

4. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

4.1 TOPOGRAFÍA.

La zona de estudio se localiza entre el límite de la llanura aluvial del río Cauca al Occidente y la vertiente oriental de la Cordillera Central al Este. Al NW comprende una franja de colinas estrechas y alargadas de dirección general NS, expresión de rocas sedimentarias del Terciario ocasionalmente plegadas. Entre esta unidad y el inicio de la Cordillera Central propiamente dicha, conformada por rocas del Cretáceo y más antiguas, se extiende una llanura de rellenos fluviovolcánicos de la Formación Armenia, que en la zona tiene un ancho promedio en sentido E-W de 16 km. Al Sur y al E de esta planicie la región es montañosa y abrupta, con alto grado de disección y valles estrechos entre los que sobresalen los de los ríos Barragán, Pijao, Lejos y Rioverde (ver mapas 4, 7 y 8 del Anexo A). Las alturas están entre las cotas 950 y 3900 msnm, con pendientes naturales del terreno entre 0 y 67 grados.

4.2 DRENAJES.

Los ríos Quindío, Barragán y Pijao, junto con sus tributarios Santo Domingo, Río Verde, Río Azul y Río Lejos, en territorio del Quindío, conforman el río La Vieja; Orisol y Chili, drenan hacia el Magdalena en territorio del Tolima y el río Polo o Saldaña, Bugalagrande, San Marcos y Totoro, en territorio del Valle del Cauca, drenan

directamente a la planicie aluvial del río Cauca y de allí a éste (ver mapa 4 en el Anexo A).

4.3 DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA.

El territorio objeto de estudio en el Quindío se encuentra distribuido entre los pisos térmicos cálido, templado, frío y páramo, y presenta una precipitación media anual entre 1725 mm en Génova y 2251 mm en Montenegro (IGAC 1996a).

En el Tolima los territorios municipales se encuentran entre los pisos térmicos templado, frío y páramo con una precipitación media anual entre 1100 mm (Roncesvalle), y 1281 mm en Cajamarca (IGAC, 1996a).

Los del Valle del Cauca tienen una temperatura media anual entre 20° C y 24° C, sus territorios, parcialmente cubiertos por este proyecto, se encuentra entre los pisos térmicos cálido, templado, frío y páramo, y presentan una precipitación media anual entre 1166 mm en Bugalagrande y 2514 mm en Sevilla (IGAC, 1996a).

Con base en la zonificación climática del área de estudio (que será explicada en detalle en el Capítulo 6), se encuentran zonas Subhúmedas, Húmedas y Muy Húmedas, que comprenden los pisos térmicos Tierra Caliente, Tierra Moderadamente Caliente, Tierra Templada, Tierra Moderadamente Fría, Tierra Fría y Páramo.

Combinando las zonas de humedad con los pisos térmicos se obtienen las zonas climáticas diferenciadas en Tierra Caliente Sub Húmeda, Tierra Moderadamente Caliente Sub Húmeda, Tierra Moderadamente Caliente Húmeda, Tierra Templada Húmeda, Tierra Templada Muy Húmeda, Tierra Moderadamente Fría Húmeda, Tierra Moderadamente Fría Muy Húmeda, Tierra Fría Muy Húmeda y Páramo, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Zonificación climática.

Humedad.	Piso	Zona Climática	Altura Msnm	Temp °C	PP anual Mm	Área km ²	% del Area Total	Municipios
Sub Húmedo (SH)	TC	TCSH	< 1000	> 24	[1000 2000]	38.4	2	Montenegro, La Tebaida, La Victoria y Sevilla
	TMC	TMCSH	[1000 1400]	[20 24]	[1000 1500]	5	0.3	La Victoria
Húmedo (H)	TMC	TMCH			[1500 2500]	751.6	38.3	Todos los municipios excepto Cajamarca y Roncesvalle
	TT	TTH	[1400 2000]	[16 20]	[1200 2000]	103.6	5.3	Génova, Pijao, La Victoria, Sevilla y Caicedonia
	TMF	TMFH	[2000 2800]	[12 16]	[1000 2000]	3.5	0.20	Génova y Caicedonia
Muy Húmedo	TT	TTMH	[2000 2800]	[12 16]	[2000 4000]	370	18.9	Génova, Pijao, Buenavista, Calarcá, Córdoba, Armenia, Bugalagrande, Sevilla, Tuluá y Caicedonia.
	TMF	TMFMH	[2000 2800]	[12 16]	[2000 4000]	271.2	13.8	Todos los municipios excepto Armenia, Montenegro, La Tebaida, La Victoria y Bugalagrande
	TF	TFMH	[2800 3400]	[8 12]	> 2000	204.3	10.4	Génova, Pijao, Calarcá, Córdoba, Cajamarca, Roncesvalle
Páramo	P	P	> 3400	< 8		212.4	10.8	Génova, Pijao, Calarcá, Córdoba, Cajamarca, Roncesvalle

4.4 TECTÓNICA REGIONAL.

El ambiente tectónico del suroccidente Colombiano está regido por la compleja y dinámica interacción de tres placas tectónicas mayores las cuales, por su desplazamiento en los periodos geológicos, han deformado la corteza continental que conforma el territorio y son causa primaria de los sistemas de fallas que lo atraviesan y de la actividad sísmica actual.

