

CRONOESTRATIGRAFÍA DEL VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA: UNA REVISIÓN

Chronostratigraphy of the Aburrá Valley: a review

Santiago Noriega Londoño¹, Mateo Arboleda Giraldo²,
Sergio Andrés Restrepo Moreno³, María Isabel Marín Cerón⁴

¹⁻²Universidad EAFIT, Departamento de Ciencias de la Tierra, Medellín, Colombia. ³Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Medellín, Colombia. Department of Geological Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, USA. ⁴Universidad EAFIT, Departamento de Ciencias de la Tierra, Medellín, Colombia. Email: ¹snoriegal@eafit.edu.co, ²marbole8@eafit.edu.co, ³sarestrepom@unal.edu.co, ⁴mmarince@eafit.edu.co

(Recibido octubre 19 de 2021 y aceptado diciembre 02 de 2021)

Resumen

El Valle de Aburrá (VA), localizado en la porción norte de la Cordillera Central de Colombia, se encuentra cubierto por extensas formaciones superficiales de diversos tipos. Estos depósitos registran la respuesta morfodinámica de diferentes procesos tectónicos y erosivos, gobernados por las condiciones de clima húmedo tropical y la actividad geodinámica reciente de los Andes del Norte. Este trabajo presenta una revisión del estado del arte de la cronoestratigrafía de las formaciones superficiales del VA, como una herramienta para cuantificar los procesos geomorfológicos responsables de la conformación y evolución del VA. Los datos compilados abarcan el intervalo desde el Plioceno tardío al Holoceno tardío, registrando la respuesta del paisaje a la última fase de la Orogenia Andina. Esta revisión resalta la necesidad de producir nuevos datos cronológicos y estratigráficos en el Cuaternario, como base para los modelos de evolución del paisaje de los cuales necesariamente se debe surtir la reflexión, el trabajo y la praxis sobre la evaluación de amenazas, las estrategias de gestión del riesgo y los planes de ordenamiento territorial, particularmente en el contexto de los grandes centros urbanos de la región Andina.

Palabras clave: *Río Medellín-Porce, Formaciones superficiales, Depósitos de vertiente, Geocronología del Cuaternario, Cordillera Central, Andes Colombianos.*

Abstract

The Aburrá Valley (VA), located in the Central Cordillera of Colombia, is covered by extensive surface formations of various types. These deposits record the morphodynamic response of different tectonic and erosive processes, controlled by humid tropical climatic conditions and recent geodynamic activity of the Northern Andes. This contribution presents a review of the state of the art of the chronostratigraphy of the surface formations of the VA, as a tool to quantify the geomorphological processes responsible for the conformation and evolution of the VA. The compiled data cover an interval from the late Pliocene to the late Holocene, recording the response of the landscape to the last phase of the Andean Orogeny. This review highlights the need to produce new chronological and stratigraphic data in the Quaternary, as a basis for understanding landscape evolution models, and hence procure a coherent approach to hazard assessment studies, risk management strategies and land use planning, particularly in the context of large urban centers of the Andean region.

Key words: *Medellín-Porce River, Surficial formations, Hillslope deposits, Quaternary geochronology, Central Mountain, Colombian Andes.*

1. INTRODUCCIÓN

El Valle de Aburrá (VA) corresponde a un conjunto de depresiones unidas por el río Medellín, el cual drena la parte alta de la cuenca del río Porce, en la Cordillera Central de Colombia (Figura 1). En general, el VA está orientado en sentido SW-NE, segmentando el Altiplano Antioqueño en dos. Topográficamente se caracteriza por un fondo de valle relativamente estrecho (~2 km) situado a elevaciones entre 1300 y 1900 m, y confinado por flancos montañosos y de pendientes altas que alcanzan los 3000 m (i.e., relieve relativo de más de ~1500 m).

Desde el punto de vista litológico, el VA está desarrollado sobre rocas metamórficas e ígneas del Macizo Central Antioqueño [1]. Estas rocas exhiben en su mayoría un alto grado de meteorización, con coberteras de sarcolitos de espesores variables, que poseen alta susceptibilidad a la remoción y transporte de sedimentos sobre las laderas y los canales fluviales, generando un sistema complejo de depósitos de vertiente y depósitos aluviales [2]–[5], simplificados aquí bajo la denominación de formaciones superficiales.

Estas formaciones han sido interpretadas como producto de los cambios en los niveles base y los avances de los frentes de erosión que desencadenan procesos de producción y transporte de sedimentos [3], [6]. Estos procesos se asocian al levantamiento de la superficie topográfica y la respuesta del paisaje durante los paroxismos morfotectónicos del Cenozoico tardío [7], [8]. Sin embargo, las formaciones superficiales del VA se encuentran parcialmente cartografiadas, y su marco geocronológico se desconoce aún con detalle a pesar de los datos existentes [2], [4], [9]–[15].

En las últimas décadas, la aplicación de técnicas de datación del Cuaternario ha tomado relevancia debido a su capacidad para estimar la cronología y las tasas de variación de los procesos geomorfológicos registrados en las formaciones superficiales [16]–[20]. Sin embargo, en Colombia, el uso de estas técnicas es aún embrionario. En este sentido, la importancia de entender la distribución,

origen y cronología de estas formaciones es insoslayable, puesto que se requiere cuantificar los procesos responsables de la transformación del paisaje, y por tanto del territorio, en el tiempo, y a partir de esto evaluar los roles relativos de los diferentes procesos en la evolución del paisaje. Esta información es fundamental para estimar las relaciones de magnitud-frecuencia de los procesos geomorfológicos.

