado de incisión y nivel de localización en la vertiente,

se dividen en: suelos derivados de flujos (para los cuales proponen una edad mayor que el límite Cuaternario-Terciario), flujos maduros, flujos frescos y flujos recientes (Tabla 1).

Aristizabal (2004) realizó un análisis fotogeológico de todo el Valle, además del estudio detallado en una zona de la Quebrada La Iguaná, lo cual lo llevó a definir cuatro series de depósitos (Tabla 1).

Rendón et al. (2005) establecen la existencia de cuatro series de eventos sucesivos con una típica disposición escalonada para el Valle de Aburrá de las cuales estudian específicamente 3 series bien representadas en el sector de El Poblado, compuestas por abanicos más o menos simultáneos (Tabla 1). Estos autores realizan dos dataciones de tefras intercaladas en los depósitos las cuales les permiten establecer una disposición concordante con la de Shlemon e inversa a la obtenida por Toro y Velásquez (1984), Álvarez y Trujillo (1985) y Salinas (1988) con los depósitos más antiguos localizados hacia la parte alta de las vertientes.

4. EDADES DE LOS DEPÓSITOS DEL VALLE DE ABURRÁ

Rendón et al. (2005), además de presentar nuevos datos, realizan una buena recopilación de las dataciones absolutas de los depósitos del Valle de Aburrá que se tienen hasta el momento. Entre los nuevos datos que reportan incluyen para los depósitos más antiguos (Serie I), localizados en la parte alta de la vertiente, una edad posterior a 3.12 Ma (2.6 ± 0.18 Ma) y anterior a los 1.8 ± 0.13 Ma correspondiente a la datación de circones volcánicos encontrados en el nivel de tefras retrabajado superior.

Para los depósitos de la serie II obtienen la edad de 1.8 ± 0.13 Ma la cual coincide con las edades obtenidas tanto en la muestra 62 de Restrepo (1991) de 1.98 ± 0.42 Ma como con la edad de 2.04 ± 0.12 Ma de Toro (1999). Ambos corresponden a las edades de flujos de lodo ubicados en la zona de Robledo que por sus características geomorfológicas se pueden enmarcar dentro de los depósitos de la serie II.

Aristizabal (2004) reporta una edad de 0.19 ± 0.02 Ma y 0.22 ± 0.05 Ma para dos muestras de cenizas volcánicas depositadas sobre los depósitos de vertiente I y II indicando así que la edad para esta asociación de depósitos debe ser mayor a esos valores. Además, para niveles de turba encontradas dentro de los depósitos de la serie III realizó ensayos de C14 obteniendo edades que superaron el tiempo de aplicación del método, indicando edades mayores a 40 ka (Aristizabal, 2004). Por su parte Rendón et al. (2005) indican que Ortiz (2002) reporta dentro de los depósitos de vertiente de la Serie III fragmentos de materiales tufáceos cuya edad alcanzó 0.62 Ma por trazas de fisión.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El orden temporal inverso de los depósitos del Valle de Aburrá planteado por Toro y Velásquez (1984), Álvarez y Trujillo (1985) y Salinas (1988), donde los depósitos más antiguos se localizan en las partes más bajas del valle, se debe posiblemente a que los depósitos recientes ubicados en la parte inferior del valle contienen material removilizado de los depósitos antiguos ubicados en la parte superior del la vertiente, de tal forma que los bloques de los depósitos recientes presentan en muchos casos un avanzado estado de meteorización, el cual fue uno de los principales criterios para establecer la antigüedad de los depósitos utilizados por los autores citados anteriormente.

Las relaciones de las diferentes series de depósitos entre los cuales se encuentran diferentes suelos enterrados indican que dentro de las mismas series se dieron diversos eventos de movimientos en masa, separados por prolongados periodos de estabilidad que permitieron la formación de suelos. Según Shlemon (1979), cuando ocurre un movimiento de masa de magnitud considerable se comprimen capas de lodo y limo produciendo la apariencia de suelos enterrados, además de que en muchos casos los horizontes orgánicos enterrados son sólo remanentes de un suelo único arrancado y redepositado. Es por esto por lo que se debe realizar un estudio de campo de estos aparentes suelos enterrados para comprobar su génesis.