Se encuentra ubicado en límites de la placa Nazca y Caribe (oceánicas) que colisionan con la placa Suramericana (continental). Debido a esta colisión se origina un proceso conocido como subduccion que consiste en el hundimiento de la placa oceánica (más densa) bajo la continental, para penetrar de nuevo en el manto terrestre, acumulando y liberando gran cantidad de energía. En el suroccidente colombiano la placa Nazca subduce en un plano, la zona de Wadati-Benioff, hasta profundidades entre 120-160 km con un ángulo de buzamiento de 30 grados en el segmento Cauca, entre las latitudes 3°N - 5°N. (Monsalve, 1998).

En 1988 se dio inicio al proyecto "Central And South American GPS Project" - CASA, (Kellog et al., 1989), cuyo objetivo era medir por medio del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), las tasas y vectores de desplazamiento de las placas. Se ha calculado que la placa Nazca se desplaza en sentido W-E con una velocidad de cerca de 50 mm/año (Mora, 1995 en Guzman et al., 1998), mientras que la placa Caribe se desplaza en dirección SE a una tasa de 8 mm/año (Mora, 1995).

Enmarcado en las placas Suramérica, Nazca y Caribe se encuentra el Bloque Norandino, limitado al oriente por el sistema de fallas frontal de la cordillera Oriental y al occidente por la fosa de subducción de la placa de Nazca, al noroccidente con la placa Caribe y el Bloque Panamá y al norte con la Falla de Oca (Guzmán et al., 1998). Se desplaza en dirección NE a una tasa aproximada de 6 mm/año. También se sabe que el Bloque Panamá, a su vez, colisiona con el Bloque Andino en sentido SE entre 7 y 23 mm/año. Observaciones de las relaciones entre las Placas Caribe y Bloque Panamá

con el Bloque Norandino han permitido elaborar hipótesis sobre la probable rotación de este último, derivada de la colisión de Panamá (Mora, 1995). El Bloque Norandino se encuentra atravesado por diferentes sistemas de fallamiento y sobre él se encuentra la zona de estudio.

Estos procesos tectónicos de escala grande han dado origen a varias fuentes sísmicas:

4.4.1 Fuentes asociadas con la zona de subducción.

Se distinguen dos tipos:

- Fosa oceánica.

Es la fuente sísmica más importante del país. Corresponde a la zona donde se inicia el proceso de subducción y la placa oceánica se dobla para hundirse en el manto, originando eventos de profundidad no mayor a 40 km y sismos con magnitudes mayores de 8.0 (OSSO, 1996a). Se ubica a unos 150 a 200 km paralela a la Costa Pacífica entre Ecuador y Colombia. Con esta fuente se asocian terremotos como el del 31 de enero de 1906 y 12 de diciembre de 1979, que alcanzaron magnitudes de momento (M_w) de 8.6 y 7.9 respectivamente.

- Zona de Wadati – Benioff.

Corresponde a la continuación de la zona de subducción, en la interface directa entre la placa oceánica y la placa continental a profundidades desde 40 hasta más de 160 km y magnitudes máximas entre 6.0 y 7.0 (OSSO, 1996a). La actividad se concentra bajo las cordilleras Occidental y Central, en los territorios del Valle del Cauca, Eje Cafetero y sur del Chocó. Se han asociado a ésta fuente eventos como el del 23 de noviembre de 1979 (El Águila, Valle) y 8 de febrero de 1995 (Calima - Darién), con magnitudes 6.4.

4.4.2 Fuentes intraplaca.

Corresponde a la actividad en la corteza continental en las fallas activas que atraviesan la región, producto de los esfuerzos regionales. Se caracterizan por su poca profundidad. A estas fuentes corresponden los sismos del 31 de marzo de 1983 (Popayán), 6 de junio de 1994 (Páez) y 25 de enero de 1999 (Quindío).

4.5 UNIDADES LITOLÓGICAS.

En este numeral se describen las unidades litológicas, con base en la revisión de la literatura y cartografía geológica. En el área se encuentran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, originadas durante diferentes periodos geológicos, afectadas por tramos activos de fallas geológicas. Las unidades se describen de acuerdo con McCourt et al., (1984) e INGEOMINAS (1991, 1999) y se muestran en el Mapa 8 del Anexo A.

4.5.1 Paleozoico.

- Complejo Cajamarca.

Complejo polimetamórfico localizado al este de la Falla de San Jerónimo, en el cual se pueden detectar varios eventos metamórficos, en parte superpuestos. Conformado por:

Pev (Esquistos verdes). Esquistos actinolíticos y cloríticos a veces calcáreos de color verde predominante; localmente con intercalaciones concordantes de esquistos sericíticos. Son de grano fino a medio, masivos en afloramiento, pero con buena esquistosidad (McCourt et al., 1984)

Pes (Esquistos negros). Esquistos cuarzo-sericíticos grafitosos, pizarras y filitas, localmente con intercalaciones de esquistos cloríticos (INGEOMINAS, 1991b). Son de

grano fino a medio, tiene abundantes replegamientos, venas y lentes de cuarzo de segregación (McCourt et al., 1984).

