

EVIDENCIA PALEOSÍSMICA EN EL SEGMENTO DE FALLA SOPETRÁN O SAN JERÓNIMO SEGMENTO 5

Claudia Lalinde, Adriana González y Humberto Caballero

RESUMEN

El Área Metropolitana, realizó el estudio de Microzonificación Sísmica de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado; complementando estudios realizados en los años 1999 y 2002. Para esto contrató al consorcio Solingral, Integral, Inteinsa, Universidad Nacional y Universidad Eafit. En este trabajo se presenta la evidencia paleosísmica identificada en la Conexión Vial Aburrá Cauca, que conduce de Medellín a Santafé de Antioquia. El sitio se localiza en el talud sur de la caseta del peaje, portal occidental del túnel, y se asocia al segmento de la Falla Sopetrán o Falla San Jerónimo, segmento 5, con una longitud total de 25km. La interpretación es que en este sitio se han presentado al menos dos sismos en los últimos 10.000 años. El más antiguo es un sismo de magnitud Mw 6.4, que desplaza un horizonte de cenizas retrabajadas, ocurrido entre 10.000 y 5.000 años, considerando que corresponden al último evento de caída de cenizas (10.000 años), son retrabajadas, espesas y cubiertas por un paleosuelo. El evento más reciente es un sismo de magnitud Mw 6.7 que desplaza el paleosuelo, su datación C_{14} fue $1830 \pm 40BP$, por lo que el último evento sísmico ocurrió en los últimos 1800 años.

Palabras Claves: Falla Sopetrán, Falla San Jerónimo, Paleosismicidad, Amenaza Sísmica, Neotectónica, Microzonificación Sísmica

PALEOSEISMIC EVIDENCE SOPETRAN FAULT OR SEGMENT 5 SAN JERÓNIMO FAULT

ABSTRACT

Área Metropolitana did a seismic Hazard study of Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado towns adicional to Studies did in years 1999 and 2002. Solingral, Integral, Inteinsa, Universidad Nacional y Universidad Eafit pool did the study for Área Metropolitana. This work present the paleoseismic evidence found in the road "Conexión Vial Aburrá Cauca" in the south side of the pike site in the west side of the tunnel. This evidence is associated with the Sopetrán Fault or Segment 5 San Jerónimo Fault, wich has 25km length. The paleoseismic interpretation identify two seismic events in the last 10.000 years. The oldest is an event of Mw 6.4 magnitude that displaced the last volcanic ash layer between 10.000 and 5.000 years considering that the last volcanic ash layer fallow 10.000 year ago, they appear reworking, it is width and is covered by paleosoil. The most recent event is an event of Mw 6.7 magnitude and displaced the paleosoil which was dated by $1830 \pm 40BP C_{14}$ so the last event occur in the last 1800 years.

Keywords: Sopetrán Fault, San Jerónimo Fault, Paleoseismicity, Seismic Hazard, Neotectonics

¹ Ingeniera Geóloga, consultora. Email: plalinde@hotmail.com; clalind1@eafit.edu.co

² Estudiante Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Email: agonzalp@unalmed.edu.co

³ Profesor Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Email: jhcaball@unalmed.edu.co

INTRODUCCIÓN

El Valle de Aburrá es un valle intramontano localizado en el segmento norte de la Cordillera Central de Colombia, extremo noroccidental de Sur América. Por su localización adquiere importancia en la interpretación de la interacción de las placas Sur América, Caribe, Nazca y la respuesta del territorio a los esfuerzos generados por el choque del bloque Panamá.

En el Valle de Aburrá se encuentran asentados importantes municipios como son de norte a sur: Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Itagüí, La Estrella, Envigado, Sabaneta y Caldas; con una población de unos 3'000.000 de habitantes. Presenta unas características geomorfológicas y geológicas que han dificultado la interpretación de su origen. La última hipótesis planteada propone que el valle es un pull apart (Rendón, 2003) generado durante el último levantamiento de la Cordillera Central.

La interpretación de que el valle sea un pull apart esta soportada en parte por el giro que presentan las fallas del Sistema Romeral al alcanzar ésta región, donde pasan de un rumbo norte sur a un rumbo noroccidental para posteriormente retomar el norte sur. La formación del pull apart implica la existencia de fallas en el sector oriental del valle que posibilitan la formación del mencionado rasgo tectónico. Dado que no se cuenta con registro histórico sobre eventos importantes ocurridos en esta región del país y a que los registros instrumentales solo reportan algunos sismos pequeños asociados a éstas fallas aledañas al valle, aparece como única herramienta disponible para estimar la amenaza sísmica de la zona la neotectónica y la paleosismicidad, ciencias estas que permiten abarcar un mayor espacio de tiempo, revisar el registro geológico e interpretar la evidencia de sismos importantes ocurridos en el territorio.

Una de las fallas más importantes al occidente del Valle de Aburrá es la Falla San Jerónimo, la cual se considera como una de las posibles fallas activas del Sistema de Falla de Romeral. Ya en los años 1999 y 2001 se había identificado la falla San Jerónimo como una estructura importante para la amenaza sísmica de ésta parte del territorio colombiano y en el 2005 se propuso una segmentación para ella identificándose cinco segmentos diferentes (Estrada *et al*, 2005).

Como parte de los estudios adelantados entre los años 2006 y 2007 se identificó un sitio localizado al occidente y por fuera del Valle de Aburrá, el cual presenta evidencia de actividad paleosísmica que se asocia al segmento 5 de la Falla San Jerónimo (Estrada *Et al*, 2005).

A continuación se presenta el levantamiento paleosísmico de este sitio, con el fin de que se continúe con su análisis e interpretación confirmándose o refutándose las conclusiones a las que se llega, considerando las nuevas interpretaciones que se tienen de que el Valle de Aburrá sea un pull apart formado en el último levantamiento de la cordillera central, con un elipsoide de esfuerzos que se considera igual al actual.

LOCALIZACIÓN

El sitio donde se identificó la evidencia paleosísmica se localiza sobre el talud sur de la vía conocida como Conexión Vial Aburrá Cauca, que conduce de Medellín a Santafé de Antioquia, en el sector donde se localiza la caseta del peaje, en el portal occidental del túnel.