Tabla 1. Asociaciones de depósitos contemporáneos según diferentes autores.

Autor	Asociaciones de Depósitos	Rango de alturas (msnm)	Inclinación de la superficie	Profundidad de incisión (m)	Geomorfología	Composición	Edad
Shlemon (1979)	Depósitos de deslizamientos y flujos de lodo más antiguos	350 m/km			Su posición fisiográfica y espesor de capa meteorizada de hasta 1 cm en los fragmentos sugiere que son los más antiguos.	Rocas angulares a subangulares, algunas con diámetro superior a 10 m.	
Shlemon (1979)	Depósitos de deslizamientos y flujos de lodo de edad intermedia	200 m/km			Espesor de hasta 200 m. Depósitos compuestos con escambros de edad intermedia sobre bloques de movimientos más antiguos	Presentan suelos enterrados con horizonte B lo cual indica que el depósito fue estable durante un tiempo prolongado.	No hay edad absoluta, solo indicaciones de haber sido formados antes de la ocupación humana intensa Edad supera el límite Cuaternario-Terciario
Shlemon (1979)	Depósitos de deslizamientos y flujos de lodo más recientes	100 m/km			No presentan desarrollo de perfil de suelos y muestran una topografía ondulada		
GSM (2002) y Rendón (1999)	Suelos derivados de flujos de escambros y/o lodos (Qfs)				Se presentan en forma de lomos bajos y suaves en el occidente de la ciudad	Suelo residual derivado de depósitos tipo flujo, compuestos por bloques rocosos de tamaños y composición diversa, totalmente meteorizados, en matriz de textura y coloración heterogénea	
GSM (2002) y Rendón (1999)	Flujos de escambros y/o lodos maduros (Qfm)				Morfología irregular de vertientes suaves a moderadas, ocupan una posición más baja que los Qfs	Constituidos por bloques rocosos heterogéneos con grado de meteorización moderado a alto, en matriz variable según la vertiente	
GSM (2002) y Rendón (1999)	Flujos de escambros y/o lodos frescos (Qff)				Grado bajo a moderado de incisión, rellenan vaguadas o zonas de topografía suave	Contienen bloques rocosos en estado de meteorización moderado a bajo en matriz heterogénea y húmeda	
GSM (2002) y Rendón (1999)	Flujos de escambros y/o lodos				Se encuentran en la parte más baja de las vertientes asociados a los últimos tramos de los cauces actuales	Compuestos por bloques rocosos angulosos y frescos envueltos en matriz limo arenosa parda	
Aristizabal (2004)	Depósitos de vertiente I	0-1200	15-25°	20-30	Ubicados en la parte superior de la vertiente	Flujos de escambros con bloques y gravas de rocas metamórficas y graníticas	Minima: 0.19 ± 0.02 Ma 0.22 ± 0.05 Ma Mayor que 0.4 Ma
Aristizabal (2004)	Depósitos de vertiente II	0-800	10-15	10-20	Ubicados en la parte media de la vertiente	Originados de los dep. de vert. I constituidos por flujos de escambros con gravas y guijarros	
Aristizabal (2004)	Depósitos de vertiente III	0-300	5-10	0-10	Ubicados en la parte baja de la vertiente	Originados de los dep. de vert. II constituidos por flujos de escambros con gravas y guijarros pequeños	

Tabla 1. Continuación. Asociaciones de depósitos contemporáneos según diferentes autores.

