

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO NEOTECTÓNICO DE LA CUENCA
GUARENAS-GUATIRE**

Tutor Académico: Dr. Franck Audemard
Tutora Industrial: Geol. Luz María Rodríguez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al título de Ingeniero Geólogo
Por los Brs. Miró S., Chantal J.
Viete K., Herwart A.

Caracas, Diciembre 2009

Caracas, Diciembre 2009

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres: Miró S., Chantal J. y Viete K., Herwart A., titulado:

ESTUDIO NEOTECTÓNICO DE LA CUENCA GUARENAS-GUATIRE

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios, conducentes al título de Ingeniero Geólogo, y que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. André Singer

Jurado

Prof. Ricardo Alezones

Jurado

Prof. Franck Audemard

Tutor Académico

Miró S., Chantal J.
Viète K., Herwart A.

ESTUDIO NEOTECTÓNICO DE LA CUENCA GUARENAS- GUATIRE

Tutor Académico: Prof. Franck Audemard. Tutor Industrial: Luz María Rodríguez. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2009, 170 p.

Palabras Claves: Neotectónica, Cuenca Guarenas-Guatire, Cordillera de La Costa, Formación Guatire, Falla Tacagua-El Ávila, Falla Guarenas.

Resumen.

Se realizó el estudio neotectónico de la cuenca Guarenas-Guatire, edo. Miranda, con el fin de comprender evolución tectono-estratigráfica y estructural de ésta depresión sedimentaria. Para ello se hizo un inventario de las unidades morfoestratigráficas cuaternarias y de las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo, y se llevo a cabo el análisis de las poblaciones de fallas presentes en la región, para determinar las fases de deformación que dominaron en la cuenca, y proponer un modelo evolutivo que pueda ser correlacionado con las cuencas neógenas adyacentes a la región nor-central de Venezuela.

A través de la interpretación fotogeológica y del levantamiento geológico se estableció la presencia de dos niveles de rampas deformadas tectónicamente (Q_3 , Q_2) de edades Pleistoceno Temprano y Medio respectivamente, de terrazas aluviales y abanicos aluviales de edad Pleistoceno Tardío (Q_{1a} , Q_{1b}), y de abanicos aluviales y torrenciales, y vega aluvial (Q_{0c} , Q_{0b} , Q_{0a}) de edad Holocena.

Además se identificaron evidencias geomorfológicas de fallamiento activo, las cuales se separaron en dos tipos diferentes: unas asociadas a pulsos de levantamiento, y otras vinculadas al movimiento de fallas transcurrentes. Éstas últimas a su vez fueron agrupadas, según su relación con las estructuras de deformación dominantes, en dos conjuntos.

El levantamiento de la cuenca queda evidenciado por: el desnivel entre las serranías metamórficas y el relleno sedimentario cuyos contactos se muestran de formas rectilíneas y con cambios de pendiente abruptos, las cuestas de buzamientos con inmersiones centrípetas, las gargantas y difluencias de drenaje, el flexuramiento de las unidades morfoestratigráficas Q_3 hacia el centro de la cuenca, y el comportamiento del drenaje principal recostado contra el borde sur.

Las evidencias asociadas a fallamiento transcurrente que se observaron en toda la región, entre ellas: escarpes de fallas degradados y afacetados, crestas desplazadas en forma dextral, cuellos de falla, bermas, drenajes desplazados de forma dextral, y los drenajes suspendidos, corroboran la existencia de dos estructuras de deformación principales, al norte y al sur, correspondientes al sistema de fallas Tacagua-El Ávila, segmento El Ávila y la Falla Guarenas, siendo esta última según el modelo de Wilcox *et al* (1973) un Riedel sintético entre los sistemas de falla Tacagua-El Ávila y La Victoria.

En la cuenca de Guarenas-Guatire se establecieron 5 estaciones mesotectónicas ubicadas hacia la zona sur y sureste de la cuenca, medidas en sedimentos con deformación frágil post-sedimentaria pertenecientes a la Formación Guatire. A partir del análisis de las estaciones se obtuvieron 2 tensores de esfuerzos correspondientes a una misma fase de deformación, con características de un régimen transcurrente, donde el esfuerzo principal se encuentra subhorizontal, orientado hacia NNW-SSE, el esfuerzo mínimo, también subhorizontal, se orienta ENE-WSW, representado a deformación de edad cuaternaria. Esta fase de deformación estaría vigente desde el Pleistoceno hasta nuestros días.

Se estimó la tasa de desplazamiento para la falla de Guarenas igual a 0,32 mm/a, valor aproximado a falta de edades absolutas sobre los marcadores cuaternarios utilizados. Concuerda con lo propuesto por AUDEMARD (2006) para las tasas de desplazamiento de fallas secundarias asociadas al límite de placa Caribe-Suramérica (<0,5 mm/a). La tasa de levantamiento es de 0,15 mm/año, valor calculado con el marcador fósil. La tasa de sedimentación da como resultado $3 \times 10^9 \text{ cm}^3/\text{año}$.

Se propone como modelo genético para la formación de la cuenca como una depresión Semi-Graben iniciada antes del límite Plio-Pleistoceno, controlada al sur por la Falla de Guarenas, cuyo posible origen se asocia a la Falla La Victoria y a un colapso orogénico regional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su especial agradecimiento a la Universidad Central de Venezuela, al Departamento de Geología, Minas y Geofísica de la U.C.V., a FUNVISIS, a nuestros tutores Franck Audemard y Luz María Rodríguez, a la esmerada colaboración que nos brindó el Prof. André Singer, al Dpto. de Ciencias de la Tierra de FUNVISIS: Mauricio Tagliaferro, Richard Montenegro, Victor Cano, Iliana Aguilar, Mari Luz Bueno, Victoria Leal, Javier Oropeza, Maxlimer Vallee, José Antonio Rodríguez. A Michael Schmitz, Gloria Romero, Franco Urbani, Fabián Rada, Fermín Noda, Daniel Moreno, Ricardo Alezones, Johana Ojeda, Ricardo Vélez, Elio Bolívar, Fernando Guasch, Oliver Macsotay, Reinaldo Ollarves, José Méndez, la Alcaldía de municipio Plaza, Protección Civil de los municipios Plaza y Zamora, y a todos aquellos que no fueron nombrados y prestaron su colaboración para la realización de este trabajo.

Gracias a todas y todos los que me acompañaron en esta larga travesía que toca a su fin. Gracias por las palabras de aliento, los regaños a tiempo, sus preocupaciones, consejos y enseñanzas. Gracias a mi familia y amigos, gracias a los que compartieron momentos y sabiduría conmigo. Gracias compa.

Les dedico la tesis a Uds.

No sería lo que soy ahora de no haberse interceptado nuestros caminos.

Gracias Totales!

Chantal Miro

Un especial agradecimiento a las familias Viete, Kranwinkel, Landaeta, Krstonosic, Miró, Jover, Rojas, Atencio, Castillejo, Solana, Olivares, Modernell, y Lares.

Y a Chantal, por invitarme a participar en esta extraordinaria experiencia.

En memoria a los J.A.

Herwart A. Viete

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS	XII

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.1.1. Objetivo General	1
1.1.2. Objetivos Específicos.....	1
1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA EN ESTUDIO	2
1.3. VÍAS DE ACCESO	4
1.4. METODOLOGÍA.....	5
1.5. FINANCIAMIENTO	7
2. GEOGRAFÍA FÍSICA.....	8
2.1. CLIMA	8
2.2. VEGETACIÓN	10
2.3. RELIEVE	14
2.4. SUELOS.....	15
2.5. METEORIZACIÓN Y EROSIÓN	16
2.6. DRENAJE	17
3. GEOLOGÍA REGIONAL.....	22
3.1. TECTÓNICA REGIONAL	23
3.1.1. Marco Geodinámico.....	23
3.1.2. Evolución Geológica de La Cordillera de La Costa.....	25
3.1.3. Fallas en la Cordillera de La Costa	31
3.1.3.1. Fallas Regionales	31
3.1.3.2. Fallas Locales.....	34
3.1.4. Sismotectónica	36
3.1.5. Paleosismología.....	37
3.2. UNIDADES LITOLÓGICAS	38
3.2.1. Unidades litodémicas	38
3.2.1.1. Super Asociación Metamórfica Ávila (Complejo Ávila).....	40
3.2.1.2. Asociación Metamedimentaria Caracas (Ex Grupo Caracas).....	42
3.2.2. Unidades Litoestratigráficas.....	44
3.2.2.1. Formación Guatire	44
3.3. GEOFÍSICA	47
3.4. AGUAS SULFUROSAS.....	49
3.5. SISMICIDAD HISTORICA Y RIESGO GEOLÓGICO	49
4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	54

4.1. CONTRAFUERTES MONTAÑOSOS.....	59
4.1.1. Montañas.....	59
4.1.2. Mesetas Altas.....	60
4.2. DEPRESIÓN SEDIMENTARIA.....	61
4.2.1. Rampas Piemontinas.....	61
4.2.2. Mesetas Bajas.....	64
4.2.3. Planicie Aluvial.....	65
5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y GEOLOGIA LOCAL.....	67
5.1. TENDENCIAS DE ALGUNAS ESTRUCTURAS PLANARES.....	68
5.1.1. Estratificaciones.....	68
5.1.2. Diaclasas.....	71
5.2. EVIDENCIAS GEOMORFOLÓGICAS DE FALLAMIENTO ACTIVO.....	72
5.2.1. Morfoestratigrafía Cuaternaria.....	73
5.2.1.1. Nivel de Rampas de Explayamiento (Pleistoceno Temprano) (Q ₃).....	77
5.2.1.2. Nivel de Rampas de Explayamiento (Pleistoceno medio) (Q ₂).....	78
5.2.1.3. Nivel de Terrazas Aluviales (Pleistoceno Tardío) (Q _{1b}).....	79
5.2.1.4. Nivel de Abanicos Aluviales (Pleistoceno superior) (Q _{1a}).....	80
5.2.1.5. Nivel de Abanicos Aluviales (Holoceno) (Q _{0c}).....	81
5.2.1.6. Nivel de Abanicos Torrenciales (Holoceno) (Q _{0b}).....	81
5.2.1.7. Nivel de Vega Aluvial (Holoceno) (Q _{0a}).....	82
5.2.2. Evidencias geomorfológicas de fallamiento activo de la cuenca.....	83
5.2.2.1. Evidencias geomorfológicas de actividad reciente asociadas al levantamiento general de la cuenca.....	86
5.2.2.2. Evidencias geomorfológicas de actividad reciente asociadas a la Falla Tacagua-El Ávila, segmento El Ávila.....	87
5.2.2.3. Evidencias geomorfológicas de actividad reciente asociadas a la Falla de Guarenas.....	99
5.2.2.4. Otras evidencias de actividad de las fallas que delimitan a la cuenca.....	111
5.3. OBSERVACIONES ESTRUCTURALES.....	112
5.3.1. Fallas principales.....	112
5.3.2. Fallas secundarias.....	113
5.3.3. Pliegues.....	113
5.4. OBSERVACIONES MESOTECTÓNICAS.....	114
5.4.1. Estación Mesotectónica M-01: Copacabana.....	115
5.4.2. Estación Mesotectónica M-02: La Sabana 1.....	121
5.4.3. Estación Mesotectónica M-03: La Sabana 2.....	123
5.4.4. Estación Mesotectónica M-04: La Sabana 3.....	128
5.4.5. Estación Mesotectónica M-05: La Sabana 4.....	132
6. ANÁLISIS E INTERPRETACIONES.....	135
6.1. TENSORES DE ESFUERZOS LOCALES.....	135
6.1.1. Análisis Mesotectónico T-01: Estación Copacabana M-01.....	136
6.1.2. Análisis Mesotectónico T-02: Estaciones La Sabana 1, 2, 3 y 4.....	139
6.2. INTERPRETACIONES TECTÓNICAS.....	143
6.2.1. Tensores de Esfuerzos de datos mesotectónicos previos.....	146
6.2.2. Interpretaciones tectónicas generales.....	148

6.3. TASAS DE VARIACIÓN.....	151
6.3.1. Velocidad de desplazamientos horizontales.....	151
6.3.2. Velocidad de desplazamientos verticales.....	153
6.3.3. Tasa de sedimentación.....	154
6.4. MODELO GENÉTICO Y EVOLUTIVO.....	155
6.5. DISCUSIÓN REGIONAL.....	156
6.5.1. Fases de Deformación.....	160
6.6. GEOLOGÍA HISTÓRICA.....	163
7. CONCLUSIONES.....	166
8. RECOMENDACIONES.....	169
BIBLIOGRAFÍA.....	170
APENDICE.....	178
ANEXOS.....	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de la región nor-central de Venezuela. Con el ovalo rojo se señala la ubicación relativa de la cuenca Guarenas-Guatire (Modificado del I.G.V.S.B., 1997).....	2
Figura 1.2. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio (Modificado de I.G.V.S.B., 1995).	3
Figura 1.3. Localización del área de estudio. La línea azul demarca la cuenca sedimentaria (Modificado de Garrity <i>et al.</i> , 2004).....	4
Figura 1.4. Metodología propuesta por ESPÍNOLA & OLLARVES (2002) para el estudio de una cuenca sedimentaria con fines neotectónicos (Extraído de Álvarez, 2005).	5
Figura 2.1. Mapa climatológico de la zona de estudio (Modificado de ZAMBRANO, 1970).	9
Figura 2.2. La imagen muestra un bosque decido ubicado al norte de la cuenca Guarenas-Guatire, y hacia la derecha de la foto parte del Parque Nacional el Avila. Vista hacia el oeste de la parte septentrional del valle. Rumbo de la vista: Oeste.	10
Figura 2.3. En la foto se observan dos tipos de vegetación: vegetación de bosques semi-secos nativos en colinas del contrafuerte sur de la cuenca, y en el fondo de valle se observa vegetación naturalizada de arbustos y matorrales bajos con elementos arbóreos aislados. Rumbo de la vista: S10W.....	11

Figura 2.4. Vegetación naturalizada en bordes de quebrada perturbados (foto izquierda) y en zonas intervenidas (foto derecha).....	11
Figura 2.5. Ejemplos de vegetación plantada en los centros urbanos.....	12
Figura 2.6. Marco de vegetación de la cuenca Guarenas-Guatire. Las zonas de mayor intervención se encuentran principalmente en todos los sectores de quebrada, y en las vegas de inundación del río Guarenas, río Guatire y quebrada Pacairigua. La vegetación naturalizada se arraiga en cualquier sector del valle (Modificado de IERU, 2007).	13
Figura 2.7. Modelo de Elevación Digital de la cuenca Guarenas-Guatire, donde se muestra el contraste entre las dos unidades de relieve. Base topográfica: Mapas topográficos del año 1995 del I.G.V.S.B., escala 1:25000, hojas 6847-I-SO, 6847-I-SE, 6847-II-NO, 6847-II-NE, 6947-III-NO, 6947-IV-SO (Escala vertical exagerada el doble).....	14
Figura 2.8. Mapa geotécnico donde se muestran unidades geotécnicas definidas según el tipo de depósito superficial presente (Modificado del Estudio de Espacios Abiertos de la Región Capital, USB, IERU, 2007).	15
Figura 2.9. Corte artificial, donde se destaca el perfil de alteración a partir de un depósito aluvial de edad Q ₃ , que trunca a la Formación Guatire, ubicado al norte de la quebrada Guare.	16
Figura 2.10. Erosión concentrada en un corte artificial dentro de la depresión sedimentaria de Guarenas-Guatire. Este corte se ubica al este del sector La Cortada, al nor-este de Guarenas.	17
Figura 2.11. Hidrografía de la cuenca Guarenas-Guatire. Se separa con las líneas negras las principales microcuencas y sus respectivos nombres (si la quebrada presenta uno), que drenan hacia el río Guarenas y con las flechas la dirección en que fluyen las aguas (Modificado I.G.V.S.B., 1995).	18
Figura 2.12. El río Guarenas en el valle Guarenas-Guatire. En la imagen se traza el recorrido del río Guarenas a través de la ciudad de Guarenas, donde parte de su curso esta canalizado a favor de la expansión urbana. Rumbo de la vista: S65°E.	19
Figura 2.13. A) Salto de agua en uno de los tributarios del río Guarenas al norte. Rumbo de la foto: N10°W. B) Curso del río Pacairigua, al noreste de Guatire. La intervención urbana no ha sido tan marcada como ha ocurrido con el río Guarenas. Rumbo de la foto: S15°W.	20
Figura 2.14. Quebrada Guacarapa. La construcción de viviendas y pasarelas en el lecho, ocasionó que este se expandiera provocando el aumento de la socavación lateral debido a la deflexión de un flujo torrencial, ocurrido durante el año 2008.	21

Figura 3.1. Esquema general de la dinámica entre las placas Caribe y Suramérica. Las flechas señalan los desplazamientos relativos de cada placa. Equivalencias usadas para las abreviaturas: bloques de Bonaire (BB), Chocó (CB), Maracaibo (MTB), Norte de los Andes (NAB) y Panamá (PB); Andes de Merida (MA) y Nudo de Pamplona (PI); Fallas de Algeciras (AF), Boconó (BF) , El Pilar (EPF), Guaicaramo (GF), Romeral (RFS), Santa Marta-Buzaramanga (SMBF), San Sebastián (SSF) y Oca-Ancón (OAF); y la Subducción de las Antillas Menore (LAS), el Cañon de Los Roques (LRC), el cinturón de deformación del Norte de Panamá (NPDB), y el cinturón de deformación del Caribe Sur (SCDB) (Modificado de AUDEMARD <i>et al.</i> , 2005).	23
Figura 3.2. Mapa de relieve sombreado de la región de estudio, señalada en el recuadro rojo (Modificado de AUDEMARD <i>et al.</i> , 2000, y de GARRITY <i>et al.</i> , 2004).	30
Figura 3.3. Mapa de fallas cuaternarias. Modificado de AUDEMARD <i>et al.</i> (2000). Se señala la situación relativa del área de estudio con el recuadro rojo.	31
Figura 3.4. Mapa geológico simplificado de la región Colonia Tovar-Guatire, realizado por Wehrmann, donde se interpreta la falla que limita al sur a la cuenca de Guarenas-Guatire (Extraído de PICARD, 1976).	35
Figura 3.5. Mapas de sismicidad instrumental de la región nor-central de Venezuela generado a partir del catalogo de eventos registrados por FUNVISIS (años 1984 a 2008). Se señala con los círculos rojos la ubicación de los epicentros.	36
Figura 3.7. Mapa de reconocimiento Guarenas-Guatire-Colonia Bolívar (Edo. Miranda) realizado por HESS y DENG (1949). Dentro de las líneas anaranjadas se delimita los sedimentos terciarios de la cuenca Guarenas-Guatire.....	45
Figura 3.8. A) Mapa de distribución de unidades sedimentarias de la formación Guatire (Estraído de PICARD, 1976). B) Columna estratigrafica idealizada de la Formación Guatire.....	46
Figura 3.9. Figura idealizada de la cuenca Guarenas-Guatire y el origen de su desagüe propuesta por PICARD (1976).	47
Figura 3.10. Mapa de anomalía regional (izquierda) y de anomalía residual (derecha), calculado con el polinomio de primer grado (Extraído de HETCH, 2005).....	48
Figura 3.11. Perfiles de subsuelo realizados a la cuenca por HETCH (2005), con cortes en dirección N-S. La geometría de la cuenca varía en estos perfiles en un eje E-W, donde se muestra su forma asimétrica.	48
Figura 3.12. Fotos tomadas en Guarenas en la esquina Ancheta (izquierda), y en Guatire en la plaza de la iglesia (derecha), después del terremoto del 29 de octubre de 1900 (Extraído de JAKUBOWICS & LAROTTA, 1974)......	50