En este sector se reporta el segmento de falla identificado por Estrada *et al*, 2005, como segmento 5 de la Falla San Jerónimo y por Woodward and Clyde Consultants, 1979, como Falla Sopetrán. Esta falla se localiza al occidente del Valle de Aburrá y por fuera de éste, en terrenos pertenecientes a la cuenca del Río Cauca, a unos 16 km al occidente de la ciudad de Medellín.

Woodward and Clyde, 1979, describen esta falla como una estructura de 29 km de longitud con disposición estructural NS-N10°W/70°E-30°W con evidencias de desplazamiento en el Cuaternario Tardío entre la quebrada Mirandita y La Sopetrana (en inmediaciones de Sopetrán), pero le asignan un grado de actividad de bajo a moderado, a partir de otras evidencias encontradas 3 km al NE de la población de San Jerónimo.

El Grupo de Sismología de Medellín, 2002, le asigna una longitud de falla de 18 km y retoma la información de Woodward and Clyde, 1979.

Estrada *et al*, 2005, la describe como una falla que se extiende desde la Quebrada Cangrejo hacia el norte y se bifurca presentando rumbo N10°E y N15°W, con un fuerte control del drenaje, presenta bermas y fuertes quiebres de pendiente. No estima la longitud de falla ni le asigna grado de actividad.

Los trabajos de construcción de la vía Conexión Vial Aburrá Cauca, permitieron el acceso a terrenos antes no visibles, ya que se realizaron cortes para la construcción de la vía que permitieron acceder a información sin necesidad de excavar trincheras o apiques. El sitio donde se identifica la evidencia paleosísmica esta localizado en el Peaje del portal Occidental del túnel de

la Conexión Vial Aburrá Cauca, correspondiendo al talud sur. Este corte se realizó para la construcción del peaje. (FIGURA 1a, FIGURA 1)

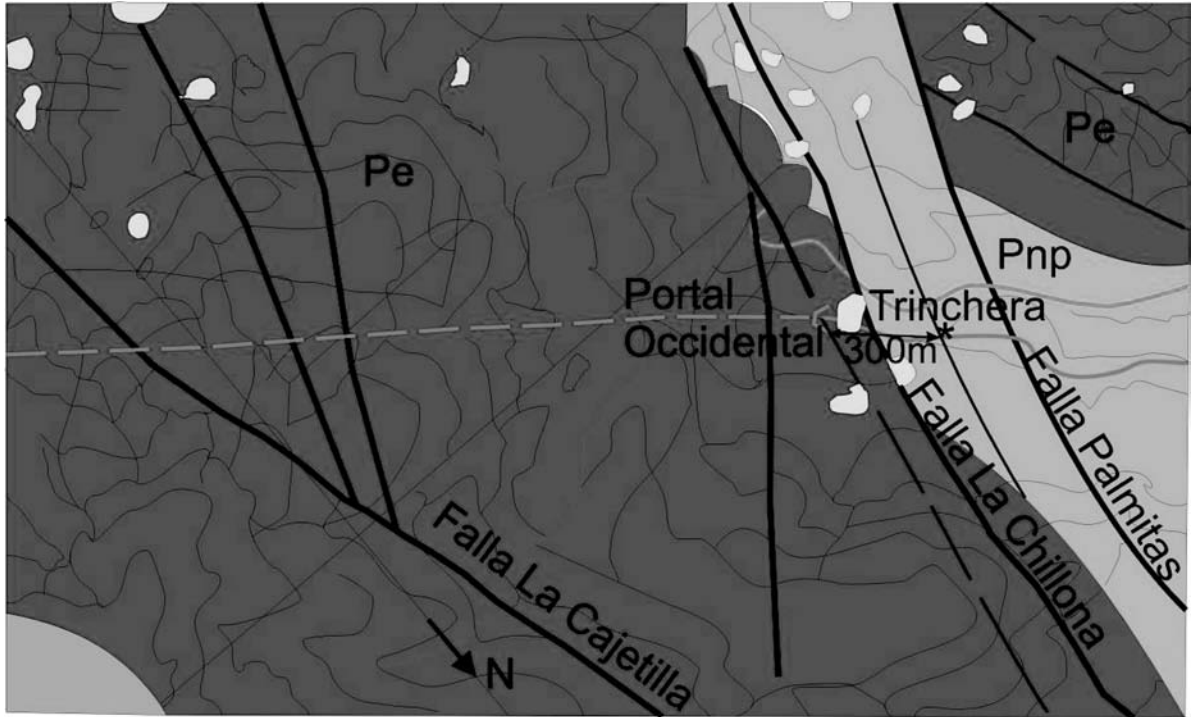


FIGURA 1. Localización sitio con evidencia paleosísmica (modificado de Integral 1995, plano CV-GE-04)



FIGURA 1a. Sitio con evidencias paleosísmicas



FIGURA 1b. Vista del corte en el contexto regional

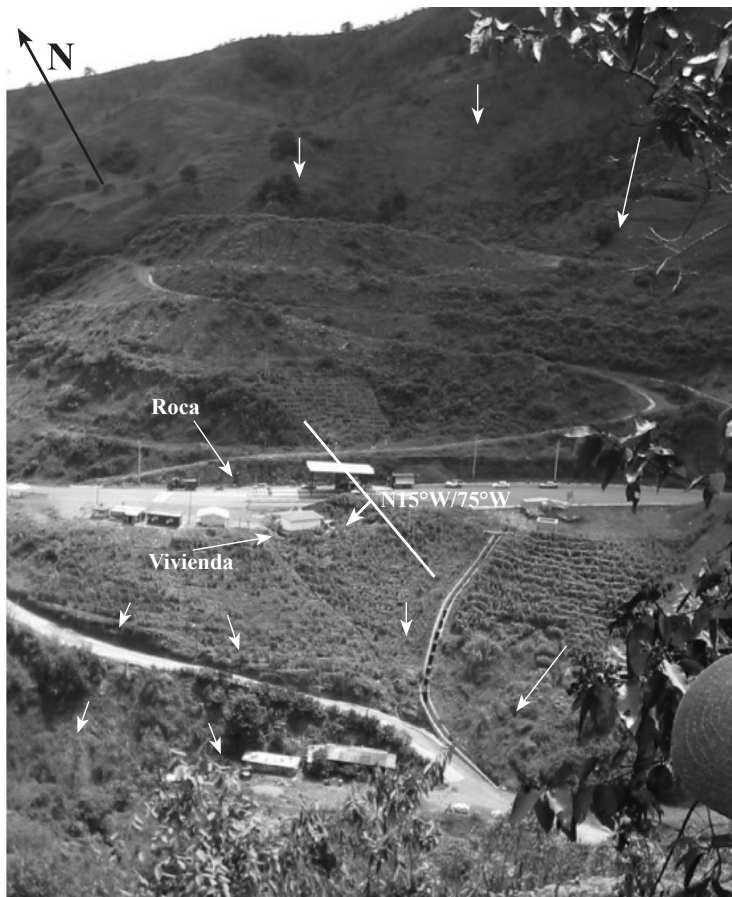


FIGURA 1c. Análisis del terreo. Sentido de las pendientes y disposición estructural de la falla

En la FIGURA 1b se aprecia la localización a nivel regional.

