

RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

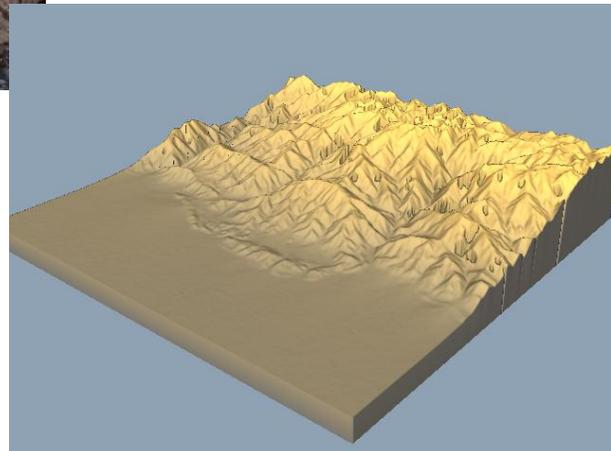


TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 2 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO	2-1
2.1 INTRODUCCION	2-1
2.1.1 Objetivos y Alcance	2-1
2.1.2 Localización	2-1
2.1.3 Metodología Aplicada	2-2
2.2 GEOLOGIA	2-3
2.2.1 Marco tectónico global	2-3
2.2.2 Evolución del basamento colombiano	2-3
2.2.3 Provincias geotectónicas en Colombia	2-7
2.2.4 Geología regional del departamento del Valle del Cauca	2-25
2.2.5 Geología local	2-36
2.3 GEOMORFOLOGÍA	2-57
2.3.1 Geomorfología de la zona de Palmira	2-57
2.3.2 Geomorfología de la zona de Tuluá	2-59
2.3.3 Geomorfología de la zona de Buga	2-60
2.4 RIESGO POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	2-62
2.4.1 Reseña histórica	2-62
2.4.2 Volcanes activos en Colombia	2-62
2.5 PROPUESTA DE SEGMENTACIÓN DE LAS FALLAS	2-64
2.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	2-71
2.7 BIBLIOGRAFÍA	2-74
ANEXO 2.1 - LOCALIZACIÓN GENERAL	
ANEXO 2.2 - MAPA TECTÓNICO DE COLOMBIA DE PLACAS INTERACTUANTES	
ANEXO 2.3 - DIAGRAMAS DE BLOQUES (ZONA DE SUBDUCCIÓN)	
ANEXO 2.4 - PROVINCIAS GEOTECTÓNICAS	
ANEXO 2.5 - MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA.	
ANEXO 2.6 - CORTE GEOLÓGICO GENERALIZADO A-A´ DEL VALLE DEL CAUCA	
ANEXO 2.7 - LÍNEA DE REFLEXIÓN SÍSMICA VC-79-09 DE ECOPETROL	
ANEXO 2.8 - FOTOINTERPRETACIÓN	
ANEXO 2.9 - MAPAS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICOS DE PALMIRA, TULUÁ Y BUGA	
ANEXO 2.10 - REGISTRO FOTOGRÁFICO DE AFLORAMIENTOS	

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 (Fotografía). Aspecto de la superficie disectada del abanico de la Aurora en donde se aprecian bloques en superficie..... 2-26
- Figura 2.2 (Fotografía). Lineamientos de las fallas que afectan el piedemonte Occidental de la cordillera Central (Sistema de Fallas Guabas – Pradera y Potrerillos). 2-27
- Figura 2.3 (Fotografía). Panorámica de la depresión tectónica de la Ruiza donde se ilustra hacia el fondo los ápices de los abanicos y en primer plano el bloque levantado conformado por la Formación Vilela. 2-28
- Figura 2.4 (Fotografía). Se aprecia la estructura de la roca al Nor Oriente de Potrerillos donde se podrá colocar un acelerógrafo. 2-28
- Figura 2.5 (Fotografía). Panorámica que ilustra la cuenca superior de la quebrada La Honda y un embalse de los cuerpos de agua de Maracaibo, represados artificialmente sobre los depósitos del abanico de Potrerillos. 2-29
- Figura 2. 6 Imagen Landsat mostrando los sistemas de abanico del río Pance (ver fotointerpretación detallada). 2-30
- Figura 2.7 Fotointerpretación zona Pance 2-31
- Figura 2.8 (Fotografía) Límite Occidental de la depresión tectónica del Dagua, la línea punteada indica una falla de tipo normal. La línea del horizonte corresponde a la peniplanicie de la cordillera Occidental mirando hacia el Pacífico. 2-32
- Figura 2.9 (Fotografía) La línea discontinua en rojo indica el lineamiento de la falla maestra del costado Oriental de la depresión tectónica del Dagua, en primer plano se ilustran remanentes del piso del graben. El horizonte marca la peniplanicie del costado Oriental de la cordillera Occidental. 2-32
- Figura 2.10 (Fotografía) Brecha de falla con buzamiento hacia el Occidente en la depresión tectónica de Dagua – Calima. Afecta rocas de tipo basáltico. 2-33
- Figura 2.11 (Fotografía) Lineamientos de grandes sistemas de fracturas en la cordillera central y Occidental al Norte de Cali. 2-34
- Figura 2.12 (Fotografía) Pequeño desplazamiento en una vena de calcita. 2-35
- Figura 2.13 (Fotografía) Afloramiento de diabasa con meteorización esferoidal y alteración a suelo laterítico, El sitio está ubicado en el costado derecho del carretable que conduce al cerro El Tablón desde la vía principal Palmira-Pradera. 2-36
- Figura 2.14 (Fotografía) Parte alta del corregimiento de Potrerillos. Aparece una cancha de fútbol en cuyo costado se aprecian suelos residuales color amarillo por alteración de lavas y basaltos..... 2-37
- Figura 2.15 (Fotografía) Finca privada en inmediaciones de Potrerillos. En el piso del portón afloran basaltos fracturados. Sitio recomendado para perforación e instalación de acelerógrafo..... 2-37
- Figura 2.16 (Fotografía) Cantera Calandaima, afloramiento de diorita..... 2-38
- Figura 2. 17 (Fotografía) Cantera Calandaima, vista general de la explotación de roca ígnea intrusiva fresca (diorita)..... 2-38
- Figura 2.18 (Fotografía) Cantera Abandonada. Rocas terciarias muy alteradas y poco consolidadas de la formación Vilela. Conglomerados de gravas y guijarros de diabasa en poca matriz aglutinante, con lentes de tobas alteradas..... 2-39

- Figura 2.19 (Fotografía) Detalle de una brecha de falla en basaltos fracturados que afloran en el talud de la carretera La buitreira- Palmira. La referencia de escala es una fotografía aérea. Sobre el fondo amarillo de la roca alterada. 2-41
- Figura 2.20 En la imagen se aprecia hacia el piedemonte de la cordillera Central los lineamientos de origen tectónico de las fallas Guabas-Pradera y Potrerillos, en cercanías de Palmira. Imagen tomada de "SRTM SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION" 2-42
- Figura 2.21 (Fotografía): Mosaico en panorámica que muestra la cubeta tectónica al sur de La Buitreira. Nótese los conos en la pata de la falla de Potrerillos. Vista al sureste..... 2-43
- Figura 2.22 (Fotografía). Arcillolitas con capas delgadas de arenisca de la formación La Paila en el corte de una cantera abandonada en Sonso. Nótese el trazo de una falla de orientación aproximada Este-Oeste con desplazamiento de unos 0.30 m. 2-45
- Figura 2.23 (Fotografía) Afloramiento de materiales torrenciales de abanicos de primera generación. 2-46
- Figura 2.24 (Fotografía) Morfología de abanicos aluviales. Al fondo la cordillera Occidental. 2-47
- Figura 2.25 (Fotografía). Escarpe producto de la disección del río Tuluá unos 300 m hacia agua arriba del puente de la carretera troncal. En este se aprecia hacia la parte inferior los últimos episodios de lahar bajo los aluviones de abanicos de primera generación 2-47
- Figura 2.26 (Fotografía). Aspecto general del depósito de lahar (consolidado) en el lecho actual del río 2-48
- Figura 2.27. Zona de Tuluá. Imagen Landsat/2000 que ilustra lineamientos tectónicos al Este del municipio..... 2-49
- Figura 2.28. Marco general estructural del Valle del Cauca en el sector Buga-Tuluá. Tomado de "SRTM SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION"..... 2-50
- Figura 2.29 (Fotografía). Hacia la parte inferior se encuentra un macizo de conglomerado de la Formación La Paila sobre la cual se depositó el materia aluvial de tipo torrencial que dio origen al abanico de Buga..... 2-53
- Figura 2.30 (Fotografía). En primer plano se aprecian los aluviones recientes del río Guadalajara. El plano superior donde se ubica la fila de casas corresponde a la superficie de las terrazas aluviales. El río Guadalajara se ubica en el sector de vegetación más exuberante, el flujo del río tiene una dirección de izquierda a derecha, pero la superficie de la terraza tiene una contrapendiente con relación a la dirección del río muy marcada, lo cual obedece a un proceso de neotectonismo el cual debe ser verificado en el futuro. 2-54
- Figura 2.31 (Fotografía). La continuidad de la terraza registrada en la fotografía anterior se observa hacia el occidente. 2-54
- Figura 2.32 (Fotografía). Las terrazas aluviales en la pared izquierda del valle del río Guadalajara al oriente de Buga presentan procesos de erosión activa en forma de carcavamiento como se aprecia en esta fotografía. 2-55
- Figura 2.33 (Fotografía). Esta fotografía fue tomada desde la cima del cerro del Derrumbado y en primer plano se aprecia el deslizamiento generado por este escarpe y al fondo el patrón del casco urbano de la ciudad de Buga. 2-56
- Figura 2.34 (Fotografía). En esta fotografía se aprecia sobre la margen izquierda del río Guadalajara el proceso de socavación que genera desplomes y erosión en surcos. 2-61

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Relación de Fotografías Aéreas.....	2-57
Tabla 2.2 Fallas Maestras y sus características Principales.....	2-5765
Tabla 2.3 Segmentación de Fallas Maestras y Características Morfológicas y Geométricas	2-5767

CAPÍTULO 2 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

2.1 INTRODUCCION

El presente informe contiene la descripción geológica y geomorfológica de las zonas de influencia de los municipios de Palmira, Tuluá y Buga localizadas en el departamento del Valle del Cauca, en el ámbito de los estudios de microzonificación sísmica de dichos municipios.

La descripción geológica comprende conceptos generales acerca de la ubicación del territorio colombiano dentro de un marco tectónico global; la evolución del basamento colombiano; las provincias geotectónicas en las cuales puede ser dividido el país, el estilo estructural y la distribución de las fallas regionales en cada una de estas; la geología regional del departamento del Valle del Cauca y finalmente, la geología local de los municipios de Palmira, Tuluá y Buga incluyendo los aspectos mas relevantes de la estratigrafía, geología estructural y neotectónica.

Así mismo, en la parte geológica el informe hace referencia a las condiciones generales del subsuelo en cada municipio, con base en observaciones de campo, en registros estratigráficos de perforaciones ejecutadas para prospección de agua subterránea en los alrededores de las citadas localidades, y en el programa de exploraciones del subsuelo llevadas a cabo en el marco del proyecto.

La descripción geomorfológica comprende la fotointerpretación realizada; las características geomorfológicas para el área de influencia de cada municipio; la delimitación de las unidades geomorfológicas; el análisis del drenaje; los procesos de erosión y los fenómenos de remoción.

De igual manera, el informe se refiere al alcance de los riesgos geológicos por actividad volcánica y sísmica que pueden llegar a tener Palmira, Tuluá y Buga. Finalmente, se hacen sugerencias acerca de los sitios más favorables para la ubicación de perforaciones e instalación de acelerógrafos, en sectores de terrenos rocosos y de suelos blandos.

2.1.1 Objetivos y Alcance

El objetivo de este capítulo es documentar, procesar e interpretar información general acerca del marco geológico y tectónico regional, y de manera local, la descripción de las características geológicas y geomorfológicas de los municipios de Palmira, Tuluá y Buga, como fundamento para los estudios de caracterización geotécnica y geofísica del subsuelo en cada localidad, que conduzcan a la evaluación de la respuesta sísmica frente a eventuales sacudidas de la corteza terrestre.

2.1.2 Localización

Los municipios de Palmira, Tuluá y Buga están localizados hacia el costado derecho del Valle del río Cauca, al noreste de la ciudad de Cali, en el suroccidente de Colombia. (Ver Anexo 2.1 - Localización General).

El Valle del Cauca está ubicado entre las cordilleras Central y Occidental, las cuales junto con la cordillera Oriental constituyen el macizo andino colombiano. El Valle está drenado por el río Cauca que atraviesa al departamento en sentido sureste-noroeste y recibe en su cauce numerosas corrientes tributarias de ambas cordilleras.

2.1.3 Metodología Aplicada

2.1.3.1 Recopilación de Información de Referencia

Se realizó una revisión de la información de referencia geológica y cartográfica entregada por la CVC (Corporación Regional del Valle del Cauca). Así mismo, se investigó en el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) los vuelos aerofotogramétricos e imágenes de radar existentes para la zona de estudio. En el Ingeominas (Instituto de Investigaciones Geológico-Mineras) se consultó información geológica de la región de interés como informes y planos. También se consultó información básica en Ecopetrol, entidad que ha adelantado investigaciones en este sector del país.

2.1.3.2 Interpretación de Fotografías Aéreas

Se realizó una fotointerpretación a las fotografías aéreas seleccionadas, con el fin conocer las características geológicas y geomorfológicas de las localidades de interés, y de trazar las rutas de exploración de campo.

2.1.3.3 Reconocimientos de Campo

Se hizo un reconocimiento de campo por carreteras y caminos para comprobar la fotointerpretación obtenida y verificar las características físicas de las rocas y materiales de recubrimiento existentes, así como las fallas y evidencias de neotectonismo.

De la misma manera, se reconocieron diferentes sitios en el campo y en la zona urbana para recomendar los más propicios para la ejecución de las perforaciones previstas.

2.1.3.4 Preparación de Información

La información de campo fue ordenada y procesada, y así mismo se prepararon y georeferenciaron los mapas hasta obtener un producto final que consta de los siguientes elementos:

Un informe técnico y ocho anexos que comprenden:

- Localización general de la zona de estudio
- Un mapa tectónico de Colombia
- Diagramas de bloques geológicos
- Un mapa de provincias geotectónicas
- Un mapa geológico de un sector del Valle del Cauca
- Un corte geológico general de un sector del Valle del Cauca
- La imagen de una línea de reflexión sísmica de ECOPETROL en un sector del Valle del Cauca
- La fotointerpretación de las zonas de Palmira, Tuluá y Buga.
- Los mapas geológico-geomorfológicos de las zonas de Palmira, Tuluá y Buga.

2.2 GEOLOGIA

Las características geológicas de las localidades de Palmira y Tuluá están enmarcadas dentro de la geología regional del Valle del Cauca, una de las provincias geotectónicas en las cuales Colombia puede ser dividida como resultado de la evolución geológico-estructural de la región norte de la cordillera de Los Andes en el marco tectónico global.

2.2.1 Marco tectónico global

La parte occidental de Suramérica está enmarcada dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, un anillo sísmico-volcánico estrechamente relacionado con los bordes de las mayores placas tectónicas corticales del mundo, donde procesos de expansión y colisiones entre placas originan terremotos destructivos y erupciones volcánicas catastróficas (Boot y Fitch, 1.986).

Las cadenas volcánicas en el mundo coinciden con bordes destructivos de placas como el caso concreto de la cadena montañosa de Los Andes en el costado occidental Suramérica, donde el ambiente tectónico es único en el mundo, pues en ninguna otra parte una placa oceánica principal como Nazca subduce a una gran placa continental como la Suramericana a lo largo de una fosa de casi 6.000 km de longitud (Assumpcao, 1.992 en Mora, 1.995). En Colombia la placa de Nazca subduce el borde continental a lo largo de toda la costa del mar Pacífico, donde la zona de Benioff presenta diferentes ángulos de inclinación.

Por su ubicación en la esquina nor-occidental del continente suramericano, el territorio colombiano ha estado sometido desde el pasado geológico a grandes esfuerzos dirigidos en diferentes direcciones por el efecto de la convergencia de tres placas tectónicas: la placa oceánica del Caribe al norte, la placa oceánica de Nazca al oeste y la placa continental Suramericana localizada al este de la anterior.

La placa del Caribe presiona en dirección Sureste deslizándose a una tasa de 1 cm por año; la placa de Nazca presiona en dirección Este deslizándose debajo del continente a una tasa de 6 cm por año y la placa Suramericana que se mueve hacia el Oeste a una tasa de 3 cm por año (James, 1.986). (Ver Anexo 2.2 - Mapa Tectónico).

Los eventos tectónicos principales que influyeron en las modificaciones del basamento colombiano y el desarrollo de las cuencas, están estrechamente relacionados a la evolución de la margen activa del lado occidental de Sur América.

Los efectos de la subducción de la placa de Nazca ha tenido responsabilidad directa en la fisiografía actual de Colombia: el sistema cordillerano de Los Andes al Oeste y la Cuenca del Amazonas / Orinoco al Este del territorio. (Ver Anexo 2.3 – Diagramas de bloque).

2.2.2 Evolución del basamento colombiano

El sistema cordillerano de Los Andes aparece dividido en tres cadenas montañosas: La Cordillera Oriental, la Cordillera Central y la Cordillera Occidental. El Valle del Cauca separa las cordilleras Central y Occidental, mientras que el Valle del Magdalena separa las cordilleras Oriental y Central. La Cuenca del Amazonas / Orinoco conforma la extensa sabana de Los Llanos, desarrollada sobre el basamento de Escudo de la Guyana.

El basamento de Colombia fue dividido por Suárez, 1.990 (en Cooper et al., 1.995) en tres grandes zonas separadas por suturas mayores: 1.) Zona Oriental del Escudo pre-Cámbrico de la Guyana. 2.) Zona Central o Provincia de rocas metamórficas del pre-Cámbrico y Paleozóico inferior, la cual suprayace las cordilleras Central y Oriental. 3.) Zona Occidental constituida por fragmentos de corteza oceánica acrecionada al continente, así como por sedimentos y rocas volcánicas relacionadas a la subducción. Megard (1.987 en Cooper et al., 1.995) con anterioridad había interpretado que los terrenos exógenos de la Zona Occidental fueron acrecionados a la Zona Central a lo largo de la sutura de Romeral, de acuerdo con una serie de colisiones que comenzaron en el Cretáceo inferior y terminaron en el Eoceno. Así mismo, Suárez (1.990 en Cooper et al., 1.995) ha interpretado que la sutura entre la Zona Oriental y la Zona Central es el borde llanero, que coincide aproximadamente con el thrust frontal del Piedemonte.

La evolución tectónica del basamento de la placa Continental en su esquina noroccidental colombiana, ha quedado registrado en la génesis de las tres cordilleras que conforman la cadena montañosa de Los Andes más septentrionales de Suramérica. En orden de antigüedad las cordilleras se formaron desde más antiguas a más jóvenes, así: Cordillera Central, Cordillera Occidental y Cordillera Oriental.

Un modelo de la evolución tectónica de Los Andes colombianos y las cuencas sedimentarias entre el Triásico y el Terciario se sintetiza a continuación, con base en información geológica de publicaciones existentes:

2.2.2.1 Cordillera Central

Durante el Triásico, Jurásico y Cretáceo Inferior, Colombia estuvo afectada periféricamente por un rifting relacionado con la separación de Norte y Sudamérica por el proto – Caribe (Jaillard et al., 1.990 en Cooper et al., 1.995).

Una gran cuenca geosinclinal sedimentaria relacionada con el evento de rifting se desarrolló entre el Triásico y Cretáceo Inferior que alcanzó zonas ocupadas ahora por el Valle medio del Magdalena, la Cordillera Oriental y la Cuenca de Los Llanos en la cual fue depositada una megasecuencia que comenzó con sedimentos de ambiente continental y terminó con sedimentación de medio marino. En la zona de la Cordillera Oriental gruesas secuencias de sedimentos del Jurásico al Cretáceo Inferior (formaciones Girón, Arcabuco, Cumbre, Tambor, Rosablanca) están expuestas dentro de esta gran cuenca en dos depocentros: el depocentro de Cocuy en el este y el depocentro de Tablazo-Magdalena al oeste separados por el Alto de Santander que incluye los macizos de Floresta y Santander (Etayo et al., 1.969 en Cooper et al., 1.995).

En un punto sin determinar con precisión aproximada en la escala del tiempo geológico entre el Jurásico Superior y Cretáceo Inferior, la placa oceánica de Nazca colisionó contra la placa continental Suramericana, esta última constituida por rocas metamórficas muy antiguas del pre-Cámbrico y Paleozóico que formaban parte del Escudo de la Guyana (Cooper et al., 1.995). Posteriormente a la colisión, la placa oceánica comenzó a subducir a lo largo de lo que hoy se conoce como la Sutura de Romeral (París y Marín–Rivera, 1.979 en París y Romero, 1.993). La colisión originó gran deformación y profundas fracturas en las rocas en un sector del basamento colombiano acompañado de solevantamiento, constituyendo la fase primaria de formación de la Cordillera Central.

El proceso de subducción originó en profundidad un gran efecto de rozamiento entre las placas oceánica y continental, lo cual provocó la generación de calor por temperaturas mayores a 600°C que fundieron parte de las rocas del continente generando magmas de diferente composición (Batolito jurásico de Ibagué; plutones calco-alcalinos del Jurásicos Superior / Berriasiano, en la parte oriental de la Cordillera Central, McCourt et al., 1.984 en Cooper et al., 1.995), los cuales ascendieron y se emplazaron entre las rocas antiguas frías del basamento. Una fase de actividad volcánica que alcanzó la superficie desde el fondo marino para formar islas volcánicas detrás de la fosa de subducción, pudo haber persistido hasta cuando ocurrió el salto de la subducción al occidente de la sutura de Romeral.

Aspden y McCourt, 1.986 (en Cooper et al., 1.995) interpretaron que la formación Amaime compuesta de corteza oceánica (basaltos y gabros) del Jurásico Superior / Cretáceo Inferior, fue acrecionada al continente a lo largo de la sutura de Romeral en el Cretáceo inferior. Así mismo, Megard (1.987 en Cooper et al., 1.995) también interpretó que la acreción de materiales oceánicos provenientes de la zona de expansión del Pacífico ocurrió a lo largo de la sutura de Romeral, de acuerdo con una serie de colisiones que comenzaron en el Cretáceo Inferior y terminaron en el Eoceno. Este mismo autor sugirió que después de la acreción del terreno de Amaime ocurrió el salto de la zona de subducción hacia el occidente. James (1.986) con base en información de consulta sintetizó que el salto pudo obedecer a la lentitud de la subducción debida a la resistencia que ofreció el acercamiento al continente de una dorsal inactiva, lo cual permitió la acreción al continente de una tajada de corteza oceánica con su manto de sedimentos.

Toussaint y Restrepo (1.984 en James 1.986) postularon que fue en el Cretáceo Inferior a Medio cuando se creó la nueva zona de subducción, seguida de un arco de islas volcánico inmaduro que corresponde en la actualidad con la Serranía de Baudó. Alvarez (1.995) estudió las ofiolitas de Pácora en el sector central al occidente de la Cordillera Central, e interpretó su origen dentro del modelo tectónico de acreción de corteza oceánica al continente en el Aptiano o un poco antes, y consideró que después de la acreción de las ofiolitas fue cuando la zona de subducción saltó hacia el lado occidental de la ancestral sutura de Romeral, coincidiendo con la apreciación de Toussaint y Restrepo.

De todas las anteriores consideraciones puede estimarse que la deformación principal y levantamiento final de la Cordillera Central, después de ocurrir varias colisiones por acreciones sucesivas de material oceánico desde el Cretáceo Inferior, debió tener lugar en el Cretáceo Superior, concretamente hacia finales de este período (límite Campaniano / Maastrichtiano). Esto puede estar apoyado por una fase volcano-magmática calcoalcalina asociada del Terciario inferior reconocida en la cordillera Central (Alvarez, 1.995).

El desarrollo de la megasecuencia sedimentaria en la cuenca de synrift de Cooper et al (1.995) continuó su evolución en el Cretáceo al transformarse en una cuenca de ambiente de back-arc situada al este de la zona de subducción. La depositación estuvo entonces dominada por sedimentación de medio marino somero representada por lodolitas marinas ricas en materia orgánica y ocasionalmente calizas y areniscas (formaciones Tablazo, San Gil, Simití y Salto en el Valle Medio). Posteriormente, un ascenso gradual del nivel del mar combinado con subsidencia causó una transgresión regional que originó un ambiente marino somero siliciclástico de escudo (formación Une). En el Turoniano / Coniaciano Inferior el levantamiento global del nivel del mar antes referido (Haq et al., 1.987 en Cooper et al., 1.995)) condujo a la depositación de lodolitas marinas, cherts y fosfatos que produjeron excelentes rocas generadoras de hidrocarburos como las formaciones Villeta en el Valle Alto y Medio del Magdalena, La Luna en el Valle Medio y Gachetá en la cuenca de Los Llanos.

Finalmente, en el Coniaciano / Santoniano Inferior, un descenso en el nivel del mar provocó ambientes marinos someros que propiciaron la sedimentación de la formación Guadalupe (Cooper et al., 1.995).

2.2.2.1 Cordillera Occidental

Durante el salto hacia el occidente de la zona de subducción ocurrido en el Cretáceo Inferior a Medio, una parte de la corteza oceánica que quedó en posición intermedia fue posteriormente empujada por la placa de Nazca hacia el Este y acrecionada al continente. El episodio final de acreción que condujo a la formación y levantamiento de la Cordillera Occidental comenzó al final del Maastrichtiano Inferior (Cooper et al., 1.995).

El nuevo episodio de subducción creó una fase volcano-magmática que originó el emplazamiento de nuevos cuerpos intrusivos como el Batolito Antioqueño (Feininger y Botero, 1.982 en Ingeominas, 1.988), así como vulcanismo continental cuyos cuellos volcánicos extintos han sido identificados en el departamento del Cauca en el lado oeste de la cordillera Occidental, mediante fotointerpretación de imágenes de radar (FUP, 2.004).

Cuatro etapas de deformación han sido reconocidas en el Terciario de la parte central de Colombia (Bürgl, Ben Abraham and Nur, 1.987 en Cooper et al., 1.995). La primera etapa ocurrió entre el Cretáceo Superior y Paleoceno Inferior, la cual marcó un cambio significativo en los ambientes de depositación de la megasecuencia de Cooper et al., 1.995 en las zonas ocupadas ahora por la Cordillera Oriental, Valle Medio y Los Llanos, al pasar de medio marino a medio continental propiciando condiciones para la sedimentación de formaciones tales como Guaduas en la cordillera Oriental, y Barco Los Cuervos, Mirador, Carbonera, León y Guayabo en Los Llanos. En la zona del Valle Medio se depositaron las formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas y Mugrosa, entre otras.

La sedimentación que tenía lugar en la megasecuencia se suspendió por causa de la segunda etapa de deformación y solevantamiento ocurrido en el Eoceno Medio en la zona del Valle del Magdalena, durante el cual se formaron pliegues y se generaron fallas tipo thrust. La suspensión del proceso de depositación que ocurría en buena parte del territorio colombiano como causa de esta etapa de deformación, produjo la discordancia del Eoceno Medio. Esta deformación pudo haber estado relacionada a un incremento en la tasa de convergencia de la subducción ocurrida entre 49 y 42 millones de años atrás (Daly, 1.989 en Cooper et al., 1.995).

Cambios globales en los movimientos de la tectónica de placas documentados entre el Oligoceno Superior y Mioceno Inferior (Pilger, 1.984; Ben Abraham and Nur, 1.987 en Cooper et al., 1.995), originaron la tercera etapa de deformación que solo causó efecto en el Valle del Cauca donde ha sido descrita (Alfonso et al., 1.989 en Cooper et al., 1.995), y en el Valle del Magdalena donde estructuras pre-existentes del Eoceno Medio se reactivaron y dieron origen a la discordancia del Oligoceno Superior (Schamel, 1.991 en Cooper et al., 1.995).

La colisión de los terrenos del Chocó con la margen noroccidental de Sudamérica ocurrido durante el Mioceno Medio (Duque-Caro, 1.990 en Cooper et al., 1.995) pudieron haber contribuido con una deformación inicial de la Cordillera Oriental (Cooper et al., 1.995).

2.2.2.2 Cordillera Oriental

Hace aproximadamente 10,5 millones de años (Mioceno Superior) un levantamiento global del nivel del mar (Haq et al., 1.987 en Cooper et al., 1.995) coincidió con la significativa cuarta etapa de deformación, levantamiento y erosión de la Cordillera Oriental incluido el Piedemonte Llanero. Esta cordillera aisló la zona del Valle Medio del Magdalena de la zona de Los Llanos. La deformación estuvo dominada por la aparición de nuevas estructuras compresionales y por la inversión de las fallas pre-existentes que controlaban las cuencas. Ocurrió como resultado de la colisión de Panamá con Sur América (Cooper et al., 1.995). Evidencia de la deformación, levantamiento y erosión de la cordillera Oriental es la discordancia del Mioceno Medio correlativa entre las formaciones Honda y Real en el Valle Medio.

Depósitos erosionales testigos de la denudación de la Cordillera Occidental están preservados en los 3.000 a 3.500 m de sedimentos clásticos gruesos continentales de la formación Guayabo en la cuenca de Los Llanos, los cuales se depositaron aproximadamente en el lapso comprendido entre los pasados 10 y 2 millones de años (Cooper et al., 1.995).

La deformación y el levantamiento de la Cordillera Oriental son aún activos, causando periódicamente sismos concentrados en la zona del Piedemonte Llanero.