Conocer la cronoestratigrafía de una región permite estimar tasas de recurrencia de diferentes amenazas naturales como base del ordenamiento territorial [20], [21]. En efecto, si se conoce la edad de un conjunto de terrazas aluviales, es posible estimar las tasas de incisión fluvial [22]–[24], mientras que documentar la temporalidad de un depósito es útil para estimar la edad máxima de fallas activas, o la respuesta morfodinámica a las variaciones climáticas durante el Holoceno [25]–[27]. También es posible estimar la frecuencia de eventos de inundación, grados de meteorización y movimientos en masa [16], [28]. En síntesis, se dificulta generar una aproximación confiable al conocimiento de las tasas de recurrencia de las amenazas naturales (relaciones de magnitud-frecuencia), sin tener un marco temporal bien establecido [29], [30].

Este trabajo presenta una revisión de las edades geocronológicas reportadas en el VA con el objetivo de documentar el estado actual de la cronoestratigrafía de las formaciones superficiales en el contexto geográfico-geológico de los Andes colombianos, y así establecer los vacíos de conocimiento para direccionar la generación de nuevos datos cronoestratigráficos.

El VA además alberga un Área Metropolitana con 10 municipios (Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Itagüí, Envigado, Sabaneta, La Estrella, y Caldas), y una población estimada de ~4 millones de habitantes [31], bajo unas condiciones medioambientales que favorecen la ocurrencia de amenazas naturales de tipo hidrometeorológico y/o geofísico, [32], y un grado de exposición/vulnerabilidad que impacta directamente en las condiciones socioeconómicas de la población [33].

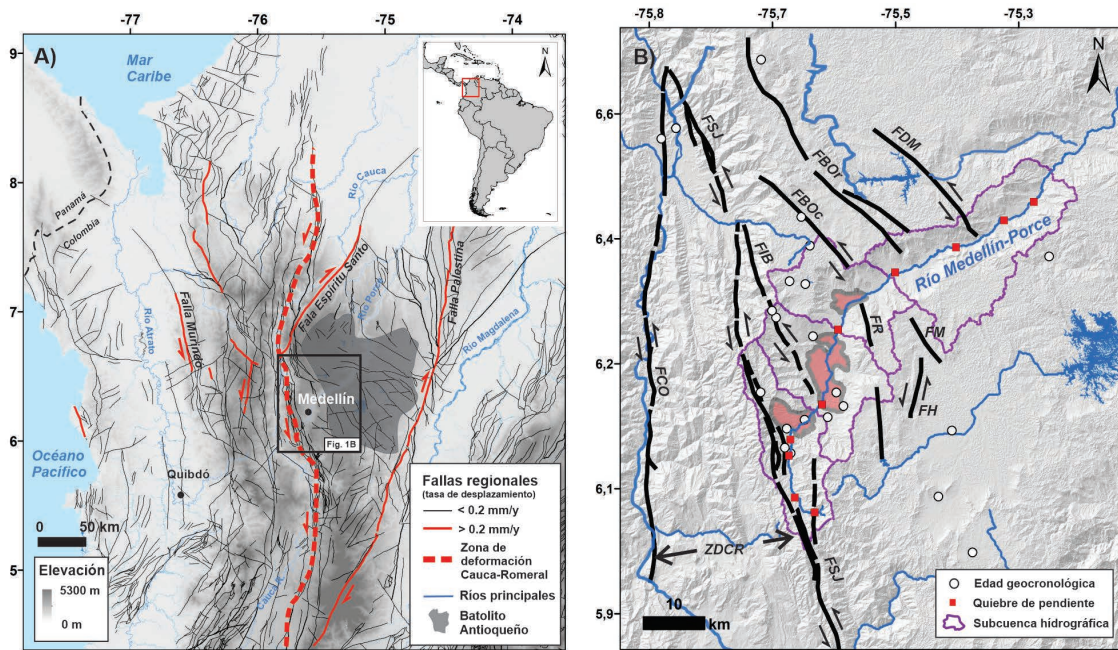


Figura 1. Marco tectónico simplificado del VA. (A) Mapa de localización del VA en la transición entre el Batolito Antioqueño y la zona de deformación Cauca-Romeral. (B) Mapa simplificado de las fallas que controlan el VA, las tres cuencas tectónicas asociadas, y la porción norte del VA en sentido NE.

2. SÍNTESIS DE LA GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL VALLE DE ABURRÁ

El VA se localiza en la porción noroccidental de la Cordillera Central de los Andes colombianos, específicamente sobre el Macizo Central [1], [34] y la zona de deformación de Cauca-Romeral [35], [36] (Figura 1). Este valle tiene orientación SSW-NNE a SW-NE y separa las superficies de erosión del Altiplano antioqueño en dos: Altiplano Norte (Santa Rosa, Llanos de Cuivá) y Altiplano Sur (Rionego-La Unión).

En el VA el régimen de precipitación es bimodal con picos en los periodos marzo, abril, mayo (MAM) y septiembre, octubre, noviembre (SON), intervalos que coinciden con los registros de movimientos en masa [37]. Registros máximos de lluvia de ca. 3609 mm fueron reportados en 1999, y valores mínimos de 2352 mm en 1991 [32]. Tectónicamente, esta porción de los Andes del Norte es producto de la convergencia entre las placas de Nazca-

Farallón, Caribe y Suramérica que han generado un complejo sistema subductivo-acrecional [36], [38]–[41] (Figura 1). La deformación está particionada por bloques litotectónicos, separados por fallas regionales con orientación predominante Norte-Sur (e.g. Cauca-Romeral, Palestina, Otú-Pericos, etc.). Esta característica de orden regional condiciona la morfología y distribución de cadenas montañosas, altiplanos, cañones y valles interandinos [6], [42]–[44].

Litológicamente, el VA está conformado por rocas metamórficas Permo-Triásicas, intruidas por cuerpos graníticos Cretácicos de afinidad continental al oriente, puestas en contacto fallado con rocas ígneas ultramáficas y secuencias vulcano-sedimentarias de edad Cretácica y afinidad oceánica al occidente [45]–[47]. Las laderas y los fondos de los drenajes en el VA se encuentran cubiertos por diversos niveles de depósitos de vertiente y depósitos aluviales con edades entre el Plioceno tardío y el Holoceno [2], [4], [6], [12].