Autor	Asociaciones de Depósitos	Rango de alturas (msnm)	Inclinación de la superficie	Profundidad de incisión (m)	Geomorfología	Composición	Edad
Aristizabal (2004)	Abanicos aluviales y llanura de inundación Serie I	0-50 y 0-200	0-20	0-5 y 0-10	Ubicados en la parte baja de la vertiente y en el fondo del Valle	Sedimentos aluviales	
Rendón, et al. (en prensa)	Serie I	1540-2000	8-13°	9-36. Media: 20	No hay correlación entre el patrón actual de drenaje y la morfología del depósito. Presenta lomos alargados E-W con topes suaves a planos, constituyen las divisorias entre las cuencas actuales.	Mezcla heterogénea de bloques en matriz fino-granular arcillo limosa de color variado. Bloques (matriz soportados) angulares e irregulares de 1cm a 1 m, de composición variada (metagabros, dunitas, anfíbolitas y gabros) altamente meteorizados	Máxima: 3.12 Ma (3 sigmas para 2.6 ± 0.18 Ma)
Rendón, et al. (en prensa)	Serie II	1520-1950	6-9°	4-147. Media: 11	Hay una correlación débil entre el patrón actual de drenaje y la morfología del depósito. Depósitos en forma de abanico con canales alimentadores que descienden hacia el interior de la vertiente.	Diversa composición por variación de la fuente. Al norte: gabros, dunitas, metagabros, anfíbolitas y gneisses; al centro y al sur depósitos retrabajados. Bloques angulares a subangulares < 2m. Matriz limosa	Mínima: 1.8 ± 0.13 Ma (Rendón et al., en prensa), 1.98 ± 0.42 Ma (Restrepo, 1991) 2.04 ± 0.12 Ma (Toro, 1999)
Rendón, et al. (en prensa)	Serie III	1495-2150	1-3°	1-9. Media: 4	Buena correlación entre el patrón actual de drenaje y la morfología del depósito. Localizados en actuales sistemas de drenajes, abanicos de inclinación suave que llegan a la llanura aluvial del río Medellín. Asociados a los cauces de los actuales drenajes que afloran en la parte inferior de la vertiente suroriental del Valle. Morf. suave.	Heterogénea. Zonas fuentes corresponden a depósitos mas antiguos previamente meteorizados. Matriz soportados.	0.62 Ma Ortiz (2002)
Rendón, et al. (en prensa)	Serie IV					Materiales aluviales de alta energía, matriz arenosas a limo arenosa	

Tomando en cuenta la posición relativa de cada serie de depósitos planteada por diferentes autores, se presenta una equivalencia de las diferentes series de depósitos (Tabla 2) tomando como base la clasificación de Rendón et al. (2005) y teniendo en cuenta los siguientes aspectos establecidos por cada autor:

- Aristizabal (2004), a pesar de que para los distintos grupos de depósitos indica diferentes grados de altitud o posición neta en la vertiente y diferente grado de inclinación, señala que entre los mismos hay una misma posición y grado de inclinación relativa, además que les asigna un mismo grado de incisión.
- El Grupo de Sismología de Medellín (1999) plantea una descripción básica de los depósitos sin suficientes parámetros de comparación relativa respecto a los otros autores, pero en este caso, los depósitos se pueden asociar según la posición en la vertiente y el grado de meteorización.
- Shlemon (1979), describe cada grupo de depósitos en la zona de Copacabana y aunque no presenta valores de edades absolutas, sí analiza las relaciones de los diferentes grupos de depósitos, así que por su edad relativa se plantea que coinciden con las series II a IV de Rendón et al. (2005).

Tabla 2. Equivalencias en la clasificación de los depósitos del Valle de Aburrá según características geológicas, geomorfológicas y edad relativa

Shlemon (1979)	GSM (2002) y Rendón (1999)	Aristizabal (2004)	Rendón et al. (2005)	Edad propuesta
	Suelos derivados de flujos de escombros y/o lodos (Qfs)	Depósitos de vertiente I	Serie I	3.12 Ma (3 sigmas para 2.6±0.18 Ma) (Rendón et al., en prensa)
Flujos antiguos	Flujos de escombros y/o lodos maduros (Qfm)	Depósitos de vertiente II	Serie II	1.8 ± 0.13 Ma (Rendón et al., en prensa), 1.98 ± 0.42 Ma (Restrepo, 1991) 2.04 ± 0.12 Ma (Toro, 1999)
Flujos intermedios	Flujos de escombros y/o lodos frescos (Qff)	Depósitos de vertiente III	Serie III	0.19 ± 0.02 Ma 0.22 ± 0.05 Ma (Aristizabal, 2004) 0.62 (Ortiz, 2002)
Flujos recientes	Flujos de escombros y/o lodos recientes(Qfr)	Abanicos aluviales y llanura de inundación	Serie IV	Reciente

La clasificación de Rendón et al. (2005), aún cuando es la más completa, se basa principalmente en las relaciones de los depósitos en la zona del Poblado. Por lo tanto se recomienda datar los depósitos de cada serie sistemáticamente y en diferentes sitios del Valle de Aburrá para comprobar que los criterios geológicos y geomorfológicos usados para determinar cada serie coinciden con sus relaciones temporales, es decir, que cada asociación englobe los depósitos conformados en una misma serie temporal de eventos.