2.2.3 Provincias geotectónicas en Colombia

De acuerdo con la evolución tectónica explicada en el punto anterior, en Colombia es posible identificar ocho provincias geotectónicas de occidente a oriente: La Faja Costera del Pacífico, La Cordillera Occidental, El Valle del Cauca, La Cordillera Central, El Valle Medio del Magdalena, La Cordillera Oriental, La Cuenca de los Llanos y la Cuenca de la Orinoquia / Amazonia. Separada de las anteriores, está identificada la provincia geotectónica de la Región del Caribe localizada al norte. (Ver Anexo 2.4 – Mapa de localización de Provincias).

A continuación, se hace una descripción de cada provincia geotectónica que involucra la característica de los terrenos geológicos, el estilo estructural y la distribución regional de las fallas más notables.

2.2.3.1 Provincia Geotectónica de la Faja Costera del Pacífico

Esta provincia está dentro del dominio de un ambiente tectónico activo donde ha tenido lugar desde el Cretáceo Medio una serie de eventos como el fenómeno de colisión entre dos placas tectónicas (una placa oceánica y otra continental) cuando ocurrió el salto de la zona de subducción hacia el occidente; un evento de obducción de corteza oceánica (terreno de Baudó) y finalmente el evento de subducción por el hundimiento de la placa oceánica debajo de la continental también conocido como límite de placas de borde destructivo. Toda esta serie de eventos ha propiciado la formación de una variedad de ambientes, los cuales aparecen identificados como cinturones de orientación norte – sur, así: un ambiente de corteza oceánica profunda (Serranía de Baudó) localizado en el lado occidental de la provincia; un ambiente de cuenca sedimentaria (Cuenca Atrato-San Juan) localizada en el centro de la provincia y un ambiente volcánico-magmático de arco de islas (Complejo volcánico-intrusivo de Mandé y Batolito de Acandí) ubicado en el extremo oriental de la provincia y constituyendo el lado oeste de la cordillera Occidental (Ingeominas, 1.988).

El ambiente de corteza oceánica está representado por la Serranía de Baudó, la cual se localiza entre el mar Pacífico y el valle de los ríos Atrato-San Juan. La litología consiste de basaltos, diabasas, andesitas, serpentinitas, tobas y aglomerados volcánicos, que predominan hacia el occidente de la serranía (Case, 1.974 en Ingeominas, 1.988, Galvis, 1.982). Así mismo, peridotitas y gabros también están presentes (Etayo et al., 1.983 en Ingeominas, 1.988). Mediciones radiométricas K/Ar indicaron edades entre 70 y 25 millones de años para los basaltos de la serranía de Baudó (Burgois et al., 1.982 en Ingeominas, 1.988). En esta misma serranía también han sido identificadas rocas sedimentarias como areniscas, calizas, lutitas, conglomerados y lodolitas, agrupadas en las formaciones del Oligoceno al Mioceno conocidas como Barrial, Truandó y Río Salado (Ingeominas, 1.988).

El ambiente de cuenca sedimentaria comprende el Geosinclinal de Bolívar (Schuchert, 1.935 en Galvis, 1.982) ubicado al sur de la provincia y la cuenca Atrato-San Juan localizada al norte. El Geosinclinal de Bolívar incluye varias formaciones conocidas como formación Suruco, del Eoceno (caliza, chert, arenisca, lutita y conglomerado en la base); formación Buenaventura, del Oligoceno (arenisca y arillolita); formación Tumaco, del Mioceno (lutita, arenisca, caliza fosilífera) y la formación Pato, del Plioceno (conglomerados, limolitas, areniscas, lentes carbonosos, tobas y ceniza volcánica (Bueno y Aguilera, 1.984 en Ingeominas 1.988). Hacia el borde oeste de la cordillera Occidental y en alrededores de Buenaventura han sido identificadas las formaciones Raposo del Plioceno (conglomerados, areniscas, limolitas y lodolitas), y Mallorquín (areniscas, limolitas y lodolitas de facies marinas, con un conglomerado fosilífero en la base. Estas dos formaciones fueron observadas en contacto lateral interdigitado en el río Mallorquín, por lo cual se cree que la formación Mallorquín es también Plioceno (Aspen y Nivia, 1.984 en Ingeominas , 1.988).

La Cuenca Atrato-San Juan está integrada por una serie de estructuras sinclinales alargadas que hacen parte del terreno Atrato- San Juan-Tumaco de Etayo et al. (1.983 en Ingeominas 1.988). Allí han sido diferenciadas las siguientes formaciones sedimentarias: formación Uva del Oligoceno-Mioceno (calizas); formación Napipí del Mioceno Medio (lodolitas y calizas); formación Sierra del Mioceno Superior (limolitas, lodolitas y areniscas) y la Formación Munguidó del Plioceno (lodolitas, areniscas, conglomerados) (Haffer, 1.967: Duque – Caro., 1.988 en Ingeominas, 1.988).

El ambiente volcánico-magmático comprende el Complejo volcánico-intrusivo de Mandé que incluye rocas volcánicas como basaltos, dacitas y riocacitas, y rocas ígneas intrusivas como gabros, dioritas, tonalitas y granodioritas, agrupados en el Batolito de Acandí, Batolito de Mandé, Batolito de Cerro El Cuchillo y una serie de pequeños stocks (Galvis, 1.982).

Estilo Estructural

La Provincia Geotectónica de la Faja Costera del Pacífico es geológicamente muy compleja porque está dominada por un modelo de tectónica de compresión que se originó por colisión y hundimiento de la Placa de Nazca bajo la Placa Suramericana, en una zona de subducción localizada en una fosa profunda mar adentro con dirección paralela a la línea de costa.

Dicho modelo muestra en superficie una serie de bloques deformados, alargados y fallados por cabalgamientos de dirección preferencial norte-sur, de terrenos de diferente origen constituidos por rocas oceánicas volcánicas acrecionadas al continente, rocas intrusivas y rocas sedimentarias.

El roce causado por el movimiento penetrativo de la placa oceánica, aparte de haber originado fenómenos volcano-magmáticos también ha causado un alto grado de actividad sísmica, por lo cual la costa Pacífica ha sido objeto de fuertes sacudidas por terremotos profundos y someros a lo largo de la historia del país, siendo catalogada como la zona con mayor riesgo sísmico en Colombia.

Estructuralmente esta provincia presenta dos sistemas de fallamiento: un sistema Norte- Sur muy notorio y un sistema Este – Oeste menos definido.

Al sistema norte – sur pertenecen las siguientes fallas: la falla de Utría de tipo inverso con bajo ángulo y vergencia al occidente, cuya brecha de falla sobrepasa en algunos casos los 5 km de anchura y La falla de Río Arusi que muestra evidencias de neotectonismo (Galvis, 1.982). La falla Naya-Micay con 300 km de longitud y dirección N30°E, que tiene evidencias de actividad tectónica reciente como el control del curso de los ríos, Satinga, La Tota, El Charco y Guapi. La falla Remolino-El Charco localizada al sur de la anterior constituyen un mismo sistema (Paris y Romero, 1.993); la falla de Bahía Solano, con una longitud de 150 km y orientación N – S a N 10°W presenta tasas de desplazamiento de 5 mm al año en el Holoceno (Page, 1.986 en Paris y Romero, 1.993a); la falla de Murindó con una longitud de 100 km y orientación N 15° W, presenta un grado de actividad moderado. A esta falla se le atribuye el terremoto de Murindó en 1.992 con una intensidad de 7,2 en la escala de Richter (Paris y Romero 1.993); la falla de Murri-Mutatá en la región Atrato – San Juan que tiene una longitud de 210 km, muestra actividad moderada en flujos de lodo además de la presencia de sag ponds (Paris y Romero, 1.993); la falla de Junín de orientación noroeste, observada en el río Brazo Seco en el piedemonte de la cordillera oin evidencias de neotectonismo (FUP)

Al sistema Este – Oeste pertenecen alineamientos con una definición no tan clara en algunos sectores, los cuales deben corresponder con fallas direccionales con una notable componente horizontal. Entre los alineamientos más notables se destaca uno a la altura de la población de Guapi, otro en el golfo de Buenaventura y otro en la ensenada de Virudú al sur de Cabo Corrientes (Galvis, 1.982). Más al sur aparece la falla de Tumaco cuyo alineamiento corresponde con este sistema (Paris y Romero, 1.993).

2.2.3.2 Provincia Geotectónica de la Cordillera Occidental

Esta provincia está constituida por un conjunto de rocas mesozóicas volcano-sedimentarias de afinidad oceánica, las cuales en el sector centro y sur de la cordillera se conocen como Grupo Diabásico (Nelson, 1.954 en Gálvis, 1.982) al miembro volcánico, y Grupo Dagua (Nelson, 1.957 en Galvis, 1.982) al miembro sedimentario. En el sector norte de la cordillera o región de Antioquia el grupo de rocas volcano-sedimentarias se denomina como Grupo Cañas Gordas (Alvarez, 1.971 en Gálvis, 1.982) el cual incluye según Alvarez y González (1.978 en Gálvis, 1.982) un grupo inferior sedimentario (formación Panderisco) y un grupo superior volcánico (formación Barroso).

El Grupo Diabásico es una secuencia cretácea de basaltos y diabasas con intercalaciones de chert, asociado a un grupo rocas ultrabásicas (Complejo Ultramáfico de Bolívar). El Grupo Dagua es una secuencia cretácea sedimentaria con evidencias claras de metamorfismo dinámico (meta-areniscas, meta-calizas, meta-cherts, pizarras filitas negras y rojas). Este miembro fue denominado posteriormente como Formación Cisneros por Barrero (1.979 en Ingeominas, 1.988) y aparece cartografiado con este mismo nombre en el mapa 1:250.000 de Ingeominas de 2001 revisado y actualizado por Alvaro Nivia, bajo la descripción de Metalimolitas, metachert y milonitas verdes. Imbrincación local de escamas de rocas volcánicas.

En el Grupo Cañas Gordas de edad cretácea, el miembro inferior sedimentario lo componen shales, grauwacas y liditas, y al miembro superior volcánico lo constituyen diabasas, basaltos y espilitas. También forman parte del Grupo Cañas Gordas algunos cuerpos intrusivos asociados como gabros feldespáticos.

El conjunto de rocas volcano-sedimentarias en varias partes de la cordillera aparece intruído por plutones gabroides cretáceos como el de Zabaletas, El Palmar, El Dieciocho, El Muñeco, Río Volcanes y El Tambor en el Valle del Cauca (Ingeominas, 1.988). Plutones y stocks del Terciario se destacan como el batolito tonalítico-diorítico de Anchicayá y el stock tonalítico de Pance (Brook, 1.984 en Ingeominas, 1.988); el intrusivo cuarzo-diorítico del Río Napi (Ingeominas-B.G.S.,1.990); los cuerpos intrusivos tonalítico-dacíticos de Suárez, Buenos Aires, Tambo, Munchique en el Cauca y Valle del Cauca (Ingeominas, 1.988); los stocks y batolitos que intruyen al Grupo Cañasgordas (Restrepo et al, 1.982 en Ingeominas, 1.988); los batolitos de Mandé y Acandí (Galvis, 1.982) ;la serie de stocks monzoníticos de Cerro Frontino, Morrogacho y Páramo Urrao (Alvarez y González, 1.978 en Ingeominas, 1.988); finalmente, el batolito de Farallones entre Antioquia y Chocó y el stock de Mistrató (Ingeominas, 1.988). Cuellos volcánicos a los cuales se asocian depósitos de lahar, intruyen rocas volcano-sedimentarias cretáceas que han sido identificados en imágenes de radar en las cabeceras de los ríos Napi, Brazo Seco y San Francisco en el lado oeste de la cordillera Occidental, al oeste de Guapi (FUP, 2.004).

Rocas ultramáficas cretáceas ocurren a lo largo de la cordillera Occidental como el Complejo Ultramáfico de Bolívar (Barrero, 1.979 en Ingeominas, 1.988) de edad cretácea; el Litodema Ultramáfico de Guapi (Ingeominas – B.G.S, 1.990) de edad cretáceo-terciaria, intruido por cuerpos granodioríticos de edad Terciario (Ingeominas – B.G.S, 1.990) que ocurren en la cabecera de los ríos Napi, Guapi y San Francisco, lo mismo que por cuellos volcánicos que evidencian una fase volcano– magmática continental asociada al modelo tectónico de subducción (FUP, 2004).

Otras formaciones sedimentarias cretáceas en la cordillera Occidental son las denominadas Río Piedras (limolitas, areniscas, lodolitas) y Ampudia (cherts, lodolitas, limolitas, lutitas) (Keiser, 1.954 en Ingeominas, 1.988). Secuencias sedimentarias terciarias constituidas en general por areniscas, conglomerados, limolitas, shale y lodolita están representadas por las formaciones Raposo y Mallorquín en el lado occidental de la cordillera mientras que en el lado oriental aparecen las formaciones Jamundí, Vijes, Chimborazo, Guachinte y Ferreira (Ingeominas, 1.988).

Estilo Estructural

La característica estructural de esta provincia está definida por el estilo tectónico de formación de la cordillera Occidental, identificado por acreción de material rocoso volcánico exógeno contra el continente. Los esfuerzos compresivos procedentes del occidente definieron discontinuidades de contacto regionales en cada acreción o adosamiento de corteza oceánica. Así mismo, se generaron fallamientos principales paralelos a la cordillera por deformación de los materiales rocosos pre-existentes a las fases sucesivas de acreción.

El tipo de fallamiento principal existente está caracterizado por la dirección Norte – Sur a Nor-noreste, el cual consta de fallas de cabalgamiento profundas con vergencia al occidente, y fallas secundarias oblicuas menos frecuentes con desplazamiento lateral y dirección que se aproxima

más al rumbo Este – Oeste, las cuales en casi la mayoría de los casos desplazan a las fallas del grupo principal.

Pertencen al grupo principal las fallas de El Tambor y el sistema Junín – Sambiambi, un grupo de fallas de cabalgamiento con vergencia al occidente, localizadas en el costado oeste de la cordillera Occidental y las fallas Cali – Patía, Dagua – Calima y Roldanillo en el costado oriental.

El grupo de fallas Cali – Patía también conocido como Cauca – Patía forman parte del Megashear de Dolores definido por Campbell (1.965 en París y Romero, 1.993) el cual tiene un desarrollo más evidente en el suroeste del país.

La falla Dagua – Calima es de tipo normal con el bloque occidental levantado y tiene una longitud de 100 km. En trincheras excavadas se encontró en suelos y cenizas volcánicas desplazamientos de 400 m como síntoma de actividad reciente (Woodward – Clyde Consultants, 1.983 b). Otra evidencia de neotectonismo de esta falla se destaca el desplazamiento de 400 m de una superficie de erosión terciaria. En el terreno presenta rasgos notables como facetas triangulares, estructuras en copa de vino y una traza de línea de falla pronunciada, y tiene tasas de desplazamiento moderada a baja (París y romero, 1.993). Sin embargo, en la carretera Buga – Buenaventura unos 500 m antes de Loboguerrero, se observa en el talud de corte un componente de cabalgamiento con vergencia al occidente en la falla Dagua - Calima.

Al grupo secundario pertenecen las fallas de Garrapatas y La Argelia cuyo origen se atribuye al emplazamiento del arco del Chocó, así como fallas menores, zonas de cizalla y lineamientos foto geológicos.

2.2.3.3 Provincia Geotectónica del Valle del Cauca

Fisiográficamente la Provincia Geotectónica del Valle del Cauca está definida por un valle de amplitud variable entre 4 km en su parte más angosta a la altura de Buga y 30 km en su parte más ancha frente a Cali y Florida.

Geológicamente el Valle del Cauca está constituido por un basamento de rocas ígneas volcánicas sobre el cual yace una secuencia de rocas sedimentarias terciarias, y discordantemente encima de estas un amplio y grueso depósito de sedimentos cuaternarios principalmente aluviales, desarrollados de una parte por el río Cauca y de otra parte por un cordón de abanicos coalescentes deyectados por las corrientes de agua tributarias en ambos costados del valle (Ingeominas, 1.992).

El Valle está limitado al occidente por el flanco oriental de la Cordillera Occidental, el cual está constituido por rocas volcánicas cretáceas en la parte media y alta, y por rocas sedimentarias terciarias semi-cubiertas por abanicos aluviales y sedimentos aluviales del río Cauca en la parte baja. Las rocas volcánicas del cretáceo que se encuentran en la zona de estudio corresponden predominantemente a diabasas, basaltos y lavas almohadilladas. Adicionalmente se han identificado dos grupos de rocas, el primero de los cuales se denomina Kvs y esta conformado principalmente por rocas sedimentarias de litología correspondiente a shales, areniscas y chert y el segundo, denominado Kvb, corresponde a brechas volcánicas. Las rocas pertenecientes al segundo grupo hacen parte muy importante de la Cordillera Occidental y los afloramientos se pueden observar a lo largo de los valles de los ríos Calima y Dagua. Estas unidades se encuentran en contacto tectónico con otras rocas del Cretáceo tales como las Formaciones Espinal y Cisneros que aparecen diferenciadas en el mapa de Ingeominas del Valle del Cauca. Los cuerpos intrusivos están conformados por gabros cretáceos y terciarios y las rocas

sedimentarias por las formaciones Guachinte y Ferreira constituidas por secuencias de areniscas, shales y mantos de carbón, los cuales afloran en el piedemonte oriental de la Cordillera Occidental, al sur-occidente de la ciudad de Cali. Esto ha sido diferenciado en el mapa geológico del Valle del Cauca de 1992, elaborado por Ingeominas, con los símbolos Tog yTof respectivamente.

La Formación Jamundí está conformada por un glacis de acumulación en el costado Occidental del Valle del Cauca. En la zona del río Pance y en territorios que se extiende hacia el sur, está conformado por abanicos no consolidados. Dichos abanicos se encuentran en un modelo interpretado de las fotografías del vuelo C1514 No 101, como abanicos de primera generación. En el mapa de Ingeominas se ha diferenciado con el símbolo TQj..

En la parte baja, en límites con el relleno cuaternario del Valle del Cauca, yacen discordantemente o en contacto fallado con las rocas ígneas volcánicas, una faja de rocas sedimentarias terciarias moderadamente plegadas tales como la formación Cinta de Piedra (areniscas y arcillolitas) al nor-orientado de Sevilla; la formación La Paila (conglomerados, areniscas, arcillolitas en la parte superior, y tobas volcánicas en la inferior), que aflora al orientado de Tuluá y Buga, La Pobreza (conglomerados); la formación Vilela (conglomerados de clastos de basalto y tobas arenosas) que aflora al orientado de Palmira y Pradera y Zarzal conformada por depósitos sedimentarios de arenas tobaceas y arcillas. Estas formaciones sedimentarias se presentan parcialmente cubiertas por depósitos del plio pleistoceno correspondientes a conos aluviales coalescentes, los cuales descendieron torrencialmente por los cañones de los ríos tributarios (Ingeominas, 1.992).

Estilo Estructural

En el Valle del Cauca las fallas y alineamientos principales existentes parecen seguir una orientación similar a las fallas dominantes en la cordillera Occidental, es decir, cabalgamientos con vergencia al occidente. En el costado oriental del valle aparece la falla de Palmira – Buga, cuya traza se presenta cubierta por sedimentos cuaternarios en su mayor parte, aflorando solamente al orientado de Buga, donde coloca en contacto un cuerpo intrusivo de gabros del Cretáceo con rocas sedimentarias de la formación La Paila. El trazado de esta falla pasa muy cerca de Palmira y Buga y se pierde al sur de San Pedro sepultada por los sedimentos cuaternarios (Ingeominas 2.001).

Por el mismo costado oriental del valle, el trazado de otras dos fallas se interna en la planicie del relleno aluvial frente a Pradera y Candelaria para emerger más al norte en el macizo de la cordillera Central: se trata de las fallas de cabalgamiento con vergencia al oeste Guabas – Pradera y Potrerillos. Estas fallas que pertenecen al sistema Romeral, presentan trazos con evidencias de ruptura cuaternaria y rasgos neotectónicos como escarpes de hasta 15 m de altura a lo largo de varios kilómetros, corrientes desplazadas, silletas y facetas triangulares en abanicos aluviales. Las tasas de desplazamiento para estas fallas ha sido estimada como moderada a baja (París y Romero, 1.993).

Por el costado occidental del valle, existe una falla marginal entre la planicie aluvial cuaternaria y basaltos de la formación Volcánica, denominada como falla Cali – Patía ya descrita en el numeral anterior (Ingeominas, 2.001).

Hacia el norte de La Paila son frecuentes los lineamientos de dirección Noroeste – Sureste, algunos de los cuales definen fallas como la falla de Las Cañas y la falla de Vallejuelo (Ingeominas, 2.001). De estas fallas no se tiene conocimiento de actividad reciente.

2.2.3.4 Provincia Geotectónica de la Cordillera Central

La Cordillera Central está conformada por un núcleo de rocas metamórficas muy antiguas precámbricas (neises, anfibolitas y esquistos que afloran en el río Amoyá, cerca de San José de Las Herosas) y paleozóicas también de naturaleza metamórfica, representadas en la parte norte de la cordillera por el Grupo Valdivia (Hall et al., 1.972 en Ingeominas 1.988) y el Grupo Ayurá – Montebello (Botero, 1.963 en Ingeominas i.988). En la parte central aparece el Grupo Cajamarca Nelson (1.957) el cual aflora desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta el sur del Ecuador, y el Complejo Arquía. Intruyendo a estas dos últimas unidades geológicas se presenta el batolito de Santa Bárbara, una cuarzodiorita-tonalita de edad aproximada Paleozóico / Triásico (Ingeominas, 1.992).

Rocas del Mesozóico aparecen en la parte más occidental de la Cordillera Central, las cuales se agrupan en cuatro unidades geológicas: la Formación Quebradagrande de González (1.978 en James, 1.986) compuesta por grauwacas, shales, chert, cuarcita y caliza con intercalaciones de diabasa, la Formación Amaime, el Macizo Ofiolítico de Ginebra y el Conjunto de Rocas Metamorfitas de Alta Presión. Este último incluye esquistos de glaucofana y eclogitas que se presentan como grandes fragmentos encajados dentro de la masa de Esquistos paleozóicos de Bugalagrande (Ingeominas, 1.992). La litología de la formación Amaime está compuesta por flujos masivos localmente almohadillados de basaltos toleíticos y el Macizo Ofiolítico de Ginebra está constituido por anfibolitas y gabros, rocas ultramáficas y gabros. Las metamorfitas de alta presión corresponden a los esquistos de Barragán conformados por esquistos de glaucofana y otro miembro cartografiado como eclogitas.

Rocas intrusivas mesozóicas están representadas por el Batolito de Ibagué (Ibagué) de edad jurásica (cuarzodiorita, granodiorita a tonalita); el Batolito de Buga (Buga) de edad cretácea (cuarzodiorita, tonalita) que intruye al Macizo Ofiolítico de Ginebra (Ginebra - Valle) y a la formación Amaime (cuenca inferior río Amaime); el Complejo de Córdoba – Río Lejos del Cretáceo (diorita a cuarzodiorita) que aflora al oriente de Palmira entre las localidades de Agua clara y La Buitrera; el Complejo del Río Navarco que agrupa a una serie de cuerpos intrusivos cretáceos o stocks de composición cuarzodiorítica; los Stocks Cuarzodioríticos cretáceos emplazados a lo largo de la falla Cauca – Almaguer (Ingeominas, 1.992), que afloran en el río Nabarco por la Carretera Ibagué - Armenia.

El registro de rocas del Cenozoico se inicia en la Cordillera Central con la depositación de sedimentos marinos en la zona comprendida entre las proto-cordilleras Occidental y Central representados por las formaciones del Paleoceno / Eoceno tales como Esmita descrita en el valle del río Esmita (Depto Cauca) y Cauca (cuenca del río Patía) en el suroccidente del país (James, 1.986). Cambios en el ambiente de depositación a condiciones cenagosas continentales originaron la depositación en el costado oriental de la cordillera de las formaciones Amagá que afloran al Oriente de Antioquia en las cercanías de Amagá y Fredonia constituida por conglomerados y arcillolitas con mantos de carbón y la formación Gualanday que aflora entre Chicoral y Gualanday por la carretera Girardot – Ibagué constituida por conglomerados, areniscas y arcillolitas.

En el Valle del Cauca del lado de la cordillera Central (Mapa Geológico del Valle del Cauca Ingeominas 1992), se han registrado dentro del Oligoceno (de la más antigua a la más reciente)

las Formaciones que a continuación se enumeran Formación Cinta de Piedra, La Paila que afloran al Oriente del Municipio de la Paila y La Pobreza aflora en los flancos del valle del río Pijao estas se caracterizan por ser rocas sedimentarias de origen continental en donde predominan las areniscas y los conglomerados con algunas intercalaciones de arcillolitas; en el Plioceno conservando el mismo orden cronológico se han depositado la Formación Vilela, Zarzal y Armenia las dos primeras se caracterizan por la presencia de areniscas tobáceas y arcillas, la Formación Vilela aflora en el cañón del río del mismo nombre al Sur Occidente de la Hacienda la Ruiza y la Formación Zarzal en los alrededores de este municipio al Norte del Valle del Cauca, la Formación Armenia hace parte del gran glacis de acumulación conformado por lahares y cenizas volcánicas siendo este evento el más reciente y cubre una gran extensión

Sedimentos cuaternarios importantes en la Cordillera Central están representados principalmente por el Abanico del Quindío, el Abanico Aluvial de Ibagué, los depósitos de lahar del costado occidental de la cordillera, el relleno aluvial del Valle del Cauca y Valle del Magdalena y los cordones de abanicos coalescentes que limitan los costados de dichos valles.

Al oriente, el Valle aparece limitado por la cordillera Central en la cual, en su parte, alta afloran rocas paleozoicas de naturaleza metamórfica, representadas por el Grupo Cajamarca (esquistos verdes, esquistos cuarzo sericíticos, cuarcitas, mármoles) y el Complejo Arquía (comprende los Esquistos de Bugalagrande, las Anfibolitas del Rosario y los Metagabros de Bolo Azul) (Ingeominas, 1.992).

En la parte media de la cordillera aparece la faja Jurásico inferior / Cretáceo de la formación Amaime, compuesta fundamentalmente por gabros. Hacia el piedemonte y la parte baja se presenta el Macizo Ofiolítico de Ginebra (peridotita, dunita, gabro, basalto) de edad similar al anterior, el cual está intruído por el Batolito de Buga (cuarzodioritas) de edad cretácea (Ingeominas , 1.992).

Estilo Estructural

El flanco oriental de la cordillera constituido por el terreno metamórfico del Paleozóico inferior (Grupos Cajamarca y Valdivia) hace parte de un prisma acrecionario del Ordovícico que fue adosado o continentalizado al terreno Pre-Cámbrico del escudo de La Guyana a lo largo de una megasutura que hacia el norte de Ibagué está representada por la falla de La Palestina y hacia el sur por estructuras fraccionadas similares al sistema Palestina.

En el flanco occidental la secuencia de rocas oceánicas volcánico – sedimentarias alóctonas cretáceas (formación Quebradagrande), fue acrecionada al terreno metamórfico paleozóico continental posiblemente en un período comprendido entre el Cretáceo Medio y Terciario más inferior. El límite tectónico entre el terreno metamorfo-continental y el terreno oceánico lo marca la falla de San Jerónimo también conocida como Aranzazu – Manizales, discontinuidad estructural generalmente referida al sistema Romeral.

En la cordillera Central las estructuras tienen dirección general norte – sur, destacándose en el lado oriental fallas transcurrentes como la de Cataima, Chapetón – Pericos, Ibagué y La Palestina. En el lado occidental sobresale el sistema de fallas de Romeral.

También están presentes algunas fracturas y alineamientos discontinuos de orientación general noroeste – sureste conocidas como fallas tipo Salento, las cuales guardan notable interés por sus características mineralizantes.

Sobre una parte de la ciudad de Ibagué aparece la falla de Ibagué con 80 km de longitud, dirección Noreste y desplazamiento de rumbo lateral derecho. Su actividad neotectónica ha sido registrada por desplazamientos en sedimentos cuaternarios, evidencias de lomos de presión, control de drenajes, escarpes de línea de falla alineados con los lomos de presión. El bloque sur de la falla está por lo general levantado con respecto al bloque norte (París y Romero, 1.994). La actividad de la falla de Ibagué es moderada a alta (Page, 1.986 en París y Romero, 1.994). Al noreste de Ibagué la falla toma rumbo hacia el Valle del Magdalena el cual cruza y más adelante parece internarse en el piedemonte de la cordillera Oriental donde desaparece. La falla de Chapetón-Pericos converge en la falla de Ibagué al sur de esta ciudad y marca el límite más occidental del Batolito de Ibagué en el trayecto Ibagué-Calarcá.

La Falla de Cataima cuyo trazo se localiza al oeste de la falla Chapetón-Pericos define una faja angosta de intensa fracturación y cizalla en la cual aflora una serie intercalada de rocas de diferente litología, entre las que se reconocen mármoles, cuarcitas, esquistos, apófisis de granodioritas foliadas por cataclasis, intrusiones porfíricas que siguen el control de discontinuidades de dirección general este - oeste tipo Salento, y brechas de falla. Así mismo, dentro de esta faja aparecen rocas muy antiguas precámbricas como anfibolitas y mármoles del Complejo de Tierradentro (Ingeominas, 1.982).

El sistema de fallas de Palestina de dirección Noreste alcanza una longitud de 250 km, tiene movimiento lateral izquierdo y presenta actividad neotectónica identificada solo en el Cuaternario. La tasa de desplazamiento de esta falla es baja a muy baja (París y Romero, 1.994). Sin embargo en el sector entre Ibagué y Armenia al este de La Línea este sistema de fallas se aprecia en imágenes satelitales con comportamiento de falla de rumbo que alterna con ramales escalonados de cabalgamiento con vergencia al occidente.