Basados en información geofísica, geomorfológica, estratigráfica y geocronológica, autores como [2], [4], [6], plantean un modelo acoplado entre procesos tectónicos y erosivos, demostrando la ocurrencia de al menos tres cuencas tectónicas tipo *pull-apart* en el VA. Así, las cuencas Itagüí, Medellín y Bello, presentan características morfométricas y estratigráficas diferentes, en un ambiente de deformación transpresiva de escala regional, y un relleno sedimentario controlado por un clima húmedo tropical.

En términos de geología estructural el VA presenta una influencia directa de la zona de deformación del Sistema Cauca-Romeral a través de las fallas San Jerónimo (FSJ), la Iguaná-Boquerón (FIB), Belmira (FB), Don Matías (FDM) (Figura 1). Estas fallas de orientación preferencial N-S a N30W marcan un desplazamiento lateral izquierdo y afectan el basamento del VA mostrando una fuerte expresión geomorfológica en los ancones Norte y Sur y quiebres de pendiente del perfil longitudinal del río Medellín [3], [6] (Figura 2).

Adicionalmente el carácter erosivo del valle de Aburrá es innegable teniendo en cuenta que actualmente el río principal y su amplia red de tributarios (quebradas) enlaza las diferentes cuencas tectónicas, además de conectar, vía incisión fluvial y en numerosos quiebres de pendiente las extensas y bien preservadas superficies de erosión de la Cordillera Central con el fondo del VA [6], [43], [44]. Estas superficies de erosión que conforman el amplio dominio geográfico del Altiplano Antioqueño, en el que el VA está inserto, se distribuyen de manera escalonada entre 2600 y 700 m [6], [43], [48] y constituyen importantes marcadores morfotectónicos y cronoestratigráficos para documentar la evolución del paisaje [7], [49], a lo largo de los eventos de levantamiento tectónico de las fases morfotectónicas Proto-Andina, en la transición Oligo-Mioceno, y Eu-Andinas, del Mioceno temprano al tardío (*sensu* [50]).

En este trabajo se parte de la propuesta de tres sub-cuencas tectónicas que conforman el VA planteadas por [6], y adicionalmente incluye la porción norte del VA

moldeada sobre rocas graníticas del Batolito Antioqueño, llamada sub-cuenca Barbosa (ver [51]) (Figura 3).

3. CRONOESTRATIGRAFÍA DE LAS FORMACIONES SUPERFICIALES EN EL VA

3.1. Revisión de edades absolutas reportadas en el VA

Con el objetivo de actualizar el estado del conocimiento sobre la cronoestratigrafía del VA, en este trabajo se realizó una compilación y revisión de las edades absolutas de formaciones superficiales reportadas en la literatura, teniendo en cuenta el método geocronológico y el tipo de mineral o material analizado. Esta revisión abarca las publicaciones disponibles en las bases de datos académicas, revistas nacionales e internacionales, bibliotecas, y centros de información en el intervalo 1963 y 2021.

En la revisión se reportan un total de 24 edades absolutas. De estas, 16 fueron medidas con el método de huellas de fisión en circones obtenidos a partir de material volcánico intercalado en algunos depósitos de vertiente [2], [4], [9]–[11], [13], [14], [52], 2 edades se reportan utilizando el método de radiocarbono ^{14}C [4], [11], y 6 con el método de fotoluminiscencia óptica [53]. Un conjunto de datos preliminares obtenidos mediante técnicas de isotopía cosmogénica [15], también han sido incluidos aquí. Detalles de los datos geocronológicos compilados se presentan en la Tabla 1.

3.2. Cronoestratigrafía del VA por cuencas tectónicas

La cronoestratigrafía de cada sub-cuenca permite identificar y comparar las características de cada uno de los sectores del VA. En cada una de estas se presenta una agrupación de formaciones superficiales las cuales podrían estar relacionadas entre sí, pero también presentan una considerable variación según su ubicación espacial y altitudinal dentro del VA. La Figura 2 resume la distribución espacial de las formaciones superficiales presentes en el VA a lo largo del perfil longitudinal del Río Medellín-Porce.

Tabla 1. Datos geocronológicos compilados y revisados en este artículo.

Cuenca tectónica	Ubicación	Geoforma/Material	Método	Edad (Ma)	Error (Ma)	Referencia
Itagüí	Caldas, Sur	Circones de terrazas aluviales deformadas	Huellas de fisión	3.06		[13]
Itagüí	Caldas, Sur	Circones de terrazas aluviales deformadas	Huellas de fisión	2.04	±0.12	[13]
Itagüí	La Estrella, Sur	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	0.62		[14]
Itagüí	Montesacro, Sur	Turba en depósitos aluviales	Radiocarbono	> 0.040		[4]
Itagüí	San Antonio de Prado, Suroccidente	Paleosuelo en depósito aluvial	Radiocarbono	0.0014	±0.00005	[11]
Medellín	Robledo, Noroccidente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	1.98	±0.42	[9]
Medellín	El Poblado, Oriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	0.19	±0.02	[4]
Medellín	Boquerón, Occidente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	0.22	±0.05	[4]
Medellín	Boquerón, Occidente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	0.15		[14]
Medellín	El Poblado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	1.46	±0.08	[2]
Medellín	El Poblado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	1.84	±0.12	[2]
Medellín	El Poblado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	2.33	±0.13	[2]
Medellín	El Poblado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	2.63	±0.16	[2]
Medellín	El Poblado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	1.45	±0.13	[2]
Medellín	El Poblado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	2.09	±0.11	[2]
Medellín	El Poblado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	2.6	±0.17	[2]
Medellín	Envigado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	1.78	±0.08	[2]
Medellín	Envigado, Suroriente	Circones de cenizas volcánicas en depósitos de vertiente	Huellas de fisión	0.94	±0.05	[2]
Bello	Llano de Ovejas, Noroccidente	Cuarzo (línea de Piedra)	Luminiscencia óptica	0.024	±0.004	[53]
Bello	Llano de Ovejas, Noroccidente	Cuarzo (línea de Piedra)	Luminiscencia óptica	0.031	±0.005	[53]
Bello	Llano de Ovejas, Noroccidente	Cuarzo (línea de Piedra)	Luminiscencia óptica	0.019	±0.002	[53]
Bello	Llano de Ovejas, Noroccidente	Cuarzo (línea de Piedra)	Luminiscencia óptica	0.093	±0.01	[53]
Bello	Llano de Ovejas, Noroccidente	Cuarzo (depósito aluvial)	Luminiscencia óptica	0.036	±0.005	[53]
Bello	Llano de Ovejas, Noroccidente	Cuarzo (depósito aluvial)	Luminiscencia óptica	0.053	±0.006	[53]
Barbosa	Barbosa, Norte	Cuarzo (Bloque de roca en depósito de vertiente)	Isotopía cosmogénica ¹⁰ Be	0.05-0.40		[15]