Figura 4.1. Panorámica en dirección N40°W aproximadamente, mostrando el contraste de altura entre las diferentes unidades. Se señala con líneas oscuras las zonas escarpadas y al curso de agua principal (Río Guarenas).	54
Figura 4.2. Mapa de Unidades Geomorfológicas de la Cuenca Guarenas-Guatire. Se remarcan en negro las coordenadas por donde se realizaron los perfiles topográficos. ..	56
Figura 4.3. Perfiles topográficos N-S a través de la cuenca Guarenas-Guatire.	58
Figura 4.4. Vista panorámica del Macizo El Ávila. Se observa el contraste de altura entre las montañas y la depresión de Guarenas-Guatire. Rumbo de la vista: Norte.	59
Figura 4.5. Vista de la unidad de mesetas altas hacia el sur, sombreada en verde. Rumbo de la vista: S 30°W.	60
Figura 4.6. Vista de la unidad de mesetas altas al norte, representada por el Cerro Santa Cruz. Se señalan algunas de las que segmentan a la unidad de mesetas altas. Al fondo el macizo Ávila. Rumbo de la vista: N 10°E.	60
Figura 4.7. A) Material aluvional de edad Q ₃ discordante sobre la Formación Guatire en las cercanías de el Rodeo. B) Secuencia basculada de la Formación Guatire hacia el sur, cerca del sector Rincón Arriba. Rumbo de la vista: Este.	62
Figura 4.8. A) Vista hacia el este de la unidad de rampas piemontinas en la población de Guarenas, donde la intensa intervención urbana ha ejercido un control negativo sobre la estabilidad de las laderas. Rumbo de la vista: E-W. B) Vista hacia el sureste de la cuenca donde se sombrea la unidad de piedemonte en la base de los contrafuertes montañosos. Con la línea de color negro se señala la forma que presenta la envolvente topográfica de la unidad. Hacia la derecha de la foto esta la población de Guatire. Rumbo de la vista: S80E.	63
Figura 4.9. Vista en la fotografía aérea de la unidad de mesetas bajas donde se asienta la población de Guatire. Esta encuentra flanqueada por la planicie aluvial holocena.	64
Figura 4.10. Flanco sur del sinclinal en la localidad El Marques. Se señala en negro el límite entre los distintos estratos de la Formación Guatire, indicando un importante basculamiento hacia el norte. Rumbo de la vista: Este.	65
Figura 4.11. A) Vista de la vega aluvial del río Guarenas hacia el sur del sector el Marques, invadido parcialmente por construcciones recientes. Rumbo de la vista: N15°W B) Vista de la Planicie aluvial hacia el noroeste de Guarenas. Esta unidad se observa muy reducida por la cantidad de asentamientos humanos. Rumbo de la vista: N75°W.	66
Figura 5.1. Representación en la red de Schimdt de la actitud de capas dentro de la Cuenca Guarenas-Guatire.	69

Figura 5.2. Diagrama en rosa a intervalos de 10° de las actitudes de las capas dentro de la Cuenca Guarenas-Guatire. El grafico de la izquierda representa la tendencia de rumbo de los estratos y el derecho el buzamiento de estos.	70
Figura 5.3. Diagrama en rosa a intervalos de 10° de la actitud de las diaclasas dentro de la Cuenca Guarenas-Guatire. El grafico de la izquierda representa la orientación de los planos de diaclasas y el derecho, el buzamiento de estos.	72
Figura 5.4. Mapa de Unidades Morfoestratigráficas Cuaternarias de la Cuenca Guarenas-Guatire.	76
Figura 5.5. Rampas detríticas Q ₃ , en su facie proximal (foto superior) y facie distal (inferior), truncando a la Formación Guatire.	77
Figura 5.6. Depósito Q ₂ con el perfil de alteración que lo recubre al este de la Urb. Buenaventura Contry Club. La parte interna también se encuentra afectada por la meteorización, con cantos de gneisses y esquistos muy alterados.	79
Figura 5.7. Foto aérea usada para la fotointerpretación donde se somborean dos de las terrazas aluviales correspondientes al nivel Q _{1b} ubicadas al este de Guatire.	79
Figura 5.8. Vista de un depósito Q _{1a} , ubicada en La Ciudad de Los Muchachos, donde se observa el desnivel con respecto a la planicie aluvial en la parte inferior de la imagen. Rumbo de la vista: Sur.	80
Figura 5.9. Vista de la unidad Q _{0c} cercana del sector Auyarito, al sur de Guatire. La vegetación revela en la imagen la presencia de esta unidad, al mostrar una forma abombada. Rumbo de la vista: Sur.	81
Figura 5.10. Modelo de elevación digital de relieve en proyección angular de Guarenas, donde se resaltan con color amarillo claro los aludes torrenciales del nivel Q _{0b} provenientes del macizo montañoso al norte. Rumbo de la vista: N15°E.	82
Figura 5.11. Vista de la vega aluvial actual del río Guarenas, al oeste de la ciudad de Guarenas. En esta zona ha sido parcialmente cubierta por el terraplen de la autopista. Rumbo de la vista: NW.	83
Figura 5.12. Modelo de elevación digital con vista angular de la cuenca de Guarenas-Guatire limitada por las fallas Ávila al norte, y Guarenas al sur. Con las líneas rojas se señalan las fallas principales en la región. Rumbo de la vista: N75°E.	84
Figura 5.13. Mapa de Evidencias Geomorfológicas de Fallamiento Activo de la Cuenca Guarenas-Guatire.	85
Figura 5.14. Vista hacia el oeste de la cuenca, donde se señalan algunos de los rasgos estructurales observados que indican la naturaleza tectónica de la cuenca de Guarenas-Guatire (Fotografía cortesía de Andre Singer, 1970).	86

Figura 5.15. Vista con dirección WSW, donde se observa la cercanía del valle del río Guarenas a los contrafuertes montañosos al sur. Se observa en primer plano el relieve de cuesta al sur de El Marques con declive al norte.	87
Figura 5.16. Mapa de Evidencias Geomorfológicas de Fallamiento Activo, segmentado para la falla El Ávila.	89
Figura 5.17. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo de falla comprendido entre Curupao y Perquito. Se señala en rojo la traza de las Fallas El Ávila y Guarenas. Rumbo de la vista: N45°E.	90
Figura 5.18. Valle de falla generada por la actividad de la Falla El Ávila entre el macizo Ávila y el Cerro Santa Cruz. Rumbo de la vista: Oeste.	91
Figura 5.19. Facetas triangulares en el flanco sur del cerro Santa Cruz, consecuencia del fallamiento secundario asociado a la Falla El Ávila. Rumbo de la vista: Norte.	92
Figura 5.20. Patrón del drenaje en forma de rastrillo y tramos rectilíneos (DL) ubicado al noroeste del Cerro Santa Cruz. Se señala en rojo la traza de la Falla El Ávila, sub-paralela al curso de agua (en azul) ubicado en los valles falla.	93
Figura 5.21. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre Perquito y Silma. Se señala en rojo la traza de la Falla El Ávila. Rumbo de la vista: N30°W.	94
Figura 5.22. Fotografía y Dibujo esquemático del tramo de Perquito-La Silma, al noroeste de Guatire, entre la localidad de Perquito (a la izquierda de la imagen) y La Silma (a la derecha de la imagen). Se señala la traza de la Falla El Ávila (en rojo) y sus respectivas expresiones geomorfológicas: Bermas (BE, be), Crestas desplazadas (CD), Cuello de falla (CF). Rumbo de la vista: N10°W.	94
Figura 5.23. Modelo de elevación digital con vista angular del comprendido entre Silma y el Cerro Campo Alegre. Se señala en rojo la traza de la Falla El Ávila. Rumbo de la vista: Este.	96
Figura 5.24. Mapa de Evidencias Geomorfológicas de Fallamiento Activo, segmentado para la falla Guarenas.	100
Figura 5.25. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre El Manguito y Guacarapa. Se señala en rojo la traza de la Falla Guarenas. Rumbo de la vista: S85°W.	101
Figura 5.26. Cuello de falla rellenado artificialmente. Rumbo de la vista: N15°W.	102
Figura 5.27. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre Guacarapa y la Ciudad de Los Muchachos. Se señala en rojo la traza de la Falla Guarenas. Rumbo de la vista: S60°W.	103

Figura 5.28. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre la Ciudad de Los Muchachos y Los Pozos. Se señala en rojo la traza de la Falla Guarenas. Rumbo de la vista: S15°W.	105
Figura 5.29. Se subraya el perfil convexo de las estribaciones montañosas, evidenciando escarpes de falla degradados. El valle del río Guarenas conforma la depresión de borde de cuenca, pegada a los contrafuertes montañosos de Los Altos de Mariche. Rumbo de la vista: E-W (Fotografía cortesía de Andre Singer, 1970).....	106
Figura 5.30. Escarpes de falla con facetas triangulares que señalan la traza de la falla de Guarenas, vista hacia el sur de la cuenca.	106
Figura 5.31. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre Los Pozos y El Tamarindo. Se señala en rojo la traza de la Falla Guarenas. Rumbo de la vista: S70°W.	107
Figura 5.32. Vista hacia el sureste de la cuenca donde se aprecia un valle de falla que revela el trazado de la falla Guarenas.	108
Figura 5.33. Vista de la ciudad de Guarenas hacia el ESE, donde se señala en negro la envolvente topográfica flexurada.....	111
Figura 5.34. Mapa de ubicación de las estaciones mesotectónicas de la cuenca Guarenas-Guatire.....	114
Figura. 5.35. Estación mesotectónica M-01. En el Afloramiento con dirección N05°E se señalan en rojo los planos de falla observados. En la parte izquierda de la imagen se aprecia el doblaje que sufre la estratificación a causa de la Falla Guarenas.	115
Figura 5.36. Columna estratigráfica de la estación M-01 (escala deformada).....	116
Figura 5.37. Corte simplificado de la mesoestación M-01: Copacabana.....	117
Figura 5.38. Moldes de gasterópodos encontrados en la estación M-01 en Copacabana.	118
Figura 5.39. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-01.....	119
Figura 5.40. A) Pliegue intracapa en lutita. B) Detalle de uno de los planos medidos, donde se señalan las direcciones de las estrías.....	120
Figura 5.41. En la imagen de la izquierda se observa intercrecimiento de cristales (encerrado en el círculo rojo) además de las estrías, cuya dirección se señala con las flechas rojas. En la imagen de la derecha se aprecian estrías en caliza.	120

Figura 5.42. Sección estratigrafica de la mesoestación M-02, donde se aprecia la secuencia lacustre de la Formación Guatire.....	121
Figura 5.43. A) Detalle de un plano de falla medido en la estación en el cual se señala la orientación aproximada de la estría. B) Intercalaciones rítmicas compuesto por laminaciones paralelas con depósitos lacustres.....	122
Figura 5.44. Columna estratigráfica de la estación M-02 (escala deformada).....	122
Figura 5.45. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-02.....	123
Figura 5.46. Sección estratigrafica de la estación mesotectonica M-03. En rojo se señalan algunas de las fallas estudiadas.....	124
Figura 5.47. Parte de la sección estratigrafica de la estación mesotectonica M-03 donde se aprecia deformación tipo slump.....	125
Figura 5.48. Columna estratigráfica de la estación M-03 (escala deformada).....	125
Figura 5.49. Corte simplificado de la mesoestación M-03: La Sabana 2.	126
Figura 5.50. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-03.....	127
Figura 5.51. A) Detalle de un plano de falla medido en la estación M-03. B) Detalle de la deformación tipo “slump”.....	128
Figura 5.52. Corte simplificado de la mesoestación M-04: La Sabana 3.	129
Figura 5.53. Estación mesotectónica M-04.....	130
Figura 5.54. Columna estratigráfica de la estación M-04 (escala deformada).....	130
Figura 5.55. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-04.....	131
Figura 5.56. A) Detalle de un espejo de falla generado por un slump de gran escala, donde se distingue claramente la dirección del movimiento, señalado por las flechas rojas. B) Pliegue local en lutita.	132
Figura 5.57. Columna estratigráfica de la estación M-05 (escala deformada).....	132
Figura 5.58. Secuencia estratigrafica de la estacion mesotectonica M-05, representado por unas capas de arenas limosas.....	133

Figura 5.59. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-05.....	134
Figura 6.1. Representación estereográfica de las fallas que componen la estación mesotectónicas M-01, con la cual se obtuvo las características del tensor de esfuerzo T-01.....	136
Figura 6.2. Diagrama de rosas para rumbos e inmersiones de fallas a intervalos de 10° obtenido para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-01.	138
Figura 6.3. Diagrama de rosa para rumbos e inmersiones de estrías a intervalos de 10° obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-01.....	139
Figura 6.4. Resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de las estaciones M-02, M-03, M-04 y M-05.	140
Figura 6.5. Diagrama de rosa para rumbos e inmersiones de fallas a intervalos de 10° obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-02, M-03, M-04 y M-05.....	142
Figura 6.6. Diagrama de rosa para rumbos e inmersiones de estrías a intervalos de 10° obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-02, M-03, M-04 y M-05.....	143
Figura 6.7. Mapa de ubicación de las configuraciones de los estados de esfuerzos en la región calculados mediante el Faille.	145
Figura 6.8. Clasificación de los diferentes tipos de tensores de esfuerzos según RITZ (1991) y los resultados obtenidos en el análisis (Extraído de RITZ & TABOADA, 1993).	146
Figura 6.9. Ubicación de las mesoestaciones levantadas en la región de Guarenas-Guatire (señaladas dentro circulo) para el estudio de riesgo sísmico del proyecto Ferrocarril Caracas-Litoral (Extraído de FUNVISIS, 1984).....	147
Figura 6.10. Resultados de los esfuerzos de las estaciones mesotectónicas (Extraído de FUNVISIS, 1984).	147
Figura 6.11. Modelo de WILCOX <i>et al</i> (1973).	149
Figura 6.12. Segmentos de drenaje desplazados utilizados para calcular la tasa de desplazamiento horizontal para la falla de Guarenas.....	152
Figura 6.13. Extracto de la tabla estratigráfica internacional (ICS, 2009) donde se colocan las unidades estratigráficas observadas en intervalo de tiempo relativo junto con las evidencias de deformación que las afectan.....	155

Figura 6.14. Corte estructural simplificado de la cuenca Guarenas-Guatire.	156
Figura 6.15. Representación esquemática de la relación espacial entre las cuencas de Ocumare-Santa Lucia, Guarenas-Guatire y Barlovento. En rojo se señala la orientación y ubicación geográfica de los cortes estructurales realizados para las distintas depresiones.	160
Figura 6.16. Esquema paleogeográfico de la cuenca Guarenas-Guatire para el inicio del relleno sedimentario (Plioceno Tardío). Se señala en color amarillo la distribución de los depósitos dentro de la depresión sedimentaria.	163
Figura 6.17. Esquema paleogeográfico de la cuenca Guarenas-Guatire para la evolución del relleno sedimentario (Pleistoceno Temprano). Se señala en color amarillo la distribución de los depósitos dentro de la depresión sedimentaria. En azul se indica la ubicación de un antiguo lago.	163
Figura 6.18. Esquema paleogeográfico de la cuenca Guarenas-Guatire para la evolución del relleno sedimentario (Pre-Pleistoceno Medio). Se señala en color amarillo la distribución de los depósitos dentro de la depresión sedimentaria. En azul se indica la ubicación de un antiguo lago.	164
Figura 6.19. Esquema paleogeográfico de la cuenca Guarenas-Guatire para la evolución del relleno sedimentario (Pleistoceno Medio). Se señala en color amarillo la distribución de los depósitos dentro de la depresión sedimentaria.	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Coordenadas UTM del cuadrángulo de estudio. Se utilizó el sistema referencial La Canoa 19.	4
Tabla 3.1. Títulos de trabajos relacionados con la Cuenca Guarenas-Guatire.	22
Tabla 3.2. Evolución de la Subdivisión de la Serranía del Litoral. Extraído de URBANI <i>et al.</i> , (2004).	27
Tabla 3.3. Reportes geotérmicos en la región de Guarenas-Guatire (Extraído de URBANI, 1987).	49
Tabla 3.4. Sismicidad histórica de la zona de estudio (Modificado de GRASES <i>et al.</i> 1999).	51
Tabla 3.5. Riesgo geológico de la zona de estudio (Tomado de SINGER <i>et al.</i> , 1983). ...	52

Tabla 3.6. Clave de identificación de fuentes geológicas de riesgo y vínculo con la actividad sísmica.	52
Tabla 5.1. Mediciones realizadas sobre planos de estratificación en la cuenca.....	69
Tabla 5.2. Mediciones realizadas sobre planos de diaclasas en la cuenca.	71
Tabla 5.3. Resumen de las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo en la sección de falla El Ávila.	98
Tabla 5.4. Resumen de las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo en la sección de falla Guarenas.....	110
Tabla 5.5. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-01	119
Tabla 5.6. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-02.	123
Tabla 5.7. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-03.	127
Tabla 5.8. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-04.	131
Tabla 5.9. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-05.	133
Tabla 6.1. Resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-01.....	136
Tabla 6.2. Continuación de los resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-01.....	137
Tabla 6.3. Resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de las estaciones M-02, M-03, M-04 y M-05.	140
Tabla 6.4. Continuación de los resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de las estaciones M-02, M-03, M-04 y M-05.....	141
Tabla 6.5. Compilación de los tensores de esfuerzo cuaternarios obtenidos por los métodos de inversión a través del análisis de evidencias cinemáticas de planos de fallas.	144
Tabla 6.6. Resumen de evidencias relacionadas al levantamiento regional.	158
Tabla 6.7. Resumen de evidencias relacionadas a movimientos de fallas transcurrentes.	159
Tabla 6.8. Resumen de los modelos propuestos para las cuencas de la región de Miranda.	162

1. INTRODUCCIÓN

El Departamento de Ciencias de la Tierra de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) plantea para el año 2007 el “Estudio Neotectónico de la Cuenca Guarenas-Guatire”, el cual se desarrolló en el marco del proyecto de Microzonificación Sísmica para la Planificación Urbana y la Gestión Ambiental de Riesgo en las ciudades de los ejes de desarrollo, incluido en el convenio de cooperación integral Cuba-Venezuela con la coordinación de FUNVISIS y el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), por Venezuela y Cuba respectivamente.

Este trabajo de investigación permite sentar las bases en relación a la génesis, evolución tectono-estratigráfica y estructural de la cuenca Guarenas-Guatire a partir del estudio neotectónico local. La integración de este estudio con el resto de las cuencas neógenas adyacentes, conformadas por las cuencas del río Tuy medio, Valle de Caracas y Barlovento, permitirá desarrollar a futuro un modelo geodinámico regional que amplíe el conocimiento geológico y la comprensión del comportamiento sísmico de la zona nor-central de Venezuela.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Realizar el estudio neotectónico en la cuenca neógena Guarenas-Guatire, estado Miranda, a partir del análisis de geología de superficie clásica.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar las unidades litoestratigráficas aflorantes en la zona de estudio para fines de cronología relativa.

- Identificar y caracterizar las evidencias estructurales que permitan establecer la evolución tectónica de la cuenca en estudio.
- Realizar un inventario de las evidencias geomorfológicas de fallas activas.
- Realizar mediciones microtectónicas tanto en la cuenca como en sus márgenes para determinar la evolución tectónica de la misma.
- Establecer la génesis y la evolución de la cuenca Guarenas-Guatire.
- Redactar el manuscrito del trabajo especial de grado.