El corte objeto de estudio donde se identificó la evidencia paleosísmica esta localizado en una zona con inestabilidades y donde se han presentado movimientos en masa. Se realizó un análisis de la ladera para identificar si la evidencia analizada podría corresponder a un movimiento en masa. En la foto 3 se puede apreciar el análisis de las pendientes del terreno y la disposición estructural de la falla identificada en el corte. La pendiente natural que presenta el terreno y la disposición estructural de la falla no posibilitan la generación de un movimiento en masa por lo que la evidencia en el talud no es posible interpretarla como resultado o consecuencia de una inestabilidad da la ladera. Se concluye que la evidencia en el talud no es acorde con un movimiento en masa, por lo que su interpretación pasa a ser como evidencia paleosísmica.

En los cortes de la ladera donde se aprecia la roca se identificó que es roca afectada por fallamiento tal como se reporta en los estudios adelantados por Integral, 1995. (plano CV-GE-04).

ESTUDIO PALEOSÍSMICO

Basados en la interpretación planteada se procedió a realizar un estudio detallado del corte donde se aprecia la evidencia, siguiendo las técnicas de estudios paleosísmicos.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Se realizó la limpieza del corte para identificar los materiales que lo componen e identificar los horizontes que presenten desplazamiento o deformación.
- Se identificaron los diferentes materiales, realizando una descripción previa de ellos y mediante análisis conjunto entre los autores de éste trabajo se estableció los horizontes a diferenciar y se discutieron las interpretaciones preliminares.
- Se procedió a instalar una cuadrícula de 1m*1m garantizando la verticalidad y horizontalidad de la cuadrícula para evitar errores en las medidas a realizar en el corte. (FIGURA 1a.)
- Se procedió a dibujar todo lo que se apreciaba en el corte de tal forma que sea una evidencia objetiva,

no incluya interpretación y sea soporte para este estudio y los análisis posteriores ya sean realizados por éste equipo de trabajo o cualquier otro grupo profesional, tal como se sugiere para los estudios de paleosismología.

- En la FIGURA 2 se aprecia el esquema de la trinchera

Los horizontes identificados fueron:

S: suelo actual de color Café oscuro a negro.

P: paleosuelo de color negro oscuro

H7+H8: Material arcillosos de color amarillo, presenta algunos bloques aislados de tamaño centimétrico. No fue posible diferenciarlos en campo.

H8: Material arcilloso de color amarillo

H7: Ceniza re trabajada de color pardo

H6: Depósito de color crema con bloques de diorita. 60% cantos, 40% matriz

H5: Depósito de color gris. 40% cantos y 60% matriz. Los cantos son de esquistos.

H4: Depósito de color amarillo, con cantos de esquisto en matriz arcillosa. 80% bloques y 20% matriz

H3: Depósito de color rojo claro. 40% de cantos y 60% de matriz la matriz es arcillosa

H2: depósito de color gris con bloques de esquistos. Similar a brecha de falla. 80% cantos, 20% matriz. La matriz es arcillosa de color gris

H1: Depósito de color rojizo, con cantos de esquistos muy meteorizados. 40% cantos, 60% matriz. Los cantos alcanzan hasta 0.20m de diámetro

Interpretación último movimiento

A continuación se presenta la interpretación del último movimiento que se evidencia por el desplazamiento del paleosuelo. En las FIGURAS 3 a 6 se presentan los esquemas de cómo evolucionó el terreno antes, durante y después del evento sísmico que lo desplazó y que dan soporte a la interpretación que los autores consideran más viable de las diferentes posibilidades analizadas.

