

# INFORME TÉCNICO FINAL DE PROYECTO A COLCIENCIAS

30 de octubre del 2003



Con el apoyo de  Corporación OSO

## 1. Título y código del proyecto.

*“Hacia un modelo de la sismicidad en el suroccidente colombiano:  
investigaciones paleosísmicas en la región del valle del Cauca”*

Código 1106-05-10117.

## 2. Número del contrato que lo respalda.

CT: 160-2000.

## 3. Entidad ejecutora, investigadores principales, grupos.

- Universidad del Valle,
- Prof. Andrés Velásquez (U. del Valle) y Prof. Gloria Toro (U. EAFIT)
- Observatorio Sismológico del SurOccidente – OSSO (U. del Valle)
- Grupo de Geología Ambiental (U. EAFIT).

## **Asesores:**

- Dr. Michel Hermelin, grupo de Geología Ambiental, U. EAFIT.
- Dr. Franck Audemard, FUNVISIS, Venezuela.
- Dr. Diógenes Patiño, grupo Arqueología Regional, U. del Cauca.

## **4. Resumen de los resultados de conocimiento.**

Los resultados de conocimiento más relevantes arrojados por el Proyecto son que las magnitudes de sismos superficiales son mayores que las hasta ahora consideradas en la región: hasta de 6,9 para la región de Pereira (antes entre Mw 6,2 a 6,6) y alrededor de 7 para el Valle del Cauca (antes alrededor de 6,5).

El proyecto evaluó en la región del valle (*sensu stricto*) del Cauca (piedemontes de las cordilleras Central y Occidental), y en la región de Pereira, evidencias geomorfológicas y estratigráficas de paleosismos con base en las cuales se realizaron trincheras (y se aprovecharon cortes existentes), en las cuales se obtuvo evidencia de rupturas sísmicas pasadas, tasas de recurrencia y magnitudes máximas posibles para segmentos de falla evaluados (Anexos 1, 2, 3, 9.7a, 9.7b).

Se evaluaron dos trincheras en cercanías de Pereira, una de ellas disponible por construcción del Liceo Taller San Miguel y otra excavada en el Trapiche San Felipe (Planes del Tigre), además de diversos cortes para construcciones y en la ampliación de la vía Pereira Armenia. En la región de Cali – Riofrío se evaluaron cortes disponibles y una trinchera en el sitio peaje Media Canoa (Yotoco). En la Cordillera Central se evaluaron trincheras en el abanico de Amaime y en la región de Tuluá: El Ahorcado, Variante y Oreja (Anexos 9.2, 9.4, 9.6a, 9.6b, 9.7a, 9.8a).

Se realizaron 20 grupos de dataciones por el método de trazas de fisión (Laboratorio de Geocronología, U. EAFIT), que se constituyen en el primer aporte cuantitativo para la cronoestratigrafía de las formaciones geológicas superficiales del valle del Cauca (Anexo 5, artículo en elaboración) y 29 dataciones por el método  $^{14}\text{C}$ , con base en las cuales se obtuvieron edades de rupturas paleosísmicas y tasas de recurrencia.

**Entre los principales resultados en la zona de Pereira se tienen:**

- -Liceo Taller San Miguel (~9 km al sur de Pereira). Se encontraron evidencias de actividad de la falla Cestillal de orientación E-W, siendo una falla de tipo normal y acorde con el elipsoide de deformación. Se observó el basculamiento  $50^\circ\text{N}$  de la secuencia de cenizas volcánicas de caída y de paleosuelos, así como el desplazamiento de la secuencia por un evento posterior que se estima tuvo una magnitud de Mw 6.9. Otras evidencias observadas se asocian con la actividad de la falla Puerto Samaria de rumbo  $\text{N}40^\circ\text{E}$ , interpretada como falla normal en superficie que se genera como respuesta a una falla inversa del basamento que se encuentra oculta, con un movimiento sísmico calculado para la falla normal de Mw 6.6. Una datación  $^{14}\text{C}$  permite asignar a este último evento una edad más reciente que  $13.150 \pm 310$  años B.P.
- -Región de Laguneta (~13 km al sur de Pereira). Se encontraron evidencias de actividad sísmica de la falla Consota de rumbo  $\text{N}50^\circ\text{W}$ , normal con pliegue de propagación, que afectan un paleosuelo de  $30.710 \pm 1.220$  años B.P. ( $^{14}\text{C}$ ), asignándole un sismo Mw 6.5. La interpretación permite diferenciar tres posibles eventos, uno que genera un abombamiento a la base del paleosuelo, el que afecta el paleosuelo y un tercer evento que afecta el horizonte que recubre el paleosuelo mencionado. En este mismo sitio se encontró evidencia de actividad de la falla Laguneta, identificándose un sismo de Mw 6.4.