El Sistema de Fallas de Romeral consiste de un conjunto de fallas de dirección norte a noreste, de disposición paralela a sub-paralelas, localmente trenzadas, las cuales se extiende desde la dorsal de Grijalba y Alvarado en el Pacífico ecuatorial, hasta el mar Caribe en el norte de Colombia (París y Romero, 1.993). El sistema de Romeral marca regionalmente el límite entre las rocas oceánicas situadas en el lado occidental, de las rocas de ambiente continental situadas en el lado oriental de la falla. Campbel (1.965 en París y Romero, 1.992) consideró a esta falla como un megashear dextral.

Las fallas de Romeral tuvieron un movimiento dextral durante el Cretáceo por efectos de la placa Caribe y la acreción de la Cordillera Occidental. Sin embargo, por la compresión ejercida por el arco de Panamá – Baudó durante el Mioceno – Plioceno, las fallas de Romeral y todas aquellas contemporáneas desarrollaron un movimiento lateral izquierdo. Este último movimiento se conserva en el norte del país, a diferencia del suroccidente donde se mantiene su carácter inverso así como la componente lateral derecha (París y Sauret, 1.993 en París y Romero, 1.993).

Pertencen al Sistema de Romeral las fallas de Piendamó, Julumito, Rosas – Julumito, Guabas – Pradera, Potrerillos, Silvia – Pijao, Buesaco y Cauca – Almaguer.

La falla de Piendamó es una falla inversa lateral derecha de dirección N15°O y 35 km de longitud, con actividad baja a moderada (París y Romero, 1.993). La falla de Julumito tiene una longitud entre 30 y 50 km con dirección variable Norte – Sur a Nornoroeste. Presenta un segmento activo de unos 17 km de longitud desde el Plioceno con episodios de compresión y distensión (BLES, et al., 1.989 en París y Romero, 1.993). La falla Silvia – Pijao (Buesaco en Nariño) tiene unos 600 km de longitud y es la que mayor relevancia presenta en sus rasgos morfotectónicos (París, 1.993 en París y Romero, 1.993). Regionalmente esta falla marca el

límite occidental de la formación Quebradagrande con las metamorfitas del Grupo Arquía. La falla de Buesaco en el departamento de Nariño presenta características morfotectónicas tales como corrientes desplazadas, lomos de obturación, lagunas de falla y depósitos cuaternarios confinados (Romero, 1.993 en París y Romero, 1.993).

2.2.3.5 Provincia Geotectónica del Valle del Magdalena

Geográficamente el Valle del Magdalena ha sido dividido en tres segmentos de sur a norte: El Valle Superior que comprende desde su nacimiento hasta la localidad de Piedras – Guataquí, aguas debajo de Girardot. El Valle Medio desde la localidad anterior hasta El Banco (Magdalena) y el Valle Inferior desde el sitio antes mencionado hasta su desembocadura en el mar Caribe.

Geológicamente la estratigrafía de la Cuenca del Magdalena comienza en el Paleozoico Superior y termina en el Reciente, con el registro de algunos hiatos. Rocas del pre – Cretáceo solo afloran en el Valle Superior, pues en la mayor parte de toda la cuenca predominan rocas del Cretáceo, Terciario y sedimentos del Cuaternario (Ingeominas 1.988).

Las rocas pre – cretáceas están representadas por areniscas, shales y calizas marinas del Paleozoico Superior, las cuales afloran al sur de Neiva (Stibane y Forero, 1.969 en Ingeominas, 1.988).

Rocas del Triásico – Jurásico están agrupadas bajo el nombre de Grupo Payandé que aflora en diferentes localidades entre Neiva y Girardot. Este grupo está integrado por tres unidades formacionales: la más antigua es la llamada formación Luisa, compuesta de capas rojas de ambiente continental (Geyer, 1.973 Cediél et al., 1.980 en Ingeominas 1.988). La unidad intermedia conocida como formación Payandé, compuesta por rocas calcáreas fosilíferas (Trumpy, 1.943 en Ingeominas, 1.988). La unidad más joven está representada por la formación Saldaña, constituida por flujos de lava y tobos con intercalaciones de capas sedimentarias, localmente intruídas por plutones graníticos y pórfidos andesíticos (Cediél et al., 1.980, 1.981 en Ingeominas, 1.988).

Rocas del Cretáceo afloran en todo el Valle Superior, y en el Valle Medio afloran en el lado oriental y extremos norte y sur. En el Valle Alto comprenden areniscas, lutitas, calizas, liditas y rocas fosfóricas agrupadas en formaciones tales como Caballos, Villeta y Guadalupe-Monserrate las cuales aparentemente reposan en concordancia sobre conglomerados, areniscas y arcillolitas de la formación Yaví (Mojica y Macía, 1.983b en Ingeominas, 1.88). Limolitas, lutitas, areniscas, calizas, arcillolitas y ocasionalmente carbón es la litología más común en el Valle Medio, agrupadas en formaciones tales como Tambor, Rosablanca, Paja, Tablazo, Salto, La Luna, Umir.

Rocas sedimentarias del Terciario en el Valle Alto y Medio son de origen continental, constituidas por conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas agrupadas en el Valle Superior por las formaciones Guaduas, Grupo Gualanday (Chicoral, Potrerillos y Doima), Honda y Gigante. En el Valle Medio por las formaciones Lisama, Grupo Chorro (La Paz, Esmeraldas), Grupo Chuspas (Mugrosa, Colorado), Real y Mesa.

La nomenclatura estratigráfica del Terciario en esta Cuenca Geotectónica es bastante compleja y en ocasiones confusa, debido a similitudes litológicas existentes entre las unidades formacionales (Ingeominas, 1.988).

Los sedimentos del Cuaternario en el Valle Superior son principalmente abanicos de origen volcánico, volcanoclástico, glacio fluvial y fluvial procedentes de las cordilleras Central y Oriental. En el Valle Medio han sido identificados depósitos lacustres, abanicos aluviales, terrazas y aluviones recientes (Ingeominas, 1.988).

Estilo Estructural

Estructuralmente el Valle del Magdalena presenta varios sistemas de fallamiento que constituyen los límites con las cordilleras Oriental al Este y Central al Oeste.

En el Valle Superior aparecen las fallas de Algeciras, Suaza y Sibundoy que limitan con la Cordillera Oriental. Limitan con la Cordillera Central las fallas de Dina y La Plata. De las anteriores, la falla de Algeciras de tipo fractura con rumbo lateral derecho, de 220 km de longitud y dirección Noreste, presenta evidencias de neotectonismo por desplazamientos de abanicos cuaternarios, lomos de presión, drenajes interrumpidos, ganchos de flexión, facetas triangulares y alineamientos con rasgos morfotectónicos (París y Romero, 1.994). La tasa de desplazamiento de la falla de Algeciras es moderada (Vergara, 1.993 en París y Romero, 1.994).

En el Valle medio, hacia el lado oriental de la Cordillera Central, aparecen segmentos de las fallas de Ibagué y la Palestina, así como las fallas de Mulato, Jetudo y Cimitarra. En límites con la Cordillera Oriental se presenta la falla de Salinas.

De las demás fallas citadas, las de Mulato y Jetudo con 185 km y 50 km de longitud respectivamente, también presentan actividad reciente con signos de desplazamiento muy bajo (París y Romero, 1.994). La falla de Cimitarra con 120 km de longitud desplaza depósitos sedimentarios del Cuaternario pero tasas de movimiento no han sido reportadas. Finalmente, la falla de Salinas es de tipo inverso (Taborda, 1.965 en París y Romero, 1.994), y tiene 250 km de longitud. Presenta actividad reciente mediante registros instrumentales (Sarria, 1.990 en París y Romero, 1.994).

2.2.3.6 Provincia Geotectónica de la Cordillera Oriental

La cordillera Oriental de Colombia antes de su levantamiento final en el Mioceno fue una cuenca sedimentaria entre el Mesozóico y gran parte del Cenozoico, siendo la más joven de las tres cordilleras

La cordillera está constituida por un núcleo de rocas tan antiguas como el Pre-Cámbrico y Paleozóico. Más tarde, una serie de eventos orogénicos así como de la depositación de sedimentos y la intrusión de algunos plutones en el Mesozóico, y finalmente la depositación sedimentaria en el Cenozoico, marcan las características fisiográficas actuales de esta cordillera (Ingeominas, 1.988). En esta cordillera han sido reconocidos varios macizos: el Macizo de Garzón, el Macizo de Santander y el Macizo de Floresta y Macizo de Quetame.

El Pre-Cámbrico está representado por el Macizo Granulítico de Garzón, constituido por rocas metamórficas de alto grado, neises félsicos, granitos, migmatitas y mármoles. Con esta secuencia aparecen los granitos sintectónicos de Guapotón y Mancagua. Hacia el sur, la prolongación de este macizo ha sido denominada como Complejo Migmatítico de Nariño (Ponce, 1.979 en Ingeominas, 1.988).

El Macizo de Santander comprende terrenos pre-cámbricos compuestos por neises graníticos (Neis de Bucaramanga), esquistos de alto grado y cuarzomonzonitas. La edad de las rocas metamórficas oscila entre 945 y 680 millones de años (Goldsmith et al., 1.971 en Ingeominas, 1.988) mientras que la edad K/Ar de la cuarzomonzonita de Pargua es 546 millones de años.

El Paleozóico está representado por unidades geológicas metamórficas como el Macizo de Quetame (esquistos cloríticos y filitas violáceas, cuarcitas y pizarras) de edad inferida cambro – ordoviciana, suprayacida en discordancia angular por la serie del Devónico Medio. En el Macizo de Santander se encuentra la formación Silgará compuesta por esquistos, filitas y pizarras, recubiertos discordantemente por sedimentos devónicos e intruídas por pegmatitas entre 448 y 465 millones de años (Restrepo et al., 1.982 en Ingeominas 1.988).

En el Macizo de Floresta, la formación devónica fosilífera de La Floresta (Caster, 1.939 en Ingeominas, 1.988) suprayace discordantemente a un complejo metamórfico de esquistos y neises de la formación Cucho.

En Mogotes, Serranía del Perijá (Forero, 1.970 a, en Ingeominas, 1.994), en cercanías de Ocaña la formación sedimentarias de conglomerados y areniscas de Las Mercedes (Bayer, 1.973 en Ingeominas 1.988), así como las areniscas cuarzosas y conglomerados en cercanías de Colombia, Huila y la formación La Jagua (Stibane y Forero, 1.969 en Ingeominas, 1.988) son unidades representantes del Devónico.

Del Carbonífero han sido reportados afloramientos en la Serranía del Perijá, La Jagua (Huila), Páramo de Sumapaz, Gachalá, Río Nevado (Santander), Pamplona-Labateca (N. de Santander) y El Cerrejón (Guajira); los afloramientos se caracterizan por la alternancia de sedimentos rojos con calizas biogénicas.

Rocas del Mesozóico en la Cordillera Oriental se signan por lo general como pre-cretáceas al conjunto Triásico/Jurásico, representado por secuencias litológicas volcánicas, volcanosedimentarios y sedimentarios intercalados con capas rojas, los cuales sin registro fosilífero dificultan su ubicación cronológica (Mojica y Macía, 1.983 a, en Ingeominas 1.988). Pertenecen a estos períodos la Formación Batá (Mojica y Macía, 1.983 a en Ingeominas, 1.988) y la Formación Bocas (Remy, 1.975 en Ingeominas, 1.988).

Magmatismo mesozóico se registra en el Macizo de Santander con plutones y batolitos agrupados en el Grupo Plutónico de Santander datados radiométricamente (K/Ar) (Goldsmith et al., 1.971; Boinet, 1.985 en Ingeominas, 1.988). Cuerpos pequeños de granito y cuarzomonzonita del Jurásico (Sillitoe et al., 1.982) intruyen rocas volcano-sedimentarias triásico-jurásicas de la región de Prado-Dolores

Vulcanismo importante se desarrolló en centros eruptivos como en Ocaña (N. de Santander) y en el eje Prado – Dolores (Tolima), donde se produjeron cantidades enormes de piroclastitas y rocas efusivas, con intercalaciones de conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas. Afloramientos de estas secuencias volcano-sedimentarias se conocen en la Serranía del Perijá, Macizos de Santander y Floresta, y en los departamentos del Huila y Tolima (Ingeominas, 1.988).

Del Cretáceo, rocas sedimentarias marinas ocupan extensas zonas de la Cordillera Oriental, preferentemente en la zona central y hacia la Serranía del Perijá. Análisis paleontológicos (Etayo, 1.964; 1.969; 1.979 en Ingeominas, 1.988) permitieron concluir que una transgresión marina que se inició en el Berriasiano en la zona central de la cordillera (Boyacá, Cundinamarca y Meta) y produjo sedimentos en más de 10.000 m de potencia. Luego, en el Hauteriviano-Berriasiano el mar avanzó hacia el norte (Santander y Serranía del Perijá) hasta unirse con el

mar cretáceo de La Guajira en el Aptiano. Hacia el sur el avance del mar fue más lento hasta llegar al suroriente del Tolima y nororiente del Huila en el Aptiano-Albiano. El ciclo transgresivo culminó a finales del Cretáceo.

Formaciones que representan el período Cretáceo se mencionan hacia el lado oriental y central de la cordillera las formaciones Cáqueza, Fόμεque, Une, Chipaque y Guadalupe, así como las correlacionables Macanal, Las Juntas, Aguardiente, Capacho, La Luna y Colón-Mito Juan. Hacia el lado occidental de la cordillera se conocen las formaciones Arcabuco, Rosablanca, Ritoque, Paja, San Gil, Churuvita y Conejo. En el sector de la Sierra nevada del Cocuy se reconocen las formaciones Tibú, Mercedes, Aguardiente, Cogollo y las ya nombradas La Luna, Colón y Mito-Juan.

En el Terciario la sedimentación se caracterizó por la depositación de frecuentes secuencias conglomeráticas y arenáceas que reflejan movimientos tectónicos y episodios orogénicos (Van Der Hamen, 1.958 en Ingeominas, 1.988) así como limolitas y arcillolitas. Unidades representativas de este período en el lado oriental de la Cordillera Oriental (Piedemonte Llanero) y zona del Catatumbo se representan en las formaciones Barco, Los Cuervos, Mirador Carbonera, León, Guayabo y Necesidad. En la Sabana de Bogotá aparecen las formaciones Guaduas, El Cacho, Bogotá, Regadera, Usme y Tilatá y en la zona de Paz de Río las formaciones Guaduas, Socha, Picacho y Concentración.

En el Cuaternario las acumulaciones de sedimentos más importantes de la Cordillera Oriental se encuentran en la Sabana de Bogotá. Se trata de arcillas, arenas y gravas de la parte superior de la formación Tilatá (Scheibe, 1.934 en Ingeominas, 1.988) de ambiente fluvial, y arcillas y arenas con materia orgánica de la formación Sabana (Hubach, 1.957 a, en Ingeominas 1.988) de ambiente lagunar, depositadas entre el Pleistoceno y Holoceno. En otras partes de la cordillera han sido identificados abanicos aluviales, coluviones y aluviones recientes.

Estilo Estructural

La cordillera Oriental se caracteriza estructuralmente por tener doble vergencia. Su forma es asimétrica y los flancos oriental y occidental en general han sufrido más levantamiento que la parte central, de tal manera que las rocas más antiguas están expuestas a lo largo de los flancos, mientras que las rocas más jóvenes están preservadas en el sinclinorio central del altiplano (Dengo and Covey, 1.993).

La gruesa secuencia de sedimentos cretáceos y terciarios que constituyen la cordillera, ha sido deformada y encajada dentro de un modelo estructural de cinturón de plegamiento y cabalgamiento con vergencia al Este en el flanco oriental, y un cinturón de plegamiento y cabalgamiento con vergencia al Oeste en el flanco occidental (Restrepo y Villamil, 1.993).

Grandes fracturas regionales limitan el tren de la Cordillera Oriental principalmente en sus costados, algunas con orientación Noreste a lo largo de toda la parte sur y centro de la cadena montañosa (falla de Salinas, falla de Suárez y sistema de fallas del Borde Llanero), y otras con orientación Noroeste (falla de Bucaramanga) hacia la parte norte de la cordillera en la Serranía de Perijá (Ingeominas, 1.988).

El sistema de fallas del Borde Llanero también conocido como Falla Frontal de la Cordillera Oriental, es una serie de fracturas que se extiende desde el Ecuador, hasta el empalme con el sistema de Fallas de Boconó a través de las fallas curvadas de Pamplona y Chitagá (París y

Sarria, 1.980 en París y Romero, 1.994) en límites con Venezuela. Tiene una orientación N30° a 40°E y longitud de aproximadamente 1.000 km. De este sistema hacen parte los segmentos llamados fallas de Florencia y Mocoa, falla de El Zorro, falla de Servitá – Santa María, falla de Guaicaramo y falla de Yopal (París y Romero, 1.994).

El sistema tiene un gran desplazamiento inverso o cabalgante con una componente horizontal en sentido lateral derecho, siendo su tasa de desplazamiento moderada a baja. Los rasgos neotectónicos predominantes son los escarpes de falla a lo largo de varias decenas de kilómetros desarrollados en abanicos cuaternarios. También son comunes las terrazas basculadas, los pliegues recientes y los cabalgamientos de rocas terciarias sobre sedimentos cuaternarios del borde llanero (París y Romero, 1.994).

Las fallas de Florencia – Mocoa, son fallas profundas de tipo inverso con buzamiento hacia el occidente, que se extienden paralelamente al piedemonte hasta el Ecuador (CIMOC, 2.002). La falla de Servitá – Santa María es una falla inversa con vergencia hacia Los Llanos Orientales que se extiende desde el sur de Acacías (Meta) hasta el norte de Santa María (Boyacá). Esta falla presenta evidencias de tectónica reciente en varios segmentos (CIMOC, 2.002).

La falla de Guaicaramo es una falla inversa de orientación NE y buzamiento al Noroeste que presenta actividad reciente representada por rupturas y basculamientos de terrenos cuaternarios. Se le ha calculado una tasa de actividad de 2 mm/año (CIMOC, 2.001).

Hacia el norte de la cordillera, el segmento sur de la falla de Santa Marta - Bucaramanga se interna en la cordillera oriental perturbando estructuras importantes. La falla tiene una dirección N20°W y una longitud de 550 km, con movimiento inverso lateral izquierdo. La falla produce un desplazamiento vertical de más de 1.200 m de una antigua zona de erosión. La meseta de Bucaramanga está siendo afectada por la actividad de esta falla. El sector con mayores rasgos neotectónicos se presenta al norte de Bucaramanga y en algunos sectores del sur de esta ciudad. Los rasgos más notables de la traza en el terreno son los lomos de flexión o ganchos, corrientes desplazadas, lagunas de falla, escarpes de falla (París y Romero, 1.994).

La falla tiene una tasa de desplazamiento moderada, calculada con base en geometría resultante de rasgos morfotectónicos, siendo su principal actividad pre-holocénica (París y Sarriá, 1.987).

La falla de Suárez tiene una dirección N20°E y una longitud de 120 km. Esta falla intercepta la falla de Bucaramanga a pocos kilómetros al norte de esta ciudad. Es una falla inversa lateral izquierda que ha desplazado flujos de escombros cuaternarios. Así mismo, ha producido desplazamiento de más o menos 600 m a una superficie de erosión terciaria. Su tasa de movimiento es media a alta (París y Romero, 1.994).

2.2.3.7 Provincia Geotectónica de la Orinoquia / Amazonia

Esta provincia geotectónica de morfología plana está comprendida entre la Falla Frontal de la Cordillera Oriental al Oeste, el río Orinoco y la frontera con Brasil al Este, los ríos Arauca y Casanare al norte y río Amazonas al Sur.

Geológicamente comprende un basamento cristalino de rocas antiguas del Pre-Cámbrico y Paleozóico el cual forma parte del primitivo Escudo de La Guayana.

Sobre este basamento yacen rocas sedimentarias del Cretáceo Superior, Terciario y sedimentos del Cuaternario. La cobertura sedimentaria se adelgaza progresivamente desde el Piedemonte hasta la frontera con Brasil donde comienzan a aflorar las rocas más antiguas (Ingeominas, 1.988).

El conocimiento en detalle de la estratigrafía y adelgazamiento de la cobertura sedimentaria hacia el Este, ha sido comprobado en los estudios exploratorios que han realizado numerosas compañías petroleras desde 1.960 hasta el presente en la faja del Piedemonte y la adyacente Cuenca de Los Llanos. Una buena parte de la estratigrafía del Piedemonte (al menos desde el Cretáceo Superior hasta el Cuaternario) y el estilo estructural que caracterizan estas dos regiones son iguales. Cooper et al. (1.995) postuló que las cuencas del Valle Medio del Magdalena, Cordillera Oriental y Los Llanos constituyeron una gran cuenca sedimentaria regional desde el Triásico hasta el Mioceno Medio, cuando el episodio de deformación y levantamiento de la Cordillera Oriental aisló el Valle Medio del Magdalena de la cuenca de Los Llanos.

El Pre-Cámbrico en la provincia geotectónica de la Orinoquia/Amazonia está representado por rocas graníticas y metamórficas que conforman cerros aislados dispersos en el extremo oriental de la Amazonia y en la ventana de la Serranía de La Macarena. Las rocas graníticas comprenden plutones como el Granito de Parguanza y el Granito de El Remanzo (Bruneton et al., 1.982 en Ingeominas, 1.988). El primero de estos arrojó una datación de alrededor de 1.500 millones de años (Gaudette et al., 1.878 en Ingeominas, 1.988).

Otro agrupamiento de rocas cristalinas como granitos, riolitas, andesitas, basaltos, anfibolitas, neises y migmatitas es conocido como Complejo de Mitú. Estas rocas aparecen intruídas por diabasas y granófiros, destacándose el Granófiro de Tijereto. Algunos sectores del Complejo de Mitú aparece cubierto discordantemente por meta-areniscas de las formaciones Roraima y La Pedrera, así como por areniscas y lavas riódacíticas de la formación Piraparaná (Galvis et al., 1.979; Huguett et al., 1.979 en Ingeominas, 1.988). Las plutonitas ácidas han sido llamadas por Bruneton et al., (1.982 en Ingeominas, 1.988) como Granitos de Atabapo o San Felipe.

El Paleozóico aparece representado por rocas sedimentarias, ocasionalmente con metamorfismo de bajo grado y fauna del Ordoviciano que afloran en la Serranía de La Macarena bajo el nombre de Grupo Güejar (Julivert, 1.968 en Ingeominas 1.988). En la región de la Amazonia un grupo litológico compuesto por conglomerados, areniscas, arcillolitas y lutitas que conforman mesetas, se conoce por el nombre de formaciones Araracuara, Huitoto y Macaya (Herrera y Velásquez; Bogotá, 1.982 en Ingeominas, 1.988). En la primera formación citada han sido encontrados fósiles del Ordoviciano.

Rocas sedimentarias del Cretáceo Superior se conocen en la Serranía de La Macarena mediante perforaciones realizadas que reportaron areniscas, lutitas y calizas (Gabela, 1.985; Navas, 1.985; Pérez y Bolívar, 1.985).

Sedimentos del Cretáceo Superior normalmente reposan directamente sobre basamento sedimentario y metamórfico del Paleozóico en Los Llanos. Rocas del Triásico y Cretáceo Inferior están ausentes en los Llanos (Cooper, et al., 1.995). La excepción se tiene en pequeños paquetes de sedimentos del Jurásico hallados en pozos petroleros aislados (Numpaque, 1.986 en Cooper et al., 1.995).

El Terciario en la región de la Amazonia corresponde a sedimentos (lodolitas, areniscas, arcillolitas y mantos de carbón) de origen marino a continental lacustre que alcanzan espesores

entre 1.500 y 3.000 m. Esta secuencia aparentemente descansa sobre rocas del Paleozóico inferior y rocas cristalinas del Pre-Cámbrico (Govea y Aguilera, 1.985 en Ingeominas, 1.988). En el sector del Putumayo, solo existe una delgada cobertura de sedimentos continentales que reposan directamente sobre el basamento pre-cambriano (Cáceres y Teatín, 1.985 en Ingeominas, 1.988).

Sedimentos continentales terciarios están expuestos en la faja del Piedemonte, en todo el oriente y sur de la Orinoquia y en la en la Serranía de La Macarena (Govea y Aguilera, 1.985 en Ingeominas, 1.988).

El descubrimiento del campo Cusiana en 1.991 después de más de 30 años de exploración intermitente en la faja del Piedemonte, permitió tener conocimiento de la estratigrafía que existe debajo de la planicie de Los Llanos, al menos en la cuenca del Orinoco. Sedimentos del Cretáceo Superior y Terciario así como dos hiatos importantes en la secuencia han sido identificados en la cuenca de Los Llanos. Del Cretáceo Superior fueron identificadas las formaciones Gachetá y Guadalupe, y del Terciario las formaciones Barco, Los Cuervos, Mirador, Carbonera, León y Guayabo. Un hiato de aproximadamente 14 millones de años fue reconocido en el límite Cretáceo-Terciario y otro de aproximadamente 16 millones de años entre las formaciones Los Cuervos y Mirador. Esta secuencia sedimentaria reposa directamente sobre el basamento antiguo (Cazier et al., 1.995).

Estilo Estructural

El estilo tectónico de la provincia geotectónica de la Orinoquia / Amazonia presenta dos ambientes estructurales claramente definidos:

Un ambiente estructural hacia el borde occidental de la provincia del cual forma parte la faja del Piedemonte, donde los sedimentos cretáceos y terciarios fueron afectados por una fase compresiva durante el Mioceno Medio – Plioceno que formó grandes estructuras con el desarrollo de fallas de despegue de muy bajo ángulo que condujeron deformaciones estilo “thin skin” y estructuras invertidas de cabalgamiento (Gruyter et al., 1.994).

Otro ambiente estructural imperante hacia el centro y sector oriental de la provincia geotectónica, donde las perturbaciones en el basamento del Escudo de la Guayana causadas por la colisión de la placa de Nazca y las fases de deformación Andina son menores o inexistentes.

En la provincia, a raíz de las campañas exploratorias de hidrocarburos en la zona del Piedemonte y cuenca de Los Llanos, mediante sísmica de reflexión han sido identificadas en profundidad fallas de despegue de inversión con basamento involucrado y ruptura en superficie, tales como el sistema de fallas de Guaicaramo (Falla Frontal de la Cordillera Oriental, descrita en el numeral 2.2.6) que separa el Piedemonte de la cuenca de Los Llanos; la falla de Yopal, la falla de Cusiana y la Falla de Támara, localizadas al oriente de la Falla Frontal.

2.2.3.8 Provincia Geotectónica de la Región del Caribe

Por las características geomorfológicas que guarda esta provincia, pueden ser consideradas tres sub-provincias: Sierra Nevada de Santa Marta, Península de La Guajira y Llanura del Caribe.

Sub – provincia de la Sierra Nevada de Santa Marta

Se destaca como un macizo de forma triangular de expresión montañosa, con elevaciones superiores a cinco mil metros sobre el nivel del mar, limitada por grandes fallas y constituida por rocas ígneas y metamórficas. Por el lado suroccidental del macizo se presenta la falla de Santa Marta – Bucaramanga, por el lado norte la falla de Oca y por el lado suroriental aparece el Lineamiento del Cesar.

El macizo es geológicamente complejo, pues consta de un basamento antiguo de granulitas, neises (Neis de Buriticá) y esquistos. Las granulitas fueron datadas entre 1.300 y 1.400 millones de años y los esquistos arrojaron edades entre 945 y 680 millones de años (Tschanz et al., 1.974 en Ingeominas, 1.988). Así mismo, aparecen esquistos del Paleozóico, batolitos y plutones graníticos (Central, Aracataca, Bolívar, Atanques) del Triásico y Jurásico y capas rojas sedimentarias jurásicas con intercalaciones de espilitas y rocas piroclásticas. Plutones terciarios como el de Buriticá, y rocas sedimentarias de la misma edad han sido también reconocidos en el macizo.

Sub - provincia de la Península de La Guajira

Esta península aparece unida al continente por la depresión morfológica que forman la Sierra Nevada de Santa Marta y el piedemonte de la Serranía del Perijá. Está constituida fundamentalmente por rocas de basamento cristalino, sedimentos cretáceos y terciarios.

Las rocas más antiguas están compuestas por esquistos y neises paleozóicos de la formación Macuira (Mac Donald, 1.964; Lockwood, 1.965 en Ingeominas 1.988) y areniscas, calizas, margas y conglomerados continentales del Grupo Jororo (Burgl, 1.960 en Ingeominas, 1.988). Así mismo, aparecen filitas y esquistos cretáceos de la formación Jarara (Mac Donald, 1.964 en Ingeominas, 1.988).

El Jurásico de la Guajira está representado por unos 5.000 metros de sedimentos marinos de ambiente poco pertenecientes al Grupo Cocinas (Renz, 1.960 en Ingeominas, 1.988). De la misma edad está reportado un lacolito y derrames dacíticos que conforman la Serranía de Parashi.

El Cretáceo aparece representado por más de 3.000 metros de areniscas y lutitas de la formación Palanz (Rollins, 1.965). Los sedimentos del Terciario constituidos por calizas, areniscas, lutitas están localizados en la cuenca de Cocinetas, Chichibacoa y Portete, representados por las formaciones de Macarao y Nazareth (Thomas, 1.972; Duque-Caro, 1.975) y las formaciones Taroa, Gallinas y Orochó (Thomas, 1.972).

Sub-provincia de la Llanura del Caribe

Esta sub-provincia está constituida por terrenos planos de amplio relleno cuaternario, con algunas serranías conformadas por rocas terciarias.