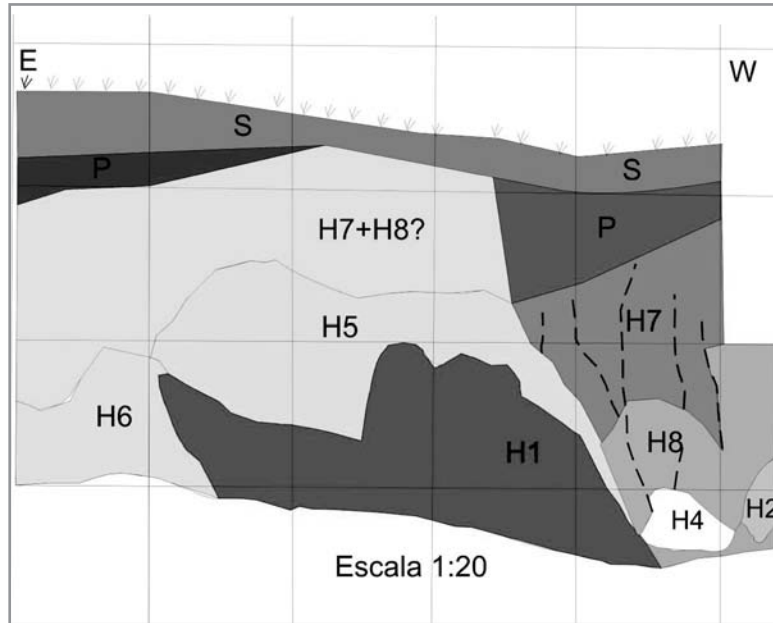


FIGURA 2. Levantamiento paleosísmico trincheras Portal W

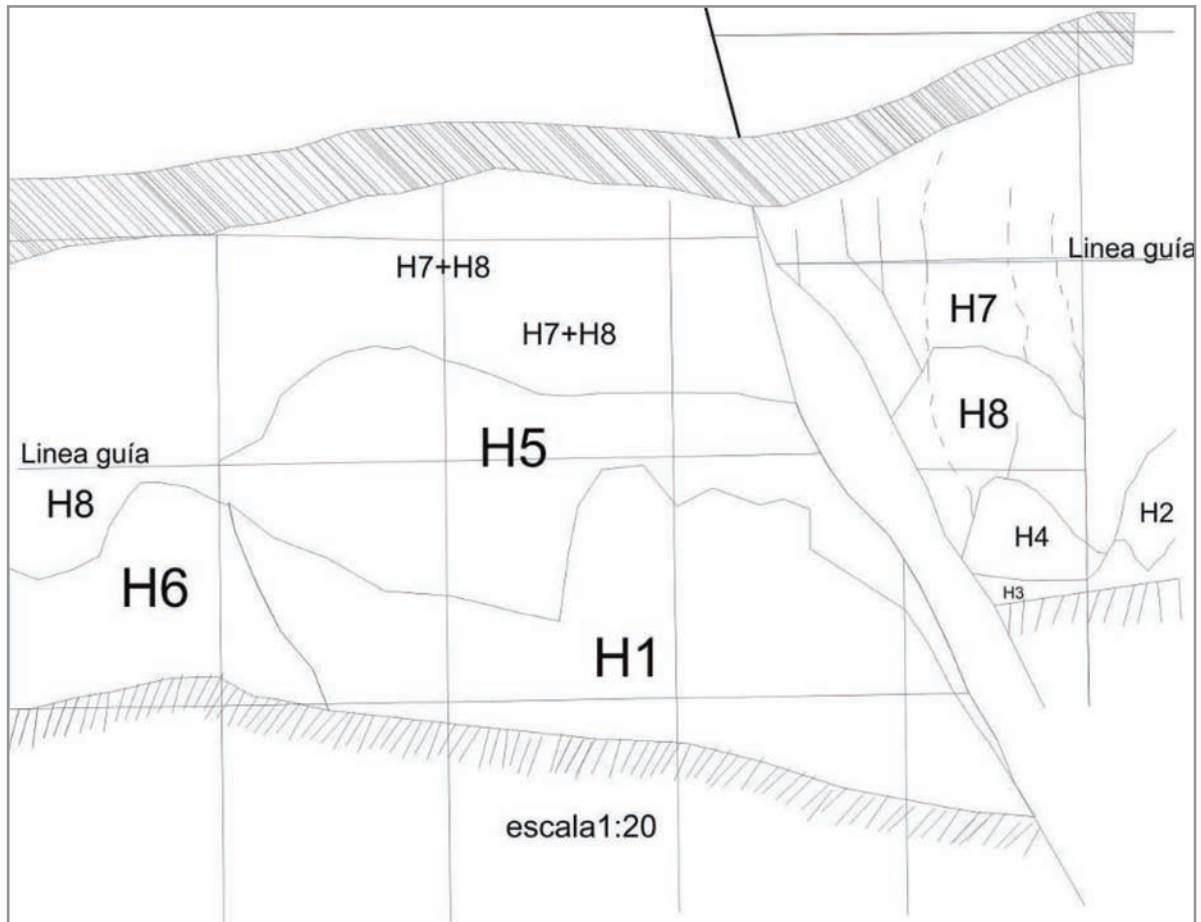


FIGURA 3. Forma que debió presentar el terreno antes del último movimiento de la falla.