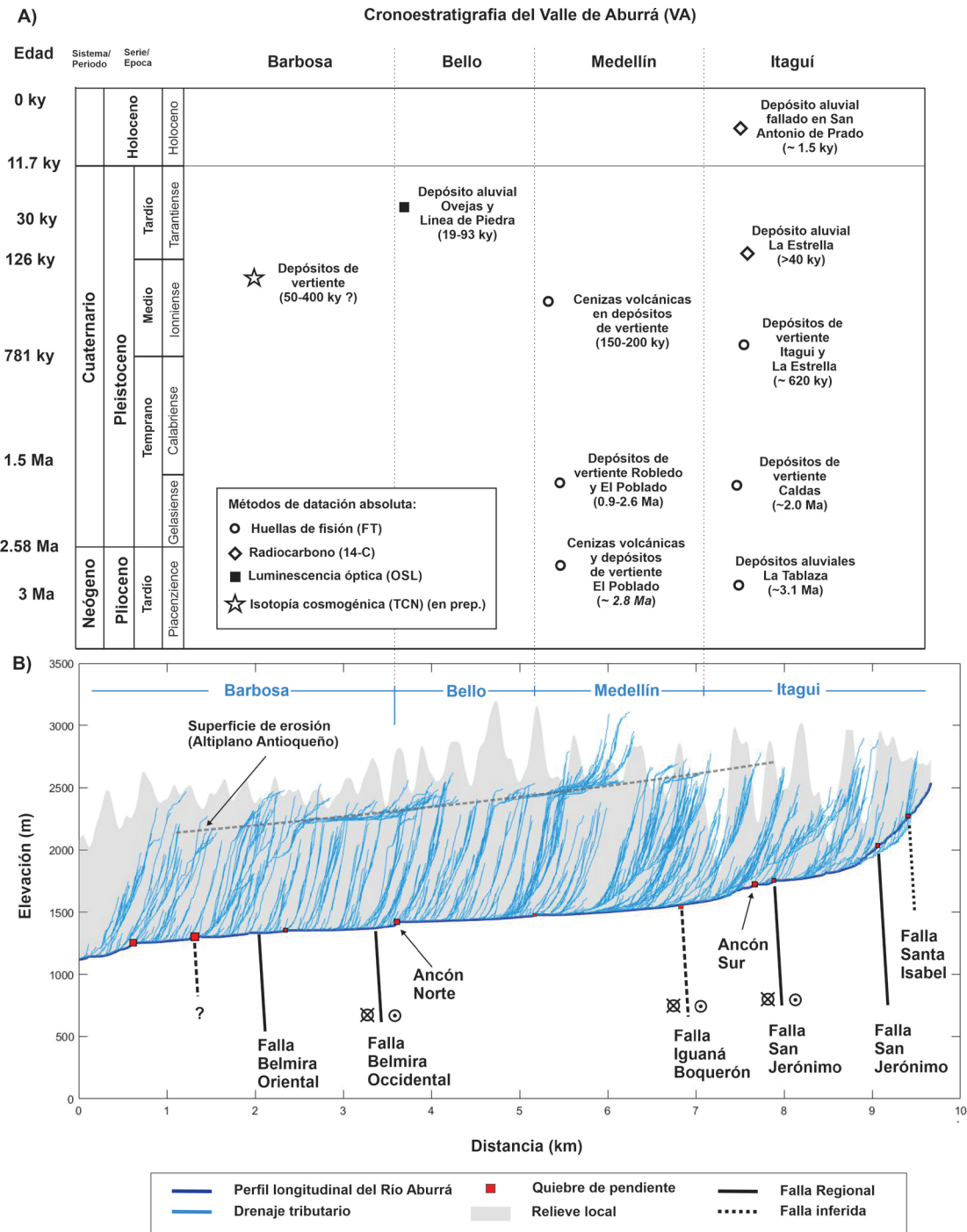


Figura 2. Perfil longitudinal Río Medellín-Porce y distribución espacial y temporal de las formaciones superficiales para las cuatro sub-cuencas del VA. (A) Tabla cronoestratigráfica compilada para el VA. (B) Perfil longitudinal del río Medellín-Aburrá indicando la distribución espacial de los quiebres de pendiente y su relación con las estructuras que controlan el basamento del VA.