Fisiográficamente pueden ser reconocidos tres elementos topográficos: Una plataforma y talud continental conformados por un prisma sedimentario de gran espesor que se extiende hacia el mar desde la línea de costa. Tierras planas ocupadas por llanuras y terrenos cenagosos y sistemas fluviales (ríos Magdalena, San Jorge y Sinú). Terrenos de serranías entre las que se diferencian las costeras de Abibe-Las Palomas y las serranías del interior San Jacinto, San Jerónimo y Luruaco (Ingeominas, 1.988).

Dos terrenos principales están contenidos en esta sub-provincia: el terreno San Jacinto y el terreno Sinú. Las condiciones tropicales de meteorización de la región han contribuido con el número limitado de afloramientos como información en superficie, sin embargo, información geofísica, sedimentológica, petroquímica y paleomagnética definen aceptablemente los límites entre estos dos terrenos.

El terreno San Jacinto contiene basamento toleítico intercalado con sedimentos marinos profundos carbonáceos, chert, lodolitas y calizas de edad Cretáceo superior, suprayacidas por turbiditas de afinidad continental. El terreno Sinú tiene un basamento similar pero estructuralmente diferente y las turbiditas suprayacentes son del Oligoceno. Estos terrenos fueron acrecionados a la margen continental en el Eoceno y Mioceno respectivamente.

Estilo Estructural

Los rasgos estructurales sobresalientes de la provincia geotectónica de la Región del Caribe son diferentes para cada sub-provincia, así:

En la sub-provincia de la Sierra Nevada de Santa Marta, el macizo rocoso por la edad tan antigua de su núcleo probablemente representa una porción noroccidental del Escudo de la Guayana. Los rasgos tectónicos destacables están dados por la falla de Bucaramanga-Santa Marta (descrita en el numeral 2.2.6), la falla de Oca y el Alineamiento del Cesar.

La falla de Oca Es un gran lineamiento de origen tectónico que limita la parte Norte de la sierra de Santa Marta, su rumbo general es Este-Oeste y en la zona de la Guajira está limitando terrenos ondulados y planos hacia el Norte y zona montañosa hacia el Sur. Esta es una falla de rumbo de tipo dextral y se ha reportado alguna actividad por fotointerpretación en la zona que corta el río Ranchería. En la zona de acantilados de Moñitos y el parque Tayrona la falla corre por la línea litoral ya dentro de terrenos marinos donde se forman acantilados fuertes afectados por la erosión marina.

En cuanto al alineamiento del Cesar, según las interpretaciones regionales, por el costado suroriental de la pirámide que define la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentra otro límite tectónico que aparece en los mapas como el alineamiento del Cesar a lo largo del cual corre el río Cesar. Este alineamiento marca el límite entre la Sierra Nevada y el Valle del Cesar.

En la sub-provincia de la Península de La Guajira la característica tectónica está definida por dos períodos de deformación, el primero de los cuales ocurrió entre finales del Cretáceo y el Eoceno Medio cuando tuvo lugar un plegamiento orogénico fuerte, así como fracturamiento y levantamiento de bloques mesozóicos y de basamento (Ingeominas, 1.988). El segundo período de deformación ocurrió a finales del Terciario cuando se presentaron plegamientos a pequeña escala y fallamientos en las rocas sedimentarias del Oligoceno/Mioceno, coincidiendo con el levantamiento de la cordillera Oriental (Ingeominas, 1.988).

En la sub-provincia de la Llanura del Caribe la característica tectónica está restringida a cuatro lineamientos estructurales aproximadamente paralelos que están relacionados con la evolución de la región (Ingeominas, 1.988):

Lineamiento de Romeral

Esta discontinuidad estructural no es tan espectacular ni claramente reconocible en la parte norte de Colombia como en el sur del territorio donde fue descrito originalmente, porque la traza se encuentra fosilizada por sedimentos terciarios y depósitos cuaternarios de la cuenca del río

San Jorge. No obstante, el lineamiento marca el límite entre la zona de plataforma y la serranía de plegamiento de San Jorge; marca un límite de volcanismo y plutonismo máfico, ultramáfico y tonalítico, asociado a cherts y turbiditas, de edad Cretáceo Superior/Terciario Inferior con ocurrencia al Oeste de la traza y ausencia de estos materiales litológicos al Este; ocurrencia de un cinturón metamórfico de bajo grado al Este de la traza.

Lineamiento de Bolívar

Se trata de un fallamiento inverso con buzamiento al Este de rumbo paralelo a la traza de Romeral, muy conspicuo dentro de las turbiditas del Terciario Inferior de la Serranía de San Jacinto. Su paralelismo y posición con respecto al alineamiento de Romeral, sugiere una de los saltos de Romeral en su migración hacia el Occidente.

Lineamiento del Sinú

Este alineamiento marca el límite occidental de la serranía de San Jacinto, separándola de la serranía del Sinú, las cuales al sur presentan estilos estructurales diferentes.

Lineamiento de Colombia

Este lineamiento es el más occidental de los cuatro identificados y separa la serranía plegada del Sinú al oriente de la llanura no deformada al occidente.

2.2.4 Geología regional del departamento del Valle del Cauca

Regionalmente el departamento del Valle del Cauca forma parte de la región suroccidental del territorio colombiano, en el cual la morfología característica en su parte central es la de un valle de fosa limitado por las cordilleras Occidental y Central y en su parte occidental una llanura costera que se extiende a lo largo de la Costa del mar Pacífico.

El valle de fosa está constituido por un basamento ígneo probablemente volcánico de edad cretácea en su mayor parte, sobre el cual yacen rocas sedimentarias del Terciario. Sobre las rocas sedimentarias se encuentra un grueso depósito de sedimentos del Cuaternario conformados principalmente por materiales aluviales transportados por el río Cauca. Igualmente se encuentran abanicos aluviales y coluviones en las márgenes del valle. Las cordilleras en sus flancos frente al valle se componen de rocas volcánicas e intrusivas del Cretáceo y rocas sedimentarias del Terciario hacia el piedemonte (Ingeominas, 1.992).

El mapa geológico que se presenta en el Anexo 2.5, comprende un sector de la geología regional del Valle del Cauca que sirve como marco de referencia a las zonas de Palmira, Tuluá, y Buga objeto del presente estudio. El mapa ha sido tomado parcialmente del Mapa Geológico del Valle del Cauca publicado por Ingeominas en el año 2.002.

En el Anexo 2.6 se presenta un corte geológico generalizado del Valle del Cauca a la altura de Palmira, el cual está basado en observaciones de campo, información del Mapa Geológico del Valle del Cauca de Ingeominas de 1.992 y en consulta de información de ECOPETROL relacionada con líneas de reflexión sísmica y registros de los pozos Juga-1 y Candelaria-1 realizados para exploración de hidrocarburos entre Cali y Palmira.

Para el enfoque de los aspectos tectónicos y rasgos neotectónicos de la región se realizó un reconocimiento de campo direccionado a reconocer los grandes lineamientos y expresiones morfológicas tanto en el costado occidental en el piedemonte de la cordillera Central como en la parte superior de la cuenca del río Dagua y Calima así como el piedemonte oriental de la cordillera occidental al Sur de Cali y la zona enfrentada con el municipio de Tuluá.

A continuación se hace una descripción de estas actividades puesto que como ya se dijo este reconocimiento fue la base para plantear el modelo sismotectónico del área.

2.2.4.1 Abanico de La Aurora

En este sector desde el punto de vista geomorfológico se presenta una unidad deposicional conformada por un abanico desarrollado durante el Pleistoceno el cual se encuentra afectado por procesos erosivos que han disectado parcialmente la superficie original. La litología de esta unidad está conformada por depósitos de régimen torrencial en donde predominan cantos angulares, bloques subredondeados cuyos tamaños son de un metro en su eje más elongado embebidos por fragmentos de tamaño grava y arena. Hacia la parte superior se presenta una cobertura de suelos limo arenosos producto de la desintegración de estos así como de las últimas acumulaciones durante la época de depositación. La Figura No. 1 ilustra localmente la geofoma anteriormente descrita y la cobertura de bloques en la parte superior.

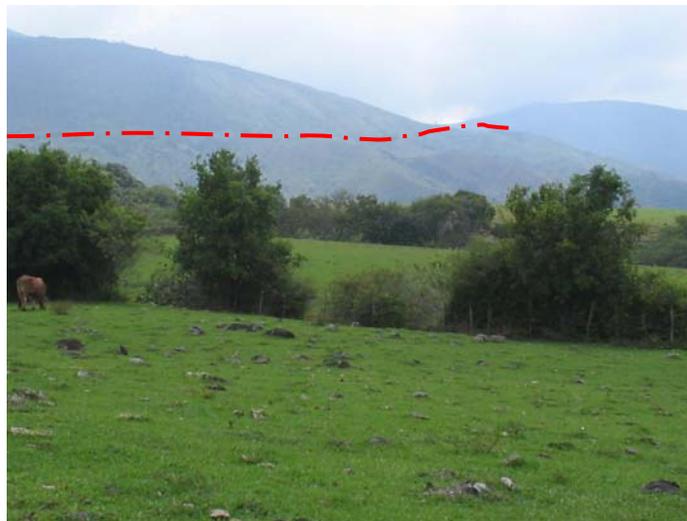


Figura 2.1 (Fotografía). Aspecto de la superficie disectada del abanico de la Aurora en donde se aprecian bloques en superficie.

La litología es cambiante desde el punto de vista de tamaño encontrándose bloques y gravas hacia el ápice disminuyendo el tamaño paulatinamente hacia la parte distal.

Desde el punto de vista tectónico y como ya había sido reportado por el ingeniero Gabriel Paris en su artículo INVESTIGACION NEOTECTONICA : Sistema de Fallas de Romeral y Cali – Patia, Departamento del Valle – Colombia, se pudo comprobar que los lineamientos mostrados en las imágenes de Landsat evidentemente en el campo corresponden a desplazamientos neotectónicos provocados por una rotura que ocurrió a fines del Pleistoceno, puesto que los aluviones más recientes del Holoceno producto del entallamiento del río Párraga no se observan desplazados. Durante el reconocimiento de campo es de anotar que se observan por lo menos dos líneas de desplazamiento que dejan el frente escalonado y localmente el drenaje consecuente ha sufrido una reversión local provocada por el basculamiento del abanico.

Durante la misma observación hacia el Oriente se pudieron apreciar lineamientos de falla relacionados con el sistema de Potrerillos en donde son muy evidentes las facetas triangulares y los patrones de drenaje locales de tipo subparalelo a lo largo del plano obsecuente de la misma traza de falla como se aprecia en la Figura No. 2.

Sobre la imagen de Landsat estos lineamientos continúan hasta los límites con el Cauca involucrando los depósitos de piedemonte de Corinto – Miranda. Como se puede observar en los mapas de los abanicos del piedemonte Occidental de la cordillera central en el informe Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos bolo y fraile.

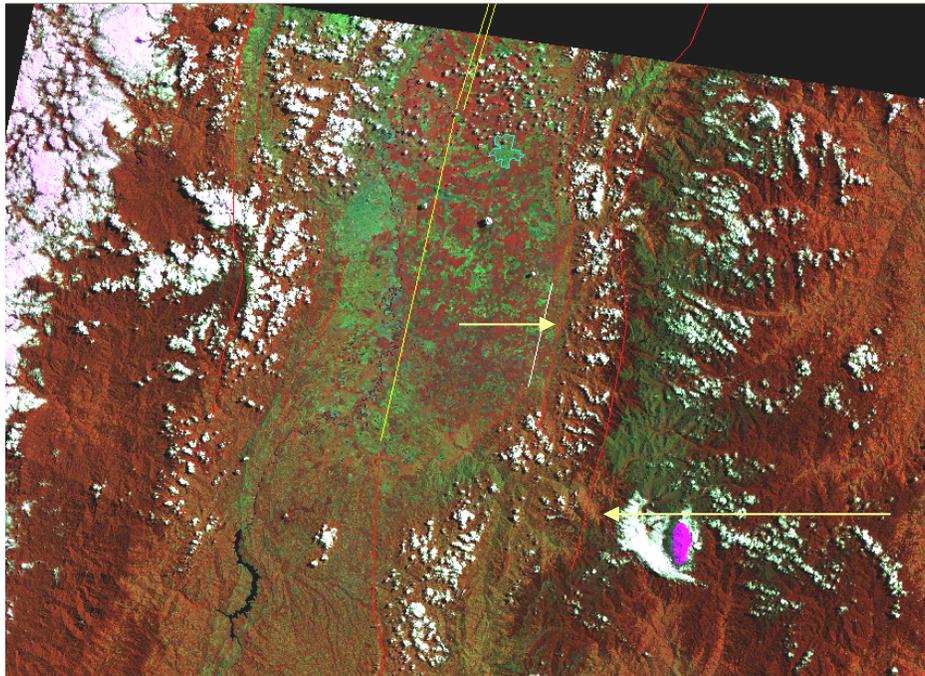


Figura 2.2 (Fotografía). Lineamientos de las fallas que afectan el piedemonte Occidental de la cordillera Central (Sistema de Fallas Guabas – Pradera y Potrerillos).

2.2.4.2 Abanicos del NorEste de Pradera

Un poco más al Norte de esta localidad en el sitio conocido como la Ruiza, se pudo observar que el río Vilela y sus afluentes formaron un conjunto de conos coalescentes limitados hacia la parte Oriental por los escarpes de falla de Potrerillos y hacia la parte Occidental por la Falla de Guabas – Pradera; estos conos de deyección indican no solamente un control tectónico a finales del Terciario sino que el escalonamiento dentro de los mismos depósitos Cuaternarios (Pleistoceno) indican que la actividad neotectónica ha llegado por lo menos hasta la base del Cuaternario. Aunque este aspecto ya se había ilustrado en los capítulos anteriores, se ilustra nuevamente en la Figura 3.



Figura 2.3 (Fotografía). Panorámica de la depresión tectónica de la Ruiza donde se ilustra hacia el fondo los ápices de los abanicos y en primer plano el bloque levantado conformado por la Formación Vilela.

2.2.4.3 Zona de Potrerillos

Se reconfirmó lo expuesto en los capítulos anteriores y se comprobó la presencia de un afloramiento rocoso en las vecindades de la población de Potrerillos. La Fotografía No. 4 muestra el área del afloramiento de diabasas.



Figura 2.4 (Fotografía). Se aprecia la estructura de la roca al Nor Oriente de Potrerillos donde se podrá colocar un acelerógrafo.

Desde este mismo sector se hicieron algunas observaciones de abanicos conformados por el río Nima, los cuales también están en proceso de disección dejando un

escalonamiento aterrazado, pero debido a la abundancia de vegetación no es posible observar si los depósitos recientes están afectados por tectonismo.

Así mismo desde este punto se pueden observar los abanicos solevantados del área de Maracaibo que cubren discordantemente el costado izquierdo de la quebrada La Honda y dejando hacia el Occidente un escarpe. En reconocimientos anteriores a la base de este escarpe se presentan manantiales alineados que indican el control estructural por tectonismo del sistema de fallas de Guabas Pradera. La figura 5 ilustra una panorámica de la cuenca superior de la quebrada La Honda y parte de los Lagos de Maracaibo



Figura 2.5 (Fotografía). Panorámica que ilustra la cuenca superior de la quebrada La Honda y un embalse de los cuerpos de agua de Maracaibo, represados artificialmente sobre los depósitos del abanico de Potrerillos.

2.2.4.4 Abanicos del Pance

El río Pance proviene del Piedemonte de los farallones de Cali y ha dejado por lo menos tres generaciones de abanicos: el primero corresponde a depósitos del Plioceno denominados como Formación Jamundi los cuales presentan una profunda disección y es difícil de reconocer su antiguo limite del Glacis de acumulación pero con la ayuda de las fotografías aéreas esta se observa con mayor facilidad. La segunda generación corresponde a un abanico disectado localmente solevantado por evidencias de una ligera contrapendiente en la vía que conduce de Cali al balneario; una tercera generación de abanicos del Holoceno se encuentran aterrazados y no presentan ninguna deformación, sin embargo en este hay una anomalía en el drenaje que se orienta con algunos truncamientos de crestas de la Formación Jamundi.

Haciendo una interpretación de los estereo modelos de las fotografías aéreas suministradas por el Dr Paris, lo observado en el campo se complementó y es así como hacia el costado Occidental de la Fotografía se aprecia un escarpe que indica la presencia de una falla activa al Occidente del lineamiento de la falla Cali – Patía. De lo anterior se concluye que por la anomalía en el drenaje, el truncamiento y presencia de escarpes la actividad tectónica también llego hasta el Pleistoceno.

Hacia el Norte los lineamientos son difíciles de seguir especialmente por la presencia del patrón de edificaciones de Cali y los depósitos recientes del río Cauca. Durante la visita también se pudo determinar que hacia el piedemonte de la cordillera son muy evidentes lineamientos de falla en rocas del Cretaceo, estas se evidencian por la presencia de geofomas tales como facetas triangulares y patrones de drenaje subparalelo localmente desarrollados sobre los escarpes de falla.

La imagen de Landsat (Figura No. 2.6), muestra claramente los lineamientos dejados que afectan el piedemonte de los farallones por fracturas cuyos desplazamientos se estiman llegan hasta el Pleistoceno.

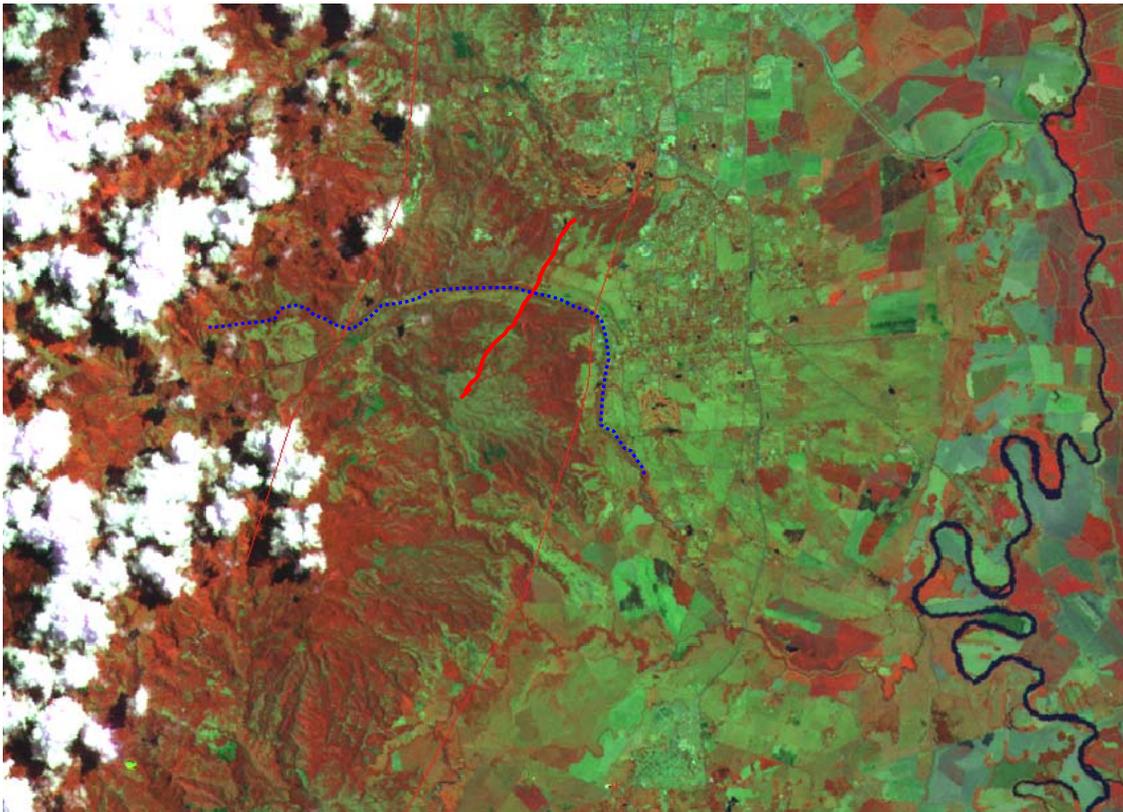


Figura 2. 6 Imagen Landsat mostrando los sistemas de abanico del río Pance (ver fotointerpretación detallada).

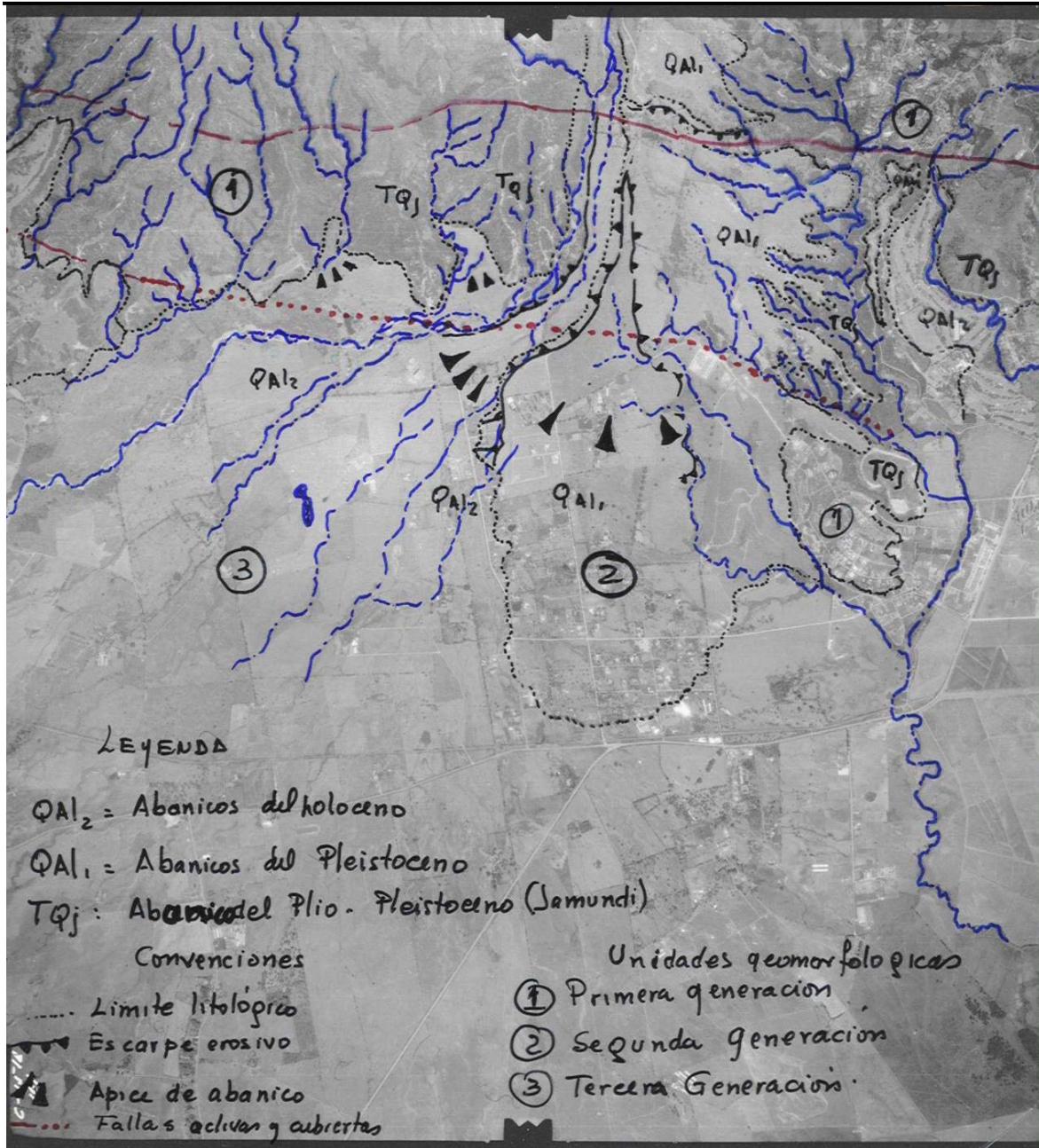


Figura 2.7 Fotointerpretación zona Pance

2.2.4.5 Fosa tectónica del sistema de fallas Dagua – Calima

En el artículo INVESTIGACION NEOTECTÓNICA : Sistema de Fallas de Romeral y Cali – Patía, Departamento del Valle – Colombia, se hace una descripción de estos sistemas de falla y su grado de actividad. Durante el reconocimiento de campo se hicieron observaciones de los dos costados de la depresión afectada por dos sistemas de falla de tipo normal que causaron el truncamiento de la peniplanicie de la cordillera Occidental. Son dos sistemas de fallas normales que limitan el valle del río Dagua y a la

altura de Loboguerrero se presenta una pequeña deflexión la cual es más visible sobre las fotografías aéreas que se anexan. En las figuras 8 y 9 se aprecian los lineamientos dejados en el costado Occidental y Oriental en donde son claras las evidencias de trazas de falla que indican superficies de rotura de grandes longitudes y asociada a ellas se encuentran geformas de facetas triangulares y copas de vino o reloj de arena en estados más avanzados.



Figura 2.8 (Fotografía) Límite Occidental de la depresión tectónica del Dagua, la línea punteada indica una falla de tipo normal. La línea del horizonte corresponde a la peniplanicie de la cordillera Occidental mirando hacia el Pacífico.



Figura 2.9 (Fotografía) La línea discontinua en rojo indica el lineamiento de la falla maestra del costado Oriental de la depresión tectónica del Dagua, en primer plano se ilustran remanentes del piso del graben. El horizonte marca la peniplanicie del costado Oriental de la cordillera Occidental.

Durante el mismo recorrido en las rocas del Cretaceo se pudieron observar algunos planos de falla donde las brechas indican una inclinación hacia el costado occidental como se aprecia en la figura 10 pero estos planos se interpretan como el resultado de antiguos movimientos previos a la formación de la depresión tectónica; desde el punto

de vista sísmico lo mas significativo es la gran depresión limitada por las dos fallas que se ilustraron.



Figura 2.10 (Fotografía) Brecha de falla con buzamiento hacia el Occidente en la depresión tectónica de Dagua – Calima. Afecta rocas de tipo basáltico.

Sobre las imágenes de Landsat estos dos lineamientos son muy evidentes pero presentan una deflexión a la altura de Loboguerrero y hacia el Norte controlan la depresión del Darien en donde se encuentra el embalse de Calima, en donde a la vez se han reportado desplazamientos con escarpes de 45 m citados por Paris en el artículo INVESTIGACION NEOTECTONICA : Sistema de Fallas de Romeral y Cali – Patia, Departamento del Valle – Colombia. La presencia regional de estos lineamientos se ilustra en la imagen de satélite Landsat (Figura No. 11).

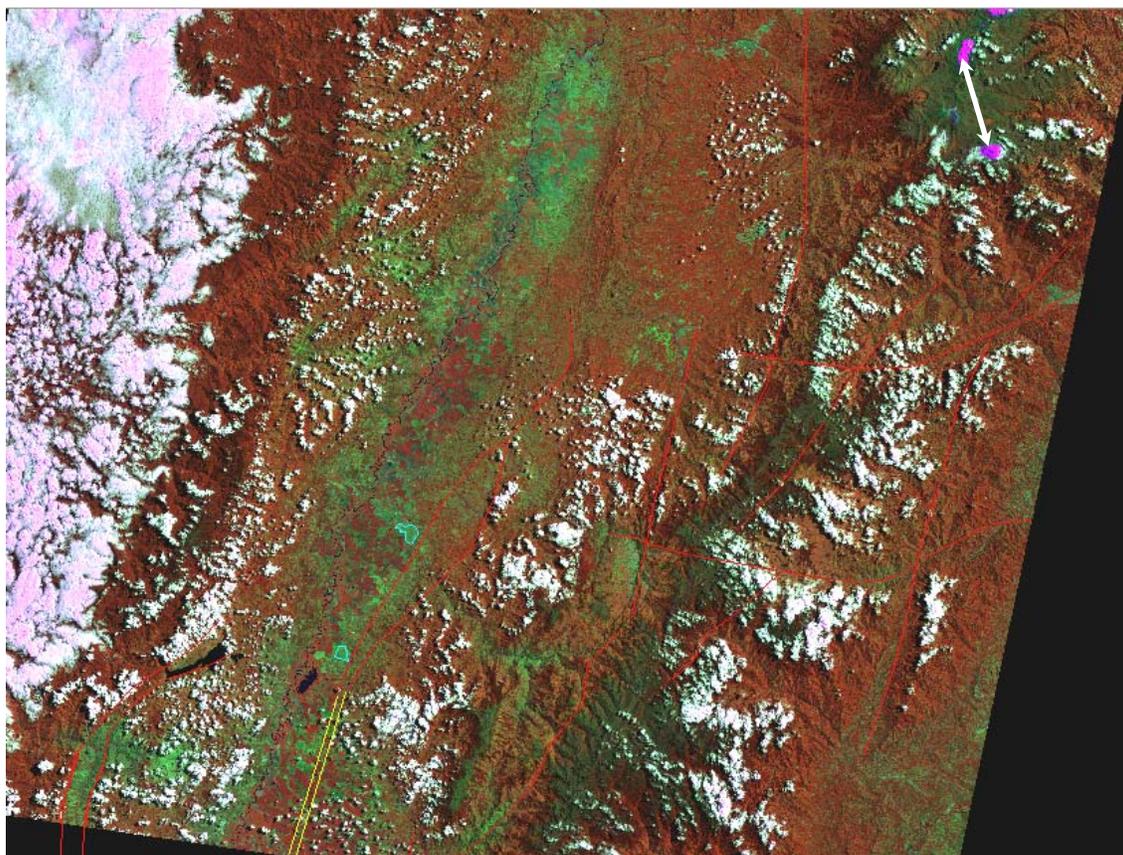


Figura 2.11 (Fotografía) Lineamientos de grandes sistemas de fracturas en la cordillera central y Occidental al Norte de Cali.

