

## **4 MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA**

El estudio de la paleosismicidad requiere como base aplicar conceptos de la geología clásica a la última fase de deformación. Los rasgos morfotectónicos o las deformaciones generadas por movimientos sísmicos fuertes o por deformación tectónica gradual ocurrida durante el Cuaternario, se deben sustentar en el registro estratigráfico y estructural. Dado que el estudio implica una componente temporal importante, la geocronología se constituye en una herramienta obligada para la estimación de las edades relativas y absolutas de actividad tectónica. El registro histórico e instrumental de sismos se complementa así, caracterizando y datando terremotos prehistóricos grandes (Figura 5) (Crone and Omdahl, 1987; Vittori et al., 1991).

Este estudio se llevó a cabo en dos formas independientes pero complementarias. La primera fase consistió en la identificación y caracterización, a partir de fotografías aéreas, de rasgos del paisaje y tectónica activa. En esta fase se determinaron patrones de deformación tectónica local y regional identificables también en imágenes de satélite Landsat obtenidas en la página de la NASA (<http://nasazulu.gov/>), y en modelos de elevación digital obtenidos de datos del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) también de la NASA. Estas imágenes, generadas mediante los programas 3DEM®, Global Mapper v7.2® y Surfer 8® fueron una herramienta fundamental para los análisis realizados. Con una resolución de 90 m, permiten obtener la topografía con un error menor al que se obtiene de la cartografía disponible para la región. La segunda fase consistió en la documentación de rasgos estructurales en afloramientos, con datos de ruptura y dataciones en el registro estratigráfico. A nivel local se escogieron algunos sectores para el análisis de cinemática de fallas. El procesamiento de los datos estructurales se hizo utilizando los programas TectonicsFP 1.6.2® y GeoCalculator® 4.5. Para la localización de los sitios de medidas se empleó un GPS Garmin® 12XL, Para las poligonales se utilizó un distanciómetro de paralaje de máximo rango de 30 m, las fotografías se tomaron mediante una cámara digital NIKON®-D70, la toma de datos estructurales se realizó con una brújula Brunton. También se hizo un seguimiento a los cambios de los afloramientos en canteras y en cortes de vías utilizando una cámara de video CANNON®.

Con esta metodología se llevó a cabo el estudio de cinco sectores diferentes, así:

Con mayor detalle se estudió la porción del piedemonte occidental de la Cordillera Central entre Bugalagrande y Buga (Figura 1). En los flancos del Río Bugalagrande se documentan las evidencias morfotectónicas a partir de la información extraída de diferentes sensores remotos y las evidencias se documentan con dibujos y esquemas interpretativos. En los alrededores de Tuluá, el análisis estratigráfico y estructural de afloramientos se interpretó a la luz de paleosuelos directamente afectados por fallamiento. Al sur de Buga, en la Cantera El Vínculo, se documentan deformaciones tectónicas progresivas en una exposición de unidades litológicas que se han atribuido a la Formación La Paila. En la región de Amaime, se discuten algunos de los accidentes morfotectónicos identificados con evidencias paleosísmicas documentadas en trabajos previos (Figura 1). Se reinterpretan las Trincheras Venecia y