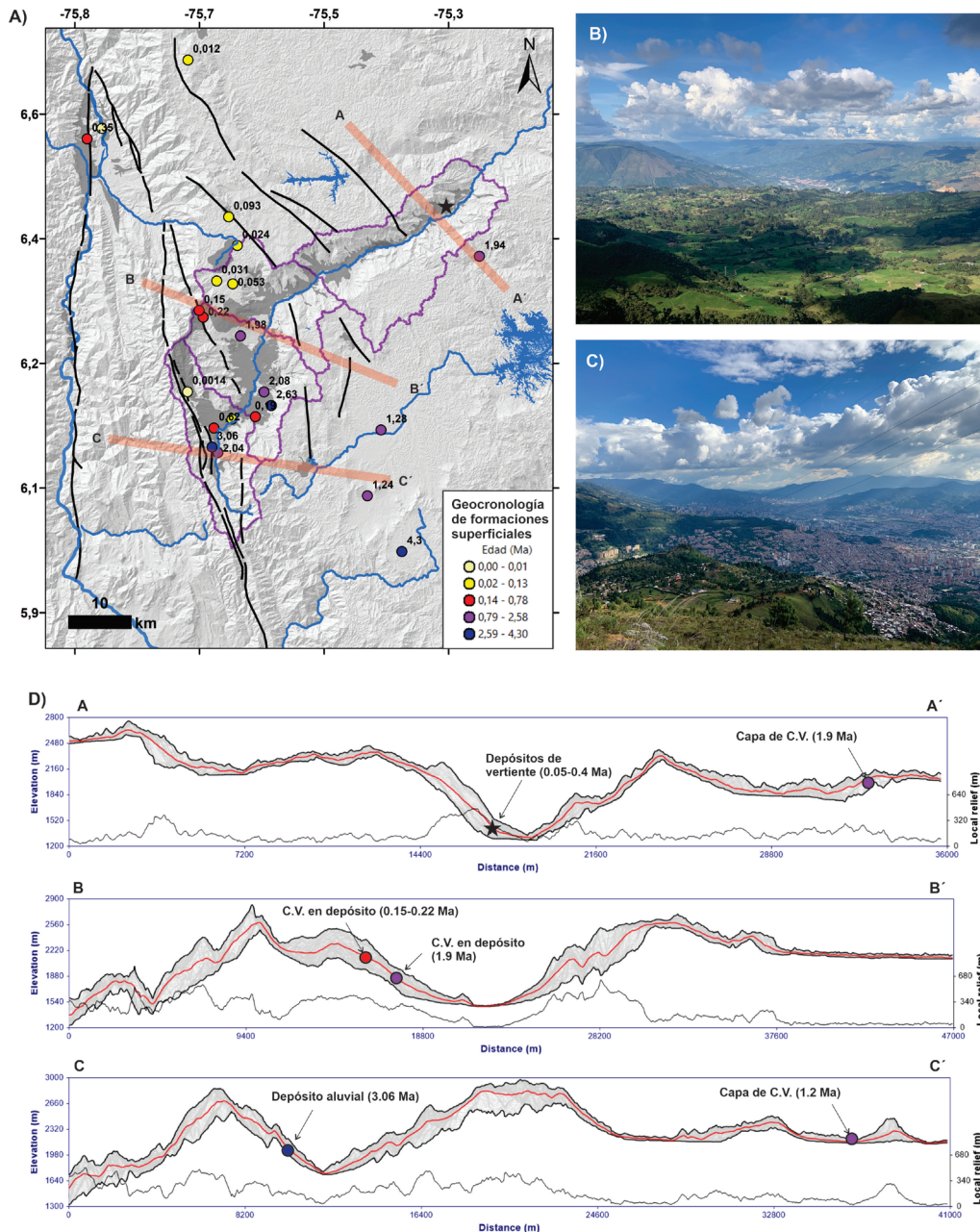


Figura 3. Síntesis de la revisión cronoestratigráfica del VA. (A) Distribución espacial de las edades geocronológicas de las formaciones superficiales del VA (polígonos grises). (B) Vista al NE desde el Alto de Baldías (~3200 msnm), al fondo se ve el VA en su sección norte (i.e., Bello-Barbosa). (C) Vista al SW desde Santa Elena (~2500 msnm), al fondo se ve la parte superior del VA, en la transición de las cuencas tectónicas de Medellín e Itagüí. (D) Morfología del VA expresada en tres perfiles topográficos transversales (*Swath profiles*) con un ancho de 2 km, indicados como líneas rojas en la Figura 3A, y el relieve relativo asociado a cada uno. Nótese también la relación de edades en cada perfil, como marcador de la historia de evolución de las formaciones superficiales dentro y fuera del VA.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos cronoestratigráficos compilados y revisados en este estudio permiten establecer el estado del arte de la cronoestratigrafía de las formaciones superficiales del VA. Los resultados muestran que la producción de edades geocronológicas en el VA se ha realizado principalmente mediante técnicas de huellas de fisión, radiocarbono, luminiscencia óptica, y recientemente edades derivadas de concentraciones ^{10}Be . Estas edades abarcan un intervalo entre el Plioceno tardío (3.06 Ma), y el Holoceno tardío (1.4 ky) (Figura 2).

Las edades más antiguas se concentran en las sub-cuencas superiores (Itagüí y Medellín) sugiriendo procesos de apertura y formación de un proto-VA durante el Plioceno. Adicionalmente, estas sub-cuencas poseen un registro cronoestratigráfico que se extiende hasta el Pleistoceno tardío (Itagüí) y Pleistoceno medio (Medellín), donde los depósitos de vertiente presentan depositación telescópica y características geomorfológicas y morfoestratigráficas relativamente similares en lo que se conoce como el Valle Superior (p.e. [4], [6]). Cabe anotar que la sub-cuenca de Itagüí posee además las edades más recientes obtenidas por el método de radiocarbono.

Las edades reportadas en la sub-cuenca Bello se localizan fuera del VA y registran los procesos superficiales de finales del Pleistoceno en el Llano de Ovejas, justo al lado de las elevaciones máximas del VA que corresponden al Alto de Baldías (>3000 msnm). Por el contrario, la falta de existencia de edades geocronológicas en las sub-cuencas Bello y Barbosa, no permiten realizar una correlación cronoestratigráfica, incluso aún cuando este sector comparte características morfoestratigráficas similares entre sí (e.g., depósitos de vertiente de Copacabana, Girardota, El Hatillo, Barbosa), así como con la sub-cuenca Medellín (e.g., depósitos de vertiente derivados de rocas ultramáficas).