2.2.4.6 Piedemonte Oriental de la cordillera Occidental

Al Norte de Cali la falla de Cali - Patia queda sepultada bajo los aluviones del río Cauca y los segmentos de pequeños conos de deyección que penetran la cordillera en forma de aluviones de aspecto rectangular en planta, no muestran evidencias de neotectonismo, sin embargo las rocas si presentan rasgos tectónicos en forma de lineamientos con facetas triangulares y desplazamientos de venas mineralizadas como se ilustra en la Fotografía No. 12, pero estos eventos son anteriores al Pleistoceno y pueden estar asociados con los sistemas de fallas al Oriente de la de Santana (ver plano geológico).

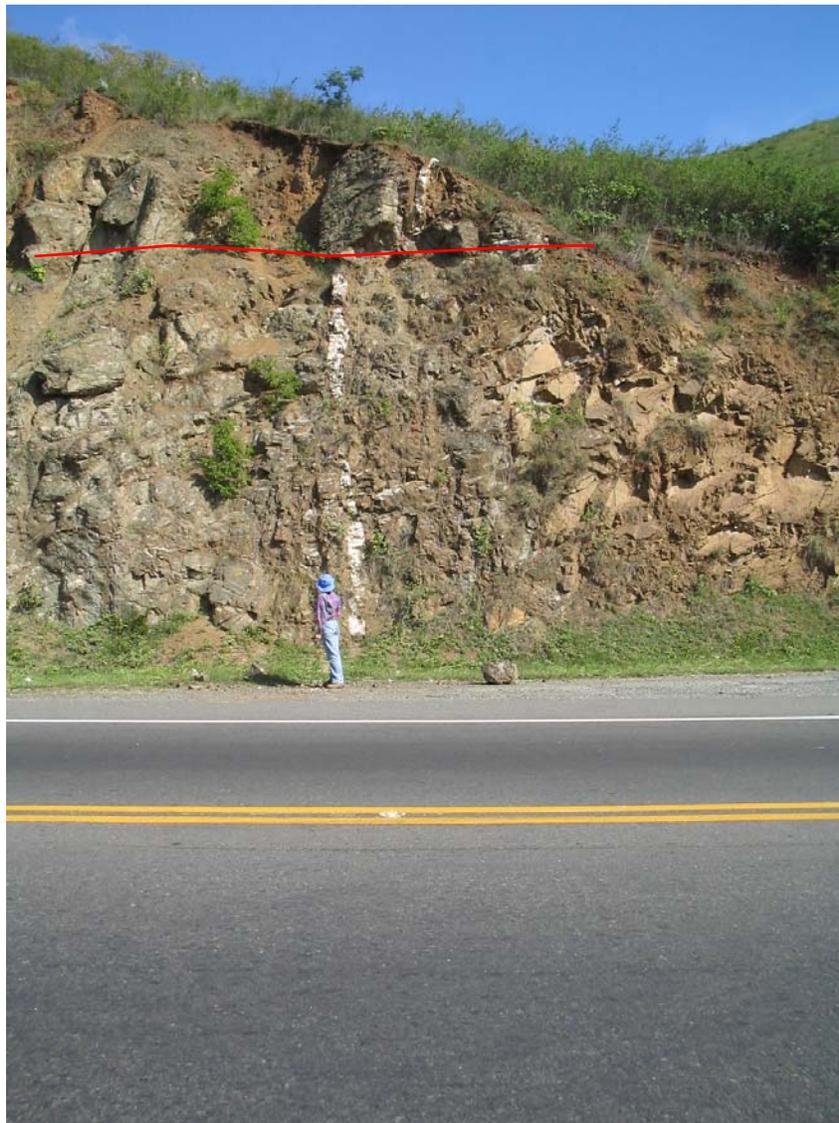


Figura 2.12 (Fotografía) Pequeño desplazamiento en una vena de calcita.

Las anteriores observaciones fueron hechas en conjunto con el geólogo Gabriel Paris quien tiene un gran conocimiento de la zona, el Ingeniero Omar Chaves y la Geóloga Olga Patricia Villa. Las observaciones se concentraron como se ha descrito ya en los abanicos de La Aurora, La Ruiza, los Lagos de Maracaibo, Río Pance, Depresión de Dagua – Calima, Piedemonte Nor Oriental de la cordillera Occidental y Abanicos Orientales de Tuluá.

2.2.5 Geología local

A continuación se hace la descripción de la geología local de las zonas de Palmira, Tuluá y Buga de acuerdo con la geología regional de referencia, información suministrada por la CVC, el estudio de fotointerpretación y los reconocimientos de campo.

2.2.5.1 Geología de la Zona de Palmira

La estratigrafía de la zona de Palmira y alrededores es como sigue, en orden de edad desde más antigua a más joven:

Cretáceo-Jurásico

Formación Amaime

Está formación hace parte del macizo rocoso de la cordillera Central junto con otras rocas asociadas y está integrada por flujos de lavas y basaltos toleíticos con frecuentes estructuras almohadilladas. Estas rocas volcánicas se presentan muy fracturadas por efectos del sistema de fallas de Romeral y afloran principalmente hacia la parte media del piedemonte de la cordillera. Estas rocas desarrollan meteorización esferoidal y originan suelos residuales lateríticos (Figuras 2.13, 2.14 y 2.15).



Figura 2.13 (Fotografía) Afloramiento de diabasa con meteorización esferoidal y alteración a suelo laterítico, El sitio está ubicado en el costado derecho del carretable que conduce al cerro El Tablón desde la vía principal Palmira-Pradera.



Figura 2.14 (Fotografía) Parte alta del corregimiento de Potrerillos. Aparece una cancha de fútbol en cuyo costado se aprecian suelos residuales color amarillo por alteración de lavas y basaltos.



Figura 2.15 (Fotografía) Finca privada en inmediaciones de Potrerillos. En el piso del portón afloran basaltos fracturados. Sitio recomendado para perforación e instalación de acelerógrafo.

Las lavas y basaltos de esta formación junto con rocas ígneas intrusivas asociadas constituyen el basamento del Valle del río Cauca.

Las formaciones anteriormente descritas han sido afectadas por cuerpos intrusivos o stocks de composición diorítica como como el que aflora en la cantera Calandaima al Este de Palmira en la zona del piedemonte de la cordillera Central (Figuras 2.16 y 2.17).



Figura 2.16 (Fotografía) Cantera Calandaima, afloramiento de diorita.



Figura 2. 17 (Fotografía) Cantera Calandaima, vista general de la explotación de roca ígnea intrusiva fresca (diorita).

Terciario

Formación Vilela:

Formación sedimentaria del Plioceno compuesta por conglomerados de clastos subredondeados de basalto (Véase Figura 2.18), capas de arcillolitas, areniscas y tobas arenosas.



Figura 2.18 (Fotografía) Cantera Abandonada. Rocas terciarias muy alteradas y poco consolidadas de la formación Vilela. Conglomerados de gravas y guijarros de diabasa en poca matriz aglutinante, con lentes de tobas alteradas.

Cuaternario

Abanicos Aluviales:

Son cuerpos de aluvión en forma de abanico que se originan cuando las corrientes de agua que descienden de la cordillera Central abandonan las montañas y penetran en la planicie del Valle del río Cauca, sufriendo una disminución repentina de la velocidad. Estos abanicos se encuentran depositados en las márgenes del valle al oriente de Palmira, en la desembocadura de los ríos principales y quebradas mayores tales como la quebrada Aguaclara y el río Amaime localizados al sur y norte de Palmira respectivamente. Se componen de bloques, cantos y gravas angulares a subredondeados de rocas volcánicas principalmente, contenidos en matriz abundante de arcilla y limo con guijarros.

La extensión de estos depósitos no alcanza la zona urbana de Palmira, pues los más próximos se encuentran retirados entre 2 y 6 km al este de la ciudad.

Sedimentos Aluviales Del Valle del Cauca:

Estos sedimentos que conforman el relleno del valle han sido transportados por el río Cauca y pueden llegar a tener diferentes tamaños y muchas formas que varían desde barras de arena, diques, rellenos de canal y madre viejas hasta depósitos de llanura de inundación. Están compuestos de suelos orgánicos limos-arcillosos, arcillas y capas de arenas con gravas en proporción variable. El espesor de estos materiales puede alcanzar varias decenas de metros de acuerdo con la información de perforaciones exploratorias para agua suministrada por la CVC.

Geología Estructural

Por estar Palmira localizada sobre la planicie aluvial del Valle del Cauca y retirada unos ocho kilómetros del piedemonte de la Cordillera Central, los elementos de la geología estructural que pueden influir sobre este municipio están enmarcados dentro del contexto de la geología regional, la cual a grandes rasgos indica que el basamento del Valle del Cauca en profundidad está constituido por rocas ígneas volcánicas cretáceas cubiertas discordantemente por rocas sedimentarias terciarias, las cuales en conjunto aparecen afectadas por deformación y fallamiento geológico. El basamento de rocas volcánicas es una continuación hacia el oeste del macizo rocoso volcánico de la cordillera Central, y las fallas geológicas que rompen estas rocas son estructuras afines al patrón de fracturas definido por el sistema de fallas de Romeral.

En superficie, particularmente en el piedemonte cercano al Este de Palmira, el macizo rocoso de la cordillera Central constituido por basaltos de la Formación Amaime, se presenta afectado en alto grado por un grupo de fallas regionales de dirección norte-sur con movimiento inverso y vergencia hacia el occidente. Estas fallas han levantado escalonadamente bloques de roca volcánica que cabalgan uno sobre otro. Esta disposición estructural es más evidente hacia la parte baja del piedemonte, donde rocas basálticas por contacto fallado aparecen cabalgando sobre rocas sedimentarias de la formación Vilela.

Entre las fallas causantes de la fracturación del macizo rocoso volcánico de la cordillera se destacan por su proximidad al municipio de Palmira las fallas de Guabas – Pradera, Potrerillos, Palmira – Buga y Cauca-Almaguer.

Falla Guabas-Pradera

Falla de cabalgamiento con rumbo Norte 15° Este y vergencia al occidente. Su trazo en el terreno se registra en la parte baja del piedemonte donde pasa a 8 km al Este de Palmira en línea recta, encontrándose en gran parte sepultada por sedimentos de abanicos aluviales del pie de la cordillera Central. Esta falla forma parte del sistema de fallas de Romeral y registra neotectonismo a una tasa de movimiento baja a moderada de acuerdo con París y Romero (1.993). Brechas de esta falla fueron observadas en el talud de la carretera La Buitrera-Palmira (Figura 2.19).

En los reconocimientos de campo fueron observadas las evidencias de neotectonismo de esta falla, representadas por lomos de basculamiento alineados con rumbo norte-sur en sedimentos cuaternarios, asociados a zonas de humedales. Al noreste de Palmira la falla de Guabas-Pradera emerge en superficie observándose su trazo en el cañón del río Tuluá.



Figura 2.19 (Fotografía) Detalle de una brecha de falla en basaltos fracturados que afloran en el talud de la carretera La buitrrera- Palmira. La referencia de escala es una fotografía aérea. Sobre el fondo amarillo de la roca alterada.

Falla de Potrerillos

Es una falla de cabalgamiento paralela a la falla Guabas-Pradera con vergencia hacia el occidente. Su trazo en el terreno se encuentra a 10 km al oriente de Palmira en línea recta. Esta falla también forma parte del sistema de Romeral y registra actividad reciente baja a moderada de acuerdo con París y Romero (1.993). En los reconocimientos de campo fue observado su comportamiento en el cañón del río Amaime, donde se manifiesta en zonas de basaltos con intensa deformación, fracturación, cizallamiento y numerosos planos de fricción.

Falla Pamira-Buga

Falla de cabalgamiento con rumbo general norte-sur a noreste y vergencia al oeste. El alineamiento de su trazo cruza a 2 km al oeste de Palmira sepultada por sedimentos cuaternarios del valle, de acuerdo con la geología del mapa del Departamento del Valle del Cauca, Ingeominas (2.002). Esta falla emerge en superficie al norte de Palmira, donde pone en contacto gabros con rocas sedimentarias de la formación Paila.

Falla Cauca-Almaguer

Esta es otra falla importante del sistema de Romeral. Se encuentra alejada de Palmira 16 km al oriente en línea recta. Aparece dentro del macizo rocoso de la cordillera Central afectando rocas metamórficas paleozóicas del Complejo Arquía y rocas volcánicas cretáceas.

Neotectónica

El estudio geotectónico constituye una gran herramienta para la evaluación de la amenaza sísmica y es así como con base en los análisis se puede establecer que zonas son más susceptibles a la amenaza sísmica a continuación se hace una descripción de las características neotectónicas de esta zona:

De acuerdo con el análisis detallado que se hizo mediante las fotografías aéreas en la zona plana y en la zona del piedemonte, se identificaron varios alineamientos originados principalmente por reactivación de fallas, siendo los más destacados los asociados a la falla Guabas – Pradera y los alineamientos relacionados con la falla de Potrerillos. La actividad de tales fallas han originado en algunos casos cubetas intermontanas locales desarrolladas posteriormente a la depositación de los materiales recientes del piedemonte.

Regionalmente los alineamientos son continuos a lo largo del piedemonte como se aprecia en la imagen 3D de la Figura 2.20 .

Así mismo, se observó en las fotografías aéreas, que las unidades del cuaternario asociadas con los primeros eventos de acumulación de sedimentos en las laderas del piedemonte del valle aparecen desplazadas considerablemente.

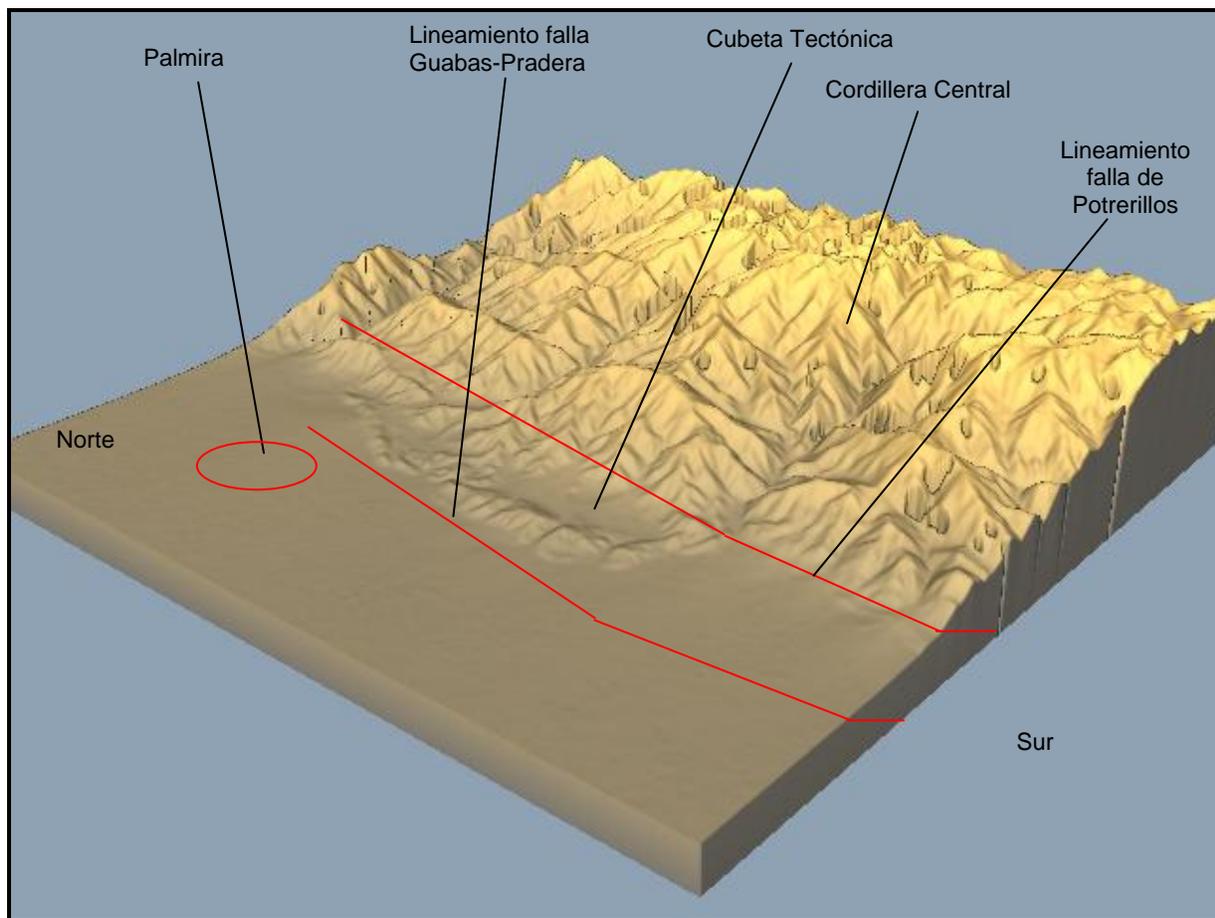


Figura 2.20 En la imagen se aprecia hacia el piedemonte de la cordillera Central los lineamientos de origen tectónico de las fallas Guabas-Pradera y Potrerillos, en cercanías de Palmira. Imagen tomada de "SRTM SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION"

En algunas partes los depósitos cuaternarios se encuentran basculados, siendo el sitio de mayor evidencia el que se encuentra ubicado un poco al suroriente de la localidad de Palmira, en una depresión morfológica originada entre las fallas de Potrerillos y Guabas-Pradera, cuya mayor expresión puede ser vista al Sur de la Buitrera (Figura 2.21).



Figura 2.21 (Fotografía): Mosaico en panorámica que muestra la cubeta tectónica al sur de La Buitrera. Nótese los conos en la pata de la falla de Potrerillos. Vista al sureste.

En cuanto a las expresiones neotectónicas analizando fotografías aéreas a lo largo del casco urbano de Palmira se detectó un segmento recto correspondiente al Zanjón Mirriñao el cual puede clasificarse como una regmita de origen no tectónico ya que en el sector realmente lo que se encuentra es un patrón de drenaje de tipo subparalelo correspondiente a la diversificación de los canales que dieron lugar al relleno aluvial del costado Oriental del Valle del Cauca como se ilustra en la Figura 1 del Anexo 2.8. Otros canales con esta misma orientación se encuentran actualmente enmascarados por el patrón urbano razón por la cual se descarta la posibilidad de que el zanjón Mirriñao corresponda a una expresión neotectónica. Se aclara que en los primeros reconocimientos se hizo una inspección de campo al sitio y se planteó que aparentemente el costado Norte estaba un poco más deprimido que el costado Sur a nivel de la planicie aluvial pero este efecto realmente es un proceso erosivo posterior al entallamiento del cauce y no necesariamente corresponde a un plano de falla que este controlando dicho caño. Las anteriores apreciaciones se hicieron sobre la Figura 1 del Anexo 2.8 en donde se observa el subparalelismo de dos corrientes la A actualmente enmascarada por el patrón urbano de Palmira y la B perteneciente a la del caño Mirriñao. En el sitio donde se marca con la flecha B se hizo un reconocimiento de campo y no se obtuvieron argumentos contundentes para demostrar un desplazamiento contundente de los bloques razón por la cual como ya se dijo se sugiere que a este nivel quede cartografiado como una regmita no sismogénica.

Condiciones Geológicas del Subsuelo de Palmira y Alrededores

Con base en información suministrada por la Corporación Regional del Valle del Cauca (CVC), relacionada con registros estratigráficos de 33 perforaciones con recobro que alcanzaron profundidades entre 55 y 219 m, realizadas para la prospección de agua subterránea en la localidad de Palmira y alrededores, se deduce que las condiciones del subsuelo de este municipio y se describen a continuación:

El municipio de Palmira está cimentado sobre terrenos llanos que corresponden con el relleno cuaternario de depósitos de materiales aluviales desarrollados por antiguos y divagantes cauces del río Cauca, así como de corrientes tributarias menores. Estos materiales están

constituidos por sedimentos de composición heterogénea y proporción variable de limos orgánicos, arcillas, arenas, gravas y en algunos casos bloques.

Por las condiciones de depositación de estos sedimentos no es posible establecer una correlación estratigráfica clara y coherente entre las perforaciones consultadas, para determinar un perfil de estratos con composición y distribución homogénea. Sin embargo, puede hacerse una descripción muy generalizada de los materiales. El siguiente es la serie de perforaciones consultadas: VP-2, 3, 4, 5, 8, 23, 28, 32, 87, 89, 90, 94, 100, 121, 133, 135, 139, 168, 184, 192, 195, 196, 243, 248, 249, 300, 336, 360, 369, 389, 480, 658, 664.

Un perfil generalizado de los materiales aluviales indica la existencia de un suelo orgánico limo-arcilloso con espesor entre 0.3 m y 2.5 m. Debajo aparece una sucesión gruesa de por lo menos 219 m de espesor de capas intercaladas de arcillas inorgánicas, arenas de grano fino a grueso, arenas con gravas y lechos de gravas redondeadas a subangulares de rocas volcánicas principalmente. Se aprecia que por lo general existe un evidente predominio de las capas de materiales finos como arcillas y arenas, sobre las capas de materiales gruesos como las gravas, con contadas excepciones donde ocurre lo contrario o están en proporciones más o menos iguales.

El espesor de los materiales aluviales es mayor al registrado, por cuanto dos perforaciones de exploración para hidrocarburos realizadas por ECOPETROL en la región de Palmira revelaron espesores entre 295 m y 439 m. Dichas perforaciones también indicaron que los materiales aluviales reposan en profundidad sobre rocas sedimentarias del Terciario, tales como arcillolitas, areniscas, conglomerados cementados y algunas calizas. Debajo de estas últimas aparece un basamento de rocas ígneas volcánicas como diabasas y basaltos.

2.2.5.2 Geología de la Zona de Tuluá

Estratigrafía

La estratigrafía de la zona de Tuluá es como se describe a continuación en edad de más antigua a más reciente:

Cretáceo-Jurásico

Formación Amaime

Está integrada por flujos de lavas y basaltos toleíticos con frecuentes estructuras almohadilladas. Aparece en contacto con rocas del Batolito de Buga y Macizo ofiolítico de Ginebra a través de la falla Guabas-Pradera. Aflora en la cordillera al Este de Tuluá.

Cretáceo

Batolito de Buga

Se trata de un cuerpo ígneo intrusivo de composición cuarzodiorítica a tonalítica predominantemente, que aflora al Este de Tuluá en el cañón del río del mismo nombre por la carretera que conduce a la vereda de Monteloro. Se presenta al sureste de Tuluá y al Oriente de Buga intruyendo en el costado Occidental las anfibolitas y gabros del macizo ofiolítico de Ginebra; hacia el Este hay tramos fallados también con este último conjunto en segmentos de la

falla Quebrada Nueva según la cartografía geológica también hay un contacto fallado hacia el sur en el río Guabas con las rocas de la formación Amaime.

Terciario

Formación La Paila

Esta formación está integrada en la parte inferior por tobas volcánicas con capas arcillosas y en la parte superior por capas lenticulares de conglomerados de gravas redondeadas de roca ígnea volcánica de 1 a 1,50 m de espesor, intercaladas con estratos de arcillolita y arenisca friable de grano grueso. La parte superior de esta formación puede ser observada en el flanco occidental del anticlinal de Sonso en la localidad que lleva el mismo nombre al norte de Guacarí, donde aflora en una cantera abandonada al borde de la carretera central Buga-Tuluá (Figura 2.22).

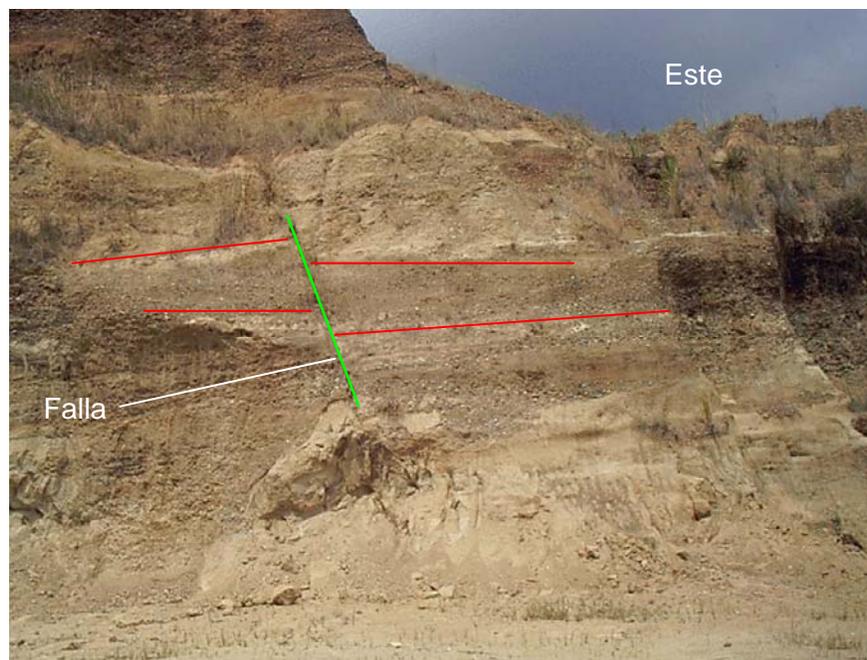


Figura 2.22 (Fotografía). Arcillolitas con capas delgadas de arenisca de la formación La Paila en el corte de una cantera abandonada en Sonso. Nótese el trazo de una falla de orientación aproximada Este-Oeste con desplazamiento de unos 0.30 m.

Cuaternario

Abanicos Aluviales

El municipio de Tuluá está ubicado en proximidades de la parte baja del piedemonte de la cordillera Central, frente a un abanico aluvial coalescente con otros depósitos similares que forman un cordón a lo largo del borde cordillerano. El abanico se extiende desde el piedemonte hasta el borde del Valle del Cauca justamente en la desembocadura del río Tuluá.

En los alrededores de Tuluá, especialmente los sectores urbanos perimetrales del costado oriental del municipio, ocurre una serie de lomas de baja altura constituidas por materiales

torrenciales de abanico aluvial que cubren disconformemente rocas sedimentarias terciarias y sedimentos aluviales del Valle del Cauca.

Estos materiales torrenciales afloran en los cortes de la vía principal Tuluá-Zarzal y se componen de gravas finas a gruesa, cantos y bloques subredondeados a angulares de rocas volcánicas, en matriz medianamente compacta a compacta de arcilla, limo y arena. La proporción gruesa de gravas y cantos puede llegar a ser en muchos casos predominante sobre la proporción de matriz, ocurriendo lo contrario en algunos lugares de acuerdo a lo observado.

En los reconocimientos de campo pudieron ser diferenciados abanicos de primera y segunda generación, siendo más antiguos los primeros; estos se localizan en las partes más altas y próximas al valle del río Tuluá (Figuras 2.23 y 2.24). Es muy probable que estos materiales constituyan parte del subsuelo de Tuluá entremezclados con sedimentos aluviales, dada la proximidad del abanico.

Teniendo en cuenta el desarrollo neotectónico de la zona y por apreciaciones hechas debajo del puente sobre el río Tuluá de la carretera central existen depósitos de lahar como se aprecia en las Figuras 2.25 y 2.26 que están interestratificados con los abanicos de primera generación los depósitos de lahar están interestratificados con los abanicos de primera generación y es muy posible que la falla frontal que levantó estos abanicos haya dejado un bloque caído en el Valle del Cauca y las profundidades en la zona del Tuluá para llegar a estos depósitos deben ser superiores a los 50 m.

Sedimentos Aluviales del Valle del Cauca

Estos sedimentos conforman la zona plana de Tuluá y alrededores. Su composición comprende suelos orgánicos limos-arcillosos, arcillas y capas de arenas con gravas en proporción variable. No obstante, hacia el costado oriental del municipio es probable que aparezcan entremezclados con materiales más gruesos del abanico aluvial.

El espesor de estos materiales también puede llegar a alcanzar varias decenas de metros de acuerdo con la información consultada.



Figura 2.23 (Fotografía) Afloramiento de materiales torrenciales de abanicos de primera generación.



Figura 2.24 (Fotografía) Morfología de abanicos aluviales. Al fondo la cordillera Occidental.



Figura 2.25 (Fotografía). Escarpe producto de la disección del río Tuluá unos 300 m hacia agua arriba del puente de la carretera troncal. En este se aprecia hacia la parte inferior los últimos episodios de lahar bajo los aluviones de abanicos de primera generación



Figura 2.26 (Fotografía). Aspecto general del depósito de lahar (consolidado) en el lecho actual del río Tuluá en las cercanías al puente de la carretera troncal.

Geología Estructural

La zona de Tuluá está dominada por el estilo estructural de la cordillera Central que consiste, como ya se explicó en numeral anterior, de una secuencia alóctona cretáceo-jurásica predominantemente volcánica (Formación Amaime y Macizo Ofiolítico de Ginebra) de rocas de corteza oceánica, que fue acrecionada a terrenos metamórficos continentales más antiguos.

Este conjunto de rocas se encuentra afectado por el sistema de fallas de Romeral de rumbo general Norte-Sur, entre las que guardan especial importancia por su proximidad a Tuluá las fallas de Quebrada Nueva, Guabas-Pradera, Potrerillos y Cauca-Almaguer.

Las tres últimas fallas ya fueron tratadas en el numeral de geología estructural de la zona de Palmira. La falla de Quebrada Nueva de dirección general norte-sur es la más próxima al municipio de Tuluá. Su carácter es inverso con vergencia al Oeste y pone a cabalgar gabros cretáceos del Macizo Ofiolítico de Ginebra sobre rocas sedimentarias terciarias de la formación La Paila.