- -Alto El Roble - sector de Cruces (~22 km de Pereira). En este sitio se estudió una grieta que llega a superficie y que afecta la secuencia visible de las cenizas volcánicas de caída y los paleosuelos intercalados (2.66 m) y cuya apertura varía entre 0.05 m y 0.68 m. Esta grieta afecta paleosuelos de  $6.300 \pm 230$  años B.P., y  $2.630 \pm 80$  años B.P. ( $^{14}\text{C}$ ). Se tienen dos posibles interpretaciones: (1) deformación gravitacional o (2) que la grieta corresponda al eje de un pliegue formado por la actividad de una falla inversa que afecta los materiales competentes del basamento y que en los materiales más superficiales se propagaría como una grieta de tensión, dando la impresión de ser un ambiente de falla normal. La segunda interpretación es la que se propone para este sitio. Si se considera una evidencia de falla se le asigna un sismo de Mw 6.2 con base en el desplazamiento de 0.25m en el paleosuelo de  $6.300 \pm 230$  años.

Estos resultados indican que debe hacerse una reevaluación de la amenaza sísmica para la región teniendo en cuenta los resultados de este trabajo. Es importante continuar de manera sistemática la caracterización de los segmentos de falla en la región para trabajar con datos más reales y disminuir el nivel de incertidumbre en los análisis de amenaza sísmica.

### **Para la región de Tuluá los principales resultados son:**

A partir de los estudios paleosísmicos llevados a cabo en tres cuñas coluviales en el pie del escarpe de fallas inversas se puede concluir que la región ha sido sacudida al menos por tres eventos de magnitudes superiores a 7, en intervalos de 6000 años, lo que permite suponer que existe una alta probabilidad de que un terremoto de magnitudes similares halla ocurrido en los últimos siglos, esté próximo a ocurrir o quizás está relacionado con el históricamente documentado en el siglo xviii específicamente en el año 1766 con daños severos en la región.

Estas evidencias tienen implicaciones importantes para la amenaza sísmica de la región cuyos valores se creía estaban por debajo de ms 6.5

Complementario a las evidencias paleosísmicas que permiten documentar períodos de retorno y magnitudes máximas se ha identificado un estilo estructural activo que afecta una amplia porción del suroccidente colombiano. Una zona de máxima compresión entre las latitudes de Amaime y La Paila conectada con una zona de convergencia o transpresión que se extiende en un amplio sector entre los sectores de Florida en el sur y río Consota en el norte, a lo largo de estructuras escalonadas que atraviesan la Cordillera Central con un rumbo general *ENE* (conocidas por su orientación como fallas tipo Cucuana). Las evidencias del límite de la pared colgante de uno de los cabalgamientos más recientes que afecta la secuencia del frente en la cuenca son conspicuas entre los sectores de Amaime y Sonso en cuya porción se infiere que la cuenca se encuentra flexurada.

### **Geoarqueología.**

El proyecto empezó a desarrollar el tema de la geoarqueología en relación con paleodesastres en Colombia, para lo cual se participó en diversas campañas de campo con el grupo de Estudios Arqueológicos Regionales de la Universidad del Cauca y se desarrolló una base de datos sobre contextos y edades arqueológicas (Anexos 6 a 8 y Anexo 10.2).

## **5. Sinópsis de resultados.**

Combinando métodos geomorfológicos, estratigráficos y paleosísmicos se encuentra que tanto en la zona de Pereira como en el Valle del Cauca, por evidencias directas (trincheras) de paleosismos, que se superan las magnitudes hasta ahora conocidas. Se documenta un estilo estructural activo en el Valle del Cauca.

Una zona de máxima compresión entre las latitudes de Amaime y La Paila conectada con una zona de convergencia o transpresión que se extiende en una región más amplia entre los sectores de Florida en el Sur del Valle del Cauca y el Río Consota en el Norte (Pereira), a lo largo de estructuras escalonadas que atraviesan la Cordillera Central con un rumbo general ENE (conocidas por su orientación como fallas tipo Cucuana). Las evidencias del límite de la pared colgante de uno de los cabalgamientos más recientes que afecta la secuencia en frente de la cuenca son conspicuas entre los sectores de Amaime (Palmira) y Sonso (Buga) en cuya porción se infiere que la cuenca se encuentra flexurada.

Tanto en la zona de Pereira como en el Valle del Cauca los resultados arrojan magnitudes máximas para sismos con ruptura superficial mayores a las documentadas hasta ahora.

A partir de 20 grupos de dataciones por el método de trazas de fisión se dispone de los primeros valores cuantitativos de formaciones geológicas superficiales en el valle del Cauca, con unidades desde el Mioceno hasta el Pleistoceno. Dataciones de  $^{14}\text{C}$  acopiadas (geoarqueología) y realizadas, muestran tasas de recurrencia para sismos (y también inundaciones y erupciones volcánicas), con eventos en el Plistoceno tardío y el Holoceno.