Pq. Cuarcitas y cuarcitas biotíticas (INGEOMINAS, 1991a). Son variedades mineralógicas y texturales de los esquitos y filitas negras, que tienen cantidades menores de sericita y grafito, con aumento en el porcentaje de cuarzo y biotita (McCourt et al., 1984).

Pzc. Esquistos cuarzo-sericíticos, esquistos actinolíticos y cloríticos sin diferenciar. (INGEOMINAS, 1991a).

- Complejo Rosario (Pzr).

Secuencia de anfibolitas macizas, localmente granatíferas, asociadas parcialmente con rocas ultrabásicas tectonizadas (McCourt et al., 1984).

- Grupo Bugalagrande (Pzb).

Secuencia metamórfica pelítica - metavolcánica de composición básica, probablemente de origen oceánico. Está compuesta de esquistos grafiticos con intercalaciones locales de cuarcitas. Muestra evidencia de metamorfismo regional con varios eventos posteriores de metamorfismo dinamotérmico (McCourt et al., 1984).

4.5.2 Mesozóico (Cretáceo).

- Complejo Quebradagrande.

Conformada por:

Kqs. Unidad sedimentaria. Pizarras arcillosas y silíceas, grauvacas, limolitas, liditas y localmente bancos de calizas e intercalaciones de rocas volcánicas. En gran parte

muestra efectos de metamorfismo dinámico (INGEOMINAS, 1991a). Consta de shales negros, areniscas, grawacas y bancos delgados de chert negro. El mineral dominante es el cuarzo (McCourt et al., 1984).

Kqv. Litodema volcánico. Derrames lávicos submarinos parcialmente espelitizados y rocas piroclásticas hacia los niveles superiores, localmente con intercalaciones sedimentarias (INGEOMINAS, 1991a). Se pueden identificar diabasas, basaltos, andesitas y tobas. La textura dominante es cataclástica, con relictos de textura ofítica y subofítica (McCourt et al., 1984).

Kq. Zona de predominio de rocas *Kqv* y *Kqs*, donde se presentan rocas de *Pev*, emplazadas tectónicamente (INGEOMINAS, 1991a).

- Rocas Ultramáficas (*Ku*).

Serpentinitas localmente con estructura esquistosa por efectos dinámicos, contactos generalmente tectónicos (INGEOMINAS, 1991a). Cuerpos ultramáficos, serpentinizados y tectonizados localmente con fragmentos de eclogitas y anfibolitas. Rocas eclogíticas que emplazan a lo largo de una zona de fallamiento del Sistema Romeral (McCourt et al., 1984).

- Complejo Ígneo de Córdoba (*Kdi*).

Principalmente dioritas con variaciones composicionales a granodiorita (INGEOMINAS, 1991a). Intrusivo básico a intermedio, hornbléndico de composición variable entre diorita y cuarzodiorita, de grano fino a grueso (McCourt et al., 1984). Intruye las rocas del Complejo Arquía y Quebradagrande. Presenta estructuras debidas a metamorfismo dinámico (INGEOMINAS, 2000c).

- Formación Amaime (Jka).

Se localiza a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Central en contacto fallado con las rocas metamórficas paleozoicas. Consiste en una secuencia de lavas basálticas almohadilladas de origen oceánico, típicamente tectonizadas (McCourt et al., 1984). Se extiende a través del Valle del Cauca como un cinturón de rumbo NE - SW de 140 km de largo y 5 - 15 km de ancho (INGEOMINAS, 1999c).

- Cuarzo-dioritas (Kcd).

Plutones intermedios a veces porfiríticos localizados a lo largo de las zonas de falla del sistema Romeral intruyendo rocas metamórficas paleozoicas (McCourt et al., 1984).

- Batolito de Ibagué (Jcdt-t).

Cuarzo - diorita/tonalita biotítica - hornbléndica con variaciones texturales y composicionales a granodiorita y zonas restringidas de composición granítica - pegmatítica (McCourt et al., 1984).

- Pórfidos (Ta, Tp).

Diques y stocks de composición intermedia, dacítico - andesíticos, que intruyen las rocas paleozoicas y mesozoicas. Su edad exacta es desconocida (McCourt et al., 1984).

4.5.3 Terciario.

- Formación Cauca Superior. Miembro Cinta de Piedra (Tocp).

Rocas sedimentarias continentales, areniscas verdosas con intercalaciones de arcillolitas y conglomerados del Mioceno Inferior (INGEOMINAS, 1991a). Esta unidad

está compuesta por areniscas friables de color gris verdoso con tamaño de grano variable, textura clástica y cantos subredondeados, con algunas intercalaciones de conglomerados polimíticos y arcillolitas verdosas (McCourt et al., 1984). Aflora en el valle del río La Vieja, en el extremo occidental del departamento del Quindío. Este miembro ha sido considerado del Oligoceno Superior (INGEOMINAS, 1999c).

- Formación La Paila (TMp).

Rocas sedimentarias continentales. Areniscas, conglomerados y unidades de tobas dacíticas del Mioceno (INGEOMINAS, 1991a). La composición de los conglomerados, sugiere que la formación pertenece a un ambiente fluvial con aportes de la Cordillera Central (McCourt et al., 1984). Aflora en el extremo occidental del departamento del Quindío en el valle del río La Vieja, suprayaciendo en discordancia al miembro Cinta de Piedra. Se le considera del Mioceno Inferior (INGEOMINAS, 1999c).