1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA EN ESTUDIO

La zona en estudio se localiza en la región nor-central de Venezuela, en la parte nor-central del estado Miranda, entre en los municipios Plaza y Zamora, cuyas poblaciones principales respectivamente son Guarenas, al oeste, y Guatire al este de la región. Estas ciudades se desarrollan en un valle intramontano, limitado al norte por el macizo El Ávila, y al sur por los Altos de Mariche, abarcando un área aproximada de 240 km² (ver anexo 1, y figura 1.1 y 1.2).

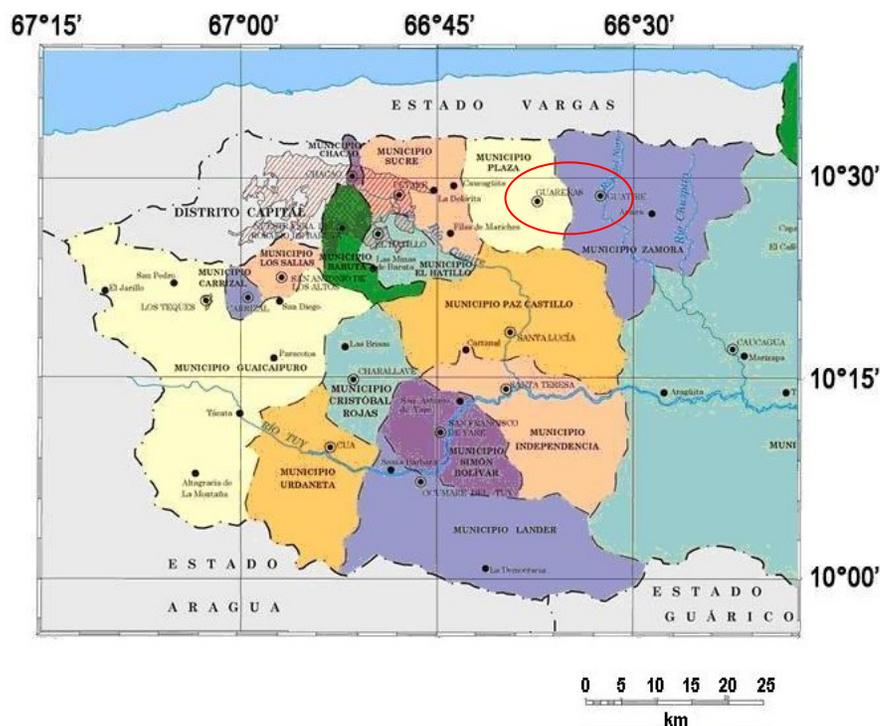


Figura 1.1. Mapa de la región nor-central de Venezuela. Con el ovalo rojo se señala la ubicación relativa de la cuenca Guarenas-Guatire (Modificado del I.G.V.S.B., 1997).

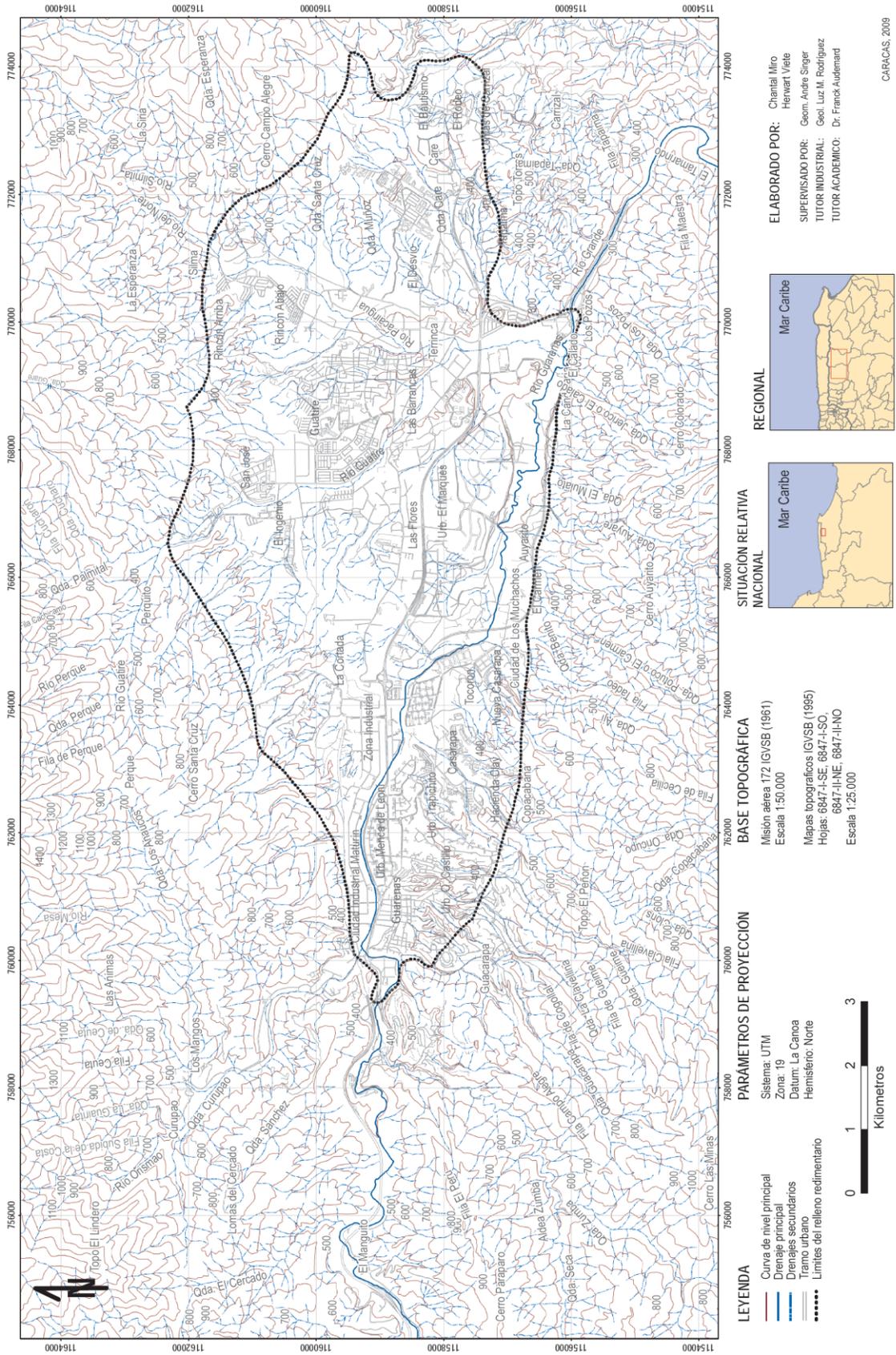


Figura 1.2. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio (Modificado de I.G.V.S.B., 1995).

Como se observa en la figura 1.2 y 1.3, el estudio fue limitado al cuadrángulo generado por las latitudes y longitudes UTM mostradas en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Coordenadas UTM del cuadrángulo de estudio. Se utilizó el sistema referencial La Canoa 19.

Norte	Este
1.152.980	754.160
1.164.280	775.320

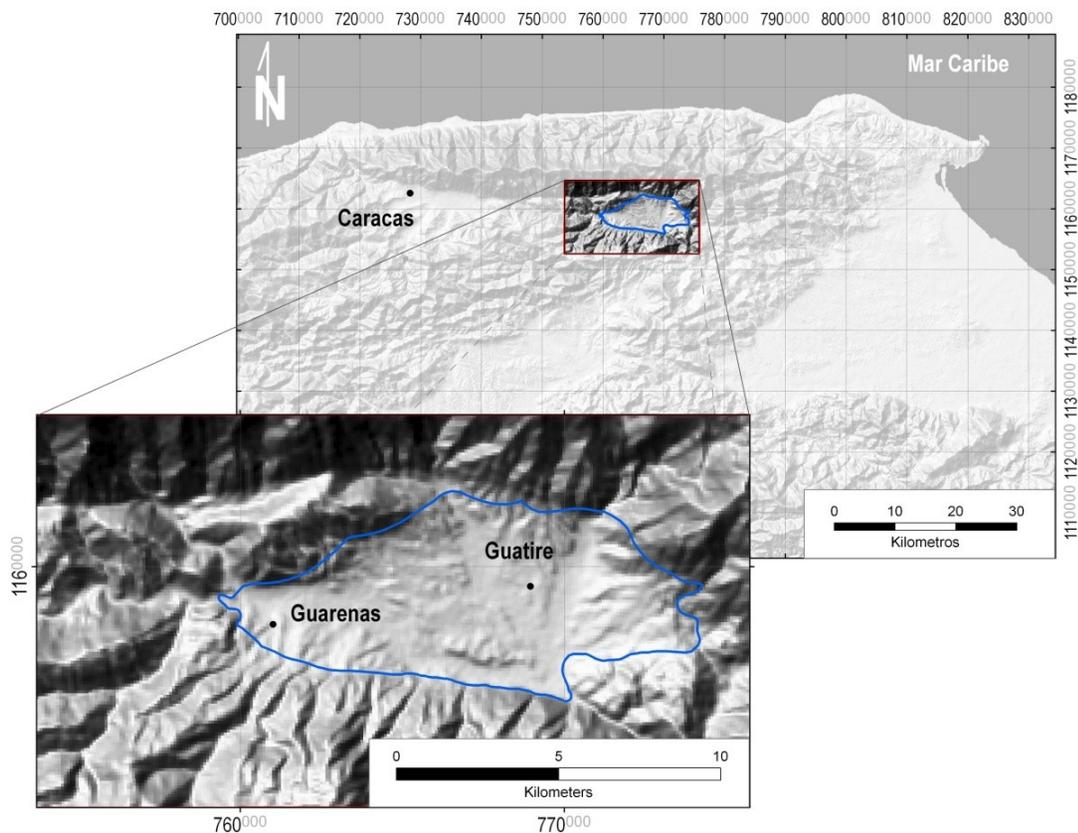


Figura 1.3. Localización del área de estudio. La línea azul demarca la cuenca sedimentaria (Modificado de Garrity *et al.*, 2004).

1.3. VÍAS DE ACCESO

Para tener acceso a la región de estudio se tiene como principal vía la autopista “Gran Mariscal de Ayacucho” Antonio José de Sucre, que comunica la ciudad de Caracas con la región nor-oriental del país, la cual atraviesa a todo lo largo el valle. Adicionalmente

se cuenta con las antiguas carreteras que enlazan a la capital con el resto de las poblaciones orientales y la red vial urbana desarrollada tanto en Guarenas como en Guatire, junto a accesos secundarios tales como carreteras de tierra, caminos, picas y cauces de quebradas y ríos. Actualmente se encuentra en construcción la línea 5 del Metro de Caracas, que enlazará a la ciudad capital con las poblaciones aledañas al valle Guarenas-Guatire.

1.4. METODOLOGÍA

Utilizando la metodología planteada por ESPÍNOLA Y OLLARVES en el 2002 (ver figura 1.4) para el estudio de cuencas sedimentarias con fines neotectónicos, el trabajo se realizó en tres etapas descritas a continuación:

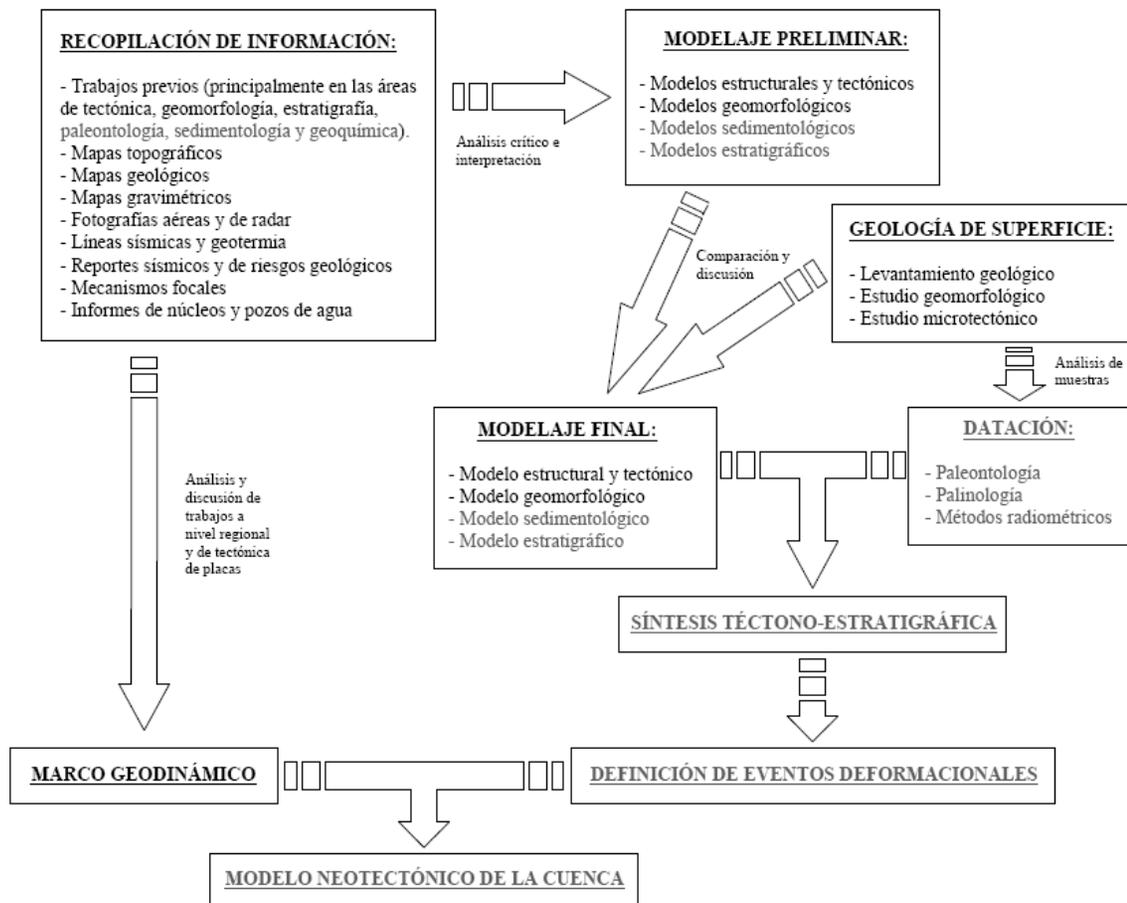


Figura 1.4. Metodología propuesta por ESPÍNOLA & OLLARVES (2002) para el estudio de una cuenca sedimentaria con fines neotectónicos (Extraído de Álvarez, 2005).

- **Etapa Preliminar:** Consistió en la revisión y compilación de toda la información existente y los datos interpretados sobre la zona de estudio, lo cual comprendió:

- Recopilación bibliográfica de los trabajos previos realizados en la zona.
- Análisis crítico y síntesis bibliográfica de la información obtenida a partir de trabajos, publicaciones, tesis y proyectos enfocados en la zona de estudio.
- Revisión e interpretación de mapas topográficos y geológicos de la zona de estudio a diversas escalas.
- Interpretación de fotografías aéreas a escala 1:50.000 del año 1961, de la misión 172, faja 8161-8171, del I.G.V.S.B., e imágenes de satélite de diferentes escalas, donde se corroboró la información que se obtuvo de los mapas topográficos y geológicos, y se complementó con la interpretación propia, generando mapas preliminares geológico-estructurales.

- **Etapa de Campo:** Esta etapa abarcó el levantamiento geológico de la zona de estudio y la ubicación de estaciones mesotectónicas, la cual se basó en las siguientes actividades:

- Levantamiento geológico de los mejores afloramientos naturales, tales como los que se encuentran en quebradas y ríos, al igual que cortes antrópicos de interés estratigráfico y tectónico para propósitos neotectónicos.
- Ubicación, medición y descripción de planos de estratificación y de estructuras sedimentarias.
- Ubicación, medición y descripción de elementos estructurales como fallas, diaclasas, plegamientos, entre otros:
 - Medición de pitch y/o plunge en estrías de falla.
 - Caracterización de las deformaciones presentes en la zona de estudio, a través de redes estereográficas.
- Verificación de la fotointerpretación.
- Cartografía e integración de los datos obtenidos en mapas a escala 1:25.000.
- Elaboración de columnas estratigráficas.

- **Etapas de Oficina:** Se realizó la interpretación, comparación y validación de los datos obtenidos en las etapas anteriores desarrollando las siguientes:

- Generación de mapas geológicos a escala 1:25.000 donde se cartografiaron las unidades litoestratigráficas definidas incluyendo las unidades cuaternarias, además de las estructuras geológicas de deformación reconocidas en la zona de estudio y las evidencias neotectónicas de deformación.
- Elaboración de secciones estructurales-estratigráficas.
- Evaluación de tensores de esfuerzos a partir del análisis de estrías de falla por métodos como ANGELIER (1979) y/o ETCHECOPAR *et al.* (1981), entre otros.

1.5. FINANCIAMIENTO

La elaboración de este trabajo contó con fondos proporcionados por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), como parte del desarrollo científico que viene impulsado a través la elaboración de proyectos enfocados en el área de la microzonificación sísmica. El apoyo académico y logístico necesario lo aportaron el Departamento de Ciencias de la Tierra, de FUNVISIS y el Departamento de Geología, en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Central de Venezuela.

2. GEOGRAFÍA FÍSICA

El valle de Guarenas-Guatire corresponde a una unidad fisiográfica deprimida, la cual constituye una cuenca sedimentaria que abarca una superficie de 54 km², dentro del sistema montañoso del Caribe, específicamente en la Cordillera de La Costa, parte central, ubicada en la región nor-central del estado Miranda, entre los municipios Plaza y Zamora.

A continuación se sintetizan las características geográficas existentes en la región de Guarenas-Guatire.

2.1. CLIMA

ZAMBRANO (1970) basada en la clasificación básica climatológica establecida por Koeppen (1948), apoyado en registros de precipitaciones y temperaturas en relación con la fitogeografía, propone que la región de Guarenas-Guatire se caracteriza por un clima tropical cálido lluvioso (Tipo A), con un tipo zonal principal Aw de sabanas y bosques tropófitos, el cual se subdivide en dos subtipos: Aw'gi₁ y Aw'gi_{3n'} (ver figura 2.1).

- **Subtipo Aw'gi₁**: Abarca el valle de Guarenas-Guatire y el flanco norte de los Altos de Mariche, en donde las temperaturas presentan medias anuales de 24 a 26 °C, con oscilación media anual de 2 a 3°C, y una precipitación media anual de 700 a 1.000 mm, con un solo máximo de precipitación al año, y una estación lluviosa que se extiende hasta el final de noviembre.

- **Subtipo Aw'gi_{3n'}**: Corresponde al piedemonte de la cadena montañosa Ávila, al norte del valle de Guarenas-Guatire, el cual presenta al igual que el subtipo anterior un solo máximo de precipitación al año pero las temperaturas medias anuales van de 18 a 21°C, conservando la oscilación media anual similar al tipo anterior, y una precipitación media anual que varía entre 1.000 y 1.300 mm. Este subtipo se caracteriza por presentar calina en las zonas más bajas, y neblina en las zonas más montañosas.

Los cambios climáticos en la cuenca son consecuencia del régimen de precipitación, presentándose dos estaciones marcadas: una seca de enero a abril, que concentra 10,2% de la lluvia, y una húmeda de mayo a diciembre que concentra el 89,8% restante de la lluvia; los meses más lluviosos son junio, julio y agosto. A partir de junio en general, el suelo y el sustrato rocoso están más proclives a generar procesos geomorfológicos de tipo de movimiento de masas. En dichos meses (junio, julio y agosto) puede ocurrir un incremento tanto de la escorrentía superficial de laderas, como del escurrimiento concentrado en las quebradas con su consecuencia en la intensificación del entallamiento de las mismas, la activación de las áreas de erosión regresiva potencial de las cabeceras de las quebradas, incremento de la socavación de taludes, activación de procesos de erosión concentrada en surcos y cárcavas y otros problemas de inestabilidad (IERU, 2007).