En la cuenca de Barbosa, edades preliminares de exposición a los rayos cósmicos usando concentraciones de ^{10}Be , se han obtenido para bloques de roca inmersos

en depósitos de vertiente, con rangos que abarcan el Pleistoceno medio y tardío. Estas edades preliminares, permiten contrastar la dinámica geomorfológica de cada subcuenca, teniendo en cuenta que, a pesar de ser diferentes, cada una de estas comparte algunas características morfoestratigráficas, como el grado de incisión, el grado de meteorización y la altura relativa respecto al nivel base local [2], [4], [12], [14].

A pesar de contar con una base de datos de edades cronoestratigráficas, el VA y su Área Metropolitana, no cuenta con un conjunto de edades que le permita estimar la magnitud y frecuencia de las amenazas naturales a las que se encuentra expuesta. Sin embargo, los recientes avances en geocronología del cuaternario han permitido mejorar las hipótesis de evolución geológica y geomorfológica del VA como un paisaje que registra periodos de acoplamiento entre levantamientos tectónicos, avance de los procesos erosivos y reorganización del paisaje como consecuencia de los pulsos finales de la Orogenia Andina durante el Plioceno tardío y el Pleistoceno (p.e. [6], [54]).

Adicionalmente, se establecieron correlaciones entre la distribución espacial de las edades disponibles de las formaciones superficiales dentro del valle, con los quiebres de pendiente del perfil longitudinal del río Medellín-Porce, y las características morfotectónicas del VA. De esta forma, se evalúa la influencia de los procesos tectónicos y erosivos en el VA, y se actualiza la discusión acerca de su evolución, así como el llamado a la producción de nuevos datos geocronológicos para el entendimiento de las tasas de variación en el VA.

Desde el punto de vista de la geología aplicada, el VA cuenta solo con una edad radiocarbono en un paleosuelo desplazado por la Falla San Jerónimo, indicando actividad de esta estructura durante el Holoceno tardío. Desafortunadamente, este sector no tiene un registro detallado de la paleosismología y la geología de terremotos, como si se ha hecho en el Cañón del Río Cauca (ver [55], [56]). Es necesario establecer estrategias de caracterización de amenazas naturales incluyendo métodos de geocronología del Cuaternario para estimar

las tasas de desplazamiento y la cronología de eventos sísmicos sobre fallas activas, además de incluir estrategias para documentar la magnitud y frecuencia de los procesos de inundación y torrencialidad.

Esta revisión resalta la necesidad de producir nuevos datos cronológicos y estratigráficos en el Cuaternario, como estrategia para la construcción de modelos de evolución del paisaje y la evaluación de amenazas naturales, para las cuales, necesariamente, se debe surtir la reflexión, el trabajo y la praxis sobre, las estrategias de gestión del riesgo y los planes de ordenamiento territorial.

5. CONCLUSIONES

La revisión de datos cronoestratigráficos publicados en el VA realizada en este estudio permite concluir que:

Se compilaron un total de 24 edades cronoestratigráficas situadas entre el Plioceno tardío y el Holoceno tardío para las sub-cuencas Itagüí, Medellín, y Bello, edades obtenidas bajo los métodos de huellas de fisión, luminiscencia óptica, Radiocarbono.

Las edades preliminares de isotopía cosmogénica abarcan el Pleistoceno medio y tardío para la sub-cuenca Barbosa.

La distribución espacial de edades cronoestratigráficas es desigual en las cuatro sub-cuencas del VA, concentrándose en la porción superior (sub-cuencas Medellín e Itagüí), y mostrando las edades más antiguas de hasta 3.1 Ma.

La disposición escalonada de las series de depósitos de vertiente es común a lo largo de las cuatro sub-cuencas analizadas indicando una respuesta del paisaje por pulsos discretos, con expresión morfológica común en todo el VA.

Se hace necesario un estudio sistemático de los depósitos de vertiente en las principales zonas de acumulación de estos dentro del VA. La aplicación de otras técnicas cronológicas como isotopía cosmogénica, dendrocronología, paleomagnetismo, son útiles para

ampliar el panorama de evolución del VA. Esto debido a la heterogeneidad de los depósitos en todos los sectores del Valle; si bien, sus edades pueden correlacionarse, la composición y estructura son variables, y dependen de condiciones locales. Es por esto que un estudio sistemático permitirá establecer correlaciones regionales en los depósitos del Valle y sus alrededores. Entender los procesos en los depósitos a corto y mediano plazo permitirán establecer una evolución más ajustada del origen y evolución del Valle.

REFERENCIAS

- [1] G. Botero, *Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia*. Medellín, 1963.
- [2] D. Rendon, G. Toro, and M. Hermelin, "Modelo cronoestratigráfico para el emplazamiento de los depósitos de vertiente en el Valle de Aburra," *Bol. ciencias la tierra*, vol. 18, pp. 103–118, 2006.
- [3] E. Aristizábal and S. Yokota, "Evolución geomorfológica del Valle de Aburrá y sus implicaciones en la ocurrencia de movimientos en masa," *Boletín Ciencias la Tierra*, 2008.
- [4] E. Aristizabal, S. Yokota, H. Ohira, and J. Hagai, "Dating of slope sediments and alluvial deposits in the Aburra Valley, Colombia," *Geosci. Rept. Shimane Univ.*, vol. 23, pp. 85–88, 2004.
- [5] R. Shlemon, "Zonas de deslizamientos en los alrededores de Medellín, Antioquia (Colombia)," *Bol. Geol.*, vol. Publicacio, p. 45, 1979.
- [6] D. Rendon, "Tectonic and sedimentary evolution of the Aburra Valley, northern Colombian Andes.," 2003.
- [7] S. Restrepo-Moreno, D. Foster, D. Stockli, and N. Parra, "Long-term erosion and exhumation of the 'Altiplano Antioqueño', Northern Andes (Colombia) from apatite (U–Th)/He thermochronology," *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 278, no. 1–2, pp. 1–12, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.epsl.2008.09.037.
- [8] S. Zapata, M. Zapata-Henao, A. Cardona, C. Jaramillo, D. Silvestro, and F. Oboh-Ikuenobe, "Long-term topographic growth and decay constrained by