Neotectónica

El estudio geotectónico constituye una gran herramienta para la evaluación de la amenaza sísmica y es así como con base en los análisis se puede establecer que zonas son más susceptibles a la amenaza sísmica a continuación se hace una descripción de las características neotectónicas de esta zona:

Con base en los análisis de las fotografías aéreas y los reconocimientos de campo, la parte alta del piedemonte inmediatamente al oriente de la localidad de Tuluá se presenta seriamente afectada por una serie de lineamientos recientes de orientación Norte-Sur que han basculado al

conjunto de abanicos existentes. En la actualidad pueden observarse varios ápices de abanicos y pequeñas cubetas que indican que los depósitos cuaternarios han estado afectados por eventos tectónicos recientes.

Las zonas de abanicos basculados se reconocen en las fotografías aéreas por presentar una textura más suave, lo mismo que en algunos puntos donde el río ha eliminado la cobertura de sedimentos cuaternarios por socavación, quedando expuestos afloramientos de la formación La Paila, como ocurre en los cerros más cercanos al oriente de Tuluá. Así mismo, en un corte de la variante de Tuluá se observan basculamientos sutiles en sedimentos del abanico aluvial. Los lineamientos neotectónicos identificados están asociados con el sistema de fracturas mayores que conforman el conjunto de fallas de Guabas-Pradera ubicados principalmente al este de Tuluá, los cuales han sido reconocidos desde el sur de Palmira. Algunos segmentos de estas fracturas se han reactivado provocando la dislocación de los abanicos. Véase imagen Landsat en la Figura 2.27.

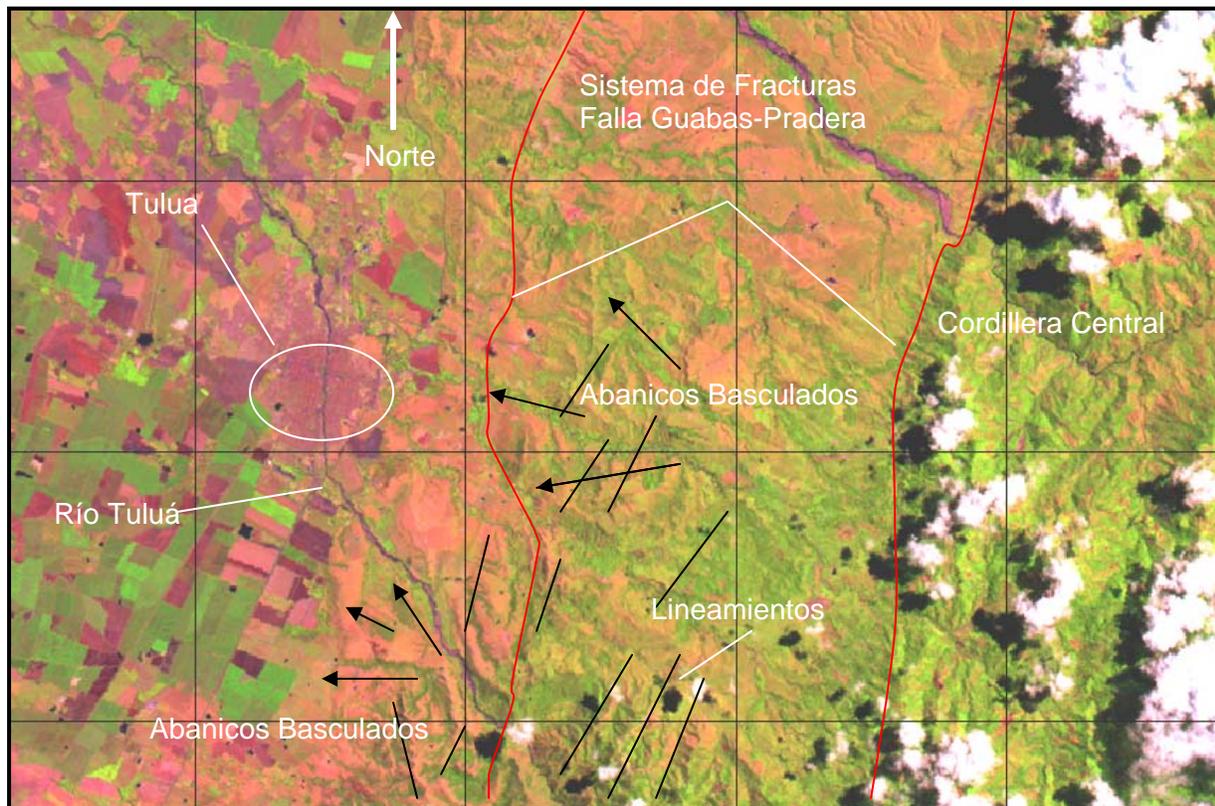


Figura 2.27. Zona de Tuluá. Imagen Landsat/2000 que ilustra lineamientos tectónicos al Este del municipio

En las imágenes en 3D de la Figura 2.28 se aprecia el marco general estructural del sector del Valle del Cauca entre Buga y Tuluá.

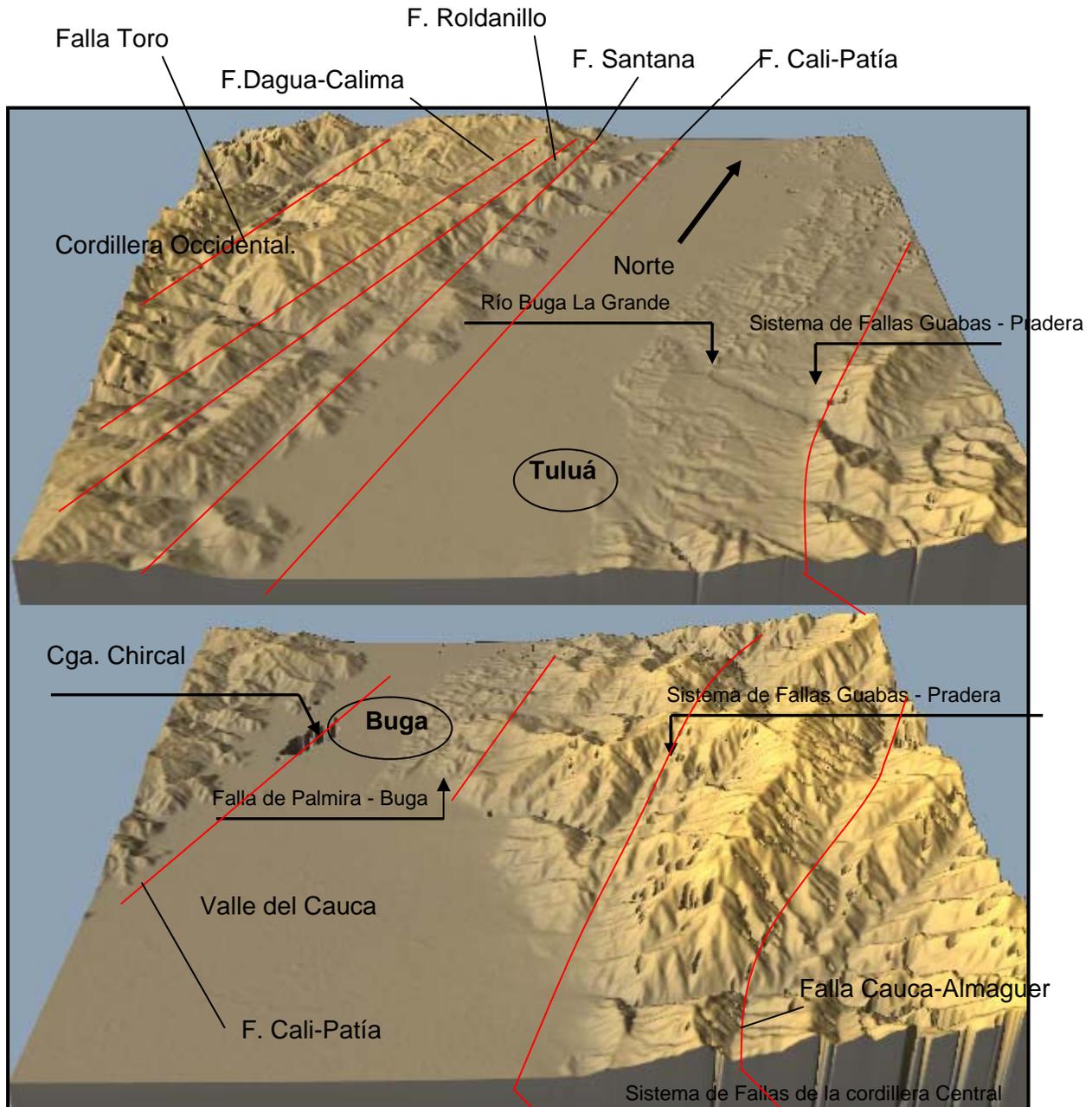


Figura 2.28. Marco general estructural del Valle del Cauca en el sector Buga-Tuluá. Tomado de "SRTM SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION"

Condiciones Geológicas del Subsuelo de Tuluá

Con base en la consulta de registros estratigráficos de 20 perforaciones con recobro realizadas por la CVC, las cuales alcanzaron profundidades entre 35 y 210 m para la prospección de agua subterránea en la localidad de Tuluá y alrededores, se estima que las condiciones del subsuelo de este municipio es como sigue:

El municipio de Tuluá está cimentado principalmente sobre terrenos llanos, constituidos de una parte por depósitos de abanicos y de otra parte por materiales aluviales desarrollados por el río Cauca lo mismo que por el río Tuluá. La composición de estos sedimentos es heterogénea y ocurren probablemente entremezclados en proporción variable de limos orgánicos, arcillas, arenas, gravas, cantos y en algunos casos bloques. La siguiente es la serie de perforaciones revisadas: Vtu- 3, 5, 6, 7, 8, 9, 23, 27, 36, 37, 43, 63, 92, 93, 103, 105, 106, 111, 113, 136. En el Anexo 2.7 Figura 8 se presenta su ubicación.

Una descripción estratigráfica generalizada a partir de los registros de los sedimentos aluviales indica la presencia de 3 niveles más o menos claros: en la parte superior del terreno aparece un suelo orgánico limo-arcilloso café con espesor variable entre 0.6 m y 3.5 m. A continuación del suelo orgánico ocurre un conjunto de materiales que puede alcanzar los 170 m de profundidad, constituido por gravas, cantos rodados y bloques de roca volcánica en matriz de arena, intercalados con capas de arcilla, limo y arena, siendo predominante la fracción gruesa sobre la matriz. Debajo de los materiales gruesos sigue hasta al menos 210 m de profundidad, una serie de capas intercaladas de arcillas, arcillas limosas y arenas con algunas gravas.

El espesor de todo el conjunto de materiales que componen los sedimentos aluviales del subsuelo sin duda es mayor al registrado en las perforaciones, teniendo en cuenta los espesores registrados en las perforaciones realizadas por ECOPETROL para la prospección de hidrocarburos en la zona de Palmira que es del orden de 439 m. Tal como ocurre en aquella zona, los sedimentos aluviales de Tuluá también deben descansar en profundidad sobre rocas sedimentarias terciarias, tipo arcillolita, arenisca y conglomerado cementado relacionados con la formación La Paila que aflora en superficie. Debajo de las rocas sedimentarias debe aparecer un basamento volcánico-intrusivo tipo gabro y basaltos, similares a los que afloran en la cordillera Central frente a Tuluá.

2.2.5.3 Geología de la zona de Buga

La zona de Buga también se ubica prácticamente en el piedemonte del flanco occidental de la Cordillera Central y algunas urbanizaciones están emplazadas en las estribaciones rocosas de la cordillera. A continuación se hace una descripción de las unidades vecinas al casco urbano y detalles de neotectonismo al oriente de esta localidad.

Estratigrafía

La estratigrafía de la zona de Buga es como se describe a continuación en edad de más antigua a más reciente:

Basamento del Valle del Cauca

Con base en la información consultada en ECOPETROL relacionada con líneas de reflexión sísmica y pozos exploratorios para hidrocarburos realizados entre 1.969 y 1.980 en la región de Palmira, se puede inferir cierta información sobre las condiciones del basamento en la fosa del Valle del Cauca desde Palmira hasta Buga. A continuación se hace una interpretación de los datos anteriormente mencionados.

El Anexo 2.7 muestra la línea de reflexión sísmica interpretada VC-79-08 de orientación suroeste-noreste, la cual en amarre con la información del pozo Juga-1 revela que hacia el extremo derecho los sedimentos cuaternarios se encuentran hasta 439 metros de profundidad; las rocas terciarias hasta 618 m punto en el cual comienza el basamento de rocas volcánicas que fue perforado hasta los 1.147 m donde terminó la perforación. Se interpretó tan solo la VC-79-08 que se considera la más representativa para ilustrar el comportamiento del basamento entre Cali y Palmira, las otras líneas se presentan de manera ilustrativa como las fracturas presenta los mismos patrones debajo de los sedimentos del Valle del Cauca.

Hacia el extremo izquierdo de la línea sísmica en concordancia con el pozo Candelaria-1, el depósito cuaternario se encuentra hasta 295 m de profundidad; las rocas terciarias hasta 1.100 m punto en el cual aparece el basamento volcánico que fue perforado hasta 1.532 m donde terminó la perforación.

Todas estas rocas aparecen en profundidad afectadas por deformación y fallas geológicas inversas con alto ángulo de inclinación, las cuales han definido bloques escalonados de macizo rocoso del basamento cabalgando rocas terciarias.

Debido a que las regiones de Tuluá, Buga y Palmira corresponden a un ambiente desarrollado en una fosa intermontana limitado por fallas regionales se espera que los espesores de las unidades sean muy similares para los tres (3) municipios tan solo que varía el ancho de la fosa tectónica con rellenos sedimentarios.

Estos tres sectores tienen en común el desarrollo actual de una serie de abanicos coalescentes dentro de los cuales la región de Tuluá presenta una deformación más intensa en antiguos depósitos del Cuaternario, los cuales fueron disectados y nuevamente rellenos por materiales aluviales en forma de franjas y nuevos conos de deyección. Para el caso de Buga el tectonismo también indudablemente afectó los depósitos del Cuaternario levantándolos y también disectando la zona con formas de abanicos dentro de los cuales se destaca el ápice de la ciudad de Buga como material más reciente. Estos materiales al igual que en Palmira y Tuluá cubren una secuencia aluvial similar a la de Palmira.

Es de anotar que el mayor estrechamiento del valle del cauca se tiene en la zona de Buga, pero el espesor de los sedimentos del relleno del valle se espera que sea similar al de Palmira y Tuluá.

Cuaternario

Abanicos Recientes QALr

Corresponden a los abanicos recientemente depositados por el río Guadalajara los cuales están constituidos hacia el ápice por bloques de rocas ígneas fundamentalmente derivadas del

batolito de Buga, su composición petrográfica es de cuarzdiorita; también coexisten con estos materiales fragmentos de anfibolitas y gabros provenientes de la desintegración del macizo ofiolítico de Ginebra. Este tipo de material se puede observar sobre el río Guadalajara en las cercanías de una bocatoma que existe agua abajo (unos 200 m) del cruce de la vía que conduce al cerro del Derrumbado. La Figura 2.29 muestra la zona de contacto entre los abanicos recientes y la Formación La Paila la cual esta conformada por un estrato de conglomerados localmente.



Figura 2.29 (Fotografía). Hacia la parte inferior se encuentra un macizo de conglomerado de la Formación La Paila sobre la cual se depositó el materia aluvial de tipo torrencial que dio origen al abanico de Buga.

El abanico de Buga hace parte de la misma litología del depósito aluvial del río Guadalajara que se extiende hacia el costado Oriental.

Terrazas Aluviales del Río Guadalajara QAT

Durante el pleistoceno el río Guadalajara formo un depósito aluvial que rellenó el valle al costado oriental del ápice del abanico de Buga y debido a los levantamientos de la cordillera se han generado entallamientos los cuales dejaron especialmente en el costado sur una franja de terrazas, las cuales además presentan un proceso de basculamiento como se observó durante el reconocimiento de campo (Figuras 2.30, 2.31 y 2.32).



Figura 2.30 (Fotografía). En primer plano se aprecian los aluviones recientes del río Guadalajara. El plano superior donde se ubica la fila de casas corresponde a la superficie de las terrazas aluviales. El río Guadalajara se ubica en el sector de vegetación más exuberante, el flujo del río tiene una dirección de izquierda a derecha, pero la superficie de la terraza tiene una contrapendiente con relación a la dirección del río muy marcada, lo cual obedece a un proceso de neotectonismo el cual debe ser verificado en el futuro.



Figura 2.31 (Fotografía). La continuidad de la terraza registrada en la fotografía anterior se observa hacia el occidente.



Figura 2.32 (Fotografía). Las terrazas aluviales en la pared izquierda del valle del río Guadalajara al oriente de Buga presentan procesos de erosión activa en forma de carcavamiento como se aprecia en esta fotografía.

Cuerpos Deslizados Qd

Los depósitos cuaternarios correlacionables con los aluviones de primera generación (terrazas altas del río Guadalajara) muestran hacia el costado oriental un truncamiento por fallas activas en el piedemonte occidental de la Cordillera Central, esto ha causado que los procesos de erosión en masa se hayan desarrollado en el sector y generado cuerpos cartografiables cuya unidad mas representativa es una masa heterogénea hacia la base de un escarpe conocido como el cerro del Derrumbado. En la Figura 2.33 se puede apreciar un aspecto de esta geofoma la cual se ubica al costado sur oriental de Buga sobre la pared izquierda del río Guadalajara.

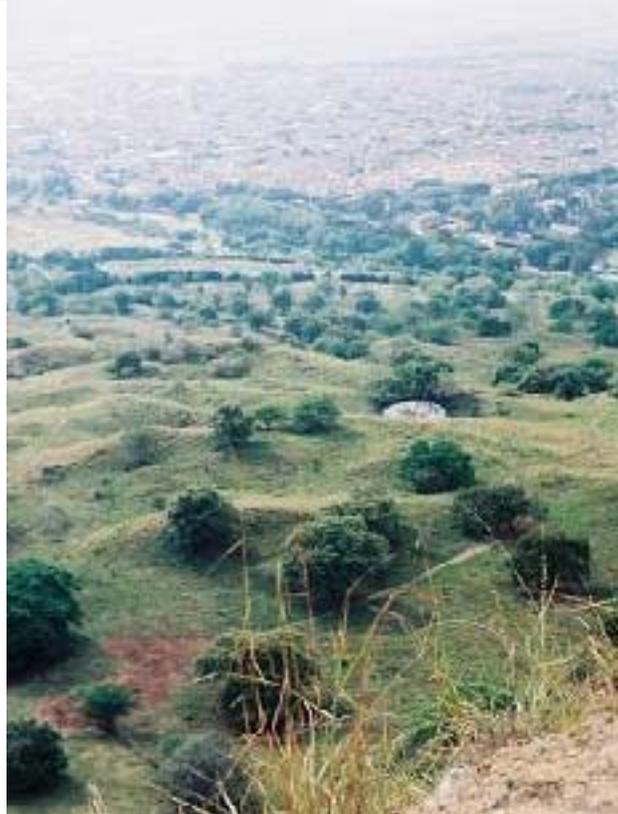


Figura 2.33 (Fotografía). Esta fotografía fue tomada desde la cima del cerro del Derrumbado y en primer plano se aprecia el deslizamiento generado por este escarpe y al fondo el patrón del casco urbano de la ciudad de Buga.

Otras Unidades

Hacia el oriente existen otras unidades que ya fueron cartografiadas en el mapa regional y descritas en este informe para las localidades de Tuluá y Palmira; las más importantes para Buga corresponden a la formación La Paila, el Batolito de Buga y el complejo ofiolítico de Ginebra; más hacia el oriente se encuentra la formación Amaime.

Neotectónica

El estudio geotectónico constituye una gran herramienta para la evaluación de la amenaza sísmica y es así como con base en los análisis se puede establecer que zonas son más susceptibles a la amenaza sísmica a continuación se hace una descripción de las características neotectónicas de esta zona:

La fotointerpretación de la zona de Buga muestra lineamientos que pasan por el ápice del abanico y que son los responsables del levantamiento de los cuaternarios en el costado Oriental (cerro del Derrumbado), además durante el reconocimiento de campo a lo largo del valle del río Bugalagrande sobre la vertiente sur se pudieron apreciar terrazas con un basculamiento hacia el Oriente que indican un proceso geotectónico generado por una reactivación de la Falla Palmira – Buga.

2.3 GEOMORFOLOGÍA

Se describe en el presente capítulo las características geomorfológicas de las zonas de Palmira, Tuluá y Buga con base en fotointerpretación y verificación de campo.

El estudio de fotointerpretación comprendió la definición de la fisiografía, la identificación del sistema de drenaje, la delimitación de las unidades geomorfológicas y un análisis acerca de los fenómenos de erosión y remoción en masa.

La fotointerpretación se realizó sobre acetatos en las fotografías que se relacionan en la Tabla 2.1. Véanse fotointerpretación de las zonas de Palmira, Tuluá y Buga en el Anexo 2.8 y los mapas geológico-geomorfológicos de la zona de Palmira en el Anexo 2.9.

Tabla 2.1 Relación de Fotografías Aéreas

No. de Vuelo	Fotografías No.	Escala	Fecha	Zona
FAL-407 Faja 47	697 - 699	30200	4 de Octubre /1998	Palmira, zona urbana
IGAC-C-2457	113 - 117	42500	29 de Agosto/1991	Palmira, piedemonte
FAL-407 Faja 43	296 - 299	28400	21 de Julio /1998	Tuluá, zona urbana oriente
IGAC – C- 1514	101	33400	14 de Agosto / 1974	Río Pance
FAL-407 Faja 40	467 - 469	30850	24 de Julio /1998	Tuluá, zona urbana occi.

2.3.1 Geomorfología de la zona de Palmira

2.3.1.1 Fisiografía

El Municipio de Palmira está ubicado sobre terreno llano en un relleno cuaternario de gran magnitud conformado principalmente por materiales granulares como limos, arcillas, arenas, gravas y cantos recubiertos por materiales orgánicos de capa vegetal de espesor variable. Esta planicie es el resultado de rellenos sedimentarios aluviales del Cuaternario reciente en una depresión geomorfológica que se conoce como la fosa intermontaña del Valle del Cauca.

2.3.1.2 Drenaje

Desde el punto de vista de la integración, en general las corrientes que están entallándose a lo largo de las unidades geomorfológicas de piedemonte y cordillera, lo mismo que en la parte plana del valle presentan un buen grado de integración, es decir, todos los canales pueden ser seguidos perfectamente y no hay pérdida de ninguno de estos cursos a lo largo del contorno geomorfológico del área.

En cuanto a la adaptación del drenaje, se puede afirmar que los ríos principales (ríos Anaime, Nima y Vilela) que se encuentran en la parte del piedemonte y la cordillera son inadaptados, porque están siguiendo una línea perpendicular a las estructuras principales como las fallas de Guabas-Pradera, Potrerillos y Cauca-Almaguer. Esto se debe a que el levantamiento de la cordillera ha sido gradual y los ríos que inicialmente tuvieron su origen en la superficie fueron desarrollando su cauce con base en un entallamiento inicial. Es importante anotar que los afluentes de los ríos principales pueden ser considerados como cauces adaptados a las

estructuras, puesto que están siguiendo en varios sectores los lineamientos de las fallas de Potrerillos.

En relación con el patrón del drenaje, se identificaron varios tipos. En el sector de la cordillera está desarrollándose un patrón angular controlado por los sistemas de fallas mencionadas y por los cauces principales, dejando ángulos rectos en numerosas intersecciones. Así mismo, se aprecia localmente patrones de drenaje dendrítico y subparalelo.

En la zona plana del valle es típico el desarrollo de un patrón de drenaje dicotómico, el cual es evidente sobre las fotografías de gran escala, y obedece al desarrollo de depósitos de abanicos coalescentes, razón por la cual cada uno de los valles que bajan de la cordillera están enfrentándose con una serie de canales antiguos y recientes que depositan sus materiales en forma de abanico y los drenajes heredados se pueden considerar como de tipo dicotómico.

En cuanto a la génesis de drenaje, los patrones desarrollados en la cordillera tienen diferentes tipos de génesis. Los cauces principales corresponden a ríos resecuentes, es decir, el proceso de profundización de los cauces debido a la iniciación en forma de drenaje consecuente y posteriormente por el mismo efecto a través de las fallas los drenajes afluentes a estos se pueden considerar de tipos subsecuente. En la zona plana el drenaje está controlado por la pendiente original del terreno, lo cual hace que los ríos puedan ser considerados de tipo consecuente, ya que están drenando desde el piedemonte hacia la zona de colección de aguas que para este caso es el río Cauca.

2.3.1.3 Erosión

Se identificaron diferentes paisajes erosivos en la zona de influencia del área de Palmira. En el sector de la cordillera es frecuente encontrar focos erosivos en forma de cárcavas y surcos lo mismo que erosión laminar.

En la parte plana del valle los focos erosivos únicamente están restringidos a las márgenes de los ríos principales donde se origina socavación lateral. Por esto no es recomendable realizar obras civiles u otro tipo de construcciones cercanas a las márgenes.

2.3.1.4 Fenómenos de Remoción en Masa

Este tipo de fenómenos puede ser identificado en la cuenca alta de los ríos en el sector de la cordillera, donde ocurre socavación que origina desintegración de las laderas formándose deslizamientos remontantes, los cuales durante épocas de lluvias pueden ocasionar represamientos y posteriormente originar descargas torrenciales a través de los cañones de los ríos Amaime y Nima, y las quebradas Tigre y Agua Clara. Corrientes más pequeñas también pueden presentar este tipo de descargas.

Así mismo, en la parte alta de la cuenca de los ríos son frecuentes los deslizamientos rotacionales y translacionales, los flujos de tierra y eventualmente algunos desprendimientos y caídas de bloques de zonas escarpadas asociados con las fracturación del macizo rocoso. Estos fenómenos también implican procesos de desestabilización de laderas que al llegar a ser de gran escala originan taponamientos que generan descargas torrenciales. El río Nima es la corriente que podría tener mayor influencia y riesgo para la zona de Palmira.

2.3.2 Geomorfología de la zona de Tuluá

2.3.2.1 Fisiografía

La zona de Tuluá se encuentra en el costado oriental del Valle del Cauca en cercanías del borde del piedemonte de la cordillera Central, y está conformada por una serie de depósitos que han tenido una evolución relativamente joven.

Geomorfológicamente en la zona se pueden identificar dos sistemas de abanicos aluviales: un sistema de abanicos enmascarado por procesos tectónicos y un sistema de abanicos más reciente sobre los cuales está ubicado el municipio de Tuluá. En la parte oriental de la zona aparece una serie de valles desarrollados por erosión, mientras que en el sector donde está ubicado el municipio y los alrededores predomina una gran llanura formada por depósitos de abanicos aluviales más recientes.

2.3.2.2 Drenaje

Desde el punto de vista de la integración, el drenaje se presenta bien integrado porque los cauces pueden ser seguidos sin ninguna interrupción en las fotografías aéreas lo mismo que en el campo.

En cuanto a la adaptación, existen varios cauces como el del río Tuluá que se define como un cauce inadaptado a la estructura, porque corta perpendicularmente los sistemas de fallas que se encuentran en el piedemonte y parte alta de la cordillera. Localmente existen algunos canales adaptados que están siguiendo lineamientos estructurales locales originados al parecer por algún tipo de fallamiento relativamente joven.

Hacia la parte alta de la cordillera, cauces principales como el del río Tuluá pueden ser considerados como ríos inadaptados por antecedencia, es decir, que la profundización de sus cauces tuvo lugar recientemente y después del levantamiento de la cordillera y está cortando perpendicularmente las líneas de falla.

En relación con el patrón de drenaje, en cercanías del municipio el drenaje del río Tuluá es trezado sobre una llanura de inundación relativamente estrecha de aproximadamente 500 a 600 m de amplitud, la cual en algunos puntos puede extenderse hasta 700 m. En ésta predominan materiales aluviales relativamente recientes. Otro tipo de patrón se identificó en las zonas de abanicos tectonizados, en los cuales localmente se puede apreciar un drenaje angular, donde los cauces principales están colectando canales en forma de alineamientos rectos.

En los sectores donde aflora la formación Paila se encuentra un patrón de drenaje dendrítico controlado por la estratificación, que genera pequeños subpatrones de tipo angular.

Finalmente, en la zona de la planicie de Tuluá se alcanza a distinguir lineamientos semi-radiales lo que indica que estos patrones fueron de tipo dicotómico.

2.3.2.3 Erosión

En la zona de Tuluá se pueden identificar algunos focos de erosión principalmente de tipo laminar, localizados hacia la cordillera en límites con el piedemonte. En el sector de los abanicos es frecuente identificar algunos focos erosivos en forma de cárcavas como el que se encuentra al oriente de Tuluá. En el sector de la cordillera se observan algunos focos activos de erosión en formas laminares y de surcos. En la zona urbana de Tuluá no ocurren fenómenos de erosión importantes debido a que el relieve es prácticamente plano, sin embargo, es evidente que antes de que el río tuviera protecciones se presentaron desplomes de material aluvial de las orillas originados por fenómenos de socavación. En la actualidad gran parte de las orillas están protegidas con muros para evitar el volcamiento de materiales ante ataques del río por socavación lateral.

2.3.2.4 Fenómenos de Remoción en Masa

Hacia la parte alta de la cuenca del río Tuluá se identificaron materiales que han sufrido fenómenos de remoción en masa como grandes deslizamientos, los cuales cubren extensiones importantes de veredas del municipio. Estos fenómenos han generado en el pasado represamientos del río y otras corrientes de agua y pueden seguir ocurriendo, debido a que la zona está afectada por fenómenos tectónicos así como por precipitaciones elevadas que ocurren en algunas épocas. Por lo tanto, la parte alta de la cuenca del río Tuluá presenta una alta susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa que pueden llegar a generar grandes descargas torrenciales con riesgo para el municipio de Tuluá.