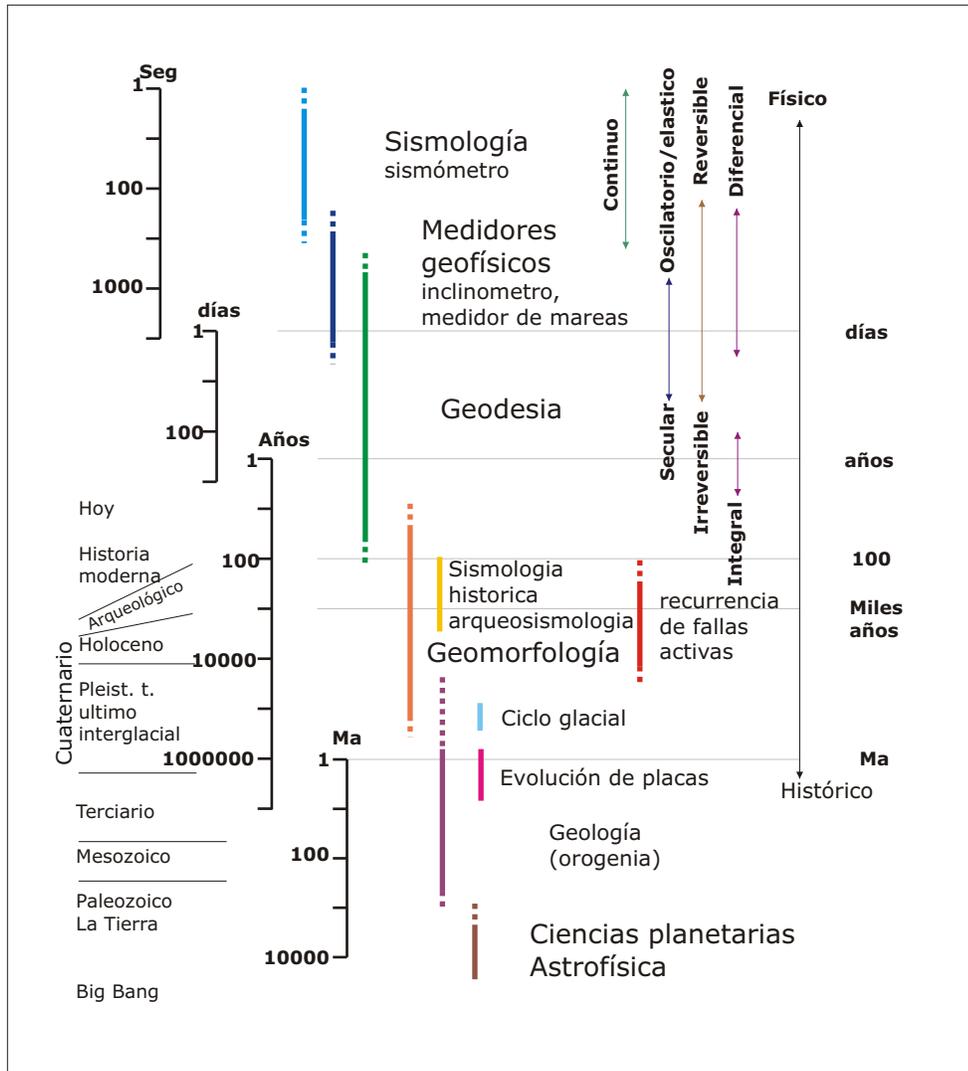


Figura 5. Escala de tiempo donde se limitan las observaciones de terremotos (redibujada de [www\imagenes\timescl2.GIF](http://www.imagenes.timescl2.gif), consultada en Agosto de 2002)

Piedechinche realizadas por Woodward-Clyde Consultants (1983) en el piedemonte occidental de la Cordillera Central. También se muestrearon paleosuelos interestratificados en los abanicos implicados en la deformación tectónica documentada por estos autores. La interpretación regional se hace a la luz de las deformaciones y edades de estos paleosuelos.

Para tener una visión integral del segmento que muestra sismicidad superficial en el norte del Valle del Cauca, se reinterpretó el reporte de actividad neotectónica realizado por Pardo-Trujillo et al. (1994) en el Norte del Valle del Cauca entre Ansermanuevo y Cartago (Figura 1). En la Cordillera Occidental se analizaron tres sectores: se presenta la Trinchera Loboguerrero realizada por Woodward-Clyde Consultants (1983) cerca al eje de la Cordillera Occidental, sobre la Falla Dagua-Calima. Adicionalmente se analizó un sector en la Variante San Marcos donde reciente mente por los trabajos de la Malla Vial del Departamento se expuso la falla principal del borde oriental de la Cordillera Occidental. En Cali se hizo un análisis morfotectónico, complementado con la estratigrafía de una unidad que según el registro estratigráfico y morfológico corresponde a un abanico fósil (López y Vokler, 2000) y que según dataciones de cenizas volcánicas, aporta una ventana de la deformación Cuaternaria en el piedemonte Oriental de la Cordillera Occidental (Figura 1).

El reconocimiento de paleosuelos y cenizas volcánicas afectadas por rupturas superficiales permitió la aplicación de métodos isotópicos como la datación por radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) y termocronológicos como las huellas de fisión, con los cuales fue posible determinar con certeza edades relativas de superficies, calcular recurrencias y asignar edades absolutas a los rasgos superficiales y del subsuelo afectados por terremotos. En total fueron cinco afloramientos-trincheras documentados con evidencias paleosísmicas en los alrededores de Tuluá. En estos sitios se tomaron 13 muestras de paleosuelos que fueron datados por radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ), complementariamente se analizaron por microscopía 10 muestras de arenas con contenido de material volcánico. Estas muestras componen la secuencia Cuaternaria identificada en los alrededores de Tuluá; cinco de estas muestras fueron datadas por huellas de fisión (laboratorios Universidad EAFIT).