El proyecto inició investigaciones geoarqueológicas en Colombia, en relación con paleoambientes y paleodesastres.

## 6. Cuadro de resultados de conocimiento.

Objetivos	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Indicador verificable	No. Anexo soporte	Observaciones
Geocronología Cuaternaria y Paleosismología	Modelos de amenaza, publicaciones	20 grupos de dataciones trazas de fisión; Dataciones c14	Artículos en preparación; Ponencias en congresos	A1, A2, A3 (admitidos para publicación)  A5, A10.1	A1-3, sin soporte todavía.
Validez nuevos métodos estudios sísmicos en la región	Insumos modelo de amenaza sísmica regional	12 (Artículos ponencias, pósters).	Participación en dos congresos internacionales y dos nacionales	A1, A2, A3, A6, A9.4, A9.5, A9.6a, A9.6b, A9.7a, A9.7b, A9.8, A9.9.	Estos resultados modificarían la Norma Sismorresistente y/o estudios de riesgo sísmico vigentes.
Validez nuevos métodos en estudios sísmicos.	Publicaciones nacionales e internacionales	12 (Artículos ponencias, pósters).	Cuatro artículos internacionales, varios nacionales	A1, A2, A3, A4, A8 (nacional)	A1-3, sin soporte de editores todavía.
Validez nuevos métodos en estudios sísmicos.	Presentaciones en congresos	12 (Artículos ponencias, pósters).	Participación en dos congresos internacionales y dos nacionales	A1, A2, A3, A6, A9.4, A9.5, A9.6a, A9.6b, A9.7a, A9.7b, A9.8,	

Objetivos	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Indicador verificable	No. Anexo soporte	Observaciones
				A9.9.	
Avanzar en conocimiento tectónica regional. Hallar indicios de sismos. Identificar marcadores geocronológicos.	Fortalecer capacidades nacionales en geocronología.  Buscar otros métodos.	20 grupos de dataciones laboratorio geocronología EAFIT.  Inicio de investigaciones geoarqueológicas.	20 grupos de dataciones ejecutadas  Geoarqueología como tema iniciado en Colombia en relación con paleodesastres.	A5.  A.6, A9.5, A9.8, A9.9	
Avanzar en conocimiento tectónica regional. Hallar indicios de sismos. Identificar marcadores geocronológicos.	Un seminario / Taller sobre el tema.	Participación en excavación de trinchera con asesor internacional (Trinchera Ibagué)	Formación de capacidades para seleccionar sitios de trinchera.	Trincheras ejecutadas y evaluadas. A1, A2, A9.7a, A9.7b	
Fortalecimiento capacidades nacionales.	1 tesista maestría	2 tesis.	2 tesis en maestría	Certificado terminación cursos dos tesis. A9.1	1 Tesis terminada (A9.2)
Contribuir a la solución de problemas complementando fortalezas grupos.	Fortalecimiento capacidades nacionales. Este proyecto.	Ejecución del proyecto, estrecha relación y cooperación entre grupo OSSO y	Tesis, dataciones, publicaciones, etc.	Todos.	

Objetivos	Resultados esperados	Resultados obtenidos	Indicador verificable	No. Anexo soporte	Observaciones
		grupo Geología Ambiental.			

## 7. Otros resultados.

Ver Anexo 9 (9.1 a 9.11).

## 8. Descripción del impacto actual o potencial de los resultados.

Los resultados implican niveles de amenaza sísmica superiores (mayores magnitudes, con periodos de retorno aún por determinar de mejor manera), con implicaciones para las zonificaciones sísmicas regional y urbana.

El nuevo modelo estructural activo identificado tiene implicaciones regionales en el marco de la interacción Placa Nasca – Suramérica – Caribe – Bloque Chocó y contribuye al debate actual sobre esta compleja región tectónica y, por ende, sobre los modelos de amenaza sísmica hasta ahora utilizados (por ejemplo, para la definición de fuentes sísmicas en futuras revisiones de la norma sismorresistente colombiana).

Las dataciones de formaciones geológicas superficiales del valle del Cauca son el fundamento cuantitativo para llegar en el futuro a una croestratigrafía de las mismas.

El inicio y desarrollo de investigaciones geoarqueológicas con énfasis en paleoambientes y paleodesastres se inscribe en la tendencia internacional sobre el tema, con aplicaciones potenciales al ordenamiento territorial (A9.10, A9.11) y a nuevos proyectos en proceso de formulación.

### **8.1. Actividades siguientes:**

Formulación de segunda fase de investigaciones paleosísmicas en el valle del Cauca y en la Cordillera Occidental, para acotar incertidumbres sobre el estilo estructural de deformación activo y, por ende, sobre la segmentación de las fallas, magnitudes y tasas de recurrencia.