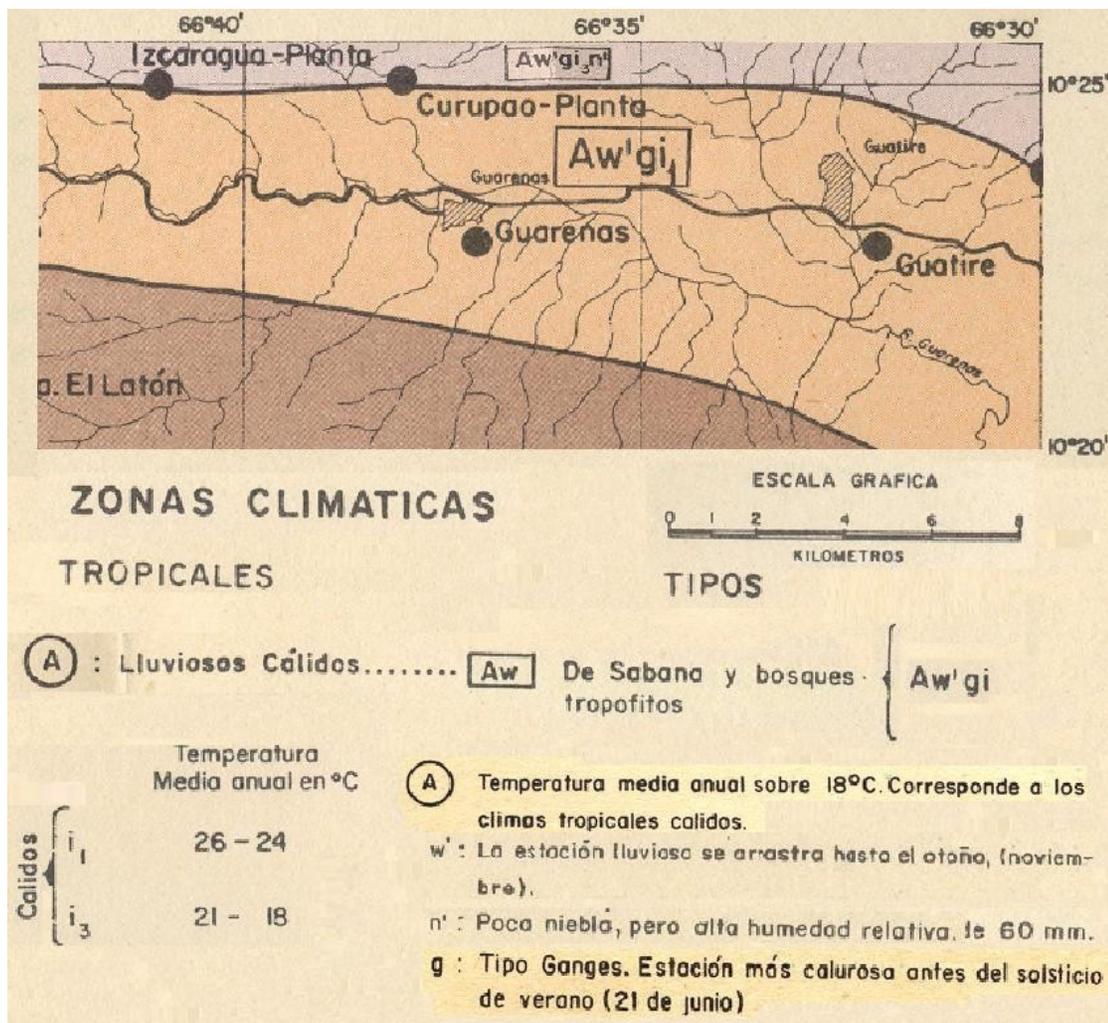


Figura 2.1. Mapa climatológico de la zona de estudio (Modificado de ZAMBRANO, 1970).

2.2. VEGETACIÓN

La vegetación en la región ha sido fuertemente intervenida desde la existencia de asentamientos humanos, lo cual ha ocasionado la reducción del área de ocupación de especies naturales y se han introducido especies nuevas. Por ello, para el estudio de la vegetación en áreas urbanas se establecieron tres categorías: vegetación natural, vegetación naturalizada y vegetación plantada o cultivada (IERU, 2007).

La vegetación natural esta englobada dentro del tipo zonal Aw', la cual comprende vegetación herbácea en alternancia con matorrales y bosques semisecos a sub-húmedos y húmedos tropófilos deciduos de pisos bajos a medios y bosquecillos de galería en los márgenes de los ríos. Este bosque se caracteriza por estar prácticamente desprovisto de su follaje en la época de sequía, que en el área de Guarenas es prolongada y fuerte. Presenta una cobertura continua. Su presencia es importante para el control del proceso erosivo, ya que en los lugares donde la vegetación ha sido fuertemente intervenida e incluso eliminada se han desarrollado dichos procesos (ver figuras 2.2, 2.3 y 2.6).



Figura 2.2. La imagen muestra un bosque deciduo ubicado al norte de la cuenca Guarenas-Guatire, y hacia la derecha de la foto parte del Parque Nacional el Avila. Vista hacia el oeste de la parte septentrional del valle.
Rumbo de la vista: Oeste.

Además del clima, las características de esta vegetación obedecen a los suelos en asociación a la pendiente, en estas áreas predominan las pendientes de intermedias a altas con subsectores muy altas, las cuales favorecen la escorrentía y por ende los procesos erosivos, razón por la cual los suelos sufren un adelgazamiento significativo que impide el desarrollo de una vegetación mayor. En cambio en las áreas planas de fondo de valle, las condiciones de suelo y topografía permiten un mayor desarrollo de la vegetación.



Figura 2.3. En la foto se observan dos tipos de vegetación: vegetación de bosques semi-secos nativos en colinas del contrafuerte sur de la cuenca, y en el fondo de valle se observa vegetación naturalizada de arbustos y matorrales bajos con elementos arbóreos aislados. Rumbo de la vista: S10W.

La vegetación naturalizada se ha desarrollado debido a la fuerte intervención de la que ha sido objeto la vegetación natural en la mayor parte del área urbana, especialmente en las áreas de fondo de valle, tanto del río Guarenas como las quebradas afluentes. Está representada principalmente por arbustos y matorrales con algunos elementos arbóreos aislados (ver figuras 2.4 y 2.6).



Figura 2.4. Vegetación naturalizada en bordes de quebrada perturbados (foto izquierda) y en zonas intervenidas (foto derecha).

La vegetación plantada tanto natural como introducida, se le observa principalmente en las zonas planas y en el área de colinas. En las zonas planas están presentes principalmente especies ornamentales, mientras que en las áreas de colinas se observan especies comestibles, ornamentales y árboles de sombra, y se encuentran mezcladas con vegetación nativa preservada y vegetación naturalizada (ver figura 2.5 y 2.6).



Figura 2.5. Ejemplos de vegetación plantada en los centros urbanos.

Asociados a los cursos de agua, la humedad permite la presencia de vegetación arbórea de mayores dimensiones, pudiéndose desarrollar bosques de galería. Sin embargo, estos bosques prácticamente han desaparecido a lo largo de todas las quebradas que han sido objeto de ocupación urbana. En las áreas planas la vegetación natural ha sido prácticamente eliminada, conservándose algunos elementos arbóreos que se mezclan dentro de la ocupación con una vegetación secundaria naturalizada y vegetación cultivada, tanto natural, como introducida.

En las áreas de colinas, el bosque deciduo ha sido muy intervenido por la ocupación urbana, observándosele mezclado con vegetación cultivada introducida y vegetación naturalizada. Los nuevos desarrollos han desplazado completamente la vegetación, observándose muchas áreas desprovistas de la misma y algunas pocas donde se ha dado un tratamiento paisajístico. En estas áreas se hace necesario resaltar, que pese a la estética que se ha introducido en estos paisajismos, el número de especies es muy inferior a la vegetación natural que ha sido desplazada. En la figura 2.7 se muestra el contexto ambiental de vegetación de la cuenca Guarenas-Guatire (IERU, 2007) (ver figuras 2.2 a 2.4).

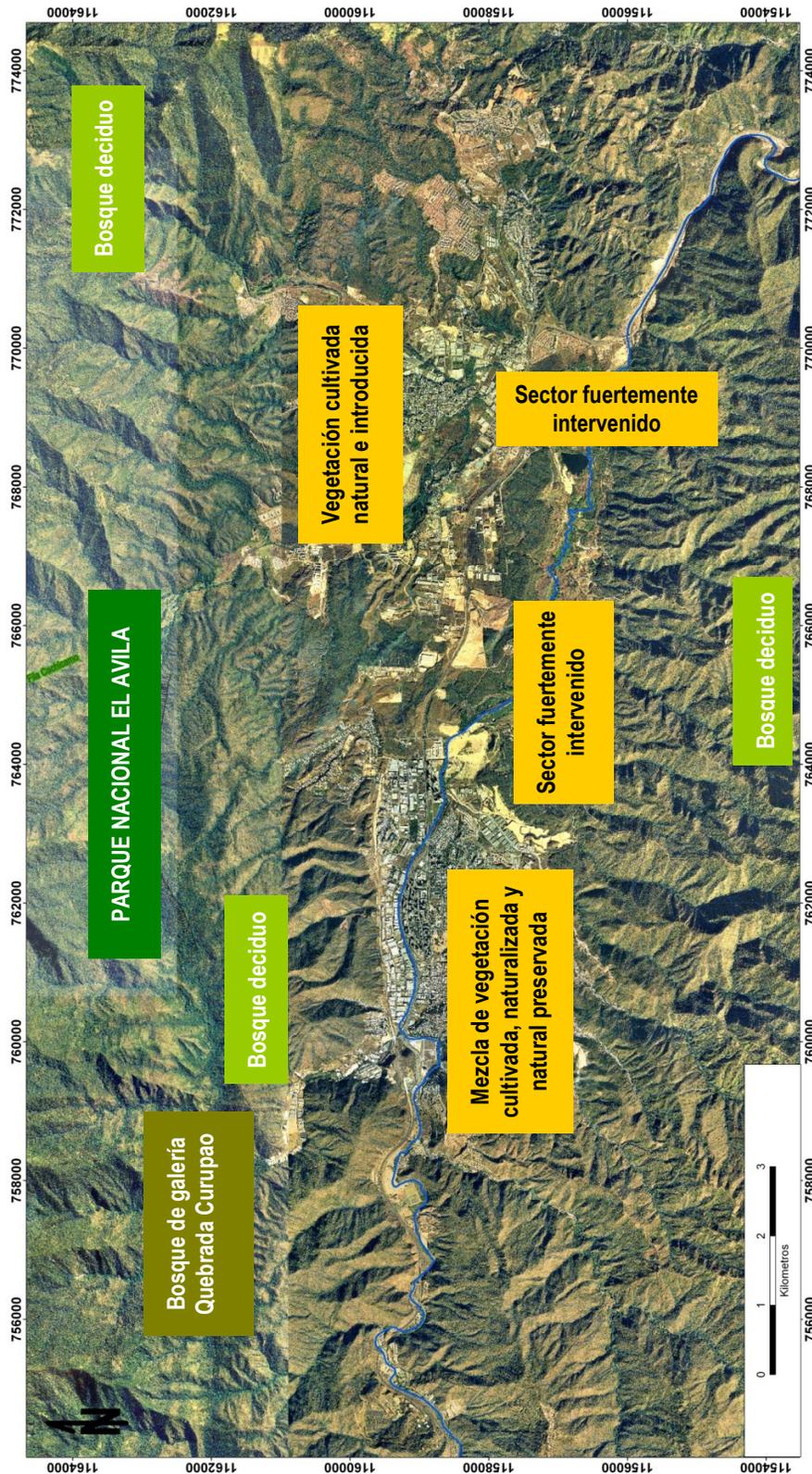


Figura 2.6. Marco de vegetación de la cuenca Guarenas-Guatire. Las zonas de mayor intervención se encuentran principalmente en todos los sectores de quebrada, y en las vegas de inundación del río Guarenas, río Guatire y quebrada Pacairigua. La vegetación naturalizada se arraiga en cualquier sector del valle (Modificado de IERU, 2007).

2.3. RELIEVE

En la región de Guarenas-Guatire se pueden distinguir dos grandes áreas de relieve diferenciadas (ver figura 2.7):

- **Depresión Sedimentaria:** esta corresponde al relieve dentro del valle de Guarenas-Guatire, cuya altitud varía entre los 200 y 400 metros sobre el nivel del mar. Es una zona topográficamente deprimida, incluye tanto los valles del río Guarenas y sus afluentes, como algunas elevaciones que no superan los 200 m de diferencial de cota con respecto al nivel de base, entre las que se encuentra el piedemonte montañoso. La pendiente general del terreno es hacia el sureste. Las laderas de las elevaciones son de pendientes menores a 45°. En la cuenca afloran la Formación Guatire, terrazas aluvionales levantadas y aluviones recientes. En esta unidad es donde se observa la mayor parte de los asentamientos humanos de la región.

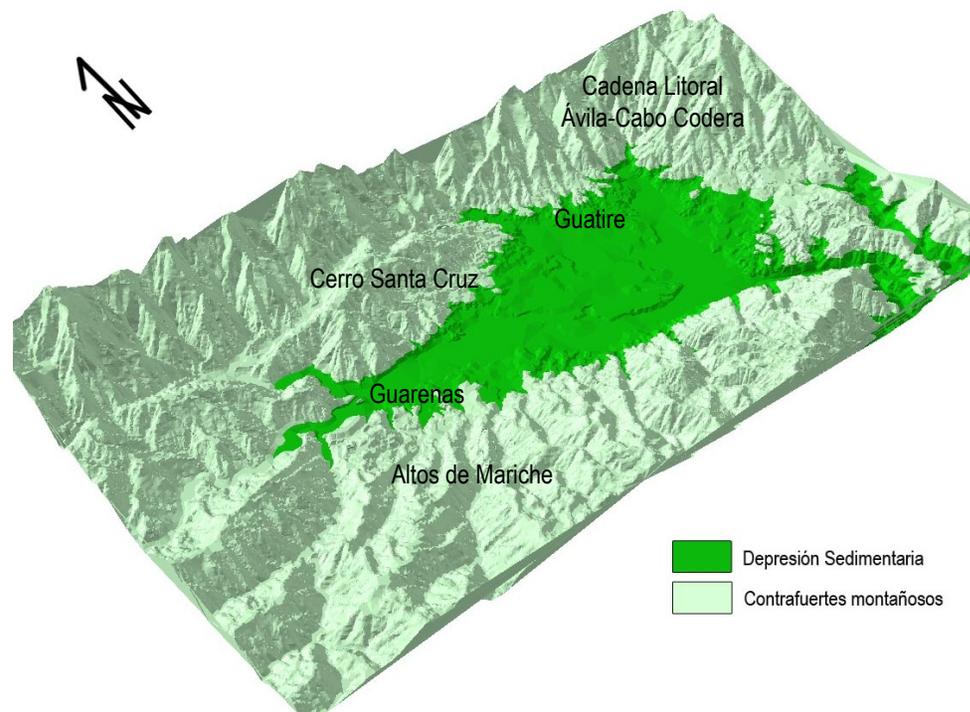


Figura 2.7. Modelo de Elevación Digital de la cuenca Guarenas-Guatire, donde se muestra el contraste entre las dos unidades de relieve. Base topográfica: Mapas topográficos del año 1995 del I.G.V.S.B., escala 1:25000, hojas 6847-I-SO, 6847-I-SE, 6847-II-NO, 6847-II-NE, 6947-III-NO, 6947-IV-SO (Escala vertical exagerada el doble).

- **Contrafuertes montañosos:** Abarca las zonas montañosas que delimitan a la depresión sedimentaria de Guarenas-Guatire. Esta unidad domina a la depresión, exhibe un paisaje escarpado con pendientes intermedias a altas $>40\%$. En el sur está representado por el macizo de Los Altos Mariche con altitudes entre los 600 y 2400 metros sobre el nivel del mar, en esta unidad afloran rocas la Asociación Metasedimentaria Ávila. Al norte está la Cadena Litoral Ávila-Cabo Codera con altitudes entre los 600 y 2.700 metros sobre el nivel del mar.

2.4. SUELOS

Estos depósitos superficiales (terrenos aluviones y mantos residuales) en la región de Guarenas-Guatire aparecen desde el Cuaternario, originados a partir de la alteración y/o remoción del perfil de meteorización de las rocas ígneo-metamórficas que rodean a la cuenca (IERU, 1979) (ver figura 2.8).

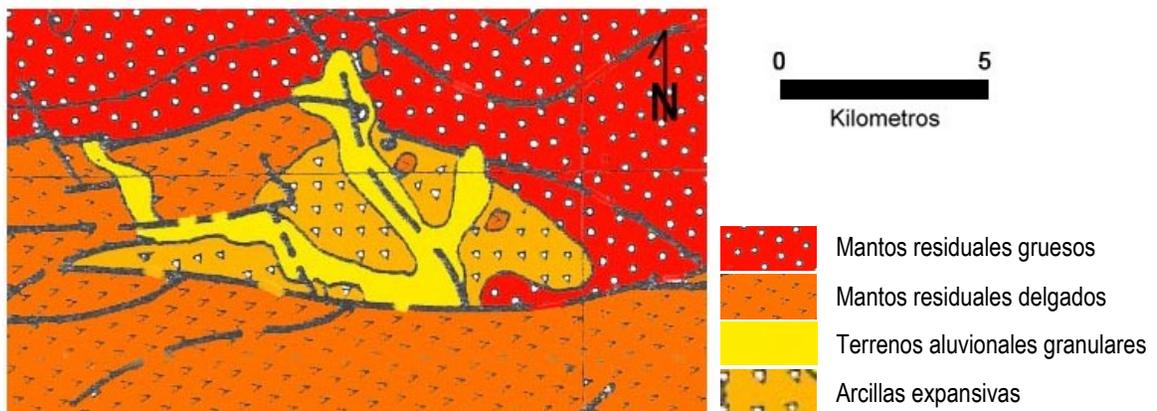


Figura 2.8. Mapa geotécnico donde se muestran unidades geotécnicas definidas según el tipo de depósito superficial presente (Modificado del Estudio de Espacios Abiertos de la Región Capital, USB, IERU, 2007).

Los mantos residuales del macizo rocoso forman capas de materiales descompuestos de varios metros de espesor que llegan a desintegrarse para formar partículas de arcilla abundantes en compuestos aluminio-ferrosos. La capa meteorizada está sobre la roca fresca, diferenciándose de ésta por su tonalidad más oscura y la densidad que es de 5 a 10% menor que en la roca fresca, seguida de una masa intensamente meteorizada y

alterada hasta la arcilla o saprolito estructural, que aún conserva la estructura original del material parental, pero que sólo tiene 50% de su densidad. Estos tipos de depósitos residuales son el material parental de los suelos lateríticos, de color rojo y amarillo vistosos, donde abundan compuestos de aluminio, sílice, hierro y agua. En las zonas donde hay cierta acumulación de agua, se descomponen estos depósitos dando origen a suelos orgánicos, que en la cuenca por lo general no superan los 50 cm de espesor y forman la capa de suelo más superficial (IERU, 1979) (ver figura 2.9).