- Formación La Pobreza (TmPo).

Secuencia sedimentaria continental de conglomerados y areniscas. (McCourt et al., 1984). Se sugiere una edad de Mioceno Superior o Plioceno (INGEOMINAS, 1999d).

- Formación Zarzal (TPz).

Secuencia sedimentaria conformada por diatomitas, arcillas y arenas tobáceas (McCourt et al., 1984). En la parte inferior de esta formación se encuentra una intercalación de areniscas y arcillas diatomáceas con lentes de conglomerados finos y areniscas; en la parte media se encuentran conglomerados mal seleccionados, junto con cantos redondeados; la parte superior está formada por diatomitas intercaladas con tobas y areniscas. Se le considera del Plioceno -sin confirmar- (INGEOMINAS, 1999d).

- Formación Armenia (TQa).

Secuencia de depósitos meteorizados, principalmente de cenizas volcánicas y flujos de

lodo, que afloran al este de Armenia, fosilizando rocas mas antiguas. Edad Plio - Pleistoceno (McCourt et al., 1984).

4.5.4 Cuaternario.

- Depósitos Glaciares (Qg).

Depósitos detríticos formados por acción glacial reciente. Constituidos por fragmentos y bloques de lava en una matriz arenoarcillosa (INGEOMINAS, 1991a). En la parte alta de la cordillera, a más de 3000 m, hay extensos depósitos glaciales sin diferenciar, pero principalmente morrenas (McCourt et al., 1984).

- Aluviones Recientes (Qal).

Depósitos no consolidados heterogéneos de material aluvial, que se encuentran en las partes inferiores de los cursos de los ríos. Compuestos de fragmentos de roca mal seleccionados y arenas, limos y arcillas sin estratificación (McCourt et al., 1984).

- Depósitos Piroclásticos (Qp).

Capas de cenizas volcánicas principalmente tefras, lapilli y ocasionalmente bombas. Su ocurrencia es local con espesor variable (McCourt et al., 1984).

4.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

El Departamento del Quindío está atravesado por varias fallas geológicas, que tienen su origen en sistemas de fallamiento regional como el sistema Cauca - Romeral. Generalmente definen los contactos entre las diferentes unidades litológicas y, además, tienen contribuyen a la inestabilidad de los materiales y en la amenaza sísmica, debido a que no sólo alteran los materiales deformándolos, sino que además son fuente de la actividad sísmica. Aunque en tiempos históricos no se tiene evidencia de su

actividad, sismos como el del 25 de enero de 1999 son un ejemplo del potencial destructor de estas fallas.

Estudios recientes, con base en observaciones neotectónicas de campo y fotointerpretación, indican actividad cuaternaria para algunas de las fallas. Debido a la falta de información sobre sismos históricos originados en esta fuente, se han estimado por otros métodos las máximas magnitudes esperables, encontrándose valores altos.

Las estructuras más frecuentes son fallas de tipo inverso, de rumbo Norte - Sur, que afectan rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Otro grupo, menos frecuente, está conformado por fallas de rumbo general Este - Oeste, con planos de fallas casi verticales e importante componente de rumbo (INGEOMINAS, 1999b).

Guzmán et al., (1998), identifican 3 tipos de lineamientos en el Eje Cafetero:

- Fallas N-S a NNE-SSW. Mayor continuidad y expresión fisiográfica. Zonas de cizalla y debilidad cortical, con segmento potencialmente móviles. Presentan los mayores desplazamientos de tipo neotectónico.
- Fallas NW - SE a WNW. - ESE. Cruzan de la Cordillera Central a la Occidental. En algunos sectores cortan estructuras N-S, con desplazamientos tipo normal, y componente dextro-lateral, con evidencias de compresión NW-SE, la cual no es muy notoria.
- Fallas NE – SW. En el piedomonte occidental de la Cordillera Central, las estructuras muestran evidencias de compresión NW-SE.

En el Anexo A, Mapa 9 y 10, se ilustran las fallas que cruzan el área de este estudio, cuya descripción sintética se da a continuación.

4.6.1 Falla Cali – Patía.

Rumbo N 20° - 30° E / S 20° - 30° W, con longitud de 200 km. Presenta evidencias de varios eventos sísmicos de movimientos sinestrales. Buchelli et al., (1986, en INGEOMINAS, 2000c), interpreta 8 zonas de riesgo sísmico asociadas a esta falla, incluyendo zonas de poca actividad (silencio sísmico).

4.6.2 Falla Quebradanueva.

Falla de cabalgamiento inverso con componente sinistral y vergencia hacia el occidente (Guzmán et al., 1998), con rumbo N20°E - S20°W (INGEOMINAS, 2000c). Se le considera de actividad intermedia (0.3 - 0.5 mm/año), con una Magnitud Máxima Probable de 6.5 Mw (Guzmán et al., 1998). Presenta rasgos morfotectónicos como desplazamientos de cauces, cauces alineados e interfluvios desplazados horizontalmente, escarpes de falla, basculamiento e inversiones del drenaje en el mismo sentido del basculamiento. La falla afecta la Formación Armenia, con evidencias de compresión NW - SE (Guzmán et al., 1998).