Sería recomendable comparar con otras dataciones la edad de 3.2 Ma de la serie II planteada por Rendón et al. (2005), para poder apoyar la hipótesis de estos autores respecto a que la conformación de esta serie de depósitos está relacionada con el cierre del Istmo de Panamá ocurrido hace 3.1 Ma (Keigwin, 1978; Collins et al., 1996; Anderson, 2001; Porta, 2003).

Debido a los rangos de edad para los depósitos del Valle de Aburrá planteados por Rendón et al. (2005), y según el rango de aplicación de los diferentes métodos de datación, se considera recomendable utilizar el método de datación por

trazas de fisión en los circones de las cenizas volcánicas intercalados entre los depósitos de las series I, II y III e implementar el método de datación por fotoluminiscencia en los cuarzos de tamaño fino de los depósitos de las series III y IV, lo cual permitiría comparar posteriormente los valores obtenidos por ambos métodos para los depósitos de la serie III.

Otros métodos de datación que se podrían aplicar en los depósitos incluyen termoluminiscencia, el cual tiene un rango de aplicación similar a la fotoluminiscencia; paleomagnetismo, para analizar la inversión magnética que se presenta en las diferentes series; análisis de la dirección de los aminoácidos – *amino acid racemization*, si hay presencia de fósiles (Bennington, 2004); datación por isótopos cosmogénicos terrestres, el cual presenta un alto grado de confiabilidad (Cossart et al., 2005; Prager, 2005) o aplicar técnicas dendrocronológicas en los restos de árboles presentes en los depósitos (Gers et al. 2001; Santilli & Pelfini, 2003).

Tal y como plantean Hoyos et al., (1990), la antigüedad de los depósitos, junto al hecho de presentarse en series distinguibles, son indicadores de la baja recurrencia de un fenómeno que requiere de condiciones excepcionales para que se produzca. Por ésto, a pesar que las precipitaciones y las condiciones de saturación de los suelos son determinantes para la activación de los deslizamientos actuales (de menor tamaño que los antiguos), estos deben ser factores influyentes pero no determinantes en la generación de las series de grandes depósitos más antiguos los cuales posiblemente fueron generados por fuertes sismos de una magnitud mucho mayor a los sismos históricos, ya que estos últimos no desencadenaron grandes deslizamientos.

La importancia de determinar la edad de las asociaciones de los depósitos del Valle de Aburrá radica en que éstos posiblemente hayan sido generados por eventos de intensa actividad tectónica la cual podría relacionarse con eventos orogénicos importantes como algunas fases de levantamiento de los Andes colombianos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R. y Trujillo, J., 1984. Geomorfología y Estructuras del Valle de Aburrá entre Copacabana y Barbosa. Trabajo Dirigido de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 260 P.
- Anderson, 2001. Temporal and geographic size trends in Neogene Corbulidae (Bivalvia) of tropical America: using environmental sensitivity to decipher causes of morphologic trends. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 166, pp. 101-120.
- Aristizabal, 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.
- Bennington, J., 2004. Quaternary Ice Ages and dating Technics. *Environmental Geomorphology*. http://people.hofstra.edu/faculty/j_b_bennington/33notes/ice_ages.html
- Botero, G., 1963. Contribución al conocimiento de la Geología de la Zona Central de Antioquia: *Anales Facultad de Minas*, No. 57, 101 P.
- Collins, L. S.; Coates, A. G.; Bergreen, W.A.; Aubry, M.P. y Zangh, J., 1996. The Late Miocene Panama Isthmus Strait. *Geology*. Vol. 24 (8), pp. 687-690.
- Corominas, J.; Remondo, J.; Farias, P.; Estevao, M.; Zezere, J.; Diaz de Teran, J.; Moya, J. y González, A., 1996. Debris Flow. En: *Landslide Recognition, Identification, Movement and causes*. R. Dikau, D., Brunnsden, L. Schrott & M. Ibsen, Editors, Willey and sons. New York, pp. 161-187.
- Cossart, E.; Braucher, R.; Bourlels, D.L. y Fort, M., 2005. What are the mass movements triggering factors in deglaciated areas? Insights from field data and cosmonuclides datings in Upper Durance catchment (Southern French Alps). En: *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7.
- Coussot, P. y Meunier, M., 1996. Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science*

Reviews No. 40, pp. 209-227.