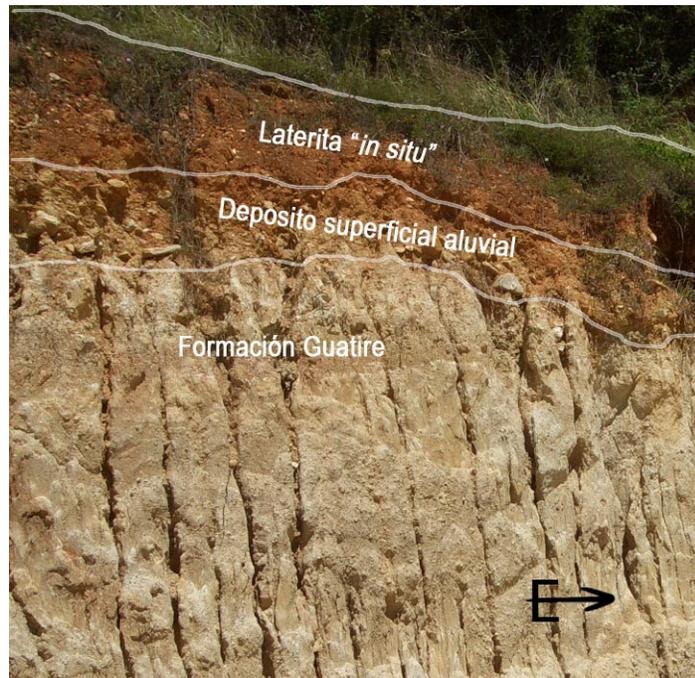


Figura 2.9. Corte artificial, donde se destaca el perfil de alteración a partir de un depósito aluvial de edad Q_3 , que trunca a la Formación Guatire, ubicado al norte de la quebrada Guare.

2.5. METEORIZACIÓN Y EROSIÓN

Los agentes principales de meteorización en la región son los procesos químicos, según las características del clima tropical, donde un perfil geotécnico desarrollado en terreno rocoso está constituido por un gradiente de materiales que comienza en la roca fresca con minerales no alterados, luego pasa a roca meteorizada dura de minerales con alteraciones incipientes y de ésta a roca descompuesta blanda de minerales totalmente alterados, para terminar en manto residual que desarrolla suelos residuales susceptibles a repteo.

Los procesos químicos que causan la descomposición del material parental de los depósitos superficiales para formar los perfiles de suelos dependen de la facilidad de penetración del agua en el material parental. La distinción entre suelos ácidos y alcalinos está dada por la disponibilidad de agua durante el proceso formativo. En la región de Guarenas-Guatire, por lo general las condiciones ambientales son secas, aireadas, propicias a la oxidación, dando como resultado tierras alcalinas.

En cuanto a la erodibilidad del suelo, el tipo y densidad de la cobertura vegetal influyen tanto como la estructura y el vigor del proceso de desintegración del material. En las zonas donde hay matorrales altos y bajos la pérdida de sedimentos es mayor, y esta decrece a medida que pasa gradualmente la vegetación a bosques. La pendiente del terreno es otro factor de control de la tasa de erosión, si se incrementa el ángulo de la pendiente, manteniendo las condiciones de vegetación y meteorización fijas, la pérdida de suelos se incrementa (IERU, 1979) (ver figura 2.10).



Figura 2.10. Erosión concentrada en un corte artificial dentro de la depresión sedimentaria de Guarenas-Guatire. Este corte se ubica al este del sector La Cortada, al nor-este de Guarenas.

2.6. DRENAJE

Según ZAMBRANO (1970), la cuenca Guarenas-Guatire se encuentra en la sub-cuenca hidrográfica río Caucagua dentro de la cuenca del río Tuy, ubicada entre las estribaciones montañosas del sur de la cadena litoral Ávila-Cabo Codera y norte de los Altos de Mariche. El drenaje principal está representado por el río Guarenas, el cual nace en la fila Santa Rosa, al sur de la cadena montañosa Ávila, en el edo. Miranda; sus

aguas corren en sentido W-E atravesando un valle estrecho que se desarrolla entre el valle de Caracas y el valle Guarenas-Guatire, extendiéndose hasta la confluencia del río Pacairigua al sureste de Guatire, en donde tiene inicio el río Grande o Caucaigua, que posteriormente drena sus aguas al río Tuy (ver figura 2.11).

Dentro de esta cuenca, los principales cursos de agua (aparte del río Guarenas) que definen la hidrografía del área de Guarenas y sus alrededores son (ver figura 2.11):

- Margen norte del río Guarenas: Curupao, Guatire y Pacairigua y pequeñas quebradas sin nombre, tienen una orientación predominante noroeste-sureste y norte-sur.
- Margen sur del río Guarenas: De oeste a este pueden señalarse, Seca o Zumba, Guacarapa, Las Clavellinas, Güeime, Clores y pequeñas micro-cuencas sin nombre, la orientación es suroeste-noreste.

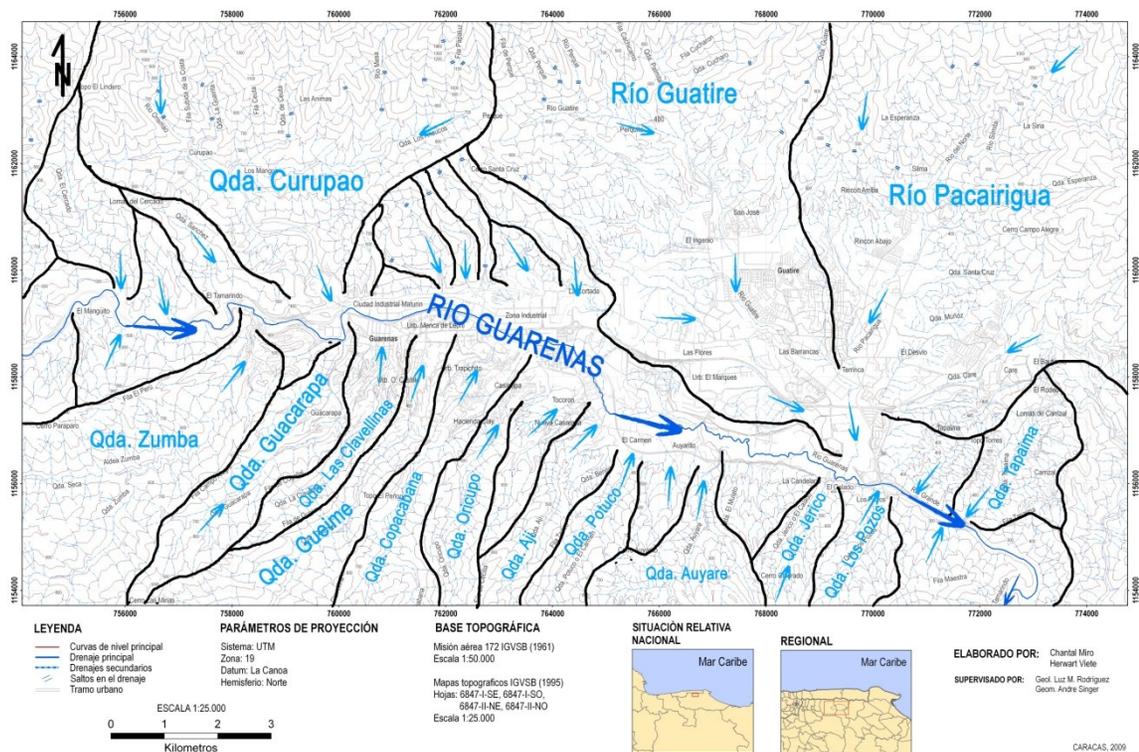


Figura 2.11. Hidrografía de la cuenca Guarenas-Guatire. Se separa con las líneas negras las principales microcuencas y sus respectivos nombres (si la quebrada presenta uno), que drenan hacia el río Guarenas y con las flechas la dirección en que fluyen las aguas (Modificado I.G.V.S.B., 1995).

El río Guarenas en su inicio presenta una geometría irregular con una orientación aproximada E-W, con pendiente de 3% hasta llegar a la población de Guarenas, donde el rumbo varia a N80°W y su pendiente disminuye hasta 0.5% aprox., exhibiendo dos quiebres notorios, localizados en el sector noreste de la Urb. Nueva Casarapa donde el drenaje orientado E-W pasa a N20°W, y en la parte norte de La Ciudad de Los Muchachos donde el drenaje orientado N20°W toma la tendencia N80°W, manteniendo esta última configuración hasta la confluencia con el río Pacairigua.



Figura 2.12. El río Guarenas en el valle Guarenas-Guatire. En la imagen se traza el recorrido del río Guarenas a través de la ciudad de Guarenas, donde parte de su curso esta canalizado a favor de la expansión urbana. Rumbo de la vista: S65°E.

El río Guarenas, en su tránsito por la ciudad de Guarenas, además de encontrarse en su cuenca media, entra en la cuenca geológica Guarenas-Guatire, encontrando materiales fácilmente erosionables pertenecientes a la Formación Guatire y aluviones y terrazas aluviales, por lo que el río desarrolla meandros que originan zonas de fuerte socavación lateral y zonas de sedimentación con zonas de desborde e inundaciones locales, procesos dinámicos naturales en el desarrollo de un río, pero que en el caso de la ciudad de Guarenas, al haberse ocupado su llanura de desborde, se han convertido en amenazas para la población (ver figura 2.12).

Los ríos Curupao, Guatire y Pacairigua (ver figura 2.11 y 2.13B) representan los drenajes secundarios de mayor importancia en el margen norte de la cuenca, caracterizados por desarrollar un trazado regular, con un rumbo de N45°W para los dos primeros y N20°E para el último caso. Los cursos de agua presentan dos patrones de drenaje: uno dendrítico en las cabeceras asociado a un proceso erosivo y uno angular en la parte media de las micro-cuencas, evidenciando un control estructural, en las zonas de menor pendiente más próximas al río Guarenas desarrollan llanuras de inundación. La pendiente de estos cursos varía a lo largo de su recorrido, presentando en ocasiones saltos de agua (ver figura 2.13A).



Figura 2.13. A) Salto de agua en uno de los tributarios del río Guarenas al norte. Rumbo de la foto: N10°W. B) Curso del río Pacairigua, al noreste de Guatire. La intervención urbana no ha sido tan marcada como ha ocurrido con el río Guarenas. Rumbo de la foto: S15°W.

En el margen sur los drenajes secundarios de mayor relevancia son las quebradas Zumba o Seca, Guacarapa, y Güeime, con una orientación general aproximada de N50°E, y de geometría regular, tienen un patrón de drenaje dendrítico a sub-paralelo. En el margen sur la pendiente de dichos drenajes se mantiene relativamente constante a lo largo de su recorrido. En general el río Guarenas, junto con sus afluentes forma un patrón de drenaje sub-dendrítico (ver figura 2.12).

El comportamiento del caudal de los cursos de agua está determinado por el régimen de precipitaciones de toda la cuenca de recepción. Dicho régimen como se dijo en el apartado de clima, está marcado por una estación lluviosa al año, que puede ser irregular tanto mensual como anualmente. Puede producirse una precipitación de importancia durante la estación seca que modifique el comportamiento ordinario de las cuencas, lo que desencadena posibles eventos torrenciales como el ocurrido en el barrio Guacarapa en el año 1981. A esto se adiciona lo intenso de las precipitaciones, mucha lluvia en

poco tiempo, lo cual puede generar inundaciones, desbordes, socavación lateral de las paredes y arrastres torrenciales, cuyos efectos se pueden ver magnificados por la presencia de obstáculos en el cauce, como lo constituyen viviendas y anexos construidos en el lecho, basura y desechos de diversa índole (ver figura 2.14).



Figura 2.14. Quebrada Guacarapa. La construcción de viviendas y pasarelas en el lecho, ocasionó que este se expandiera provocando el aumento de la socavación lateral debido a la deflexión de un flujo torrencial, ocurrido durante el año 2008.

3. GEOLOGÍA REGIONAL

A pesar de la gran cantidad de trabajos realizados (ver tabla 3.1) en la región de Guarenas-Guatire y sus alrededores, aún no se tiene muy claro muchos de los procesos tectónicos que han modelado a la cuenca. A continuación se presenta un resumen crítico de la evolución tectono-estratigráfica propuesta por algunos autores para la zona en discusión.

Tabla 3.1. Títulos de trabajos relacionados con la Cuenca Guarenas-Guatire.

AÑO	AUTOR	TÍTULO
1949	HESS & DENG	Geological reconnaissance Guarenas-Guatire-Colonia Bolivar area and a traverse from Guatire to Caucagua
1953	NICKLAS, M	Las formaciones terciarias en la cuenca de Guarenas-Guatire
1956	DUSENBURY, A. N	Guatire, Formación. Léxico Estratigráfico de Venezuela
1962	FEO CODECIDO, G	Contribution to the geology of north-central Venezuela
1965	SEIDERS, V. M	Geología de Miranda central, Venezuela.
1966	BERMÚDEZ, P	Consideraciones sobre los sedimentos del Mioceno Medio al Reciente de las Costas Central y Oriental de Venezuela
1969	MACSOTAY, O.	Estudio de una paleofauna de moluscos dulceacuicolas tropicales pleistocenas de la Cuenca Guarenas-Guatire, Estado Miranda
1970	GRATEROL V	Estudio Gravimétrico de la Cuenca de Guarenas-Guatire
1970	ZAMBRANO, A	Estudio fisiográfico regional de la cuenca del Tuy
1972	WEHRMANN, M	Geología de la región Guatire-Colonia Tovar
1973	PICARD, X	Cuencas sedimentarias continentales en la cordillera de la costa, con indicaciones sobre facies lacustre
1976	PICARD, X	Geología de la Cuenca Guarenas-Guatire, sedimentación continental intracordillerana.
1977	SINGER, A.	Síntesis Regional de la evolución geomorfológica de la Cordillera de La Costa.
1980	GONZÁLEZ DE JUANA, C., J. ITURRALDE DE AROZENA Y X. PICARD	Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas
1984	FUNVISIS	Estudios de riesgo sísmico Ferrocarril Caracas-Litoral. Informe Final. Vol. 2.
1985	SOULAS, J	Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas
1993	BELTRÁN C	Mapa neotectónico de Venezuela a escala 1:2.000.000.
1997	AUDEMARD, F. & C. GIRALDO	Desplazamientos dextrales a lo largo de la frontera meridional de la placa Caribe
1999	GRASES, J., R. ALTEZ & M. LUGO	Catálogo de Sismos Sentidos o Destruyentes Venezuela.
2000	AUDEMARD, F., J. COX, R. DART., K. HALLER & M. MACHETTE	Map and database of quaternary faults in Venezuela and its offshore regions.
2004	URBANI, F., Y J.A. RODRÍGUEZ	Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela.
2005	HECHT, J.	Caracterización Geofísica mediante estudios de ruido sísmico ambiental y gravimétricos del municipio Zamora (Guatire), Estado Miranda
2008	URBANI F. <i>et al.</i>	Revisión de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de Venezuela
2008	NODA, F.	Estudio geofísico a lo largo de la línea del tren Caracas-Guarenas-Guatire

3.1. TECTÓNICA REGIONAL

3.1.1. Marco Geodinámico

La región Norte de Venezuela se encuentra en una zona de interacción de placas, relacionada con la actividad entre los bloques Suramérica y Caribe. Este límite de placas con características rumbo-deslizante se presenta como una compleja franja de deformación transpresional de más de 100 km de ancho, donde la Placa Caribe se mueve relativamente hacia el este de Suramérica (BELL, 1972; PINDELL & DEWEY, 1982). La existencia de grandes sistemas de fallas transcurrentes dextrales en dirección E-W como lo son Oca-Ancón, Boconó, San Sebastián y El Pilar, así como el control de las grandes unidades montañosas (Cordillera de La Costa, Serranía del Interior, entre otros) por estos sistemas de fallas, deja en evidencia algunos de los vínculos que relacionan la dinámica entre dichas placas (ver figura 3.1).

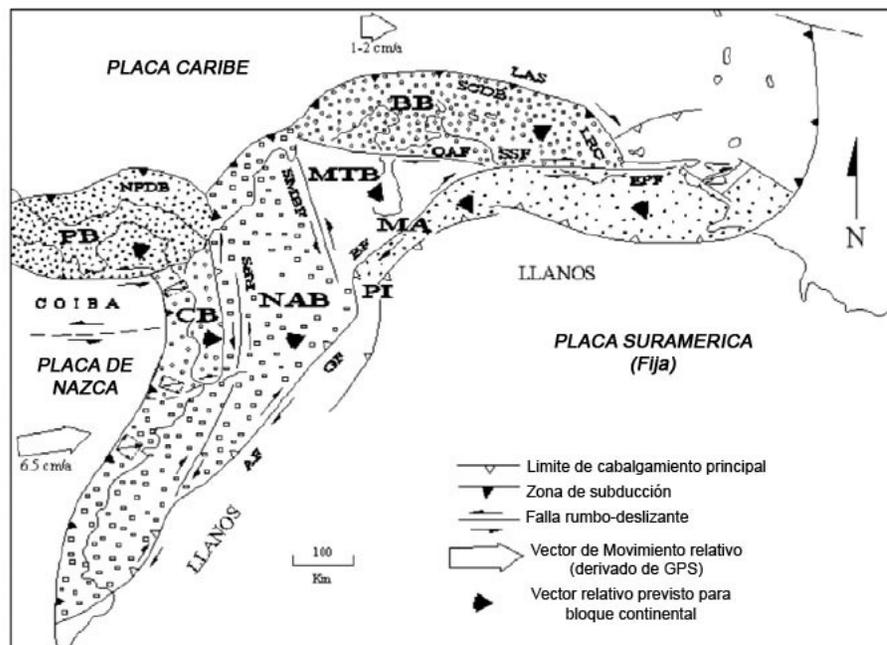


Figura 3.1. Esquema general de la dinámica entre las placas Caribe y Suramérica. Las flechas señalan los desplazamientos relativos de cada placa. Equivalencias usadas para las abreviaturas: bloques de Bonaire (BB), Chocó (CB), Maracaibo (MTB), Norte de los Andes (NAB) y Panamá (PB); Andes de Merida (MA) y Nudo de Pamplona (PI); Fallas de Algeciras (AF), Boconó (BF), El Pilar (EPF), Guaicaramo (GF), Romeral (RFS), Santa Marta-Buzaramanga (SMBF), San Sebastián (SSF) y Oca-Ancón (OAF); y la Subducción de las Antillas Menores (LAS), el Cañon de Los Roques (LRC), el cinturón de deformación del Norte de Panamá (NPDB), y el cinturón de deformación del Caribe Sur (SCDB) (Modificado de AUDEMARD *et al.*, 2005).

SOULAS (1985) explica que el régimen más reciente de deformación crustal, comienza cerca del límite Plio-Pleistoceno, cuando se estableció la geometría del actual borde meridional de la placa Caribe. La configuración de la placa Caribe en el régimen inmediatamente anterior era diferente del actual, donde predominaban fallas normales sinsedimentarias.

PINDELL y BARRET (1990) proponen el desarrollo de zonas de límites rumbo-deslizantes en los límites septentrional y meridional de la placa Caribe, lo cual se encuentra asociado con la migración hacia el este de la placa Caribe.

AUDEMARD (2005) señala que la configuración actual de las placas Caribe-Suramérica resulta de una evolución transpresiva que ha ocurrido a lo largo del Terciario y Cuaternario, iniciada como una subducción oblicua tipo B que luego evolucionó a una colisión oblicua más larga con movimiento hacia el este. Más recientemente, este límite de placa se convirtió en una transpresión particionada cuando y donde la colisión se hizo insostenible. Su última etapa en la evolución aun esta activa en la parte oriental de Venezuela y Trinidad, y marca el cambio de subducción oblicua a colisión oblicua particionada. Este margen convergente oblicuo de cara al este ha actuado diacronicamente a lo largo de la evolución de la porción completa septentrional del límite de placas, lo que indica que a través del tiempo la zona de límite de placa ha cambiado progresivamente de una compresión predominante a una tipo de desgarre. La partición de esfuerzos se observa en la Cordillera de la Costa, donde el movimiento dextral en el núcleo esta acomodado por las fallas de San Sebastian, la Victoria y otros esfuerzos Riedels sintéticos menores donde el acortamiento transverso es principalmente absorbido por el levantamiento y fallas de corrimiento frontales que enlazan la cadena a lo largo de su límite meridional.