4.6.3 Falla Cauca – Almaguer.

Es un fallamiento de dirección NNE-SSW con buzamiento al E, que presenta bifurcaciones en su trazo. No presenta rasgos morfotectónicos abundantes, se destacan el patrón de drenaje del río Consota, la distribución de depósitos holocénicos, de mayor amplitud hacia el W, silletas y valles lineales (Guzmán et al., 1998). Nivia (1997, en INGEOMINAS, 2000c) considera esta falla como un límite tectónico regional entre dos provincias cretácicas principales, una oceánica y otra continental, concluyendo que corresponde a la margen occidental del continente suramericano durante el Cretáceo.

4.6.4 Falla Armenia.

Es de tipo inverso con buzamiento hacia el occidente. Se desprende de la falla Cauca - Almaguer al Sur de Armenia. En esta ciudad se bifurca en un ramal Oeste que empalma con la falla Filandia en la Formación Armenia y un ramal Este que sigue hacia el noreste. Paralelos a la falla se presentan algunos alineamientos y otros en dirección NE - SW (Guzmán et al., 1998). INGEOMINAS (2000c) reporta truncamiento al norte, causado por la Falla Salento.

En la ciudad de Armenia presenta un escarpe de falla con cara al libre al Este y una altura de 20 - 30 metros. La superficie del bloque de techo presenta basculamiento hacia el W, lo que determina la inversión del drenaje conforme a la superficie. También controla un tramo de 10 km de longitud del Río Quindío y alinamientos de las Quebradas Hojas Anchas y San Nicolás. Se observan corrientes deflectadas, silletas, interfluvios flexionados, obturación, desplazamiento de drenajes, depresiones cerradas y basculamiento. La falla afecta los depósitos de cenizas con evidencias de estrías, inclinaciones y rupturas de origen tectónico que indican actividad reciente (Guzmán et al., 1998; INGEOMINAS, 2000c).

Se le considera de actividad Intermedia a Alta, con Máxima Magnitud Probable (MMP) de 6.7 (CARDER, 1999). Su tasa de actividad ha sido calculada en 0.4 mm/año según Vergara and Moreno (1996, en INGEOMINAS, 2000c) y en 0.1 mm/año, según Paris (1997, en INGEOMINAS, 2000q).

4.6.5 Falla Silvia – Pijao.

Es una de las más importantes fallas del Sistema Romeral. Su rumbo predominante es N-S a NNE - SSW; corre al lado oriental del Valle del Río Cauca. Constituye el límite entre el Complejo Arquía y el Complejo Quebradagrande (Guzmán et al., 1998). Se compone de una falla principal conocida como Pijao y de ramales subparalelos, como

las fallas Buenavista, Córdoba y Bellavista. Las fallas de Buenavista, Pijao y Córdoba se unen entre Quebradanegra y la quebrada La Sonadora, continuando como una sola hacia el Norte, controlando el cauce del río Quindío (INGEOMINAS, 2000c).

Presenta alineamiento de corrientes, pasos de montaña en forma de silleta, facetas triangulares desgastadas, quiebres de pendiente, lomos de obturación e interfluvios desplazados en sentido lateral izquierdo (INGEOMINAS, 2000c). Guzmán et al., (1998), reportan la existencia de geoformas de origen neotectónico, como lomos de flexión, lomos de obturación, desplazamiento de cauces, trincheras de falla, desplazamientos planimétricos de interfluvios, basculamientos predominantemente al E, valles lineares, zonas de cizalla, escarpes de falla y control de drenajes.

Se le considera de actividad Intermedia a Alta, con MMP de 6.7 (CARDER, 1999). McCourt et al., (1984), consideran que esta falla es inversa de alto ángulo con componente de rumbo dextral (Mccourt et al., 1984, en INGEOMINAS, 2000c).

La Falla Silvia se alinea con el Valle del Río Lejos, pasando por Pijao y Córdoba con rumbo general N 10° - 15° E. La Falla Córdoba es el límite entre el Complejo Ígneo de Córdoba y el Complejo Quebradagrande (rumbo general N 10° - 20° E). La falla Bellavista presenta indicios de actividad cuaternaria como escarpes de falla y drenajes deflectados que afectan depósitos recientes. Parece estar conformada por dos segmentos, el primero con rumbo N 15° E, 1 km al oriente de Córdoba, cambia de dirección a N 30° E, para recuperar el rumbo original (INGEOMINAS, 2000c).

4.6.6 Fallas con tendencia E - W y WNW-ESE.

Sobrepuestas sobre las fallas Norte - Sur, se encuentran fallas con sentido Este - Oeste, como la falla de Salento, Ibagué, Quebradanegra y Río Verde. Presentan evidencia neotectónica, como los alineamientos de las quebradas Hojas Anchas y La Pajuela

(INGEOMINAS, 2000c).