- 3D thermo-kinematic modeling: Tectonic evolution of the Antioquia Altiplano, Northern Andes,” *Glob. Planet. Change*, vol. 203, p. 103553, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103553>.
- [9] J. Restrepo, “Datación de algunas cenizas volcánicas de Antioquia por el método de trazas de fisión,” 1991.
- [10] G. Toro, M. Hermelin, E. Schwabe, B. O. Posada, D. Silva, and G. Poupeau, “Fission-track datings and geomorphic evidences for long-term stability in the Central Cordillera highlands, Colombia,” *Zeitschrift für Geomorphol. Suppl.*, 2006.
- [11] S. Yokota and E. A. Ortiz, “14C dating of an organic paleosol covering gravel beds distributed along the San Jerónimo Fault, Western Medellín, Colombia,” *Geosci. Rept. Shimane Univ.*, vol. 22, pp. 179–182, 2003.
- [12] C. García, “Estado del conocimiento de los depósitos de vertiente del Valle de Aburrá,” *Boletín Ciencias la Tierra*, 2006.
- [13] G. Toro, “Téphrocronologie de la Colombie centrale (département d’Antioquia et abanico de Pereira),” Universidad Joseph Fourier, 1999.
- [14] E. A. Ortiz, “Evaluation of Neotectonic Activity of the Cauca-Romeral Fault System near western Medellín, Colombia,” University of Shimane, 2002.
- [15] S. Noriega-Londoño, J. Rosero-Romo, J. C. Aros, S. A. Restrepo-Moreno, M. I. Marín-Cerón, and H. Estupiñám, “Quantifying weathering grade of surface deposits in Aburrá Valley, Colombia.”
- [16] J. S. Noller, J. M. Sowers, S. M. Colman, and K. L. Pierce, “Introduction to Quaternary Geochronology,” in *Quaternary Geochronology: Methods and Applications*, 2000, p. 582.
- [17] M. a. Summerfield, “The changing landscape of geomorphology,” *Earth Surf. Process. Landforms*, vol. 30, no. 6, pp. 779–781, Jun. 2005, doi: [10.1002/esp.1250](https://doi.org/10.1002/esp.1250).
- [18] J. M. Turowski and K. L. Cook, “Field techniques for measuring bedrock erosion and denudation,” *Earth Surf. Process. Landforms*, vol. 42, no. 1, pp. 109–127, 2017, doi: [10.1002/esp.4007](https://doi.org/10.1002/esp.4007).
- [19] P. W. Reiners *et al.*, *Geochronology and thermochronology*. 2017.
- [20] H. A. Viles, “Technology and geomorphology: Are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science?,” *Geomorphology*, vol. 270, Jul. 2016, doi: [10.1016/j.geomorph.2016.07.011](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.011).
- [21] M. Böse, “De la morphostratigraphie e la chronostratigraphie. La geomorphologie quaternaire moderne comme fondement aux recherches sur le climat,” *Geomorphol. Reli. Process. Environ.*, 2014.
- [22] W. Page and M. James, “The Antiquity of the erosion surfaces and the Late Cenozoic deposits near Medellín, Colombia: implications to tectonics and erosion rates,” *Rev. CIAF*, vol. 6, no. 1–3, pp. 421–454, 1981.
- [23] A. Demoulin, A. Mather, and A. Whittaker, “Fluvial archives, a valuable record of vertical crustal deformation,” *Quat. Sci. Rev.*, 2017, doi: [10.1016/j.quascirev.2016.11.011](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.11.011).
- [24] D. Lague, “The stream power river incision model: evidence, theory and beyond,” *Earth Surf. Process. Landforms*, vol. 39, no. 1, pp. 38–61, 2014, doi: <https://doi.org/10.1002/esp.3462>.
- [25] A. K. Ault, C. Gautheron, and G. E. King, “Innovations in (U–Th)/He, Fission Track, and Trapped Charge Thermochronometry with Applications to Earthquakes, Weathering, Surface-Mantle Connections, and the Growth and Decay of Mountains,” *Tectonics*, vol. 38, no. 11, pp. 3705–3739, 2019, doi: <https://doi.org/10.1029/2018TC005312>.
- [26] L. C. Benedetti and J. Van Der Woerd, “Cosmogenic nuclide dating of earthquakes, faults, and toppled blocks,” *Elements*, vol. 10, no. 5, pp. 357–361, 2014, doi: [10.2113/gselements.10.5.357](https://doi.org/10.2113/gselements.10.5.357).
- [27] S. Noriega-Londoño, M. I. Marín-Cerón, J. Carcaillet, M. Bernet, and I. Angel, “CRE Dating of Torrential Alluvial Deposits as an Approximation to Holocene Climate-Change Signatures in the Northwestern Andes of Colombia,” in *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk*, 2021.
- [28] T. Pánek, “Recent progress in landslide dating: A global overview,” *Prog. Phys. Geogr.*, vol. 39, no. 2, pp. 168–198, 2015, doi: [10.1177/0309133314550671](https://doi.org/10.1177/0309133314550671).