AUDEMARD (2002) indica que este cambio ocurrió en la zona noroccidental de Venezuela hace 17-15 Ma y que este proceso ha tomado lugar hacia el este progresivamente un poco más tarde. Reporta una fase de extensión local durante el Plio-Pleistoceno para la cuenca media del río Tuy relacionada al colapso orogénico de la Codillera de la Costa, soportada esta hipótesis por la presencia de varias cuencas Neogenas-Cuaternarias intramontanas centradas a lo largo del eje principal de este orógeno, como lo son la cuenca del Lago de Valencia, de la plataforma de Unare, y otras

depressiones más pequeñas: Nirgua, Miranda y Bejuma. Este colapso orogénico sería una consecuencia adicional del cambio desde colisión oblicua a un régimen transpresivo.

Según los modelos mencionados, durante el Mioceno-Plioceno ocurrió un cambio importante en la geodinámica de la Placa Caribe cuando la transcurrencia dextral mayor se activa a lo largo del norte de Venezuela, y que hacia la zona nor-central se manifestaría durante el Plio-Pleistoceno.

Producto de estos cambios geodinámicos se pueden generar una serie de procesos de “relajación del sistema”, en los cuales, consecuencia de la activación y desactivación de ciertos sistemas de fallas se genera un “descanso” del marco geodinámico mientras los esfuerzos tectónicos se reparten bajo la nueva configuración, produciendo estructuras de tipo distensivo a nivel regional (ESPINOLA & OLLARVES, 2002).

3.1.2. Evolución Geológica de La Cordillera de La Costa

La Cordillera de La Costa es un cinturón de deformación orientado en dirección E-W entre Puerto Cabello en el edo. Carabobo y el Cabo Codera en el edo. Miranda, formado por un mélange de surco de subducción, compuesto mayoritariamente por bloques de eclogitas, esquistos, mármoles, cuarcitas, granitos, y gneisses graníticos afectados por varias etapas de metamorfismo (HANS, 2005).

En términos geográficos, en el centro-norte de Venezuela, la Cordillera de La Costa se divide en dos serranías con orientación este-oeste, la Serranía del Litoral en su mitad septentrional y la Serranía del Interior en la meridional. Ambas se encuentran separadas por una serie de valles intermontanos controlados principalmente por el sistema de fallas de La Victoria (URBANI & RODRÍGUEZ, 2004).

La morfología de la Cordillera se refleja claramente en la subdivisión en “fajas” iniciada por MENÉNDEZ (1966), con en el que intenta organizar las relaciones entre las diversas litologías que afloran, dividiéndolo en cuatro fajas tectónicas:

- *Faja de la Cordillera de la Costa*
- *Faja de Caucagua*

- *Faja de Paracotos*
- *Faja de Villa de Cura*

Seguidamente, BELL (1968) basado en rasgos estructurales similares y empleado el criterio por utilizado por MENÉNDEZ (1966) amplía esta subdivisión a ocho unidades:

- *Cinturón tectónico de la Cordillera de La Costa*
- *Cinturón tectónico de Caucagua-El Tinaco*
- *Cinturón tectónico de Paracotos*
- *Cinturón tectónico de Villa de Cura*
- *Faja piemontina*
- *Zona de fallas de corrimiento*
- *Faja volcada*
- *Faja de buzamientos suaves*

MENÉNDEZ (1966) a falta de una buena cartografía geológica adecuada considera que la Serranía del Litoral en su totalidad forma parte de su “Faja de la Cordillera de La Costa”. Posteriormente, STEPHAN *et al.* (1980), STEPHAN (1982) y BECK (1986) reconocen que en la parte costera de la Serranía del Litoral se encuentran unidades de rocas con metamorfismo de alta P y baja T, por lo cual la subdividen en dos fajas: Margarita-Costera y Cordillera de La Costa (URBANI & RODRÍGUEZ, 2004).

Dado el marco geodinámico distinto para las fajas, Margarita-Costera y la Cordillera de La Costa, estando involucrado procesos y tiempos geológicos diferentes, URBANI (2004) propone el termino descriptivo de faja Costera sólo para denominar a la parte correspondiente a la Serranía del Litoral, y el termino *Terreno Tobago* de SPEED & SMITH-HOROWITZ (1998) y SNOKE (2001) para aquellas unidades con litologías similares de Margarita y Paria.

Por lo anterior y además para un mejor entendimiento de la historia geológica, así como para facilitar la visualización espacial (de norte a sur) de las unidades en consideración, URBANI & RODRÍGUEZ (2004) utilizan una conceptualización estructural más formal de napas, propuestas por BECK (1986) para la región de Aragua, en

sustitución del concepto genérico y más bien geográfico de fajas, y las separan de la siguiente manera (ver tabla 3.2):

- Napas de la Serranía del Litoral
 - *Napa Costera*
 - *Napa Ávila*
 - *Napa Caracas*

- Napas de la Serranía del Interior (antes denominadas “Napas de Aragua por BECK, 1986)
 - *Napa Caucagua-El Tinaco*
 - *Napa de Loma de Hierro (BECK, 1986, incluye a Paracotos en esta Napa)*
 - *Napa Villa de Cura*

A continuación se muestra la evolución de la subdivisión en fajas de la Serranía del Litoral:

Tabla 3.2. Evolución de la Subdivisión de la Serranía del Litoral. Extraído de URBANI *et al.*, (2004).

MENÉNDEZ (1966) y otros	STEPHAN (1980) y otros	URBANI <i>et al.</i> (2004)
Cordillera de La Costa	Costera-Margarita	Costera
	Cordillera de La Costa	Ávila
		Caracas

URBANI (2008) a partir de los criterios de URBANI & RODRÍGUEZ (2004) propone la subdivisión de la Cordillera de La Costa en orden geográfico de norte a sur en formas de napas de la siguiente manera:

- Napas de la Serranía del Litoral

- *Napa Costera*: las unidades que presenta este grupo de rocas corresponden a las que caracterizan a los sistemas convergentes de arco de isla, representados por rocas con protolitos de distintas naturalezas, incluyendo a las formados en ambiente cercano al arco, al antearco, y al complejo de subducción. Lo define como un melange de edad Cretácico, con probables elementos más antiguos. Es descrito como Super-Asociación La Costa, compuesta mayoritariamente el Complejo Nirgua y el Esquisto de Tacagua, y minoritariamente por el Mármol de Antímamo, el Esquisto verde de Agua Viva, entre otros cuerpos.
- *Napa Ávila*: lo conforma rocas de edad Paleozoica y una unidad Proterozoica, relacionada a procesos ocurridos en corteza continental. Integrado por la Super-Asociación Ávila, se encuentra mayoritariamente compuesto por el Complejo San Julián y varias unidades informales, y por varias unidades de rocas plutónicas graníticas, entre ellas el Metagranito de Naiguatá, el Gneis de Colonia Tovar, el Gneis Granítico de Choroní, entre otros.
- *Napa Caracas*: las unidades de rocas de esta asociación fueron sedimentadas en un ambiente de margen continental pasivo y han sufrido un metamorfismo de la facies del esquisto verde (clorita). Lo integran rocas de edad Paleozoicas y Mesozoicas, agrupados de la siguiente manera: Asociación Metasedimentaria Caracas, Asociación Metamórfica Los Cristales, Gneis de Sebastopol y varios cuerpos de serpentinita aun sin nombrar. La Asociación Metasedimentaria Caracas, la unidad mayoritaria, son rocas de edad Jurásico-Cretácico, la cual está conformado en su mayor parte por el Esquisto de Chuspita, el Esquisto de Las Mercedes, el Esquisto Las Brisas y menor parte por el Mármol de Los Colorados y de Zenda, y los Metaconglomerados de Baruta y de La

Mariposa. Además propone que el contacto entre el Gneis de Sebastopol y el Esquisto de Las Brisas es tectónico y no discordante como tradicionalmente Aguerrevere y Zuloaga lo consideran, debido a nuevas observaciones en campo, en donde se sugiere que un evento posterior en la facies del esquisto verde sobreimpuso una foliación concordante y paralela entre ambas unidades.

- Napas de la Serranía del Interior

- *Napa de Cuacagua–El Tinaco*: son rocas de edad Proterozoico-Mesozoico. Compuesto por el Complejo El Tinaco (Gneis de La Aguadita y el Esquisto de Tinapú) como unidad mayoritaria y una serie de asociaciones no agrupadas (Filita de Urape, Filita de Muruguata, Metavolcanosedimentarias de Conoropa, Gneis Granítico de San Vicente, Metaconglomerado de Charallave, Gneis Tonalítico de Curiepe, entre otros).
- *Napa de Loma de Hierro*: compuesto por litodemos de originados en una litosfera oceánica de afinidad MORB de edad Cretácico. Lo conforman el Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro (Metalava de Tiara, Metagabro de Mésia, y Metaultramáficas de Loma de Níquel) y otras unidades (Filita de Paracotos, Volcanosedimentaria de río Guare, Serpentina de Las Peñas Negras, y otros cuerpos sin nombre formal).
- *Napa de Villa de Cura*: todas las unidades de esta asociación tienen un predominio de piroclásticas, formadas frente al arco de islas y luego soterradas en complejo de subducción, donde fueron sometidas a un régimen metamórfico de alta P y baja T. Son de edad Jurásico-Cretácico, y se separa en una Napa septentrional con asociaciones mineralógicas de alta P y baja T (Asociación Metavolcanosedimentaria de Villa de Cura) y una Napa meridional con rocas no metamórficas o con metamorfismo de

muy bajo grado (Asociación Ígnea San Sebastián) compuesta por unidades volcánicas, plutónicas con series ultramáficas a máficas y plutónicas máficas.

Referente a la zona en estudio, un amplio consenso de varios autores que han examinado la región de Guarenas-Guatire y sus alrededores, entre ellos NICKLAS (1953), WEHRMANN (1972), PICARD (1976), AUDEMARD (2002), coinciden en que posteriormente a los movimientos epirogénicos del postcretácico donde los sedimentos cretácicos acumulados fueron metamorfizados y plegados, comienza a mediados del terciario de un periodo erosivo y de sedimentación, seguido por un colapso orogénico regional el cual genero el progresivo hundimiento de la cuenca media (Santa Lucia-Ocumare) y baja del río (Barlovento) Tuy, culminando actualmente con un periodo de deformación en el que las fuerzas que dominan son las horizontales con tendencia NNW-SSE (ver figura 3.2).

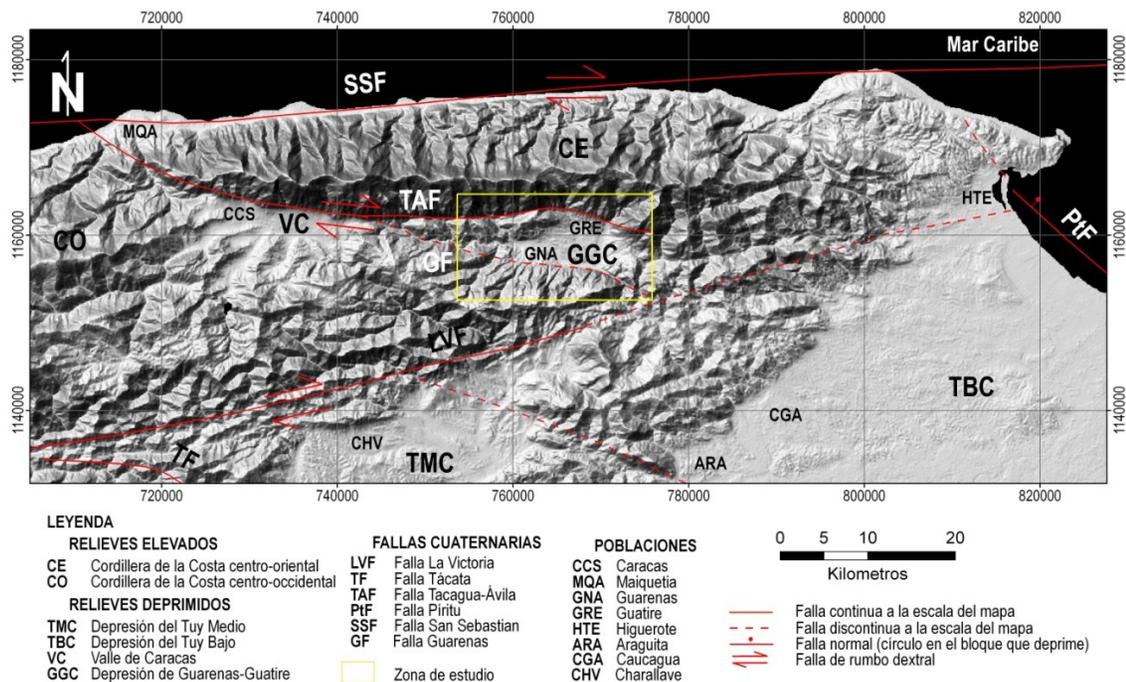
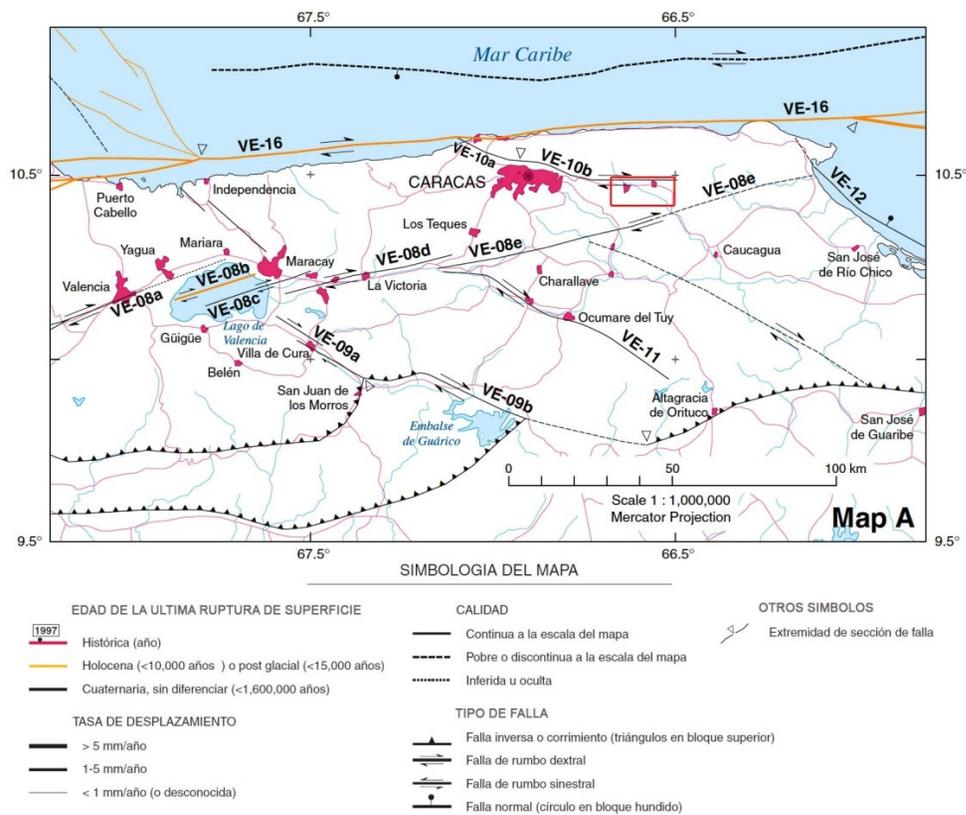


Figura 3.2. Mapa de relieve sombreado de la región de estudio, señalada en el recuadro rojo (Modificado de AUDEMARD *et al.*, 2000, y de GARRITY *et al.*, 2004).

3.1.3. Fallas en la Cordillera de La Costa

3.1.3.1. Fallas Regionales

Con el fin de definir los sistemas de fallas regionales con actividad cuaternaria que afectan a la región de estudio, se presenta un mapa de fallas-fuentes sismogénicas realizado por AUDEMARD *et al.* (2002) con las principales características de estas estructuras (ver figuras 3.2 y 3.3).



LAS FALLAS CUATERNARIAS DE VENEZUELA

Número	Nombre de la falla	Sentido de movimiento (mayor/menor)	Edad del último movimiento	Tasa de movimiento (mm/año)
VE-08	La Victoria fault system			
VE-08a	Guacamaya fault	Right-lateral	<1.6 Ma	0.6
VE-08b	La Cabrera fault	Right-lateral	<15 ka	1.1
VE-08c	El Horno fault	Right-lateral	<1.6 Ma	0.5
VE-08d	La Victoria fault	Right-lateral	<1.6 Ma	0.55
VE-08e	Pichao fault	Right-lateral/normal	<1.6 Ma	0.4
VE-09	Río Guárico fault			
VE-09a	North section	Right-lateral	<1.6 Ma	≤0.3
VE-09b	South section	Right-lateral	<1.6 Ma	≤0.3
VE-10	Tacagua-El Avila fault system			
VE-10a	Tacagua fault	Right-lateral/normal	<1.6 Ma	0.17
VE-10b	El Avila fault	Right-lateral/normal	<1.6 Ma	≤0.4
VE-11	Tácata fault	Right-lateral	<1.6 Ma	≤0.4
VE-16	San Sebastián fault	Right-lateral	<15 ka	3-5(?)

Figura 3.3. Mapa de fallas cuaternarias. Modificado de AUDEMARD *et al.* (2000). Se señala la situación relativa del área de estudio con el recuadro rojo.

- FALLA DE SAN SEBASTIÁN DE MAIQUETÍA

Se localiza a lo largo del litoral de la Cordillera de La Costa, en la región nor-central de Venezuela. Es conocida también como falla de Bruscas en su expresión continental ubicada en las cercanías a la población de Maiquetía. La mayor parte de su longitud se encuentra sumergida en aguas caribeñas, por lo que gran parte de la información que se tiene se debe a trabajos inéditos de geofísica marina. Este accidente es considerado además como límite rumbo-deslizante entre el Caribe y Suramérica junto con las fallas Boconó, El Pilar, y Los Bajos.

Características de la Falla

Longitud: 483 km (529 km acumulado)

Rumbo Promedio: N 86°E ± 11°

Inclinación Promedio: sub-vertical

Sentido del Movimiento: dextral

Intervalo de recurrencia: desconocido

Tasa de movimiento: 3-5(?) mm/año

Edad del último movimiento: probablemente Holoceno (<15.000 años)

- SISTEMA DE FALLAS DE LA VICTORIA

El sistema de fallas de la Victoria está conformado por las fallas Guacamaya, La Cabrera, El Horno, La Victoria y Pichao, extendiéndose desde el sur de Barquisimeto en el edo. Lara hasta Cabo Codera en el edo. Miranda. Este sistema es considerado como una cizalla “P” del límite de placas Caribe-Suramérica rumbo-deslizante dextral. Corta paralelamente la cordillera de La Costa en su parte central, atravesando la cuenca del lago de Valencia a lo largo del segmento La Cabrera-El Horno y limitando el borde norte de la cuenca del Tuy medio en el segmento Pichao. Es considerado además como contacto estructural entre la cordillera de La Costa y la Serranía del Interior.

Características del sistema de Fallas

Longitud: 354 km (466 km acumulado)

Rumbo Promedio: N 78°W ± 17°

Características de la Falla Pichao

Longitud: 118 km (118 km acumulado) entre Tejerías y Cabo Codera

Rumbo Promedio: N 76°E ± 3°

Inclinación Promedio: sub-vertical

Sentido del Movimiento: dextral con componente normal

Intervalo de recurrencia: 2.300 años para un sismo máximo posible de Ms. 6.9

Tasa de movimiento: 0,4 mm/año

Edad del último movimiento: Cuaternario (<1,6 Ma.)