- Falla Salento. Con dirección E-W, que controla el valle del Río Quindío, al E de Salento (Guzmán et al., 1998). Corta la Cordillera Central y varias fallas que recorren el Eje Cafetero (INGEOMINAS, 2000c). Presentan rasgos morfotectónicos en cercanías de Salento, como facetas triangulares y lomos de flexión en sentido dextral (Guzmán et al., 1998).
- Falla Río Verde. Con dirección N 80°0 - 85° E (INGEOMINAS, 2000c). Controla el cauce del Río Verde, los primeros tramos del río La Vieja y la confluencia de los ríos Quindío, Barragán y Río Verde (CARDER, 1999b). Interrumpe casi perpendicularmente las trazas de las fallas Quebradanueva, Cauca – Almaguer, Armenia, Córdoba, Nevado y Salado, terminando su recorrido contra la falla de Campanario – Manizales (INGEOMINAS, 2000c).
- Falla Quebrada Negra. Detectada por fotogeología, con rumbo N 45° W, probablemente de movimiento normal por distensión SW - NE. Presenta rasgos morfotectónicos como facetas triangulares y deflexión de corrientes del Abanico del Quindío (INGEOMINAS, 2000c).

4.6.7 Falla Ibagué.

Fallamiento transcurrente de componente dextral con rumbo ENE-WSW y una longitud aproximada de 50 km (CARDER, 1999b). Presenta desplazamientos de abanicos y flujos de escombros en el Río Chípalo, escarpes de falla, lomos de ballena y lagunas de falla (Guzmán et al., 1998). La tasa de actividad es de Intermedia a Alta según CARDER (1999a).

4.6.8 Falla Navarco.

Fallamiento con rumbo N 35° E y buzamiento vertical (CARDER, 1999b). Se localiza en el frente occidental de la Cordillera Central, bordeando la Formación Armenia, afectando rocas del Complejo Quebradagrande (INGEOMINAS, 2000c). James (1986) afirma que origina desplazamientos leves sobre la superficie de la Formación Armenia (James, 1986, en CARDER, 1999a).

4.6.9 Falla Montenegro.

Fallamiento sinistral con componente inversa (Guzmán et al., 1998), con dirección N - S, y probable buzamiento al NW (INGEOMINAS, 2000c). Presenta como evidencia morfotectónica contundente un escarpe de falla con cara libre al E de 30 a 50 m de altura y longitud aproximada de 30 km que desplaza materiales de la Formación Armenia (Formación Armenia), según CARDER (1999b). También presenta valles en copa de vino e inversiones de drenaje sobre el bloque occidental, levantado, capturas de drenajes y basculamientos (Guzmán et al., 1998).

Se ha estimado una tasa de actividad Intermedia a Baja. Su tasa de desplazamiento ha sido evaluada en 0.1 mm/año (Woodward - Clyde Consultants, 1983, en INGEOMINAS, 2000c), y de 5 mm/año (Paris, 1997, en INGEOMINAS, 2000c).

4.7 MACROSÍSMICA.

El Eje Cafetero es parte de las regiones de mayor amenaza sísmica en Colombia (AIS, 1996b). Ha sido afectado en su corta historia (alrededor de 150 años) por diversos sismos, principalmente generados en la zona Wadati - Benioff, con magnitudes superiores a 6.0. Los eventos de la misma fuente con magnitudes menores a 5.0, han ocasionado efectos de menor intensidad. Eventos superficiales originados en la zona de subducción del Pacífico frente al litoral, con magnitudes entre 5.6 y 8.9, han

generado intensidades MM entre III y IV. Eventos provenientes del Noreste del país han sido sentidos en algunas poblaciones, sin ocasionar daños. También se encontraron efectos menores ($I < V$), asociados a eventos originados en la fallas del Borde Llanero.

Hasta el momento no se ha encontrado documentación que permita inferir sismicidad cortical (superficial) con efectos en la zona de estudio. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el poblamiento del Eje Cafetero sólo empezó a mediados del Siglo XIX y que las ciudades del Quindío se fundaron a finales de ese siglo. En otras palabras, sólo se dispone de 100 años de historia, frente a fenómenos que pueden tener tasas de recurrencia mucho mayores. A continuación se listan los principales sismos con efectos reportados, según catálogos disponibles, fuentes hemerográficas y archivos revisados en este estudio, cuya síntesis se ilustra en la Figura 5.

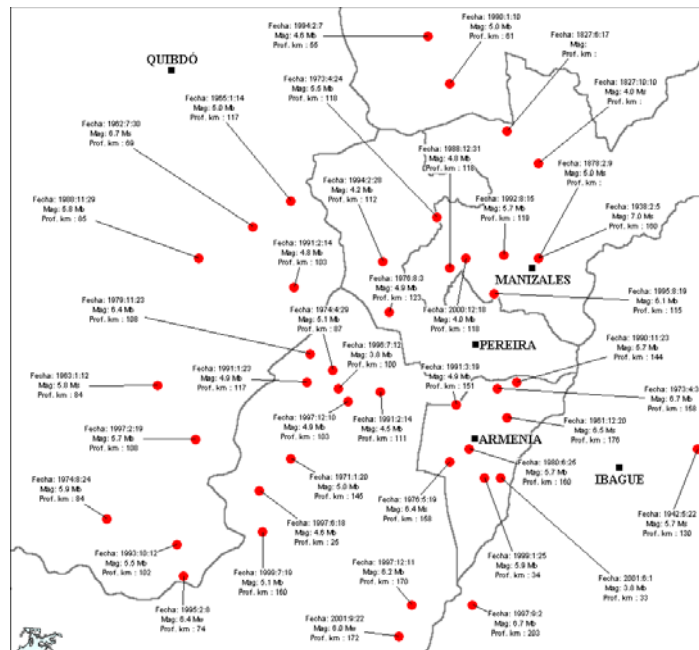


Figura 5. Sismicidad histórica con efectos en el Eje Cafetero

- 1878:02:09

Localizado en cercanías de Manizales (Caldas), se documentaron efectos en Manizales (VII), Salento (VI) y Cartago (V). Fue asociado a la región de Wadati - Benioff (Arango y Velásquez, 1993).