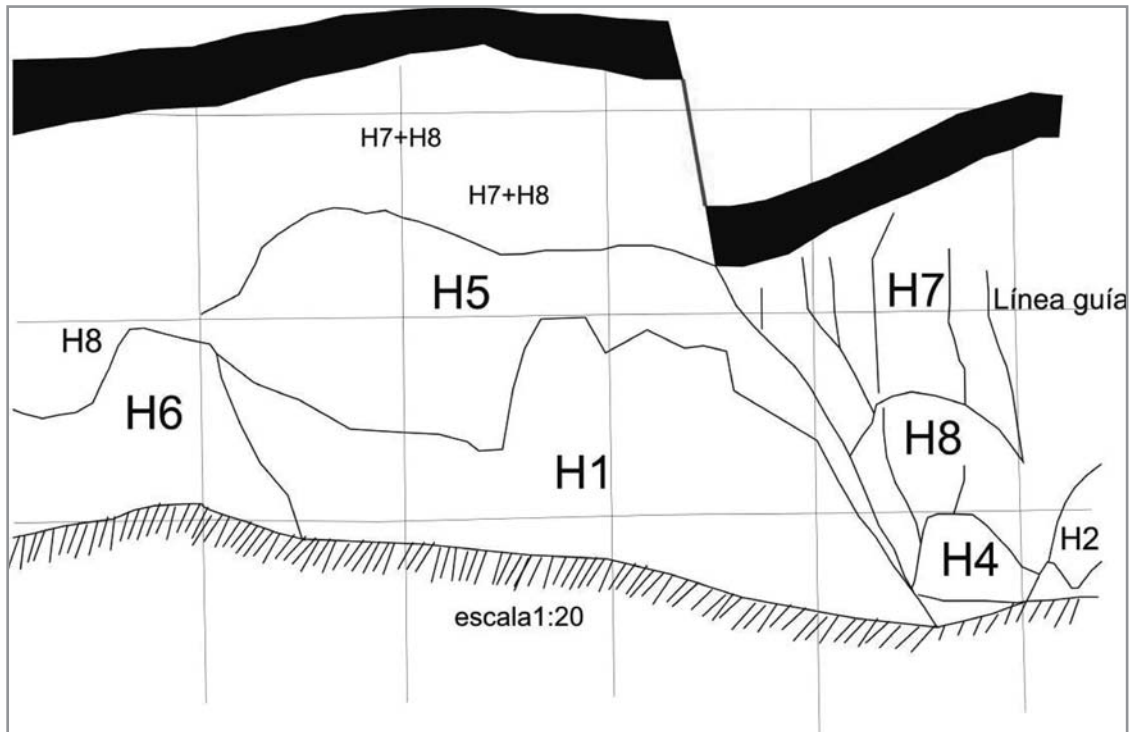


FIGURA 4. Desplazamiento que presenta el paleosuelo al darse el movimiento

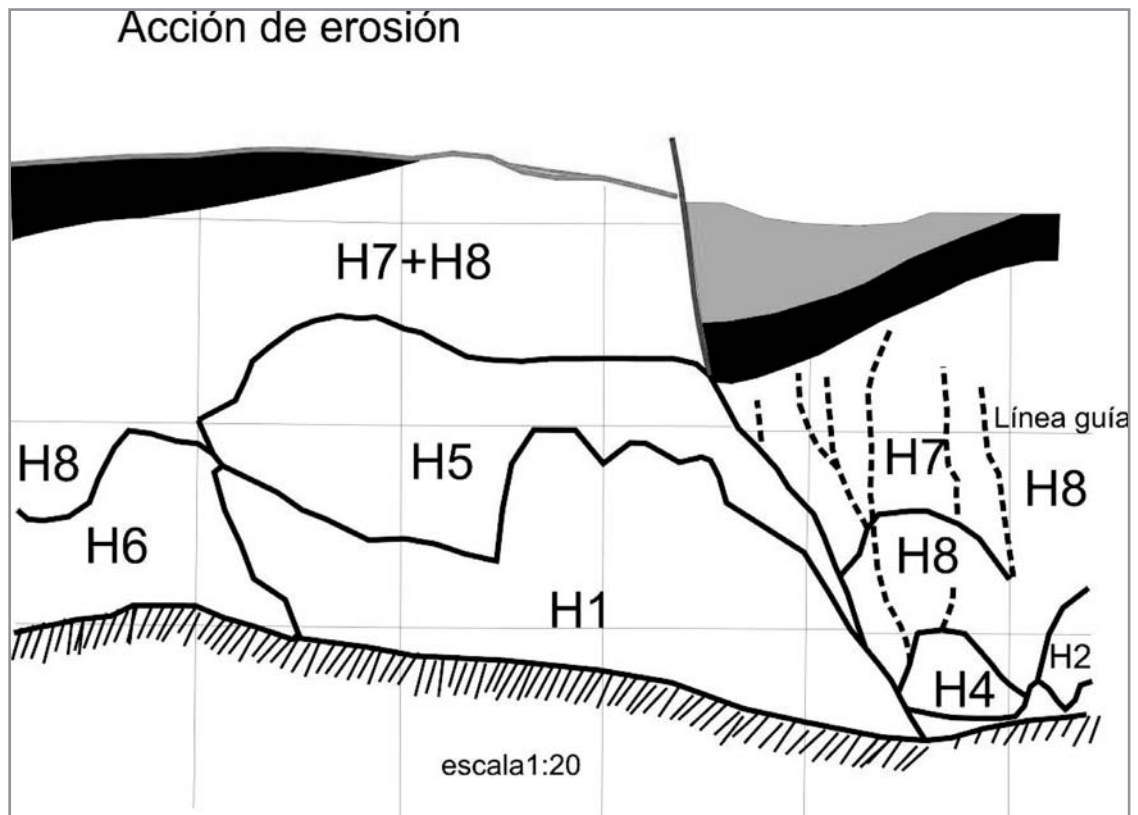


FIGURA 5. Evolución que se da en el terreno posterior al movimiento por acción de la erosión y la gravedad. Se forma la cuña coluvial.

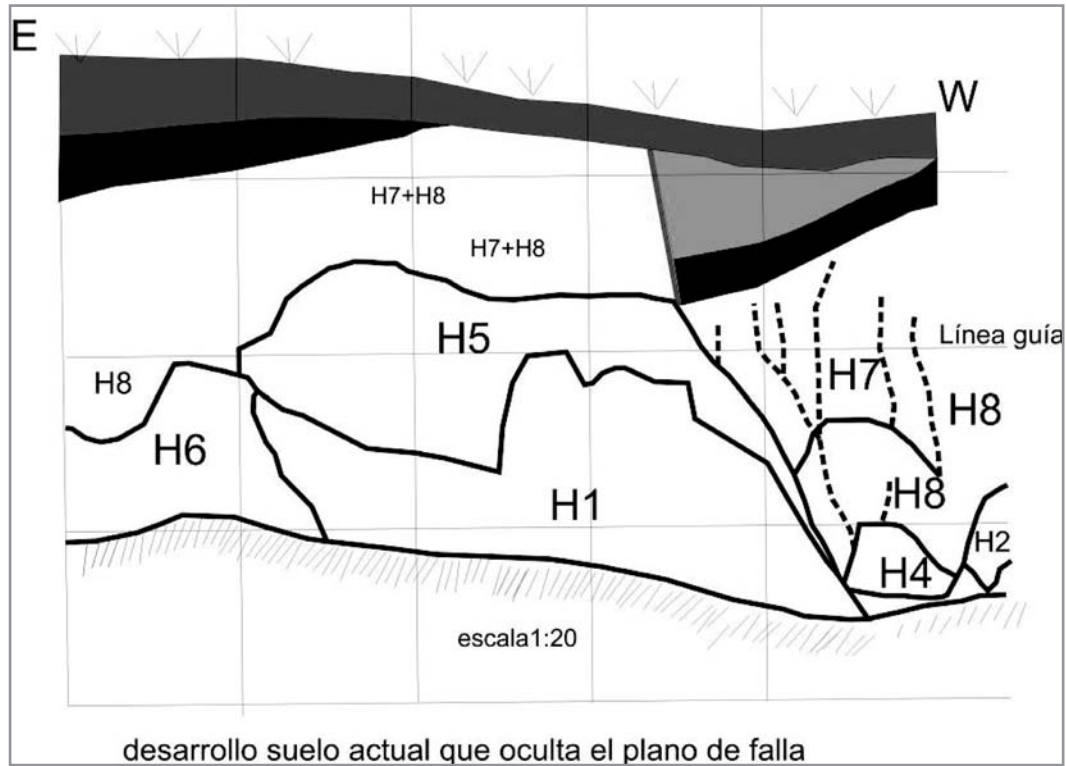


FIGURA 6. Evolución del terreno donde se da el desarrollo del suelo actual que enmascara el plano de falla y el desplazamiento generado por ésta.

Esta interpretación tiene una variante y es suponer que antes del movimiento el paleosuelo no presentaba la vaguada donde se localiza la falla, sino que en este sitio la topografía presentaba una pendiente uniforme y el paleosuelo presentaba un mayor espesor. Esto genera que en la cuña coluvial se encuentre mayor espesor del paleosuelo pero igualmente se presenta una cuña coluvial de paleosuelo.