Así mismo, es importante destacar que en algunos sitios en zonas de rocas sedimentarias pueden presentarse en los canales subsecuentes pequeñas socavaciones así como susceptibilidad a la formación de deslizamientos de tipo planar.

2.3.3 **Geomorfología de la zona de Buga**

2.3.3.1 Fisiografía

La zona del casco urbano de Buga se encuentra en planicies aluviales cortadas por el río Guadalajara; la parte oriental corresponde a un relieve de colinas con pendientes variables en donde se destaca el valle del río Guadalajara que tiene una dirección este – oeste; hacia la parte alta del río Guadalajara se aprecia una expansión del valle en donde se destacan terrenos escalonados contrastando con colinas de relieve fuerte.

2.3.3.2 Drenaje

Desde el punto de vista de integración de las grandes unidades el drenaje en general está bien integrado, pues sobre las fotografías aéreas la continuidad de los cauces es clara. Sin embargo en el depósito originado por un deslizamiento cerca del Derrumbado el drenaje está mal integrado y hay procesos de infiltración bastante marcados como se aprecia en la Figura 2.21. En cuanto al grado de adaptación especialmente del río Guadalajara se considera como un cauce inadaptado por antecedencia y está cortando el rumbo de las estructuras (estratificación y fallas) en una forma perpendicular. Los ríos tributarios al río Guadalajara sí presentan un buen grado de adaptación y están siguiendo las líneas de falla y algunos planos de estratificación de la formación La Paila.

En cuanto al patrón se pueden reconocer varios tipos dependiendo de la litología y la génesis así: en la llanura aluvial los cauces corresponden a franjas trenzadas y en la parte del abanico se alcanzan a reconocer sobre las fotografías aéreas cauces divergentes del ápice del abanico dejando un patrón dicotómico. En la formación La Paila se alcanzan a reconocer patrones de tipo Trellis y enrejado, en tanto que en la zona del intrusivo de Buga y el macizo Ofiolítico de Ginebra el patrón es principalmente dendrítico.

2.3.3.3 Erosión

En la zona existen varios tipos de erosión así: la zona restringida al cauce del río Guadalajara presenta socavación en las márgenes, lo cual ocasiona desplomes de los depósitos aluviales y caídas de rocas locales, en la Figura 2.34 22 se aprecian escarpes dejados por los fenómenos de socavación lateral.



Figura 2.34 (Fotografía). En esta fotografía se aprecia sobre la margen izquierda del río Guadalajara el proceso de socavación que genera desplomes y erosión en surcos.

Otros puntos de concentración de fenómenos erosivos se detectan en las paredes del río Guadalajara sobre depósitos de terrazas antiguas en donde hay erosión en forma de cárcavas principalmente, esto se aprecia en la fotografía No 20. La erosión en surcos también se aprecia en el escarpe del deslizamiento del Derrumbado.

2.3.3.4 Fenómenos de remoción en masa

En la zona de Buga se destaca un foco de remoción en masa bastante intenso, el cual esta conformado por un gran deslizamiento y un gran escarpe ubicado en el cerro del Derrumbado. Este aparece como una unidad cartografiable incluso sobre fotografías aéreas como se ilustra en el vuelo IGAC C2571 fotografía No 151. Es de resaltar que este fenómeno constituye una amenaza muy alta para la localidad de Buga, puesto que de reactivarse este movimiento durante un sismo puede ocasionar daños en las viviendas que están ubicadas en esta unidad y además si el deslizamiento ocurre en periodos invernales puede taponar el río Guadalajara el cual quedaría represado y la ciudad de Buga se vería fuertemente afectada por procesos de inundación puesto que no habría tiempo suficiente para restituir el cauce.

2.4 RIESGO POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA

El vulcanismo moderno en Colombia se ha desarrollado en las cordilleras Central y Occidental sobre sistemas de fallas importantes como: la falla del Cauca (volcanes Azufral y Chiles); la falla de Romeral (volcanes Galeras, Doña Juana, Sotará, Cerro Negro y Puracé – Coconucos); la falla de Suaza (volcán de Sibundoy); falla de Palestina (volcanes del Complejo Ruiz - Tolima) (Ingeominas, 1.988).

El vulcanismo Cenozoico puede ser dividido en dos etapas (Cepeda, 1.987 en Ingeominas, 1.988): la primera etapa que se inició en el Mioceno y se prolongó hasta el Plioceno Inferior. La segunda etapa se inició en el Plioceno Superior y continúa hasta el presente representada por la fase eruptiva del volcán Nevado del Ruiz que tuvo ocurrencia en 1.984 (Ingeominas, 1.984).

2.4.1 Reseña histórica

De acuerdo con el Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia (Ingeominas, 1.999), las primeras manifestaciones volcánicas en el territorio colombiano se remontan al Pre – Cámbrico y Paleozoico Inferior cuando erupciones volcánicas de tipo submarino originó depósitos de rocas volcánicas las cuales fueron convertidas posteriormente en rocas metamórficas que llegaron a constituir el basamento.

En el Jurásico, erupciones de tipo continental explosivo tuvieron lugar en el Valle del Magdalena, Sierra Nevada de Santa Marta y Península de La Guajira.

En el Cretáceo la actividad volcánica fue principalmente efusiva y submarina, originando espesas secuencias de lava y piroclastitas con intercalaciones de capas sedimentarias, todo lo cual en conjunto contribuyó con la formación de las cordilleras Central y Occidental.

En el Neógeno (23.7 – 1.6 millones de años) y Cuaternario hasta la actualidad, se ha desarrollado un nuevo proceso de actividad volcánica de tipo continental explosiva, de composición riolítica a andesítica, la cual es activa actualmente en la cordillera Central y en el extremo sur de la cordillera Occidental.

Durante esta última época geológica señalada, en la zona comprendida por el sur del departamento del Huila, sureste del departamento del Cauca, norte del departamento de Putumayo y límites de los departamentos de Caquetá – Huila y Putumayo – Nariño, se desarrolló un vulcanismo basáltico alcalino en forma de conos de aproximadamente 2 km de diámetro y alturas de 200 m, de los cuales se desprendieron en algunas ocasiones flujos de lava de corta extensión. Los conos volcánicos más representativos son los altos de la Horqueta, Los Idolos, Purutal, Las Guascas, Los Morros y El Pensil, entre otros (Kroonemberg et al., 1.982, 1.987 en Ingeominas 1.999). Este tipo de vulcanismo está aparentemente relacionado con fallamiento profundo que llega hasta el manto.

2.4.2 Volcanes activos en Colombia

La gran mayoría de los volcanes del mundo se encuentran en el Cinturón Circumpacífico (Scott, 1.993 en Ingeominas 1.999). Se acepta comúnmente que un volcán es activo cuando ha tenido al menos un evento eruptivo en los últimos 10.000 años.

El vulcanismo activo en Colombia está localizado hacia la parte central y oeste del país, como resultado de la convergencia destructiva de la placa de Nazca contra la placa Suramericana.

Este vulcanismo es fundamentalmente explosivo, de composición andesítica a dacítica, con predominio de productos piroclásticos, flujos de lava y flujos de lodo.

Las zonas volcánicas activas en Colombia, son:

- El Grupo Volcánico Ruiz – Tolima
- El volcán Nevado del Huila
- El Grupo Volcánico Puracé – Doña Juana
- El Grupo Volcánico Galeras – Cerro Negro

Las zonas volcánicas activas más cercanas a Palmira, Tuluá y Buga son el Volcán Nevado del Huila y el grupo Volcánico Ruiz-Tolima. Los tres municipios están situados así: Palmira a 75 Km, Buga a 130 Km y Tuluá a 115 km en línea recta al noroeste del volcán Nevado del Huila, y Palmira a 200 km, 132 km Tuluá y 155 Buga, respectivamente al suroeste del Grupo Volcánico Ruiz – Tolima.

El volcán Nevado del Huila está situada a 75 km en línea recta al sureste de Palmira y a 110 km de Tuluá, mientras que el Grupo Volcánico Ruiz - Tolima está ubicado a 145 km al noreste de Palmira y a 130 km de Tuluá

Por lo tanto, se concluye que un riesgo directo por vulcanismo de estas dos zonas volcánicas representado por derrames de lava, flujos de lodo, lluvia de material grueso de piroclastos (bombas volcánicas, lapilli) sobre los dos municipios objeto del presente estudio es improbable por la distancia y ubicación en la cordillera Central en la que se encuentran dichos volcanes. Sin embargo antes del Holoceno se presentaron depósitos de lahares a lo largo del valle del río Tuluá pero estos hoy en día no aparecen nuevos eventos y se corrobora que para que ninguno de los municipios la Amenaza Volcánica es significativa.

Desde el punto de vista geomorfológico regional tampoco se detectaron cercanas a los municipios geofomas circulares o focos volcánicos que hagan sospechar la presencia de actividad volcánica reciente en el flanco Occidental de la cordillera Central.

Sin embargo, está dentro de lo posible el efecto de lluvias de ceniza volcánica sobre gran parte del lado occidental de la cordillera Central, donde se ubican las mencionadas poblaciones.

2.5 PROPUESTA DE SEGMENTACIÓN DE LAS FALLAS

En este numeral se plantea una propuesta general de segmentación de las fallas identificadas como activas o potencialmente activas. Esta segmentación se propone con miras a la elaboración de un modelo de amenaza sísmica regional y local.

Inicialmente se identifica cada una de las fallas, las cuales se caracterizan por el tipo de fallamiento, edad estimada del último movimiento, la tasa de desplazamiento aproximada y la fuente de información en cada caso. A su vez cada falla se subdivide en segmentos, cada uno de los cuales se caracteriza por rasgo morfológico, su longitud, el rumbo y la inclinación promedio.

Para el análisis de los segmentos se tuvo en cuenta una zona que cubre desde los límites entre Cauca y Valle del Cauca al Sur hasta la zona de Armenia incluyendo todos los sistemas de fallas de los flancos del Valle del río Cauca limitados por los flancos de la cordillera central y occidental y los aspectos tectónicos tales como la depresión de Calima – Dagua.

Para este análisis se tuvo en cuenta la segmentación propuesta por Paris en investigación neotectónica: Sistema de Fallas de Romeral y Cali – Patia, Departamento del Valle – Colombia, así como las tasas de desplazamiento propuestas en este informe. Se complementó la información utilizando imágenes de Landsat hacia el Norte en donde se detectaron los lineamientos de las fallas de Cucuana e Ibagué. Es de anotar que los mapas geológicos existentes del Valle del Cauca, Quindío, Cauca, Huila y Tolima muestran una gran cantidad de fallas que varían en su nomenclatura en algunos de ellos se mencionan por ejemplo fallas como Romeral y Cauca Almaguer para el flanco Oriental de la cordillera Central.

Para efectos de este trabajo se agruparon las fracturas mas destacadas y se les colocaron nombres más conocidos. Otros trazos de grandes magnitudes aparecen en los mapas de Ingeominas con un nombre específico pero en las citas bibliográficas involucran otros nombres geográficos y en este informe se hace una unificación de ellos, por ejemplo La gran fractura al Oriente del Valle del Magdalena en algunos mapas aparece como Pitalito – Altamira, en otros aparece como Garzón – Algeciras, en este trabajo se propone el nombre de Pitalito – Algeciras. Estos grandes lineamientos fueron digitalizados y posteriormente transferidos sobre las imágenes de Landsat sobre los cuales a su vez se hizo un ajuste de los rasgos morfotectónicos.

La segmentación propuesta para estos grandes lineamientos se realizó entonces con base en criterios de continuidad, cambio de rumbos y expresión morfológica, teniendo en cuenta toda información disponible y descrita anteriormente y en especial las fotografías aéreas e imágenes de satélite. En el análisis se tratan de identificar los segmentos de mayor longitud que son los que generarían las mayores magnitudes sísmicas. Un detallamiento mayor en el nivel y características de esta segmentación requeriría de estudios mas detalladas basados en fotografías aéreas y exhaustivos

trabajos de campo tanto de observaciones directas como excavaciones ejecutadas con trincheras.

En la tabla 2.1 presenta un resumen de las fallas maestras y sus características principales, mientras que la tabla 2.2 presenta la segmentación propuesta a las fallas maestras y sus características morfológicas y geométricas. Esta información se utiliza en el capítulo 3 de amenaza sísmica para conformar el modelo de análisis de amenaza sísmica.

Tabla 2.2. Fallas Maestras y sus características Principales

Sistema	Falla	Formaciones en Contacto	Tipo	Segmentos	Edad del último Movimiento	Tasa de Desplazamiento mm/año	Fuente
Flanco Oriental Cordillera Central	Ibagué	Esta falla se encuentra en el flanco Oriental de la cordillera Central afectando rocas Paleozoicas y Precámbricas, así mismo el Batolito de Ibagué en el río Cocora. También está desplazando sedimentos Cuaternarios en el Abanico de Ibagué.	Lateral derecho ligeramente oblicuo*	Ib - 1 a Ib - 4 Ver Tabla Segmentos	Menor a 15ka*	1 a 5*	* Paris y Machete.,2000 CO 35
	Cucucana	Subparalela a la falla de Ibagué, en la cordillera Central esta afectando rocas Metamórficas del Paleozoico y el Batolito de Ibagué, presenta cambios de rumbo al Sur de Rovira y en la cuchilla de Tomogó. Esta falla penetra bajo el glacis de acumulación de los sistemas de El Guamo y Espinal y se enfrenta con otro alineamiento que controla el cauce del río Bogotá en las cercanías de Tocaima. No se han reportado desplazamientos de los depósitos Cuaternarios.	Vertical de rumbo dextral*	Cu - 1 a Cu - 7 Ver Tabla Segmentos	Menor a 1,6 Ma*	menor a 0,20*	* Paris y Machete.,2000 CO 34
Flanco Occidental Cordillera Central	Silvia - Pijao	Pone en contacto la Formación Quebrada Grande con complejos de esquistos de Bugalagrande	Inversa buzamiento al Oriente de desplazamiento o dextro lateral	SP - 1 Ver Tabla Segmentos	Sin determinar	0,1 m.m./a	Paris, Sistema de Fallas de Romeral y Cali - Patia
	San Jerónimo	Afecta rocas del Paleozoico correspondientes al complejo Cajamarca y al complejo Arquía. Es el lineamiento más Oriental del flanco Occidental de la cordillera Central. Hacia el Sur (Depto del Cauca), se encuentra afectando depósitos volcánicos y su lineamiento se ha marcado con base en anomalías del drenaje.	Inversa buzamiento al Oriente de desplazamiento o dextro lateral	SJ - 1 a SJ - 2 Ver Tabla Segmentos	Sin determinar	0,1 m.m./a*	* Expresión geomorfológica similar a la de Silvia Pijao
	Cauca - Almaguer	Regionalmente pone en contacto escamas tectónicas de rocas paleozoicas con las rocas volcánicas de la Formación Amaime del Cretaceo en la zona del Valle y hacia el Sur afecta los mismo tipos de roca pero se encuentran en una gran extensión cubiertos por depósitos piroclásticos y lahares.	Inversa buzamiento al Oriente	CA - 1 a CA - 4 Ver Tabla Segmentos	Sin determinar	0,1 m.m./a*	* Expresión geomorfológica similar a la de Silvia Pijao
	Potrerrillos	La Falla de Potrerillos se ubica cercana al Piedemonte Occidental de la cordillera Central y esta afectando rocas principalmente del Cretaceo hacia la parte Central del área de estudio, hacia el Norte afecta rocas del Terciario y hacia el Sur disloca algunos abanicos del Cuaternario. Su expresión morfológica hacia el Sur deja escarpes recientes hacia la parte central, segmentos del drenaje secundario orientados y desplazamientos de los cauces principales, hacia el Norte la falla en general toma un rumbo paralelo al de la secuencia sedimentaria del Terciario.	Inversa con buzamiento al Oriente de desplazamiento o lateral derecho	P - 1 a P - 5 Ver Tabla Segmentos	Sin determinar	0.09	Paris, Sistema de Fallas de Romeral y Cali - Patia
	Guabas Pradera	Su expresión se muestra sobre las imágenes de satélite en el piedemonte Occidental de la cordillera Central y en algunos sectores su alineamiento se manifiesta por la presencia continua de apices de abanicos, en otros sectores queda sepultada en los aluviones del Valle del Cauca y al Occidente de Potrerillos desplaza depósitos aluviales dejando escarpes de más de 20m. Es la responsable de algunos desplazamientos en la zona de El Paraiso y hacia el Norte penetra dentro de la cordillera afectando rocas del Cretaceo y cercano a la localidad de Tuluá desplaza las rocas del Terciario dejando escarpes evidentes de los cuales se han formado conos de abanicos coalescentes muy claros en la imagen de satélite, hacia el Norte esta falla sigue con un lineamiento conocido como la Falla de Quebrada Nueva debajo de los depósitos cuaternarios del Valle del Cauca.	Inversa con buzamiento al Oriente de desplazamiento o lateral derecho	GP - 1 a GP - 4 Ver Tabla Segmentos	Sin determinar	0,1 - 0,2	Paris, Sistema de Fallas de Romeral y Cali - Patia

Flanco Oriental Cordillera Occidental	Roldanillo	Se encuentra en la parte media del flanco Oriental de la cordillera Occidental en el área de estudio. Se ubica al Oriente y Nor Oriente del lago de Calima afectando parcialmente la parte Nor Este del embalse. Esta afectando las rocas del Cretaceo conformadas principalmente por diabasas. Hacia el Norte pone en contacto el complejo ultramafico de Bolivar con las diabasas del Grupo Volcánico.	Normal buzamiento al Oriente	R-1	Sin determinar	0.08	* Expresión geomorfológica similar a Dagua Calima
	Cali - Patia	Es la falla más Oriental del flanco Este de la cordillera Occidental, hacia el Sur afecta rocas del Cretaceo y el Terciario en el área cercana al embalse de Salvajina y en la medida en que se acerca a Cali afecta depósitos de la Formación Jamundí y abanicos recientes. Hacia el Norte del río Pance la falla queda sepultada por el patrón de la Ciudad	Por estar cubierta en toda su extensión se puede asumir normal de alto grado debido a que el lineamiento es muy recto.	CP - 1 a CP - 3, Ver Tabla Segmentos	Sin determinar	0,1*	Ingeominas, Mapa Geológico del Valle, 8 Por la expresion de rasgos geomorfologicos pero menos marcados que la Falla de Guabas Pradera.
Parte Central Cordillera Occidental	Sistema Dagua - Calima	"La falla desplaza rocas cretaceas oceanicas en la parte media del flanco Oriental de la Cordillera Occidental al Sur Occidente de Colombia, al NorOeste de la Ciudad de Cali. La Falla coloca rocas volcanicas oceanicas sobre rocas sedimentarias, causando cerca de 200 m de desplazamiento de una superficie (peneplain) de erosion terciaria a lo largo de la falla. Parte de este desplazamiento ocurrió durante la orogenia andina. Localmente, hacia la parte sur de la falla, el escarpe Oriental esta asociado con un graben de 3-5 km de ancho y cerca de 20 km long, el cual esta parcialmente llenado con depositos aluviales cuaternarios." Paris y Machete.,2000. Tanto el segmento Norte como en el Sur se evidencia el neotectonismo.	Fallas normales con dos angulos de buzamiento, al Oriente y al Occidente	DC- 1 a DC-2 Ver Tabla Segmentos	Menor a 1,6 Ma *	Menor a 0,20 *	* Paris y Machete.,2000 CO - 39
	Río Bravo	Esta afectando principalmente rocas paleozoicas de la Formación Cisneros y rocas de la Formación volcánica constituida por diabasas principalmente. Se encuentra en el eje de la cordillera Occidental. No se propone segmentación ya que sobre las imágenes de Landsat existen recubrimiento de nubes y las de radar del pacífico no tienen resolución para identificarla debido al efecto topográfico en zonas de alta pendiente.	Inversa hacia el Oriente	RB- 1	Sin determinar	0.2	Paris, Sistema de Fallas de Romeral y Cali - Patia
	Garrapatas	Es una falla que cruza oblicua transversalmente la cordillera Oriental y afecta principalmente rocas del Cretaceo. Desplaza algunos bloques según la cartografía de Ingeominas y sobre las imágenes de sensores no se logra establecer una segmentación debido al efecto topografico para el radar del pacífico y al cubrimiento con nubes en las imágenes de Landsat.	buzamiento vertical sinestral	G-1	Menor a 1,6 Ma *	Desconocida probablemente menor a 0,20 *	Ingeominas, Mapa Geológico del Valle 2000, * Paris y Machete.,2000
Flanco Oriental de Cordillera Central	Garzón - Pitalito, Algeciras	Este sistema de falla forma parte de una gran fractura que pasa por Pitalito, Guadalupe, Garzón, Algeciras. Se ha cartografiado como una falla inversa con posible desplazamiento dextral, hacia el Norte pone en contacto rocas del Jurásico y el Triásico con rocas del Paleozoico. En la zona cercana de Garzón el macizo de Garzón - Florencia está limitado por esta falla siendo el bloque Oriental el del macizo anteriormente mencionado y el Occidental el de las rocas del Terciario. Esta falla continua hacia el Sur afectando indistintamente rocas Jurásicas y Cretaceas así como algunos intrusivos entre Timaná y Altamira. Según parece es una de las responsables de la formación de la cubeta intermontana del río Laboyos en Pitalito. Esta falla no fue segmentada ya que no se encontraron elementos contundentes para hacerlo pues su trazo es muy continuo desde Pitalito hasta Algeciras.	Posiblemente Lateral derecho Inversa*	PG-1	Menor a 1,6 Ma probablemente menor a 130 ka *	1 a 5 ?*	* Paris y Machete.,2000 CO - 29i
	La Plata (Chusma)	"La Falla de La Plata (Chusma) se extiende a través del flanco Oriental de la cordillera Central, al Sur Este de Neiva. La falla desplaza rocas sedimentarias del Cretaceo, Jurásico y Triásico, así como también rocas volcánicas del Terciario." Paris y Machete.,2000. Su principal expresión se encuentra al Este de Aipe en donde hay truncamiento notorio de estructuras entre rocas del Cretaceo y las formaciones del Terciario.	Lateral derecho y Inversa *	LPA-1 a LPA-3	Menor a 1,6 Ma conocido menor a 130 ka *	Desconocido probablemente 0,20 a 1 *	* Paris y Machete.,2000 CO - 45
	Irlanda	"La falla de Irlanda se extiende por el eje de la cordillera Central, al Oriente de la Ciudad de Popayan. Corta rocas igneas y metamórficas que son cubiertas por cenizas volcanicas y lapilli." Paris y Machete.,2000.	Lateral derecho *	I-1	Historica 1994 *	Desconocido probablemente menor a 0,20 *	* Paris y Machete.,2000 CO - 46

Flanco Oriental de Cordillera Central	La Dina	"Diederix y Gomez, 1991, asignaron los siguientes normas de localidades cercanas a de Norte a Sur : Betania, Pital-Agrado y Magdalena. La Falla de Dina transcurre al Oriente de la Falla de La Plata. Esta falla desplaza rocas sedimentarias del Jurásico, Cretáceo y Terciario, que son comunes en el valle superior del Magdalena. "Paris y Machete.,2000. Se propone contemplarla como un solo segmento ya que su traza es muy continua y recta.	Inversa lateral derecha *	D-1	Menor a 1,6 Ma *	Desconocido probablemente 0,20 a 1 *	* Paris y Machete.,2000 CO - 47 se corrigio alineamiento
	Pericos	Es una falla que pone en contacto el Batolito de Ibagué con el complejo de Cajamarca y una franja de rocas intrusivas de Tierradentro. Intersecta la carretera Ibagué - Cajamarca a la altura de la quebrada pericos en donde muestra un lineamiento recto que indica un ángulo prácticamente vertical.	Rumbo	Pe-1	Sin determinar	0,20*	* Similar a Palestina por el rumbo y los tipos de rocas que afecta podría asimilarse a Palestina en la Serranía de San Lucas.
Parte Central cordillera Central	La Soledad	Esta falla ha sido planteada en estudios recientes para el tunel de La Linea y en general controla la depresión de la línea en donde pone en contacto diferentes litologías de la Formación Quebrada Grande y escamas del Grupo Cajamarca. En otros estudios se ha conocido también como la Falla el Campanario. La presencia de esta falla se comprobo en los estudios del tunel de La Linea.	Inverso	S-1	No se conoce	Desconocido probablemente 0,08	Rfranco
Flanco Oeste de la Cordillera Occidental	Tambor	" La falla bordea el flanco Occidental de la cordillera Occidental. A lo largo de este trazo la falla se emplaza sobre rocas volcánicas y sedimentarias del Cretáceo en el Oriente, sobre depósitos del Neógeno en el Oeste, que comunmente aflora a traves de muchos de las planicies de la Costa Pacifica." Paris y Machete.,2000. Sobre los sensores remotos no se pudieron reconocer rasgos morfoestructurales debido a la gran cobertura vegetal y a la presencia de nubes.	Lateral derecho ? y Inversa*	T-1	menor a 15 ka*	Desconocido probablemente menor a 0,20*	* Paris y Machete.,2000 CO - 40

Tabla 2.3. Segmentación de Fallas Maestras y Características Morfológicas y Geométricas

Falla	Segmento	Rasgo Morfológico	Geometría del Segmento
Ibague	Ib - 1	En imágenes de Landsat se observa un lineamiento controlado principalmente por anomalía en el drenaje. Este segmento esta limitado hacia el Noreste por la intersección del lineamiento de la Falla Local de La Soledad y hacia el Sur por la intersección de la Falla Silvia Pijao.	LONGITUD: 18,5 km, RUMBO PROMEDIO: 72 a 84° , INCLINACION PROMEDIO: Cercano a la vertical
	Ib - 2	Orientación de los drenajes principales y fuertes evidencias de facetas triangulares. Este segmento se encuentra limitado al Sur por la intersección de la Falla de La Soledad y al Norte por la Intersección de la Falla de Pericos.	LONGITUD: 40 km, RUMBO PROMEDIO: 42 a 60° , INCLINACION PROMEDIO: Cercano a la vertical
	Ib - 3	Orientación rectilínea del cauce del río Cocora, presencia de escarpes en el abanico de Ibagué y anomalía en el drenaje del abanico en la Ciudad de Ibagué sobre los depósitos vulcano sedimentarios del Cuaternario. Además de las evidencias planteadas por Paris en el estudio de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Colombia. Se encuentra limitado este segmento al Sur en la intersección de la Falla de Pericos y la unión con el sistema de Cambao.	LONGITUD: Mayor a 13 km, RUMBO PROMEDIO: 65° , INCLINACION PROMEDIO: Cercano a la vertical
Cucuana	Cu - 1	Hacia el Occidente desaparece la expresión tectónica en el centro del segmento se observa un contraste marcado entre un patron de drenaje subparalelo hacia el sur y dendritico hacia el norte, ademas hay un claro contraste morfológico entre las dos unidades, por el costado Oriental se trunca con la falla de Silvia - Pijao.	LONGITUD: 6,3 km, RUMBO PROMEDIO: 100° , INCLINACION PROMEDIO: vertical
	Cu - 2	Cauce marcadamente subsecuente controlado por la falla. Su limite Oriental es la intersección con la Falla de San Jeronimo.	LONGITUD: 6 km, RUMBO PROMEDIO: 102° , INCLINACION PROMEDIO: vertical
	Cu - 3	Control del cauce principal del río Cucuana y por el Occidente truncamiento con la falla de San Jeronimo. Por el Oriente se trunca con el lineamiento del Sistema de Falla de Pericos, la cual a su vez forma una cubeta tectonica en San Antonio.	LONGITUD: 39 km, RUMBO PROMEDIO: 80+- 20° , INCLINACION PROMEDIO: vertical
	Cu - 4	Control del cauce del río Cucuana y por el Occidente truncamiento con la Falla de Pericos, por el Oriente truncamiento con el lineamiento de falla de Rovira.	LONGITUD: 5,5 km, RUMBO PROMEDIO: 82° , INCLINACION PROMEDIO: vertical
	Cu - 5	Control del cauce del río Cucuana y por el Occidente truncamiento con la Falla de Rovira por el Oriente con fallas menores.	LONGITUD: 2 km, RUMBO PROMEDIO: 93° , INCLINACION PROMEDIO: vertical
	Cu - 6	Control del Cauce del río Cucuana de tipo subsecuente y limite Occidental por fallas locales y hacia el Occidente recubrimiento con los depósitos del abanico del Guamo.	LONGITUD: Mayor a 14 km, RUMBO PROMEDIO: 51° , INCLINACION PROMEDIO: vertical