- SISTEMA DE FALLAS TACAGUA-EL ÁVILA

Este sistema de fallas está conformado por los segmentos de la falla Tacagua y la falla El Ávila. Localizada en la cordillera de La Costa, WEHRMANN (1972) menciona que la falla se extiende hasta las llanuras de Barlovento en el Edo. Miranda, cortando oblicuamente a esta cadena montañosa. El segmento de la falla El Ávila forma parte de los bordes de cuenca norte tanto de la depresión de Caracas como de la cuenca Guarenas-Guatire. Es considerado además como un riedel sintético derivado de la falla San Sebastián.

Características del sistema de Fallas

Longitud: 67,6 km (70,2 km acumulado)

Rumbo Promedio: N 77°W ± 13°

Características de la Falla Tacagua

Longitud: 19,7 km (20,1 km acumulado) entre Arrecife y Caracas

Rumbo Promedio: N 71°W

Inclinación Promedio: buzamiento alto al sur

Sentido del Movimiento: dextral con componente normal

Intervalo de recurrencia: 4.000 años para un sismo máximo posible de Ms 6.5

Tasa de movimiento: 0,17 mm/año

Edad del último movimiento: Cuaternario (<1,6 M.a.)

Características de la Falla El Ávila

Longitud: 48,8 km (50,1 km acumulado) entre Caracas y Araira

Rumbo Promedio: aprox. N 83°W

Inclinación Promedio: buzamiento alto al sur

Sentido del Movimiento: dextral con componente normal

Intervalo de recurrencia: ≥ 2.300 años para un sismo máximo posible de Ms 6.8

Tasa de movimiento: $\leq 0,4$ mm/año

Edad del último movimiento: Cuaternario (<1,6 M.a.)

3.1.3.2. Fallas Locales

Son pocos los trabajos publicados que mencionan las fallas locales significativas en la región de Guatire-Guarenas. Sin embargo, algunos autores sugieren la existencia de una importante estructura hacia el sur de la región.

A continuación se presenta un resumen con algunas de las características descritas en la literatura acerca de las fallas al sur de la cuenca, refiriéndonos a estas como Falla Guarenas.

- FALLAS DE GUARENAS

WEHRMANN (1972) indica la presencia de esta falla al describir un sistema de fallas transversales con rumbo N 60°W, cuya formación estaría asociada a la reactivación de las fallas del Caribe, tales como las fallas de Oca y El Pilar, señalando además que esta estructura afecta a los sedimentos pliocenos de la cuenca Guarenas-Guatire (ver figura 3.4).

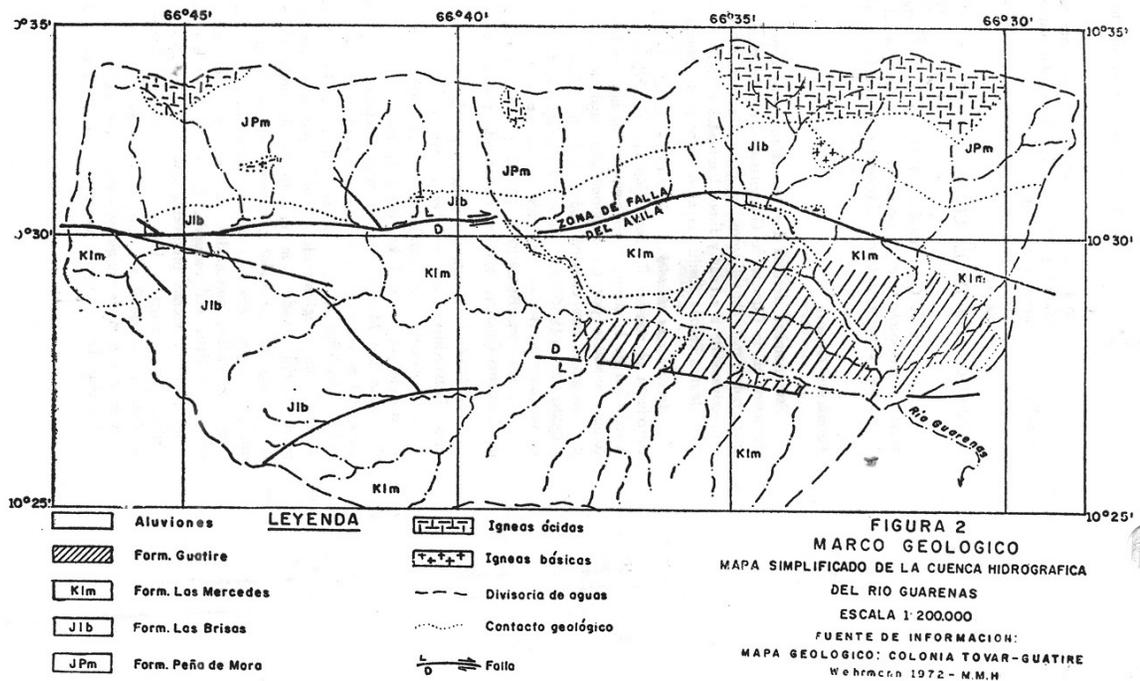


Figura 3.4. Mapa geológico simplificado de la región Colonia Tovar-Guatire, realizado por Wehrmann, donde se interpreta la falla que limita al sur a la cuenca de Guarenas-Guatire (Extraído de PICARD, 1976).

FUNVISIS (1984) en un estudio realizado para el ferrocarril Caracas-Litoral, nombra a este sistema de fallas como ramal sur del sistema de fallas Tacagua-El Ávila, caracterizado por mostrar una marcada linearidad y facetas triangulares, indicando además a la estructura como el límite sur entre las rocas metamórficas y los sedimentos plio-cuaternarios que rellenan a la depresión.

ODEBRECHT (2007) la describe como un riedel sintético, según el modelo de WILCOX *et al* (1973), con rumbo N73°W y N58°W, que parte del sistema de fallas Tacagua-El Ávila, y muestra evidencias de movimientos dextrales.

3.1.4. Sismotectónica

La sismicidad instrumental de Venezuela coincide geográficamente con los cinturones de deformación, y por consiguiente con las áreas de relieve positivo (Los Andes de Mérida, Las serranías de La Costa, Interior y Perijá). Caracterizada por ser de baja a moderada intensidad, esta sismicidad nacionalmente se presenta somera y esencialmente sobre los primeros 20 km, con la rara excepción de cierta sismicidad por encima de los 40 km de profundidad y otra intermedia a los valores anteriores, bajo el bloque continental nor-occidental de Venezuela (RODRÍGUEZ & AUDEMARD, 2005).

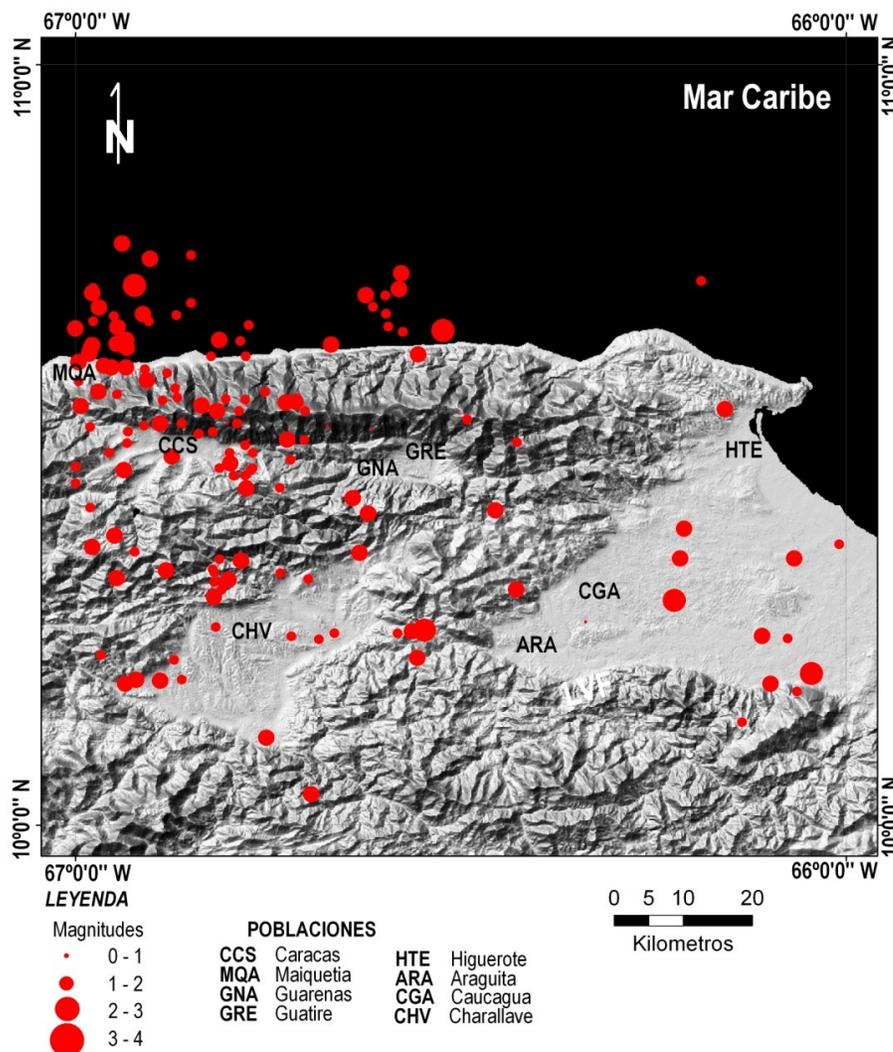


Figura 3.5. Mapas de sismicidad instrumental de la región nor-central de Venezuela generado a partir del catalogo de eventos registrados por FUNVISIS (años 1984 a 2008). Se señala con los círculos rojos la ubicación de los epicentros.

Sin embargo, la sismicidad distribuida sobre el margen de placa Caribe-Suramérica revela ciertos vacíos aparentes de actividad sísmica desde el suroeste al este, a lo largo de la traza suroeste de la falla Boconó entre los Estados Táchira y Mérida, el segmento entre las fallas de Boconó y San Sebastián, desde Barquisimeto hasta el oeste de Choroní, y el tramo entre las fallas San Sebastián y El Pilar, desde el norte de la Cuenca Guarenas-Guatire hasta Cumana (RODRÍGUEZ & AUDEMARD, 2005).

Como se observa en la figura 3.5, la actividad sísmica registrada en la zona nor-central de Venezuela es escasa. El catalogo ofrecido por FUNVISIS, que data de 1984, muestra apenas 154 eventos en 24 años de monitoreo instrumental local, lo que refleja la baja frecuencia que presenta la dinámica de esta región, con eventos que se caracterizan por sismos de baja a moderada intensidad, que alcanzan generalmente magnitudes M_s menores a 4, generadas a profundidades inferiores a los 40 km, indicativo de una actividad tectónica superficial.

En la región de Guarenas-Guatire, FUNVISIS no tiene registros de eventos sísmicos recientes, indicativo de que estos terrenos no presentan actualmente actividad tectónica importante, a pesar de localizarse en una zona donde las estructuras de deformación principal están asociadas al límite rumbo-deslizante activo entre las placas Caribe y Suramérica (Falla de San Sebastián de Maiquetía).

3.1.5. Paleosismología

En Venezuela se han realizaron numerosos estudios paleosismológicos de fallas activas por vía de superficie (con base en criterios geomorfológicos) y de subsuelo a partir de datos de trinchera, orientados al conocimiento de la actividad holocena en las principales fuentes de actividad sísmica. La mayoría de estos trabajos se concentran en la región andina y en la región nor-oriental del país, por lo que el conocimiento paleosismológico de las principales fallas de la región nor-central es pobre o inexistente. Esta carencia de información se debe en parte a que el escenario geológico en esta región no favorece la realización de este tipo de evaluación (AUDEMARD, 2003).

Entre las condiciones geológicas de sitio presentes en la región nor-central de Venezuela podemos mencionar lo siguiente:

- Los accidentes tectónicos a escala regional son bastante complejos.
- La ausencia de material sedimentario de edad reciente en superficie, sumado a la erosión del registro estratigráfico de la región nor-central de Venezuela, hace que la investigación de las deformaciones recientes adquiera un grado de dificultad mayor.
- Debido a la alta urbanización que presenta la región, la mayor parte de las evidencias geomórficas han sido destruidas, haciendo que la práctica de la paleosismología se complique aún más a la hora de la identificación de los paleoaccidentes, cuando se carece de vistas aéreas antiguas.

A pesar de ello, FUNVISIS en el año 2007 llevo a cabo el primer estudio paleosísmico en trinchera de la región nor-central del país, realizado en las cercanías de la Universidad Metropolitana, estado Miranda, sobre la traza de la Falla El Ávila.

3.2. UNIDADES LITOLÓGICAS

El material sedimentario que constituye el relleno de la cuenca Guarenas-Guatire está conformado por los depósitos plio-cuaternarios de la Formación Guatire, con una sedimentación gruesa en los márgenes que se va haciendo más fina hacia el centro de la cuenca, sobre el cual sobreyacen aluviones y terrazas de edad reciente. El basamento sobre el cual reposan los depósitos sedimentarios está representado por las Asociación Metasedimentaria Caracas y Super-Asociación Ávila. A continuación se describen con mayor detalle las unidades litológicas aflorantes en la región de Guarenas-Guatire (ver figura 3.6, anexo 1):

3.2.1. Unidades litodémicas

Con base a la revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de La Costa y de la revisión de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas del norte de Venezuela realizada por URBANI *et al.* (2000, 2008), se presentan a continuación las unidades que equivalen a los conjuntos de rocas ígneas-

metamórficas que conforman tanto el basamento como los bordes de la Cuenca Guarenas-Guatire (ver figura 3.6).

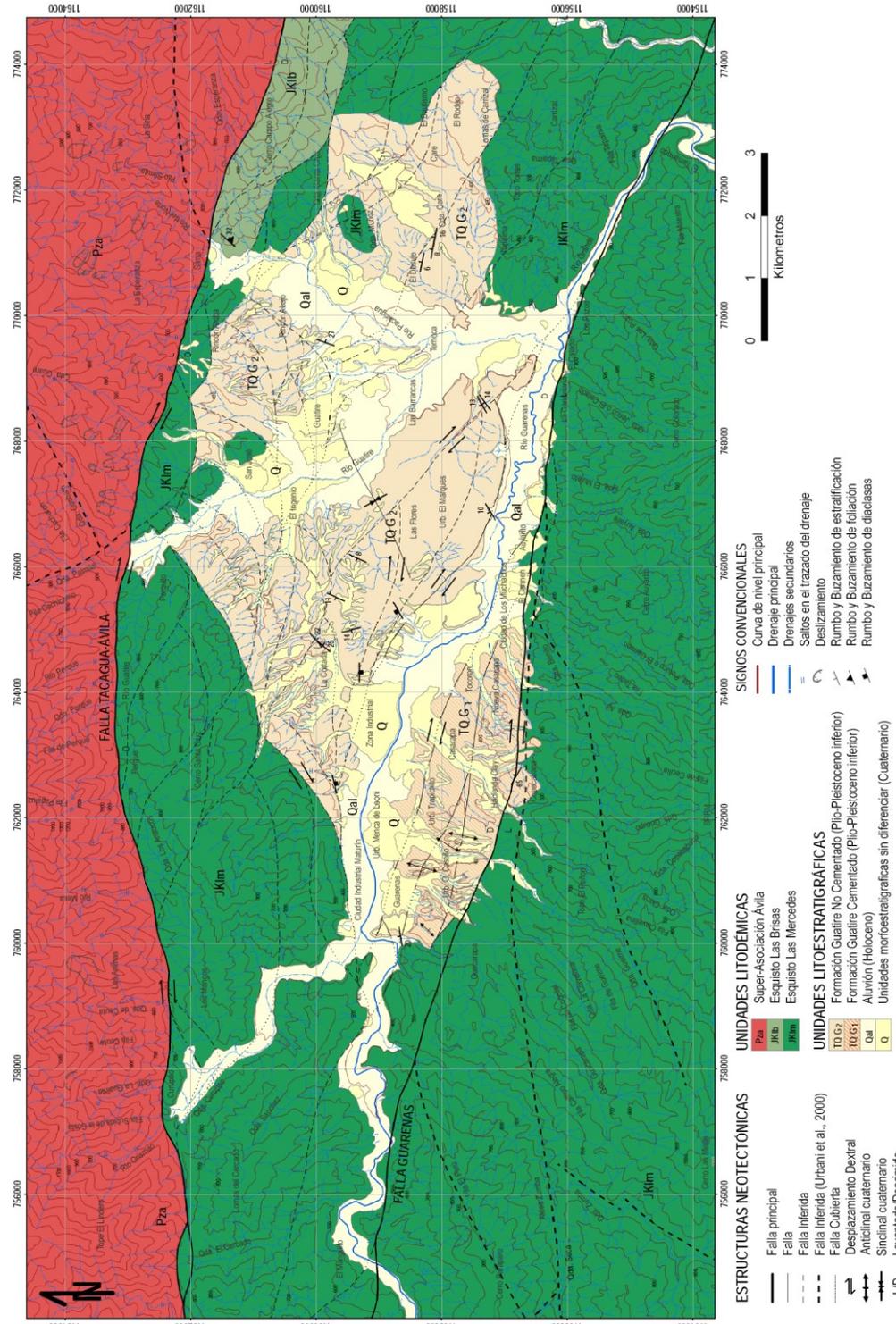


Figura 3.6. Mapa geológico de la región de interés. Integrado a partir de URBANI & RODRÍGUEZ (2000).

3.2.1.1. Super Asociación Metamórfica Ávila (Complejo Ávila)

PRECAMBRICO-PALEOZOICO

Distrito Capital.

Las rocas atribuidas actualmente a esta unidad, son las que afloran en el macizo de El Ávila, y que fueron mencionadas y estudiadas en mayor o menor detalle por numerosos autores, desde que Alejandro de Humboldt y Aimé Bonpland visitan la Silla de Caracas en 1800. Los estudios modernos se inician con los trabajos de AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937), siguiendo entre otros, DENG (1951) y WEHRMANN (1972). URBANI y OSTOS (1989) en su revisión de la cartografía geológica del macizo montañoso costero, al norte de los valles de Valencia-Maracay, Caracas y Guatire, revelan tres asociaciones de rocas distribuidas en igual número de fajas: una faja septentrional o costera con rocas de la Anfibolita de Nirgua, Esquisto de Tacagua y Mármol de Antímano de la Asociación Metamórfica la Costa; una faja central que soporta la parte más elevada de la Cordillera, compuesta por rocas metaígneas, gneises y esquistos de variada composición, que se agrupan bajo el nombre de Asociación Metamórfica Ávila; y finalmente una faja meridional compuesta por rocas Mesozoicas de la Asociación Metasedimentaria Caracas. Con este conocimiento actual, llama la atención lo acertado del mapa geológico de AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937), que cartografían al macizo de El Ávila en dos unidades: por una parte el Augengneiss de Peña de Mora con una simbología propia, y otra diferente para las rocas circundantes (hoy Complejo de San Julián), aun cuando por omisión dicha simbología no aparece en la leyenda, pero es diferente al de las formaciones de la Asociación Metasedimentaria Caracas. Posteriormente URBANI *et al.* (1988, 1989a, 1989b, 1989c) extienden la cartografía de esta unidad hasta el estado Carabobo al oeste y hasta Cabo Codera al este. Esta zona había sido cartografiada previamente por DENG (1951, 1953) y WEHRMANN (1972) como Formación Peña de Mora y parcialmente como Formación Las Brisas (URBANI Y RODRIGUEZ *et al.*, 2004)

El nombre de la asociación procede del macizo de El Ávila localizado al norte de Caracas y la localidad tipo es la quebrada San Julián al sur de Caraballeda, donde existen buenos afloramientos tanto de los esquistos que se asignan al Complejo de San Julián, como del Augengneiss de Peña de Mora. Su cartografía se ha extendido desde la

zona de Caracas, hasta el estado Carabobo al oeste, y hasta Cabo Codera al este, edo. Miranda (URBANI *et al*, 1988, 1989a, 1989b, 1989c).