Finalmente, con la asignación de edades a los eventos y los análisis de cinemática de fallas, los datos se integraron dentro de un modelo regional de esfuerzos de cizalla, y se hizo una propuesta del estilo estructural activo que explica la relación de los diferentes sistemas de fallamiento y/o de las deformaciones tectónicas observadas a nivel regional. La correlación de las zonas con ruptura superficial y de los rasgos de fallamiento secundario sirvió para estimar magnitudes máximas con base en comparaciones con terremotos estudiados a nivel mundial.

Por último, en la realización de este trabajo fue fundamental tener en cuenta la compilación del estado del arte de la paleosismología presentada por McCalpin et al. (1996). En ésta los autores discriminan las formas del terreno y/o depósitos generados en diferentes ambientes (compresivos, transcurrentes y distensivos) durante y después de un terremoto, fuera de la falla y en la falla, cósmicos y postsísmicos, así como el contraste de las formas del terreno con rasgos formados por procesos de erosión, depositación y deformación no sísmica (Tabla 1). La discriminación de estas evidencias conduce a la aplicación del concepto de “paisaje sísmico” que se refiere al potencial de un terremoto, de orden de magnitud determinada, para crear una señal en el registro geológico y geomorfológico (Ver por ej. Serva y Slemmons,

1995; Michetti et al., 2005). Adicionalmente, Michetti et al. (2005) recomiendan aplicar estas líneas de evidencia paleosísmica para reducir la incertidumbre en las edades de paleoterremotos, en los intervalos de recurrencia de terremotos y en las velocidades de deslizamiento de fallas. Todo esto combinado con los resultados que proporcionen las trincheras de falla.

Tabla 1. Clasificación de rasgos paleosísmicos, expresiones geomorfológicas y estratigráficas (Tomada de McCalpin, 1996).

Génesis	Primarias (Creadas por deformación tectónica)			
	En la falla		Fuera de la falla	
Localización				
Tiempo	Cosísmicas	Postsísmicas	Cosísmicas	Postsísmicas
Expresión Geomorfológica	✓ Escarpes de falla	✓ Contribuciones después del deslizamiento	✓ Superficies inclinadas	✓ Terrazas aluviales Tectónicas
	✓ Fisuras		✓ Líneas de costa levantadas	✓ Contribuciones después del deslizamiento
	✓ Pliegues	✓ Cubiertas coluviales	✓ Líneas de costa sumergidas	
	✓ Huellas de topo			
	✓ Colinas de presión			
Expresiones estratigráficas	✓ Estratos fallados	✓ Cuñas coluviales	✓ Depósitos de Tsunami.	✓ Inconformidades erosivas y depósitos inducidos por levantamiento, subsidencia e inclinación
	✓ Estratos plegados	✓ Rellenos de fisura		
		✓ Inconformidades horizontes fallados)		
Abundancia de Rasgos similares no sísmicas	Pocas	Pocas	Algunas	Comunes
Génesis	Secundarias (Creadas por deformación tectónica)			
Localización	En la falla		Fuera de la falla	
Tiempo	Cosísmicas	Postsísmicas	Cosísmicas	Postsísmicas
Expresión Geomorfológica	✓ Arenas	✓ Deslizamientos retrogresivos	✓ Expulsión de arenas	✓ Deslizamientos retrogresivos
	✓ Expulsadas		✓ Deslizamientos	
	✓ Árboles perturbados		✓ Fisuras	
			✓ Compactación de sedimentos por subsidencia	
Expresiones estratigráficas	✓ Diques de arena	✓ Sedimentos depositados rápidamente estuarinos o lacustres	✓ Diques de arena	✓ Sedimentos depositados rápidamente estuarinos o lacustres
			✓ Cráteres rellenos	
			✓ Deformación de sedimentos suaves	
Abundancia de rasgos similares no sísmicas	Algunas	Muy comunes	Algunas	Muy comunes

Este breve marco teórico y metodológico pretende dar una idea general de los conceptos y técnicas que se tuvieron en cuenta para llevar a cabo el trabajo. Una explicación más detallada de los conceptos en los que se apoya este trabajo se encuentra en el Anexo 1.