- 1938:02:05.

Localizado en cercanías de Manizales (Caldas), produjo daños en todo el Eje Cafetero desde el Valle del Cauca hasta el sur de Antioquia. Asociado a la zona de Wadati - Benioff, a 160 km de profundidad con magnitud de 7.0 Ms. Se documentaron intensidades MM de VIII en Santa Rosa de Cabal, Manizales, Aguadas, Salento y Cartago; VII en Pereria y Cali; VI en Armenia e Ibagué (Arango y Velásquez, 1993; CERESIS, 1985; Meyer, 1983; Ramírez, 1975; Archivo Histórico OSSO).

- 1961:12:20.

Localizado en Circasia (Quindío), a una profundidad de 176 km, con magnitud 6.5 Ms. Fue asociado a la zona de Wadati - Benioff. Produjo intensidades MM de VIII en Armenia, Montenegro, Calarcá y Pereira; VII en Manizales, Anserma, Aguadas, Riosucio, Quimbaya y Santa Rosa de Cabal; VI en La Virginia e Ibagué. (Meyer, 1983; CERESIS, 1985; Arango y Velásquez, 1993; EL PAIS, diciembre 21 de 1962).

- 1962:07:30.

Localizado en Tadó (Chocó), se originó en la zona de Wadati - Benioff a una profundidad de 69 km con magnitud 6.7 Ms. Se calcularon intensidades MM de VIII en Manizales, Pácora, Pereira y Apía; VII en Sevilla, Ansermanuevo, Pensilvania y Honda (CERESIS, 1985; Meyer, 1983; Ramírez, 1975; Arango y Velásquez, 1993; EL PAIS, 31 de julio, 1962;).

- 1967:02:09.

Localizado en Tello (Huila), se originó en el fallamiento del Borde Llanero, a una profundidad de 60 km, con 6.3 Mb de magnitud. Se le asignó una intensidad MM de VII en Roncesvalles, VII en Cali y VI en Pereira, Armenia e Ibagué. Se encontraron reportes de deslizamientos en algunas vías (Meyer, 1983; CERESIS, 1985; EL PAIS, 10 de febrero, 1967).

- 1973:04:03.

Localizado en Circasia (Quindío), a una profundidad de 158 km con magnitud 6.7 Mb. Se originó en la zona de Wadati - Benioff. Fue sentido en gran parte del territorio nacional y produjo intensidades MM de VIII en Armenia y Salento; VII en Pereira y Manizales y V en Cali. También se reportaron deslizamientos en vías de Risaralda y Caldas (Arango y Velásquez, 1993; CERESIS, 1985; Meyer, 1983).

- 1973:04:24.

Localizado en el Oceano Pacífico, frente al departamento Chocó, a una profundidad de 50 km, con magnitud 6.6 Ms. Asociado a los procesos de subducción superficiales frente al Litoral Pacífico, produjo intensidades MM de VII en Pereria y VI en Armenia (CERESIS, 1985; Arango y Velásquez, 1993).

- 1974:08:24.

Localizado en Calima - Darién (Valle), a una profundidad de 84 km con magnitud 5.9 Mb, se originó en la zona de Wadatti - Benioff. Produjo intensidades MM de VII en Cali; VI en Armenia y Pereira; V en Manizales (CERESIS, 1985; EL OCCIDENTE, 25 de agosto, 1974).

- 1976:05:19.

Localizado en La Tebaida (Quindío), a una profundidad de 158 km con magnitud 6.4 Ms. Fue asociado a Wadati - Benioff y se le asignaron intensidades MM de VII en Armenia, Pereira, Marsella y La Virginia; VI en Cali y V en Manizales (Meyer, 1983, CERESIS, 1985).

- 1979:11:23.

Localizado en El Águila (Valle), se originó en la zona de Wadati - Benioff, a una profundidad de 108 km, con magnitud 6.4 Mb. Fue sentido en la mayor parte del territorio nacional. En Manizales, Anserma, Pereira, La Virginia y Santa Rosa de Cabal la intensidad (MM) osciló entre IX y VIII. En Armenia y norte del Valle las intensidades oscilaron entre VIII y VII (Arango y Velásquez, 1993; Meyer, 1983; CERESIS, 1985; Ramírez y Goberna, 1980; CARDER, 1999a).

- 1980:06:25.

Localizado en Armenia (Quindío), se originó en la zona de Wadati - Benioff, a una profundidad de 160 km, con magnitud 5.7 Mb. Produjo intensidades MM de VI en Pereira y Armenia y V en Manizales (CERESIS, 1985).

- 1995:02:08.