La formación de la cuña coluvial debió ser muy cercana o simultánea con el movimiento dado que el escarpe de falla no presenta retroceso ni se suaviza en su parte superior por la acción de los agentes erosivos, igualmente no se identifican otros materiales diferentes al paleosuelo en la cuña coluvial.

Como problema identificado en esta interpretación se tiene que el suelo actual está más desarrollado en el extremo oriental del corte, cuando normalmente debería estar más desarrollado en el sitio donde se insinúa la vaguada. Como posible explicación se propone que la erosión ha disminuido el espesor de suelo en el sitio de falla.

Con esta interpretación el último movimiento tiene un desplazamiento de 0.90m, lo cual implica un sismo de magnitud M_w 6.7

La magnitud se estima a partir de la ecuación:

$$M_w = 6.69 + 0.74 \cdot \log(MD)$$

donde:

M_w = magnitud del sismo dado como momento sísmico

MD = desplazamiento máximo en metros

Ecuación desarrollada por Wells y Coppersmith en 1994

El paleosuelo fue datado mediante C_{14} obteniéndose una edad de 1830 ± 40 BP lo que implica que el último evento sísmico se presentó en los últimos 1800 años, sin que se cuente con evidencias que permitan estimar un período de retorno para eventos de este tipo.

Interpretación penúltimo movimiento

En el extremo occidental del corte estudiado se puede diferenciar claramente los horizontes H7 (ceniza retrabajada) del horizonte H8 (material arcilloso de color amarillo); cosa que no ocurre en el extremo oriental donde se identifican estos dos materiales pero no es fácil su diferenciación. En las FIGURAS 7 a 9 se presenta la interpretación de lo sucedido en el penúltimo movimiento.

En el extremo occidental que se tienen bien diferenciados los materiales H7 y H8 se aprecia un desplazamiento de

0.68m de H8 a lo largo de una de las grietas identificadas en el corte. Se asume que estas grietas fueron generadas por el último y el penúltimo movimiento de esta falla. Para identificar el desplazamiento generado por el penúltimo movimiento se parte del único desplazamiento identificado que es el de H8 en el extremo occidental. Se asume que el movimiento real es de 0.36m. El desplazamiento de 0.68m puede estar influenciado por el flujo de aguas a lo largo de la falla que permitió el desplazamiento.

Aceptando la interpretación de que el penúltimo movimiento tiene un desplazamiento de 0.36m, se tiene que el sismo que lo generó fue de magnitud Mw 6.4

La magnitud se estima a partir de la ecuación:
 $M_w = 6.69 + 0.74 \cdot \log(MD)$

donde:

Mw= magnitud del sismo dado como momento sísmico
MD= desplazamiento máximo en metros
Ecuación desarrollada por Wells y Coppersmith en 1994

H7 esta descrito como una ceniza retrabajada. Si se asume que corresponde a las cenizas más recientes, y que estas tienen una edad estimada de 10.000 años, entonces la depositación de H7 es posterior a 10.000 años y el sismo de Mw 6.4 que desplazó H7 ocurrió hace menos de 1.800 años, entonces el penúltimo movimiento ocurrió en un momento entre menos de 10.000 años y 1.800años, considerándose más cercano a 1.800 años. Si se supone una edad de 2500años, el grado de actividad de la falla sería de 0.36mm/año, con un grado de actividad moderado.

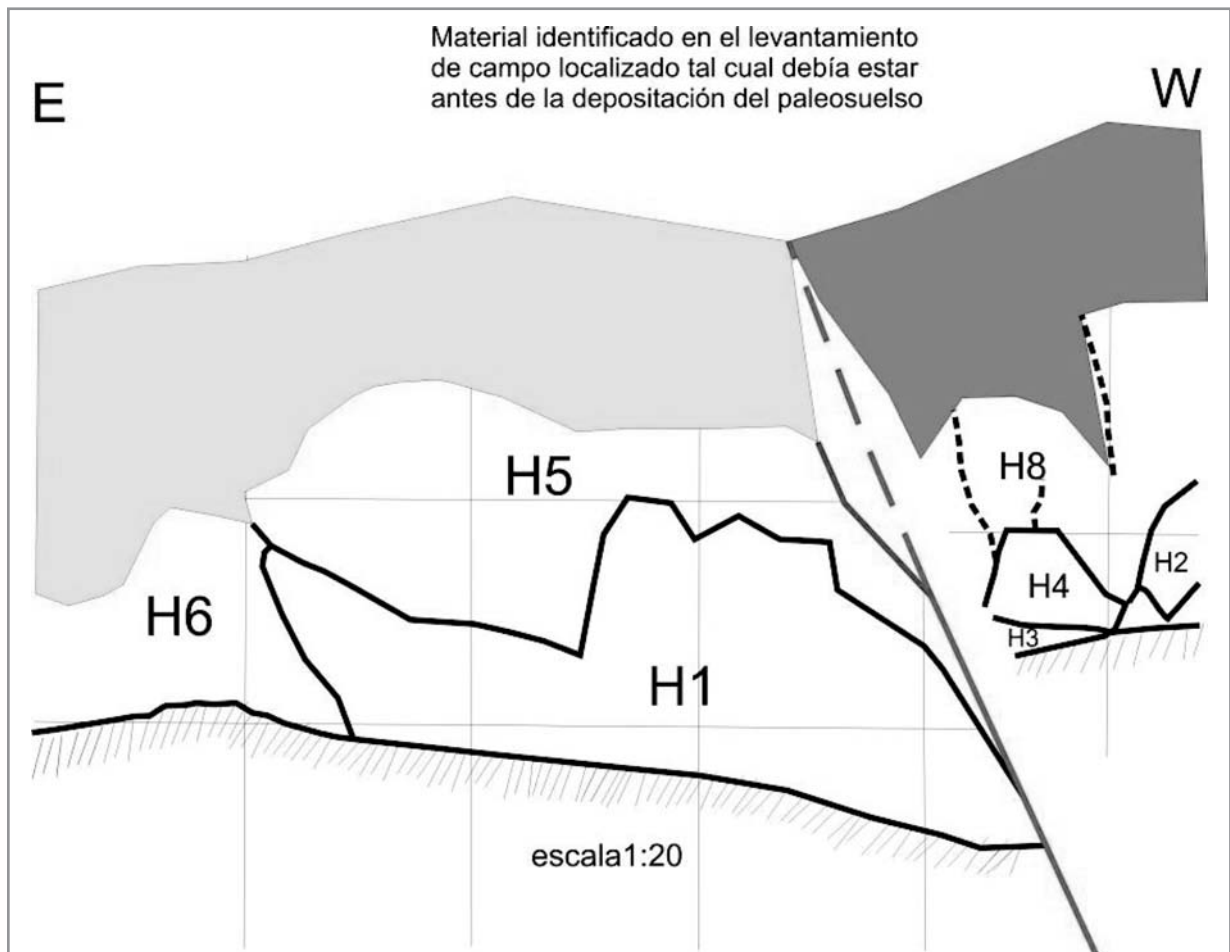


FIGURA 7. Situación del terreno antes de que se deposite el paleosuelos, antes del último movimiento y después del penúltimo movimiento.