Cuadros, M., 1987. Estudio geomorfológico y estructural del Valle de Aburrá. Trabajo dirigido de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 116 P.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute), 2001. Preliminary observations on the El Salvador earthquakes of 13th January and 13th February 2001. EERI Newsletter, vol. 35, No. 7. 12 P.

Gers, E.; Florin, N.; Gartner, H.; Glade, T.; Dikau, R. y Schweingruber, F. H., 2001. Application of shrubs for dendrogeomorphological analysis to reconstruct spatial and temporal landslide movement patterns - A preliminary study. En: Mass movements in South, West and Central Germany. Ed.: Dikau, R. & Schmidt, K. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementbände, Band 125. pp. 163-175

Grupo de Sismología de Medellín - GSM, 1999. Instrumentación y Microzonificación sísmica del área urbana de Medellín. Municipio de Medellín, Sistema Municipal de Prevención y Atención de Desastres. 135 P.

Harp E.L. y Wilson R.W., 1995. Inventory of landslides triggered by the 1994 Northridge, California earthquake. United States Geological Survey (Open-File Report). pp. 95-213.

Hermelin, M., 1976. Estudio Geomorfológico del Valle de Aburrá y del Oriente Cercano: informe preliminar. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 31 P.

Hermelin, M., 1978. Geomorfología del Valle de Aburrá. Resúmenes II Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.

Hermelin, M., 1983. Origen del Valle de Aburrá. Evolución de las ideas. Boletín de Ciencias de la Tierra No. 7-8, pp. 47-65.

Hermelin, M.; Toro, G. y Velásquez, A., 1984. Génesis de los depósitos de vertiente en el sur del Valle de Aburrá. Resúmenes I Conferencia sobre Riesgos Geológicos en el Valle de Aburrá.

Hormaza, M., 1991. Investigación preliminar de las causas probables de deslizamientos en las laderas de Medellín. Trabajo dirigido de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 654 P.

Hoyos, F.; Hermerlin, M. y Toro, G., 1990. Régimen de aguas subterráneas en suelos residuales profundos derivados de rocas ígneas y metamórficas en la Cordillera Central de Colombia. En: Boletín de Vías, v. XVII, No. 71. pp. 130-153.

James, M., 1982. Rasgos superficiales y datos geomorfológicos que favorecen un origen tectónico para el Valle de Aburrá: Resúmenes IV Congreso Colombiano de Geología, Cali.

Keefér D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. Bulletin of the Geological Society of America, vol. 95, pp. 406-421.

Keigwin, L., 1978. Pliocene closing of the Isthmus of Panama, based on biostratigraphic evidence from nearby Pacific Ocean and Caribbean sea cores. Geology 6, pp.630-634.

Khazai, B. y Sitar, N., 2003. Evaluation of factors controlling earthquake-induced landslides caused by Chi-Chi earthquake and comparison with the Northridge and Loma Prieta events. Engineering Geology, vol. 71, pp. 79-95

Lin, M. y Tung, Ch., 2003. A GIS-based potential analysis of the landslides induced by the Chi-Chi earthquake. Engineering Geology, vol. 71, pp. 63-77.

Lomnitz, C., 1970. The Peñon Viejo Earthquake of May 31, 1970. Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 60, pp. 1413-1416.

Lüschen, E.; Muckelmann, R. y otros, 1984. Investigaciones gravimétricas y geomagnéticas en el Valle de Aburrá y sus alrededores: Revista Universidad EAFIT, No. 54. pp. 7-25.