Localizado en Calima - Darién (Valle), a una profundidad de 74 km, con magnitud 6.4 Mw. Se originó en la zona de Wadati - Benioff. Los mayores daños ocurrieron en Pereira, a 140 km del epicentro, además de efectos destructivos en otras poblaciones del Eje Cafetero y en norte y centro del Valle, entre ellas Manizales, Palestina, Armenia, Calarcá, Trujillo, Caicedonia, Buga, Argelia (OSSO, 1995; EL TIEMPO, 9, 10 y 11 de febrero, 1995; EL PAIS, 9, 10 y 14 de febrero, 1995; EL OCCIDENTE, 11 de febrero, 1995).

- 1997:09:02.

Localizado en Argelia (Valle), a una profundidad de 103 km, con magnitud 4.9 M. Se originó en la zona de Wadati - Benioff y produjo daños en algunas edificaciones de Armenia, Manizales, Sevilla y El Cairo (OSSO, 1997; EL OCCIDENTE, 3 de septiembre de 1997; EL PAIS, 3 de septiembre de 1997).

- 1999:01:25.

Ha sido el evento más destructor en el Eje Cafetero y, quizás, el de mayores pérdidas en la historia de Colombia. Con magnitud 5,9 Mb, a menos de 20 km de profundidad, es el primer evento intraplaca que pone de manifiesto la amenaza que significan los numerosos tramos activos de fallas que atraviesan la región. En el Capítulo 5 trata este evento de manera más detenida.

4.8 AMENAZA SÍSMICA.

El tipo de fuentes sísmicas regionales, las magnitudes máximas probables para cada una y sus tasas promedio de recurrencia han llevado a considerar todo el Occidente de Colombia, y dentro de él a la zona de estudio, como la región de mayor amenaza. El "Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia", AIS (1996), ubica la zona como de Amenaza Alta, con valores de Aceleración Pico Efectiva (Aa), de 0,25 g. Por otro lado, la "Evaluación de la Amenaza Sísmica del Eje Cafetero", Monsalve et al., (2000), analizó la amenaza sísmica para los 26 municipios afectados por el sismo de 25 de enero de 1999, mostrando valores de aceleración pico efectiva (Aa), en roca, entre 0,23 y 0,36 g; para el departamento del Quindío el valor de Aa equivale a 0,28 g, según esta evaluación.

En la Figura 6 se ilustran los valores de Aa según la evaluación de Monsalve et al., (2000), complementada con epicentros de la red sismológica del SurOccidente del OSSO entre octubre de 1987 y diciembre de 2001.

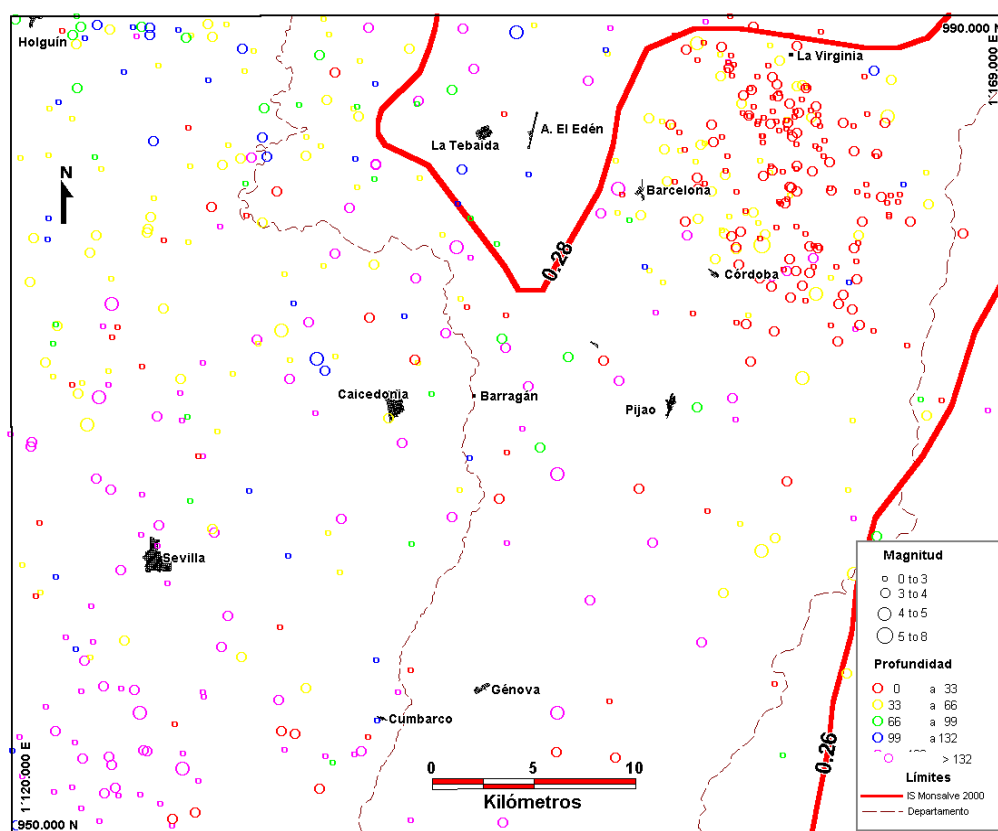


Figura 6. Sismicidad regional OSSO 1987 - 2001.