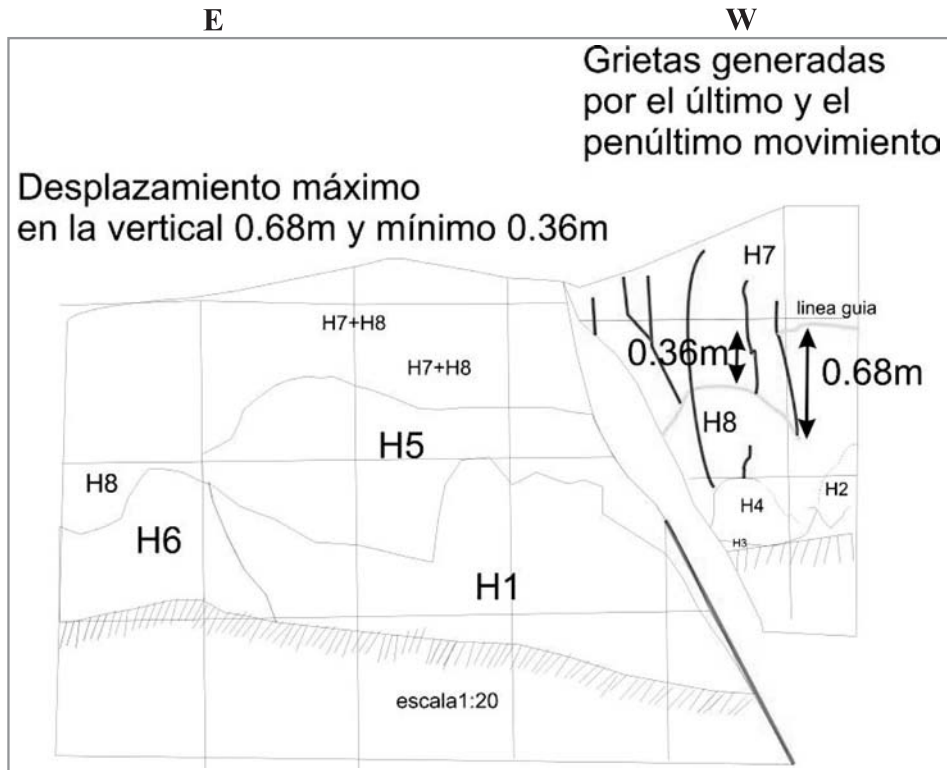


FIGURA 8. Interpretación del posible desplazamiento generado en el penúltimo movimiento y la presencia de grietas en el sector occidental

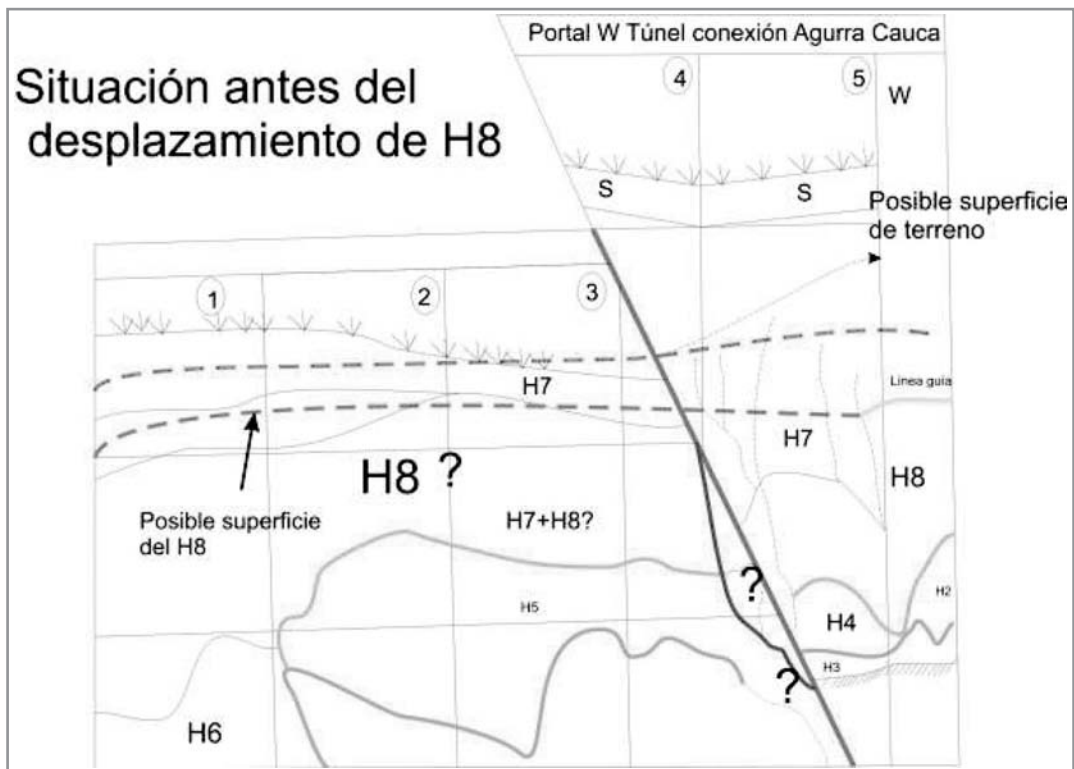


FIGURA 9. Situación antes de presentarse el penúltimo movimiento.