Silvia - Pijao	SP - 1	Hacia el costado Sur se presentan contrastes en los patrones de drenaje siendo el Oriental de tipo dendrítico y el Occidental marcadamente subparalelo. Hacia el Norte se observa un contraste topográfico y morfológico bastante marcado siendo el bloque Oriental más disectado que el Occidental. Parcialmente los segmentos del drenaje están controlados por este lineamiento y algunos cauces principales siguen su rumbo. Hacia el costado Norte queda sepultada por el Glacis del Quindío pero los ríos Quindío y Otún muestran cambio en su patrón local y en su dirección, observado sobre imágenes de Landsat. Este segmento se consideró como único puesto que las anomalías en el drenaje del Glacis del Quindío dan indicios de superficies de rotura en el Cuaternario.	LONGITUD: 106 km, RUMBO PROMEDIO: 14° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
San Jerónimo	SJ - 1	En la imagen de Landsat se aprecian en algunos puntos controles de la red de drenaje principalmente en donde parcialmente los drenajes tienen cauces subsecuentes y en otros sectores las anomalías muestran alguna continuidad especialmente por lineamientos entre cambios de dirección de los cauces principales y orientación con los cauces secundarios. El recubrimiento de ceniza volcánica impide seguir un trazo definido.	LONGITUD: 100 km, RUMBO PROMEDIO: 27° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
	SJ - 2	Sobre la imagen se muestran cambios en los tonos así como contrastes morfológicos que dejan un escarpe principal al costado Oriental y una zona de menor pendiente al costado Occidental. Así mismo la densidad de la red de drenaje presenta una mayor densidad en el costado Oriental comparado con el Occidental.	LONGITUD: 230 km, RUMBO PROMEDIO: 15+10° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
Cauca - Almaguer	CA - 1	Esta afectando depósitos volcánicos de cenizas y aglomerados volcánicos, morfológicamente presenta lineamientos por anomalías en las orientaciones en los segmentos del drenaje y ligeros cambios de curso de los ríos que tienen dirección Este-Oeste.	LONGITUD: 74 km, RUMBO PROMEDIO: 9° , INCLINACION PROMEDIO: 60-70 grados hacia el Oriente
	CA - 2	No presenta una expresión morfológica marcada y su lineamiento se siguió basado en el cambio morfológico del piedemonte Occidental de la cordillera Central. En general la red de drenaje del costado Oriental presenta menor densidad que la del costado Occidental.	LONGITUD: 35 km, RUMBO PROMEDIO: 43° , INCLINACION PROMEDIO: 60-70 grados hacia el Oriente
	CA - 3	Segmento muy continuo que controla cauces con sentido NorEste tales como el de la quebrada La Tigra, además también se observan algunos cambios en la dirección de los ríos Nima y Amaime.	LONGITUD: 153 km, RUMBO PROMEDIO: 20+3° , INCLINACION PROMEDIO: 60-70 grados hacia el Oriente
	CA - 4	Se encuentra en el plano inclinado del Glacis del Quindío , no se observan rasgos morfotectónicos destacados sin embargo al igual que la de San Jerónimo se presentan anomalías en el drenaje.	LONGITUD: 58 km, RUMBO PROMEDIO: 22° , INCLINACION PROMEDIO: 60-70 grados hacia el Oriente
Potrerillos	P - 1	Orientación de segmentos secundarios de los cauces formando además un contraste topográfico entre el bloque Oriental levantado y el bloque Occidental hundido, en rocas del Cretáceo.	LONGITUD: 6 km, RUMBO PROMEDIO: 10° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
	P - 2	Afecta depósitos Cuaternarios conformados principalmente por abanicos del piedemonte. Entre los que se destacan la rotura de los abanicos de Florida enfrentados con el río Párraga que muestran escarpes entre 5 y 8 m de desplazamiento. Hacia el Norte este segmento queda sepultado por los aluviones recientes del río Bolo.	LONGITUD: 28,7 km, RUMBO PROMEDIO: 10° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
	P - 3	Se observan drenajes orientados en el sentido Norte Sur siguiendo la traza de falla sobre rocas del Cretáceo y en la depresión de La Ruiza donde existen abanicos de cubetas tectónicas se observan escalonamientos recientes, este segmento se limita hacia el Norte por el contacto entre los abanicos y las rocas del Cretáceo (diabasas), en las cercanías de la localidad de La Buitrera.	LONGITUD: 6,5 km, RUMBO PROMEDIO: 0° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
	P - 4	Este segmento se caracteriza por presentar tamos de rotura continuos dentro de las rocas del Cretáceo y su expresión morfológica consiste en cambios en la dirección de los ríos principales tales como el Nima, El Amaime y el Tuluá que presenta una expresión bastante marcada en el cambio del rumbo sobre las imágenes de Satélite.	LONGITUD: 104 km, RUMBO PROMEDIO: 10 a 21° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
	P - 5	La parte más septentrional del lineamiento de Potrerillos está afectando rocas del Terciario las cuales tienen un rumbo muy similar al de la falla cartografiada, su evidencia sobre las imágenes de Landsat no es contundente pero seguramente está siguiendo los planos de estratificación en forma subparalela y no hay una expresión morfológica contundente. Quizá un cambio notable en el río La Vieja pudiera estar relacionada con esta fractura o sus asociadas.	LONGITUD: 25,7 km, RUMBO PROMEDIO: 28° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente

Guabas Pradera	GP - 1	Se presenta un lineamiento bastante marcado en donde se alinean los ápices de los abanicos del Cuaternario, la presencia de este plano de falla es sin duda la responsable de este frente de acumulación. El escarpe Sur Oriental muestra facetas triangulares y morfologías asociadas con la degradación de los escarpes tales como drenajes subparalelos.	LONGITUD: 21 km, RUMBO PROMEDIO: 45° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70 grados hacia el Oriente
	GP - 2	Este segmento está sepultado bajo los depósitos aluviales del Valle del Cauca y el criterio para su trazo son ligeros cambios en el rumbo de las corrientes allí presentes.	LONGITUD: 30 km, RUMBO PROMEDIO: 6° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70 grados hacia el Oriente
	GP - 3	Este segmento deja un claro contraste topográfico entre los depósitos recientes del Valle del Cauca y las rocas Terciarias y Cretaceas de la cordillera Central. Hay evidencias de neotectonismo en la zona conocida como los Lagos de Maracaibo.	LONGITUD: 27 km, RUMBO PROMEDIO: 12° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70 grados hacia el Oriente
	GP - 4	Este segmento penetra en la cordillera y afecta rocas del Cretaceo, su expresión morfológica se muestra por un control marcado en los cambios de alienamiento de los ríos principales y en la orientación en los segmentos de drenaje de tipo subsecuente. La expresión morfológica más destacada se encuentra al Nor Oriente de la localidad de Tuluá en donde el río Bugalagrande cambia la forma del valle pues hacia el Oriente de esta falla es un cauce completamente definido en V y hacia el Occidente se genera un valle trezado con abundantes barras. Además es claro el contraste entre los conos aluviales y las rocas del Cretaceo.	LONGITUD: 62 km, RUMBO PROMEDIO: 13° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70 grados hacia el Oriente
Piendamó	CO - 15d	"Forma un bloque tectónico prominente incluyendo flujos piroclásticos y depósitos de ceniza. Este bloque está limitado por dos escarpes de falla de 400 m de altura, una enfrentada WSW y la otra enfrentada SSW. Hay evidencia geomorfológica de una degradación de escarpes y antiguos deslizamientos en la cara de estos escarpes. Cañones profundos cortan cerca de 200 m dentro de los escarpes formados contra un plano de 400 m de alto. PARIS 2000. Este mismo segmento continúa hacia el Sur Oriente ocasionando anomalías en el drenaje de los cauces principales hasta quedar sepultado en los depósitos piroclásticos.	LONGITUD: 28.3 km (28.9 km cumulative), RUMBO PROMEDIO: -8.4°±18° (N8.4°W±18°), INCLINACION PROMEDIO: Probably medium to high angle to the east and northeast, Dip based on observations from several years of regional field work by Gabriel Paris in northern Cauca area.
Rosas Julumito	RJ-1	Su límite Norte está en los escarpes de la margen derecha del río Quilcacé sobre la imagen se muestra una fractura prominente que pasa por la localidad de Rosas y continúa hacia el Sur en una zona más escarpada. El flanco Occidental muestra remanentes de la Formación Popayán en tanto que en lo más Oriental está más disectado y corresponde a rocas cretáceas y paleozoicas. La carretera panamericana en las vecindades de Rosas ha sido afectada por esta fractura.	LONGITUD: 17 km, RUMBO PROMEDIO: 29° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70°E
	RJ-2	Está desarrollado enteramente sobre los depósitos de la Formación Popayán y sobre las imágenes de Landsat no presenta mayores evidencias.	LONGITUD: 15 km, RUMBO PROMEDIO: 25° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70°E
Palmira - Buga	PB - 1	Se encuentra sepultado bajo los depósitos aluviales del Valle del Cauca y sobre las imágenes no se observan contrastes. En el terreno es bastante complicado establecerlo debido al patrón de cultivos.	LONGITUD: 84 km, RUMBO PROMEDIO: 20° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70°E
	PB - 2	Se encuentra en el Piedemonte de la cordillera afectando rocas del Cretaceo y el Terciario, los sistemas de drenaje se ven afectados principalmente por pequeños desvíos de las corrientes mayores y orientación de los drenajes secundarios de tipo subsecuente.	LONGITUD: 19 km, RUMBO PROMEDIO: 7° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70°E
	PB - 3	Presenta fuertes evidencias de neotectonismo especialmente en los abanicos dislocados de Tuluá y en el truncamiento de los depósitos cuaternarios de la cordillera en el cual se destaca un bloque levantado de la Formación La Paila, además hay un claro contraste de cambio de patrón en el río Bugalagrande.	LONGITUD: 33 km, RUMBO PROMEDIO: 38° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70°E
Roldanillo	R-1	Sobre la imagen de Landsat se pueden observar arreglos de drenaje en forma de segmentos subsecuentes y cambios muy sutiles en la dirección de los cauces principales.	LONGITUD: 68 km, RUMBO PROMEDIO: 32° , INCLINACION PROMEDIO: 70°E
Cali - Patía	CP-1	Este segmento al Sur se encuentra afectando rocas del Cretaceo pero inmediatamente al Norte de Calima se encuentra recubierta por sedimentos del Cuaternario, según fotografías aéreas esta zona al Sur del río Pance muestra algunos indicios de neotectonismo especialmente sobre la Formación Jamundi pero se requiere de más trabajo de campo y análisis de fotografías aéreas, puesto que a este nivel estos segmentos apenas son preliminares.	LONGITUD: 87 km, RUMBO PROMEDIO: 6 - 31° , INCLINACION PROMEDIO : 50 - 70 grados hacia el Oriente
	CP-2	Se encuentra recubierto completamente por sedimentos de aluviones del Cuaternario sin expresiones claras en las imágenes de Landsat de reactivación tectónica en el Cuaternario.	LONGITUD: 127 km, RUMBO PROMEDIO: 9,6 - 32° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70 grados hacia el Oriente
	CP-3	Similar al anterior solo que se encuentra desplazado por la falla de Las Cañas.	LONGITUD: 61,5 km, RUMBO PROMEDIO: 18 - 37° , INCLINACION PROMEDIO: 50 - 70 grados hacia el Oriente

Dagua - Calima	DC - 1	Este segmento se encuentra al Sur del área y se caracteriza por la evidencia de una fosa tectónica que interrumpe parcialmente la superficie de la peniplanicie del Terciario. Hacia el centro de la fosa se encuentran rocas sedimentarias de la Formación Espinal en cuanto a los rasgos neotectónicos estos se encuentran principalmente en los alineamientos dejados por los ápices de conos coalescentes así como la presencia de facetas triangulares y drenajes en los bloques levantados en forma de copas de vino.	LONGITUD: 50 - 70 km, RUMBO PROMEDIO: 1 - 30° , INCLINACION PROMEDIO: 70°E, LONGITUD: 68 km, RUMBO PROMEDIO: 32° , (INCLINACION PROMEDIO:70°E-SE/Paris y Machete.,2000)
	DC - 2	Este segmento se encuentra al Norte de la localidad de Loboguerrero en donde hay un cambio de rumbo y continua hacia el Norte sobre el costado Oriental del Lago Calima. Dejando la traza una secuencia continua de apices de conos de deyección, conos que han sido también afectados por neotectonismo como ha sido investigado en los proyectos de la Woodward Clyde.	LONGITUD: 50 - 120 km, RUMBO PROMEDIO: 70°E, LONGITUD: 68 km, RUMBO PROMEDIO: 32° , (INCLINACION PROMEDIO:70°E-SE/Paris y Machete.,2000)
Río Bravo	RB - 1	Orientación de valles en el sentido de la traza entre los cuales se destaca el curso del río Bravo que desemboca en el río Calima	LONGITUD: 48 km, RUMBO PROMEDIO: 22° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
Garrapatas	G-1	Debido a la ausencia de producto de sensores remotos su morfología no se puede apreciar.	LONGITUD: 122 km, RUMBO PROMEDIO: 40 - 69° , INCLINACION PROMEDIO: 70 grados hacia el Oriente
Garzón Algeciras	PG-1 (CO - 29i, CO - 29h)	"El trazo de falla esta marcado por características de alineación topográfica tales como valles rectos, silletas de falla, rompimientos notorios en los taludes a lo largo del trazo de falla, depósitos cuaternarios confinados en depresiones , sagponds. Muchas de estas características topográficas muestran evidencia de un movimiento dextral. "Paris, 2000.	LONGITUD: 184 km, RUMBO PROMEDIO: N40E, INCLINACION PROMEDIO: 70° hacia el Oriente.
La Plata (Chusma)	LPA-1 (CO - 45)	Se encuentra sobre unidades de rocas volcánicas piroclásticas principalmente tobas soldadas. Este segmento controla el cauce de los ríos afluentes al río La Plata, bien sea por pequeños cambios en la dirección del cauce principal y por la orientación de cauces subsecuentes.	LONGITUD: 45 km, RUMBO PROMEDIO: 44° , INCLINACION PROMEDIO: 40 - 60 grados hacia el Occidente
	LPA-2 (CO - 45)	Basicamente corresponde a un sector cubierto por los sedimentos aluviales del río La Plata.	LONGITUD: 24,5 km, RUMBO PROMEDIO: 35,5° , INCLINACION PROMEDIO: 40 - 60 grados hacia el Occidente
	LPA-3 (CO - 45)	Se encuentra bien definido sobre las imágenes de satélite en donde se aprecia claramente el truncamiento de una gran estructura sinclinal en la zona de Tesalia.	LONGITUD: 40 km, RUMBO PROMEDIO: 26 - 60° , INCLINACION PROMEDIO: 40 - 60 grados hacia el Occidente
Irlanda	I-1(CO - 46)	"La traza de falla tiene una expresión geomorfológica media aunque algo difusa, hay sistemas de colinas alineadas, escarpes de falla degradados, amplios valles de falla, silletas, drenaje alineado y corrientes deflectadas. "Paris, 2000.	LONGITUD: 54.6 km (54.7 km cumulative), RUMBO PROMEDIO: 23.9°±4° (N23.9°E±4°), INCLINACION PROMEDIO: Vertical
La Dina	D-1(CO - 47)	Falla marcada por un trazo bien desarrollado, cambios abruptos en los taludes, silletas y pequeños escarpes. Así mismo los segmentos del drenaje secundario se encuentran orientados y los valles principales que intersecta presentan desviaciones.	LONGITUD: 206.9 km (209.2 km cumulative), RUMBO PROMEDIO: 32.9°±13° (N32.9°E±13°), INCLINACION PROMEDIO: 40°-60°W
Pericos	P-1	Cambios topográficos marcados en los dos lados del lineamiento. El bloque Oriental donde afloran los esquistos el terreno es más disectado en tanto que en las unidades de los granitos el relieve es más redondeado.	LONGITUD: 60km, RUMBO PROMEDIO: 15° , INCLINACION PROMEDIO: Vertical
La Soledad	S-1	Muestra una expresión clara sobre fotografías aéreas y en el terreno se ven drenajes secundarios orientados.	LONGITUD:20 km RUMBO PROMEDIO: 350° , INCLINACION PROMEDIO: 70° E
Tambor	T-1(CO - 40)	Contraste topográfico entre el bloque Oriental y el Occidental siendo el más prominente el bloque Orienta. Hay control en los valles que descienden de la cordillera en donde además del desplazamiento se encuentran ápices de conos aluviales alineados con la traza.	LONGITUD: 117.5 km (118.7 km cumulative), RUMBO PROMEDIO: 26.1°±9° (N26.1°E±9°), INCLINACION PROMEDIO: Probablemente de alto angulo hacia el Este.

2.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del reconocimiento realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

- Por su ubicación en la esquina nor-occidental del continente suramericano, el territorio colombiano ha estado sometido a esfuerzos dirigidos en diferentes direcciones por el efecto de la convergencia de tres placas tectónicas: la placa oceánica del Caribe al norte, la placa oceánica de Nazca al Oeste y la placa continental Suramericana localizada al Este de la placa de Nazca.
- De acuerdo con la evolución tectónica de la esquina nor-occidental de Sudamérica, en Colombia es posible identificar ocho provincias geotectónicas de occidente a oriente: La Faja Costera del Pacífico, La Cordillera Occidental, El Valle del Cauca, La Cordillera Central, El Valle Medio del Magdalena, La Cordillera Oriental, La Cuenca de los Llanos, la Cuenca de la Orinoquia / Amazonia y la Región del Caribe.
- Los municipios de Palmira, Tuluá y Buga están localizados en el departamento del Valle del Cauca, una región que forma parte del sector sur-occidental del territorio colombiano, en la cual la geomorfología característica es la de un valle de fosa en su parte central limitado en los costados por las cordilleras Occidental y Central. Palmira está ubicada sobre el valle hacia el extremo oriental del mismo, a unos 5 km del borde del piedemonte de la cordillera Central. Tuluá y Buga también están ubicada sobre el valle pero muy cerca del borde del piedemonte de la cordillera Central.
- Este valle de fosa está constituido por un basamento ígneo probablemente volcánico en su mayor parte, sobre el cual yacen rocas sedimentarias del Terciario cubiertas por un grueso depósito de sedimentos del Cuaternario, constituidos en su mayor parte por materiales aluviales transportados y depositados por el río Cauca, así como por abanicos aluviales y coluviones depositados en las márgenes del valle. La cordillera occidental se compone principalmente de rocas volcánicas y metasedimentos cretáceos de origen oceánico, mientras que la cordillera Central está constituida por un conjunto de rocas volcánicas e intrusivas cretáceas también de afinidad oceánica, recubiertas en el piedemonte por rocas sedimentarias terciarias y depósitos principalmente torrenciales recientes.
- De acuerdo con el reconocimiento de campo realizado, con la geología regional del departamento del Valle y con la información suministrada por la CVC de 33 perforaciones realizadas en Palmira y alrededores para la prospección de agua subterránea, este municipio está cimentado sobre terrenos llanos del valle del río Cauca constituidos por materiales aluviales como limos orgánicos, arcillas, arenas, gravas y en algunos casos bloques, en proporciones variables. Un perfil generalizado de estos materiales del subsuelo de Palmira es como sigue: hacia la superficie un suelo orgánico limo-arcilloso de 0.3 a 5 m de espesor, que en algunos casos puede llegar a espesores mayores a los indicados. Debajo una sucesión de por lo menos 219 m de capas intercaladas de arcillas inorgánicas, arenas de grano fino a grueso, arenas con gravas y lechos de gravas de rocas volcánicas, con predominio de los materiales finos sobre los gruesos. Estos sedimentos aluviales, que seguramente deben alcanzar un espesor mayor, se apoyan en profundidad sobre rocas terciarias y volcánicas que constituyen el basamento del Valle del río Cauca, según imágenes de líneas de reflexión sísmica realizadas por ECOPETROL.

- Con base en la consulta de registros de 21 perforaciones suministrados por la CVC, el municipio de Tuluá está cimentado principalmente sobre terrenos llanos constituidos de una parte por depósitos gruesos de abanico aluvial (hacia su extremo más oriental) y de otra parte por sedimentos aluviales desarrollados por los ríos Cauca y Tuluá. Estos materiales probablemente ocurren entremezclados en proporciones variables de capas intercaladas de limos orgánicos, arcillas, arenas, gravas, cantos y bloques. Un perfil estratigráfico generalizado para el subsuelo de Tuluá y alrededores se sintetiza así: Hacia la superficie aparece un suelo orgánico limo-arcilloso de 0.6 a 3.5 m de espesor. Debajo se presenta un conjunto de por lo menos 170 m de espesor de gravas, cantos rodados y bloques de roca volcánica en matriz de arena, intercalados por capas de arcilla, limo y arena, siendo predominante la fracción gruesa sobre la fracción fina. Más abajo aparece una intercalación de capas de arcillas, arcillas limosas y arenas con algunas gravas, hasta por lo menos 210 m de profundidad. Estos materiales, que también deben alcanzar un espesor mayor al señalado, al igual que la región de Palmira descansan en profundidad sobre rocas sedimentarias terciarias y rocas volcánicas que constituyen el basamento.
- La ciudad de Buga se ha dicho que está fundada sobre depósitos aluviales recientes en una zona plana conformada por el ápice de un abanico aluvial el cual está conformado principalmente por bloques redondeados, cantos rodados, gravas y arenas en las vecindades del piedemonte. Esta litología va cambiando paulatinamente y en la zona urbana los bloques prácticamente desaparecen encontrándose cantos rodados, gravas y arenas principalmente. La zona distal del abanico sobre el cual se ubica la ciudad está conformada por arenas, gravas y algunas lentes de limos. Toda la zona está cubierta por una capa de suelos orgánicos producto de la meteorización de estos materiales aluviales. En cuanto al espesor este es variable y es así como en el cauce del río cercano al ápice del abanico los espesores observados son de casi 3m pero hacia la parte central y distal estos espesores son mayores y además están cubriendo una gruesa capa de antiguos eventos aluviales que pueden superar los 200m.
- La zona urbana de Palmira y alrededores presenta un bajo riesgo por fenómenos de erosión, pues los principales focos erosivos ocurren como cárcavas, surcos y erosión laminar en el sector de la cordillera y piedemonte, retirados entre 5 y 8 km del municipio. En el sector del valle los focos erosivos se restringen a las márgenes de los ríos principales por socavación lateral como los ríos Amaime y Nima también retirados del casco urbano. Riesgos de fenómenos de remoción en masa también son bajos pues estos solo ocurren en las cuencas altas de los ríos en la cordillera, representados por desintegración de laderas, deslizamientos remontantes y represamientos de corrientes con riesgo de avalanchas torrenciales a través del curso de ríos y quebradas. El río Nima es la corriente que podría tener mayor influencia y riesgo para la zona de Palmira.
- En la zona de Tuluá ocurren focos de erosión en el abanico aluvial localizadas al oriente del municipio en forma de cárcavas. Más hacia la cordillera se presentan focos activos en formas laminares y de surcos. Dentro de la zona urbana no ocurren estos fenómenos porque el relieve es plano y aunque está atravesada por el río Tuluá, las orillas están protegidas con muros para prevenir la socavación lateral. Fenómenos de remoción en masa ocurren en la cuenca alta del río Tuluá que generaron en el pasado represamientos de la corriente, por lo tanto, el municipio presenta una alta susceptibilidad y riesgo ante grandes descargas torrenciales. Este se traduce en alguna zona de riesgo o restricción en la zona urbana.

- En cuanto a la zona de Buga además de las descargas torrenciales que se pueden generar en las épocas invernales que ocasionan desplome de las laderas del río Guadalajara se pudo identificar un fenómeno de remoción en masa que afecta los depósitos cuaternarios levantados por neotectonismo y que han generado un gran deslizamiento hacia la base del cerro del derrumbado. Además del escarpe tan evidente en la parte alta de este sector se observa en la parte media un depósito conformado por deslizamientos sucesivos que constituyen una amenaza alta y que se recomienda que no sea desarrollada urbanísticamente puesto que durante los eventos de lluvia acompañados con sismos pueden llegar a ser una alta amenaza para las personas o bienes que allí se ubiquen.
- El riesgo por actividad volcánica es bajo por cuanto la zona volcánica activa más cercana a Palmira, Tuluá y Buga, el volcán nevado del Huila, se encuentra en el lado opuesto de la cordillera Central. En el evento de una erupción de este volcán el mayor riesgo sería lluvia de cenizas volcánicas. No hay evidencias de posibles avalanchas que se generen hacia este sector de los municipios
- El riesgo por actividad sísmica es máximo por cuanto Palmira, Tuluá y Buga, así como el resto del departamento del Valle, están localizados en una zona de amenaza sísmica alta por su proximidad a la fuente sismogénica de la costa Pacífica, y por estar dentro de la zona de influencia de fuentes sismogénicas de varias fallas geológicas con segmentos activos localizadas en la cordillera Central (Fallas Guabas-Pradera, Potrerillos, Buga-Palmira y Silvia-Pijao) y Occidental (Dagua-Calima, El Saladito, Río Bravo y algunas otras localizadas en ambos flancos de la cordillera).

Con base en la interpretación de la geología y la geomorfología se lograron identificar y seleccionar sitios óptimos para las perforaciones y la ubicación de los acelerógrafos como a continuación se describe:

- En la zona de Palmira se reconocieron los sectores de la cantera Calandaima, Club de Tiro y La Buitrera para la instalación de los acelerógrafos y la ejecución de perforaciones en roca. Así mismo, en el área urbana del municipio existen varios sitios seguros para el mismo propósito en suelos blandos cuaternarios de origen aluvial.
- En la zona de Tuluá se seleccionaron como sitios más apropiados para la instalación de los acelerógrafos y la ejecución de perforaciones en roca, en las lomas constituidas por la formación La Paila localizadas al Este de la población. Así mismo, en el sector urbano del municipio existen lugares seguros para el mismo propósito en suelos blandos cuaternarios de origen aluvial y de abanicos aluviales.
- Para la zona de Buga igualmente se seleccionaron los sitios más adecuados para la instalación de los acelerógrafos en la zona del ápice del abanico en la margen derecha del río Guadalajara en donde las rocas de la Formación Paila están a profundidades razonables para la instalación de estos elementos. Se hizo una aclaración que por ningún motivo se deberán instalar acelerógrafos en la margen izquierda debido a la presencia de el gran deslizamiento del cerro del Derrumbado.
- Si se requieren estudios de neotectonismo de mayor detalle, se podrían adelantar investigaciones mediante exploraciones con trincheras en los sectores del piedemonte al oriente de Palmira, Tuluá y Buga.

2.7 BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, J., 1.995. Geología del Complejo Ofiolítico de Pácora y Secuencias Relacionadas de Arco de Islas (Complejo de Quebradagrande), Colombia. Boletín Geológico de Ingeominas, Volumen 35 No.1, pp 1 – 48. Santafé de Bogotá, 1.995.

Cazier, Hayward, Espinosa, Velandia, Mugniot & Leel, 1.995. Petroleum Geology of the Cusiana Field, Llanos Basin Foothills, Colombia. AAPG, Bulletin, Volume 79, No.10, pp 1444-1463.

Cooper, Addison, Alvarez, Coral, Graham, Hayward, Howe, Martinez, Naar, Penas, Pulham, & Taborda, 1.995. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, eastern cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG Bulletin, Volume 79/10, October, 1.995.

Dengo & Covey, 1.993. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Applications for Trap Styles and Regional Tectonics. AAPG, Bulletin V.77, No.8, pp 1315-1337.

FUP, 2.004. Pequeña Microcentral Hidroeléctrica de Guapi. Estudio de Geología. Convenio Fundación Universitaria de Popayán (FUP) – IPSE. Bogotá.

Gruyter & Wu, 1.994. Inversion and Thin Skin Deformation Exploration in the Eastern Cordillera Thrust Front. Maxus Energy.VII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 4 a 8 de Septiembre, 1.994.

IGAC, 1.995. Departamento del Valle del Cauca. Escala 1:300.000. Bogotá.

Ingeominas, 1.988. Mapa Geológico de Colombia.

Ingeominas, 1.982. Mapa Geológico Preliminar, Plancha 244-Ibague, escala 1:100.000.

Ingeominas, 1.984. Mapa Geológico Preliminar. Plancha 261 Tuluá. Escala 1:100.000. Bogotá.

Ingeominas, 1.984. Mapa Geológico Preliminar. Plancha 279 Dagua. Escala 1:100.000. Bogotá.

Ingeominas, 1.984. Mapa Geológico Preliminar. Plancha 280 Palmira. Escala 1:100.000. Bogotá.

Ingeominas, 1.988. Mapa Geológico de Colombia, escala 1: 1'500.000. Memoria Explicativa. Bogotá, Colombia.

Ingeominas, 1.998. Geología de la Plancha 266 Villavicencio. Escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá.

Ingeominas, 1.999. Geología de la Plancha 245 Girardot. Escala 1:100.000. Bogotá.

Ingeominas, 1.999. Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia.

Ingeominas, 2.000. Geología de la Plancha 264 Espinal. Escala 1:100.000. Bogotá.

Ingeominas, 2.001. Geología del Departamento del Valle del Cauca. Escala 1:250.000.

INGETEC S.A, 1.985. Túnel de La Línea. Estudios Geológicos para el Diseño del Túnel. Estudio para el MOPT. Bogotá.

James, M., 1.986. Estudio Sismotectónico del Area del Viejo Caldas. Informe 2008. Ingeominas, Regional Medellín. Medellín, 1.986.

Mc Court, Muñoz & Villegas, 1.990, Regional Geology and Gold Potential of The Guapi – Napi Drainage Basin and Upper Timbiqui River, Cauca Department, S.W. Colombia. Valle and Cauca Pacific Coast Precious Metals Project – MPP, Phase II, 1.988 – 1990. Convenio Ingeominas – British geological Survey. Ingeominas, Regional Cali, 1.990.

Ingeominas, 1.992. Departamento del Valle del Cauca. Mapa Geológico Generalizado. Memoria Explicativa. Bogotá, Colombia.

Mora, H., 1.995. Resultados de GPS en el Sector Colombiano. Seminario de Sismotectónica del Borde Llanero. Bogotá, Colombia, 1.995.

París & Romero, 1.993. Fallas Activas de Colombia. Boletín Geológico de Ingeominas, Vol.34, No. 2-3, pp. 3 a 25, 1.994. Santafé de Bogotá, Colombia.

Restrepo, P, 1.989. Restauración de la Sección Geológica Cáqueza-Puente Quetame: Moderna Interpretación Estructural de la Deformación del Flanco Este de la Cordillera Oriental. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Geociencias. Bogota, 1.989.

Restrepo & Villamil, 1.993. Assesment of Structural Styles and Estimation of Stratigraphic Thickness, Stretching and Crustal Shortening in the Eastern Andean Cordillera, Colombia. Advance Exploracion Organization, Conoco Inc., Houston, Texas.

Universidad de los Andes, 2.002. Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales. Informe Final. Alcaldía de Manizales. Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles (CIMOC), Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos (CEDERI). Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.