MahdaviFar, M.; Solaymani, S. y Jafari, M., 2006. Landslides triggered by the Avaj, Iran earthquake of June 22, 2002. Engineering Geology, vol. 86, pp. 166-182

- Martínez, J.M.; Avila, G.; Agudelo, A.; Schuster, R.L.; Casadevall, T.J. y Scout, K.M., 1995. Landslides and debris flows triggered by the 6 June 1994 Paez earthquake, Southwestern Colombia. *Landslide News*, vol. 9, pp. 13–15.
- Naranjo, J., 2001. Aproximación al estado del conocimiento de las formaciones superficiales y origen del Valle de Aburrá. *Memorias. VIII Congreso Colombiano de Geología*, Manizales, 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, pp. 1-113.
- Palacio, F., 1987. Origen invertido erosivo del Valle de Aburrá: I Seminario Gerardo Botero A., Medellín, pp. 123-133.
- Paz, C. y Torres, A., 1989. Precipitación y su influencia sobre algunos deslizamientos ocurridos en las laderas del Valle de Aburrá. *Trabajo dirigido de grado*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 174 P.
- Pineda, A., 1980. Geomorfología de la porción Nororiental del Valle de Aburrá: *Tesis de Grado*, Universidad Nacional, Medellín, 101 P.
- Porta, J. de., 2003. La formación del Istmo de Panamá. Su incidencia en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de las Ciencias*, Vol. 27, No. 103. pp.191-216.
- Prager, C., 2005. Relevance of dating deep seated mass movements: evidence from the Holocene Fernpass-rockslide (Northern Calcareous Alps, Tyrol, Austria). En: *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7
- Rendón, D. A., 2003. Tectonic and sedimentary evolution of the Upper Aburrá Valley, northern Colombian Andes. *Tesis de Maestría*, Universidad de Shimane. Japón. pp. 1-123.
- Rendón, D.; Toro, G. y Trillos, D., 2005. Dataciones de los Depósitos de Vertiente en el Sur Oriente de Medellín; nuevos referentes para la evolución del Valle de Aburrá. *X Congreso Colombiano de Geología*, Bogotá. 12 P.
- Rendón, D.; Toro, G. y Hermelin, M., 2006. Modelo Cronoestratigráfico para el Emplazamiento de los Depósitos de Vertiente en el Valle de Aburrá. En: *Boletín de Ciencias de la Tierra* No. 18, Julio. pp. 103 - 118
- 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.
- Restrepo, J. y Toussaint, J. 1984. Unidades litológicas en los alrededores de Medellín. *I Conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá*, Medellín, 26 P.
- Restrepo, J., 1991. Datación de algunas cenizas volcánicas de Antioquia por el método de trazas de fisión. *AGID Report* 16, pp. 148-157.
- Rico, E., 1990. Inventario y caracterización de los Movimientos de Masa del Flanco Sur-Oriental del Valle de Aburrá. *Tesis de Grado* Universidad EAFIT, Medellín, 97 P.
- Rodríguez, C.E.; Bommer, J.J y Chandler, R.J., 1999. Earthquake-induced landslides: 1980–1997. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 18, pp. 325 - 346
- Saldarriaga, R., 2003. Inventario y sistematización de los desastres naturales reportados en los municipios del Valle de Aburrá, entre los años 1900 y 2002. *Trabajo de grado*. Universidad EAFIT. 125 P.
- Salinas, I. C., 1988. Cartografía e Interpretación de Formaciones Superficiales en el Valle de Aburrá. *Tesis de grado*, Universidad Nacional, Medellín. 129 P.
- Santilli, M y Pelfini, M., 2003, Dendrogeomorphology and dating of debris flows in the Valle del Gallo, Central Alps, Italy. *Dendrochronologia*, vol. 20, No. 3, pp. 269-284.
- Seed, R.B.; Dickenson S.E. e Idriss, I.M., 1991. Principal geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta earthquake. *Soils and Foundations*, vol. 31, No. 1, pp. 1 - 26.
- Shlemon, R., 1979. Zonas de deslizamientos en los alrededores de Medellín, Antioquia (Colombia). *Boletín Geológico INGEOMINAS*, Publicación Especial 5, 45 P.

- Toro, G. y Velásquez, A., 1984. Estudio geomorfológico y estructural del Valle de Aburrá comprendido entre el Municipio de Caldas y las Quebradas La Iguaná y Santa Elena. Trabajo Dirigido de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 210 P.
- Toro, G., 1999. Téphrocronologie de la Colombie centrale (département d'Antioquia et abanico de Pereira). Tesis Doctoral Universidad Joseph Fourier, Grenoble-Francia, 250 P.