Consolidar publicaciones en curso (Geocronología de Formaciones Geológicas Superficiales en el valle del Cauca; Geoarqueología; Artículo sobre el Abanico de Cali; publicación de conjunto de resultados del proyecto, para divulgación nacional).

Formulación - gestión de proyectos geoarqueológicos en las zonas de Yumbo y Laguna de Sonso (Valle del Cauca).

### **Congresos pendientes (invitados):**

#### **Congresos año 2004:**

**Título evento: VI Jornadas de derechos de aguas. Problemas actuales del derecho de aguas. Chile**

- Organizado por: Pontificia Universidad Católica de Chile
- Fecha: 18 y 19 de Noviembre de 2003

**Título evento: Congreso Internacional Urbanismo 2003. "Municipio y urbanismo" (Cuba).**

- Organizado por: Instituto de Planeación Física. La Habana, Cuba.
- Título: Reconstrucción socioambiental: Propuesta conceptual y metodológica aplicada al Ordenamiento Territorial. Poster.
- Fecha: Noviembre 18 a 21 de 2003

**Congresos año 2004:**

**Título evento: "Paleosoils: memory of ancient landscapes and living body of present ecosystems (Italia).**

- Organizado por: International Union of Soil Sciences International Union for Quaternary Research
- Título presentación: Paleosuelos en paleoambientes cuaternarios del Alto Cauca, Colombia.
- Autores: Alexandra Bedoya, Andrés Velásquez, Diógenes Patiño

**Título evento: Biome 2004 (Bogotá)**

- Organizado por: Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.
- Título presentación: Reconstrucción paleoecológica y variables climáticas a partir de correlación cronopalinológica en el Alto y Medio Cauca.
- Autores: Alexandra Bedoya, Martamónica Ruiz, Andrés Velásquez.

## **9. Índice de anexos**

**Anexo 1.** Resumen artículo INQUA – GSA (Geól. Myriam López)

**Anexo 2.** Resumen artículo INQUA – GSA (Geól. Claudia Lalinde)

**Anexo 3.** Resumen artículo Venezuela (Geól. Myriam López)

**Anexo 4.** Resumen artículo Abanico de Cali (Geól. Myriam López).

**Anexo 5.** Artículo en preparación “Dataciones Formaciones Geológicas Superficiales valle del Cauca” (Geól. Gloria Toro).

**Anexo 6.** Resumen artículo IWA, Congreso Agua 2003. Arqueól. Alexandra Bedoya (Cartagena, septiembre – octubre, 2003)

**Anexo 7.** Resumen artículo “Concepción del riesgo” Arqueól. Alexandra Bedoya (para revista internacional).

**Anexo 8.** Resumen artículo geoarqueología y POT’s Arqueól. Alexandra Bedoya (para Revista IGAC).

**Anexo 9.** Otros resultados

**Anexo 9.1** Certificación terminación estudios de dos (2) estudiantes del proyecto (MSc – EAFIT).

**Anexo 9.2** Resumen Tesis Maestría, Geól. C. Lalinde.

**Anexo 9.3a** Póster Colciencias-SENA, Geól. Myriam López (Cali, oct, 2002).

**Anexo 9.3b** Ponencia Colciencias-SENA. Geól. A. Velásquez (Cali, oct, 2002).

**Anexo 9.4** Ponencia Geól. M. López, IX Congreso de Geología (Med. sep-oct, 2003)

**Anexo 9.5** Ponencia Arqueól. A. Bedoya, IX Congreso de Geología. (Med. sep-oct, 2003)

**Anexo 9.6a** Póster Geól. C. Lalinde, IX Congreso de Geología. (Med. sep-oct, 2003)

**Anexo 9.6b** Póster Geól., M. López, IX Congreso de Geología. (Med. sep-oct, 2003)

**Anexo 9.7a** Póster Geól. C. Lalinde, INQUA (Reno, Nevada, USA, sept. 2003).

**Anexo 9.7b** Póster Geól. M. López, INQUA (Reno, Nevada, USA, sept. 2003).

**Anexo 9.8** Ponencia Arqueól. A. Bedoya, X Congreso de Antropología en Colombia, (Manizales, sept. 2003).

**Anexo 9.9** Ponencia Arqueól. A. Bedoya, Congreso Agua 2003 (Cartagena, sep – oct. 2003).

**Anexo 9.10** Presentación Arqueól. A. Bedoya, Comisión Técnica Convenio COLCIENCIAS – DGPAD – DNP (sep. 2003).

**Anexo 9.11.** Concepto sobre Investigaciones Paleoambientales y POT's, Subsecretario Prevención, Valle del Cauca

**Anexo 10.**

**Anexo 10.1.** Cuadro dataciones radiométricas.

**Anexo 10.2.** Base de datos Geoarqueología.