Suposiciones:

- Se asume que H5, H4 y H2 son el mismo depósito y lo que presentan son variaciones locales o variaciones influenciadas por la presencia de fracturas que permite la circulación de aguas. En campo se identificó la posibilidad que H5 y H4 fueran el mismo depósito pero H2 presenta diferencias en cuanto al color y porcentaje de matriz.
- Se asume que H1 y H3 son el mismo depósito. Inicialmente se planteo esto en campo, pero al hacer el trabajo detallado se observó una diferencia importante en cuanto al color de la matriz. En este caso se esta interpretando que la decoloración en el rojo que presenta el depósito identificado como H3 se debe a la circulación de aguas por las grietas que se encuentran en este sitio.

Problemas identificados en la interpretación del penúltimo movimiento:

Apoyados en la FIGURA 10 se presentan las dudas que se mantienen en la interpretación del penúltimo movimiento.

- No se explica la relación de H1 y H5 en la zona de falla.
- No hay agrietamiento en el borde E del plano de falla que explique cómo H5 se mete paralela al plano de falla
- No se explica el aparente retroceso del escarpe de falla. Según esta interpretación en este sitio no se generó escarpe que luego retrocediera por procesos erosivos e igualmente no existe cuña coluvial en el bloque occidental del plano de falla.

CONCLUSIONES

La falla identificada como San Jerónimo – Segmento 5 o Falla Sopetrán ha presentado por lo menos dos sismos en los últimos 10.000 años. El evento más antiguo corresponde a un sismo de magnitud Mw 6.4, al que se le asigna una edad entre 10.000 y 1.800 años y el evento más reciente identificado es un sismo de magnitud Mw 6.7 que ocurrió en los últimos 1.800 años. La longitud de la falla es de unos 25 Km.

Si se considera la falla con una longitud de 25 km, un sismo máximo de magnitud Mw 6.7, con un desplazamiento de 900mm en un último movimiento hace 1800 años, el grado de actividad es moderado (0.5mm/año).

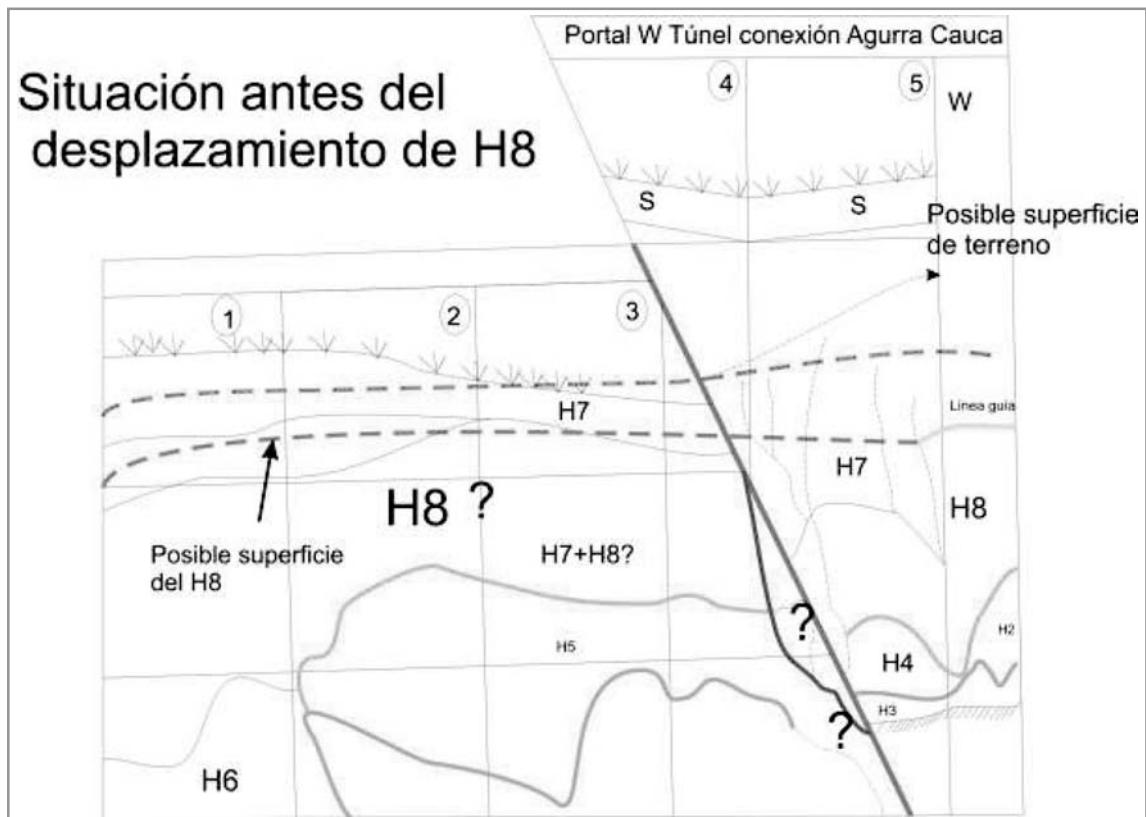


FIGURA 10. Situación antes del desplazamiento del penúltimo movimiento.

REFERENCIAS

Estrada, B.; Lalinde, C.; Cañola, E.; Rendón, P.; Ríos, C.; Ruíz, M. 2005. Morfología tectónica y segmentación de fallas al occidente de Medellín”. En: CD Memorias X Congreso Colombiano de Geología, Julio 2005, ISBN 958-701-557-6

Grupo de Sismología de Medellín. 2002. Microzonificación Sísmica de los Municipios del Valle de Aburrá y Definición de Zonas de Riesgo por Movimientos en Masa e Inundaciones en el Valle de Aburrá: Reporte para Área Metropolitana, Sin paginación.

Integral. 1995. Proyecto de Conexión Vial entre los Valles de Aburrá y del Río Cauca. Tramo Occidental, Informe final.

Rendón, D. A. 2003. Tectonic and Sedimentary Evolution of the Upper Aburrá Valley, Northern Colombian Andes (Tesis Msc): Shimane university, Matsue, Japón, 201 p.

Woodward and Clyde Consultants; 1979. Preliminary Seismic Hazard Study, Cañafisto dam sites, Cauca River Hydroelectric Project, Colombia: Reporte para Integral Ltda e ISA, 173 p.

Trabajo recibido: Junio 24 de 2009

Trabajo aceptado: Octubre 2 de 2009