- [29] P. P. Leahy, "Natural Hazards Identification and Hazard Management Systems." Oxford University Press, 2017, doi: 10.1093/acrefore/9780199389407.013.167.
- [30] B. J. Smith, P. A. Warke, and W. B. Whalley, "Landscape Development, Collective Amnesia and the Need for Integration in Geomorphological Research," *Area*, vol. 34, no. 4, pp. 409–418, Apr. 2002.
- [31] DANE, "Censo General de Población 2005," 2005.
- [32] K. Naranjo Bedoya, E. V. Aristizábal Giraldo, and J. A. Morales Rodelo, "Influencia del ENSO en la variabilidad espacial y temporal de la ocurrencia de movimientos en masa detonados por lluvias en la región Andina," *Ing. y Cienc.*, 2019, doi: 10.17230/ingciencia.15.29.1.
- [33] F. Coupé, E. Arboleda G., and C. García L., "Villatina : algunas reflexiones 20 años después de la tragedia," *Gestión y Ambient.*, vol. 10, no. 2 SE-, pp. 31–52, May 2007.
- [34] J. Duque-Trujillo, C. Bustamante, L. Solari, Á. Gómez-Mafla, G. Toro-Villegas, and S. Hoyos, "Reviewing the antioquia batholith and satellite bodies: A record of late cretaceous to eocene syn-to post-collisional arc magmatism in the central cordillera of Colombia," *Andean Geol.*, vol. 46, no. 1, 2019, doi: 10.5027/andgeov46n1-3120.
- [35] C. Vinasco, "The romeral shear zone," in *Frontiers in Earth Sciences*, 2019.
- [36] G. Chicangana, "The Romeral fault system: a shear and deformed extinct subduction zone between oceanic and continental lithospheres in Northwestern South America," *Earth Sci. Res. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 51–66, 2005.
- [37] E. Aristizábal and M. Arango-Carmona, "Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos," *Rev. Colomb. Geogr.*, vol. 29, pp. 242–258, 2020, doi: 10.15446/rcdg.v29n1.72612.
- [38] J. Restrepo and J. F. Toussaint, "Terranes and continental accretions in the Colombian Andes," *Episodes*, vol. 11, no. 3, pp. 189–193, 1988.
- [39] J. Restrepo, "Chapter 7 Tectonostratigraphic terranes of Colombia: An Update: Second part, Oceanic Terranes," 2020.
- [40] F. Cediél, H. Leal-Mejía, R. Shaw, J. Melgarego, and P. Restrepo-Pace, *Petroleum geology of Colombia: Regional geology of Colombia*, vol. 1. Medellín, 2011.
- [41] S. Zapata *et al.*, "Cretaceous extensional and compressional tectonics in the Northwestern Andes, prior to the collision with the Caribbean oceanic plateau," *Gondwana Res.*, vol. 66, pp. 207–226, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.gr.2018.10.008.
- [42] J. H. Caballero, A. Rendón, J. J. Gallego, and N. V. Uasapud, "Inter-Andean Cauca River Canyon," in *Landscapes and Landforms of Colombia*, M. Hermelin, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 155–166.
- [43] M. Hermelin, "Sistemas morfogénicos contrastados en el norte de la cordillera central colombiana," *Rev. la Acad. Colomb. ciencias exactas, físicas y Nat.*, 2007.
- [44] L. A. Arias, "Altiplanos y cañones en Antioquia: Una mirada genética," *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, vol. 12, pp. 84–96, 1996.
- [45] A. Correa-Martínez, U. Martens, and G. García, "Collage of tectonic slivers abutting the eastern Romeral Fault System in central Colombia," *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 104, p. 102794, 2020, doi: 10.1016/j.jsames.2020.102794.
- [46] A. M. Correa *et al.*, "U/Pb zircon ages and Nd-Sr isotopes of Altavista Stock and the San Diego Gabro: New insights of Cretaceous arc magmatism in the Colombian Andes," in *VSSAGI*, 2006.
- [47] S. Duque-Palacio, D. Seward, S. A. Restrepo-Moreno, and D. García-Ramos, "Timing and rates of morpho-tectonic events in a segment of the Central and Western cordilleras of Colombia revealed through low-temperature thermochronology," *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 106, p. 103085, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103085>.
- [48] L. A. Arias, L. Gonzalez, and G. Arias, "Historia del Relieve y los Suelos en el Altiplano de Santa Rosa de Osos – Antioquia- Región el Vergel.," Medellín, 2000.
- [49] S. Noriega-Londoño, S. A. Restrepo-Moreno, C. Vinasco, M. A. Bermúdez, and K. Min, "Thermochronologic and geomorphometric

constraints on the Cenozoic landscape evolution of the Northern Andes: Northwestern Central Cordillera, Colombia,” *Geomorphology*, vol. 351, 2020, doi: 10.1016/j.geomorph.2019.106890.

- [50] T. Van Der Hammen, “Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogenesis de los Andes Colombianos: Bol,” Bogotá D.C., 1960.
- [51] C. Arbeláez, “Contribuciones desde la geomorfometría y la geomorfología tectónica: Valle de Aburrá, Cordillera Central de Colombia,” 2019.
- [52] D. Silva, “Datación por trazas de las tefras depositadas en los alrededores del Valle de Aburrá,” Universidad EAFIT, 1999.
- [53] C. Garcia, M. Hermelin, G. Lopéz, G. Sierra, G. Toro, and W. Rink, “Datación por fotoluminiscencia de la stoneline y otras formaciones superficiales del Llano de Ovejas, Cordillera Central, Antioquia,” *Bol. Geol.*, vol. 29, no. 2, p. 31, 2007.
- [54] M. Arboleda, C. Arbelaez, S. Noriega-Londoño, M. Marín-Cerón, Evidencias del control tectónico en la evolución del Valle de Aburrá: implicaciones a partir de análisis geomorfométricos y morfoestructurales. XVII Congreso Colombiano de Geología. IV Simposio de Exploradores, Santa Marta 2019.
- [55] F. Suter, J. I. Martínez, and M. I. Vélez, “Holocene soft-sediment deformation of the Santa Fe-Sopetr??n Basin, northern Colombian Andes: Evidence for pre-Hispanic seismic activity?,” *Sediment. Geol.*, vol. 235, no. 3–4, pp. 188–199, 2011, doi: 10.1016/j.sedgeo.2010.09.018.
- [56] J. Gallego, “Assessment of recent tectonic activity of the Sabanalarga Fault System, Western Antioquia – Colombia,” University of Bern, 2018.