El complejo San Julián consiste en una mezcla tectónica de rocas metasedimentarias (políticas y psamíticas, con muy escasos carbonatos), metaígneas plutónicas de félsicas a máficas (granito, tonalita, trodhjemita, diorita, gabro, diabasa). Las rocas metasedimentarias predominan en los estados Aragua a Yaracuy, mientras que las metaígneas lo hacen en el macizo Ávila hasta Cabo Codera. El augengneis de Peña de Mora corresponde a un granito porfirítico de grano grueso, metamorfizado y fuertemente deformado-milonitizado. Es la única unidad de la Serranía del Litoral de edad precámbrica conocida de 1,5 Ga. A pesar de la fuerte retrogradación mineralógica, en las rocas de San Julián y Peña de Mora, generalmente se observan los minerales metamórficos biotita y granate, pero en recientes revisiones petrográficas se han ido encontrando localidades con sillimanita que apunta a la facies de la anfíbolita. Las rocas que contiene hornblenda siempre muestran retrogradación a anfíbol verde-azul (barroisita), con cambios posteriores adicionales a actinolita. Durante el último evento metamórfico regional en la facies de los esquistos verdes que afecta a toda la Cordillera, la biotita y el granate pasan total o parcialmente a clorita. Las unidades integrantes de esta superasociación corresponden a procesos ocurridos en corteza continental (URBANI, 2000, 2008).

Los contactos de la unidad analizada con las rocas de la Asociación Metamórfica la Costa ubicada al norte, son de falla, tanto de ángulo alto como de corrimiento, mientras que en el flanco sur, usualmente se encuentran en contacto alto con las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas, por medio de fallas de ángulo alto.

Muchos autores han opinado sobre la edad de las rocas en consideración, con edades que van desde el Precámbrico (RUTTEN, 1940) hasta el Cretácico (DENGO, 1951). Es sólo en las décadas de los años 70 y 80, cuando se publican edades obtenidas por isocronas de roca total Rb/Sr, las cuales apuntan a una edad Paleozoico-Precámbrico, a saber: los augengneises de la localidad de Peña de Mora y Chichiriviche fechados en 1560 ± 83 Ma (OSTOS *et al*, 1989), gneises y esquistos de la quebrada San Julián con 220 ± 20 y 270 Ma respectivamente (KOVACH *et al.*, 1979, reinterpretado por URBANI, 1982), gneis de Cabriales al norte de Valencia con 264 ± 4 Ma (URBANI, 1989), y el

granito de Guaremal en la autopista Valencia-El Palito con 403 ± 6 Ma (URBANI, 1983, 1987).

3.2.1.2. Asociación Metamedimentaria Caracas (Ex Grupo Caracas)

JURÁSICO – CRETÁCICO

Distrito Capital

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937) introduce el nombre de “Serie Caracas”, que posteriormente (1938) modificaron a Grupo, para designar a la secuencia de rocas metasedimentarias de grado bajo, bien expuestas en la región de Caracas, que habían sido mencionadas informalmente o descritas someramente por muchos autores anteriores. DENG (1951) en su estudio de la región de Caracas describe las rocas de este Grupo y señala estar constituido por las formaciones Las Brisas, Antímano, Las Mercedes y Tacagua. SMITH (1952) estudia al grupo en la región de Los Teques-Cúa. SEIDERS (1965) le añade la Formación Chuspita como la unidad más joven del Grupo. Su cartografía geológica ha sido extendida, entre otros, en los trabajos de WEHRMANN (1972), ASUAJE (1972), URBANI y QUESADA (1972) hacia el este de Caracas, BELLIZZIA y RODRÍGUEZ (1968) en el estado Yaracuy, GONZÁLEZ (1972) recopila los trabajos cartográficos de las tesis doctorales de la Universidad de Princeton en la parte centro-occidental de la Cordillera de la Costa. URBANI *et al.*, (1989) recopila los trabajos de las regiones de El Palito-Valencia-Maracay, y Oritapo-Cabo Codera-Capaya. Las “formaciones” Tacagua y Antímano previamente incluidas en esta unidad, son redefinidas como fases por NAVARRO *et al.* (1988), incluyéndolas en su Complejo La Costa. Parte de las rocas previamente consideradas como Formación Las Brisas que afloran al norte del macizo de El Ávila, hoy se incluyen en el Complejo de San Julián de la Asociación Metamórfica Ávila. Con los cambios sugeridos, esta Asociación queda hoy en día constituida por los esquistos de Las Brisas, Las Mercedes y Chuspita, que ocupan la franja septentrional de la serranía costera de la Cordillera de la Costa, colindantes con las franjas que ocupan las asociaciones la Costa y Ávila.

La Asociación aflora típicamente en la región de Caracas-Los Teques y sus alrededores, y se ha cartografiado como una franja casi continua en sentido este-oeste

que se extiende desde el estado Yaracuy, hasta la zona de Barlovento en el estado Miranda. Sus unidades constituyen una franja de la Cordillera de La Costa.

En el Esquisto de Las Brisas predominan las rocas de protolito psamítico, como esquisto (o filita) cuarzo-muscovítico-feldespático \pm clorítico, así como metarenisca y metaconglomerado también cuarzo-feldespático-micáceo, hay cuerpos de mármol interfoliado desde niveles milimétricos hasta decamétricos. En el Esquisto de Las Mercedes predominan las rocas de protolito pelítico, de color gris oscuro a negro, esquisto o filita cuarzo-calcáreo-muscovítico-grafitoso, de color gris oscuro, e igualmente en el Esquisto de Chuspita, aunque en ella hay mayor abundancia de metarenisca (URBANI, 2000).

Los contactos entre las rocas de esta asociación con la Asociación Metamórfica Ávila hacia el norte (URBANI y OSTOS, 1989) y con las rocas de la faja Caucagua-El Tinaco al sur son tectónicos (BECK, 1986). El contacto entre los esquistos de Las Brisas y Las Mercedes es tectónico (URBANI *et al.*, 1989), mientras que entre los esquistos de Las Mercedes y Chuspita el mismo parece ser concordante y transicional (SEIDERS, 1965).

Las determinaciones paleontológicas de los hallazgos de WOLCOTT (1943) y URBANI (1969, 1973) permiten asignarle al Esquisto de Las Brisas una edad Jurásico Tardío-Cretácico, mientras que los Esquistos de Las Mercedes y Chuspita generalmente se han considerado como de edad Cretácico, por lo tanto la Asociación en su totalidad puede considerarse como Jurásico-Cretácico.

Las unidades de esta asociación fueron sedimentadas en un ambiente de margen continental pasivo y han sufrido un metamorfismo de la facies de esquisto verde (clorita) (URBANI, 2008). Tradicionalmente desde AGUERREVERE y ZULOAGA (1937) se ha considerado que las Brisas se depositó discordantemente sobre el gneiss de Sebastopol, pero observaciones de campo sugieren que el contacto original es tectónico, donde el evento metamórfico posterior en la facies del esquisto verde sobreimpuso una foliación concordante y paralela entre ambas unidades.

3.2.2. Unidades Litoestratigráficas

La Tercera edición del Léxico Estratigráfico Venezolano (1997) describe a la unidad sedimentaria presente en la cuenca Guarenas-Guatire como (ver figura 3.6):

3.2.2.1. Formación Guatire

PLIOCENO-PLEISTOCENO

Estado Miranda

HESS y DENGÓ (1949) informalmente realizaron las primeras observaciones geológicas en la región de Guarenas-Guatire, presentando un mapa (ver figura 3.7) en el que delimitan las rocas terciarias restringidas dentro un grupo de rocas esquistosas. La primera mención del nombre de la Formación Guatire fue realizada por MENCHER *et al.*, (1951), en un cuadro de correlación, aunque sin presentar ninguna descripción de la unidad. En cambio, NICKLAS (1953) describe la formación sin asignarle nombre. DUSENBURY (1956, Léxico Estratigráfico de Venezuela), publicó la primera descripción formal de los sedimentos expuestos en las cuencas de Santa Lucía, Guatire y Barlovento. SEIDERS (1965), restringió el área, al proponer el término Capas de Cauagua, para designar los sedimentos incluidos anteriormente en la Formación Guatire, en la región de Barlovento. BERMÚDEZ (1966) y PICARD y PIMENTEL (1968), restringen el término de Formación Guatire para la cuenca Guarenas-Guatire. Luego PICARD (1976) estudió la unidad en forma detallada.

La localidad tipo se encuentra en la carretera Cauagua-Guatire (DUSENBURY, en L.E.V., 1956), entre el contacto discordante con las rocas metamórficas en el sitio El Rodeo, cerca de Aaira, hasta el contacto con los aluviones del río Norte o Pacairigua, unos 500 m antes de Guatire (PICARD, 1976).

Los afloramientos están restringidos a la cuenca Guarenas-Guatire, entre Guarenas hasta aproximadamente 5 km al este de Guatire (en sentido oeste-este), y en una extensión norte-sur de aproximadamente 5 km. La formación se encuentra en contacto discordante con las rocas metamórficas de la Asociación Metasedimentaria Caracas (Formación Las Mercedes).

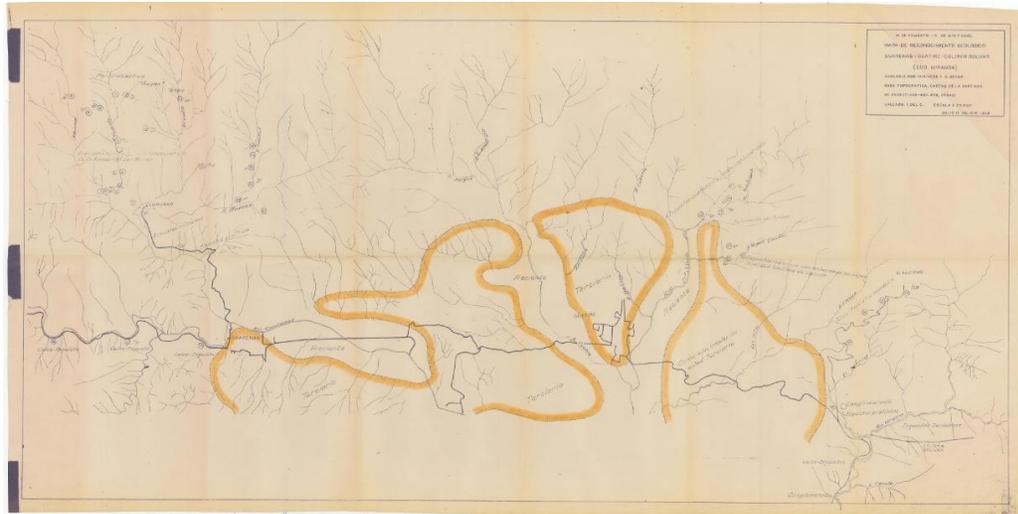


Figura 3.7. Mapa de reconocimiento Guarenas-Guatire-Colonia Bolívar (Edo. Miranda) realizado por HESS y DENGÓ (1949). Dentro de las líneas anaranjadas se delimita los sedimentos terciarios de la cuenca Guarenas-Guatire.

Las descripciones hechas por NICKLAS (1953) no hacen referencia a nombre formacional alguno, e indican que la unidad está compuesta por un conglomerado basal de color rojo ladrillo, seguido de una secuencia de conglomerados mal consolidados, limos laminados, arcillas limosas y arcillas. PICARD (1976) señala que la localidad tipo no caracteriza a la unidad. Hacia el suroeste hay mayor proporción de carbonato de calcio, con capas de calizas, margas y conglomerados y hacia el centro de la cuenca se encuentran espesas capas de arcillas laminares. Los conglomerados y gravas presentan capas de espesores individuales variables de hasta 3 m y alcanzan un 30% del volumen de la formación. Están mal escogidos, con matriz en el rango de arena fina-arcilla y a veces se encuentran cementados; los colores varían entre amarillo verdoso y amarillo gris, con cierto grado de oxidación por meteorización. Las arenas y limos constituyen el 26% del volumen de la unidad. Las arenas se presentan en capas de espesores variables de hasta 6 m con estratificación interna pobre, colores gris amarillento a gris verdoso, frecuentemente oxidadas y su composición es de arenas líticas arcósicas, mal escogidas y con asimetría hacia lo fino. Las arcillas de la Formación Guatire, constituyen el 40% del volumen total. Algunas capas sobre pasan los 20 m de espesor, y preservan laminación. Su composición mineralógica es de caolinita y clorita y su color varía de gris amarillento a gris amarillo moderado. Las calizas están ubicadas en el suroeste de la cuenca y constituyen el 2% del volumen de la formación. Se presentan en capas de 50

cm hasta 2 m, con colores gris oliva claro a gris amarillento, criptocristalinas, compuestas por calcita micrítica con bioclastos, con fósiles de *Hemisinus* de 2 a 3 mm de longitud (ver figura 3.8).

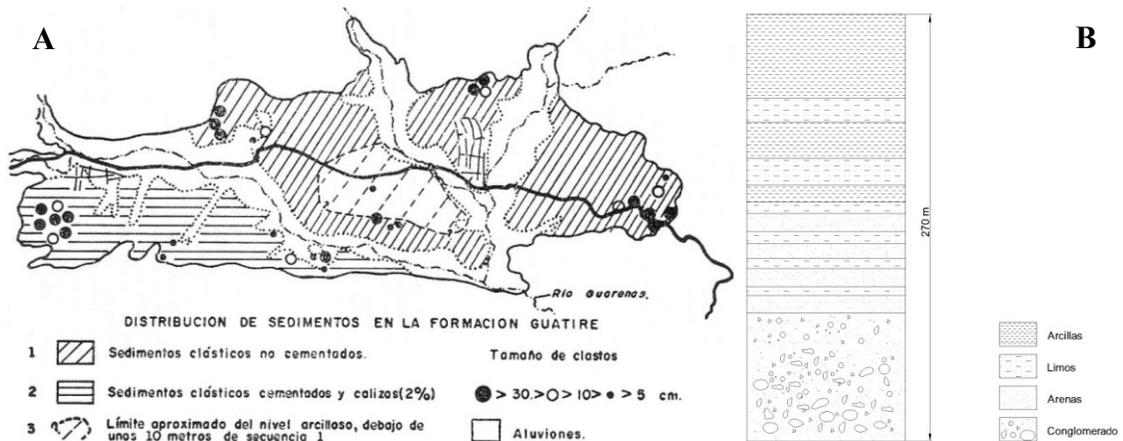


Figura 3.8. A) Mapa de distribución de unidades sedimentarias de la formación Guatire (Estraido de PICARD, 1976). **B)** Columna estratigráfica idealizada de la Formación Guatire.

PICARD (1976), indica que los estudios estratigráficos y de paleocorrientes, sugieren que en el Plio-Pleistoceno la cuenca Guarenas-Guatire fue un lago, enclavado en la Cordillera de la Costa y controlado por fallas y movimientos de báscula. El trazado del drenaje fue esencialmente similar al drenaje actual. La paleopendiente más pronunciada es la del macizo del Ávila, que aportaba a la cuenca volúmenes considerables de material de origen saprolítico derivado de las formaciones Peña de Mora, Las Brisas y de los granitos de la cordillera. La acumulación del material se produjo bajo la forma de a lo sumo seis (6) abanicos aluviales piemontinos. La paleopendiente de menor desnivel sur y al oeste, conllevó a un menor aporte de sedimentos y los ríos probablemente formaron meandros. Del lado sur, los minerales detríticos probablemente fueron menos estables (calcita, micas, grafito, entre otros), que los correspondientes a las arenas arcósicas del lado norte. Según el estudio realizado para los minerales pesados, la cuenca Guarenas-Guatire es una cuenca cerrada que no ha recibido sedimentos de otra fuente diferente a la actual. El contraste de pendiente originó un lago asimétrico, con una costa abrupta al norte y una costa baja, de poca profundidad, del lado sur, con desarrollo de pantanos y charcas. El relleno de la cuenca se efectuó desde el lado norte y oeste (ver figura 3.9).

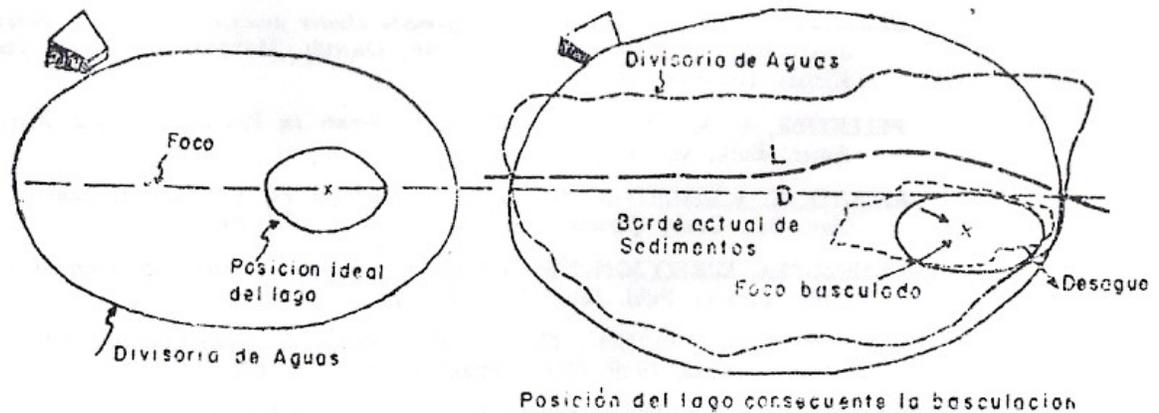


Figura 3.9. Figura idealizada de la cuenca Guarenas-Guatire y el origen de su desagüe propuesta por PICARD (1976).

En cuanto al espesor de la Formación Guatire, en su sección tipo abarca un espesor de aproximadamente 350 m. BERMÚDEZ (1966) estimó 430 m de espesor para los sedimentos en la cuenca Guarenas-Guatire. GRATEROL (1970), indica que el espesor de la unidad, obtenido por mediciones gravimétricas, es de 200 m en el centro de la cuenca con un máximo de 270 m al suroeste de Guatire.

De acuerdo al contenido fosilífero, se considera que la edad probable de la Formación Guatire es Plioceno-Pleistoceno. GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), señalan que los fósiles encontrados no son diagnósticos, y que su edad puede ser Pleistoceno temprano. PICARD y PIMENTEL (1968) según un informe realizado por MACSOTAY (1969), indican que la Formación Guatire puede considerarse equivalente a la parte superior de la Formación Tuy, es decir, de Pleistoceno temprano-Pleistoceno medio. Según MACSOTAY (1969) estos niveles fosilíferos se formaron a escasa altura (menos de 100 m) sobre el nivel del mar, y en tiempos relativamente recientes (Pleistoceno).

3.3. GEOFÍSICA

En estudios más recientes, a través de un modelo gravimétrico, HETCH (2005) establece que los espesores máximos de sedimentos presentes llegan a 370 m de profundidad en la zona central de la cuenca, disminuyendo hacia el norte y el sur. Señala además que el espesor promedio de sedimentos de la cuenca se encuentra comprendido

entre los 200 y 270 m de profundidad, y que el basamento metamórfico conformado por el Esquisto Las Mercedes exhibe una pendiente alta al noreste, y más baja al noroeste, y que profundiza en la dirección norte-sur, así como el espesor de sedimentos (ver figura 3.10).

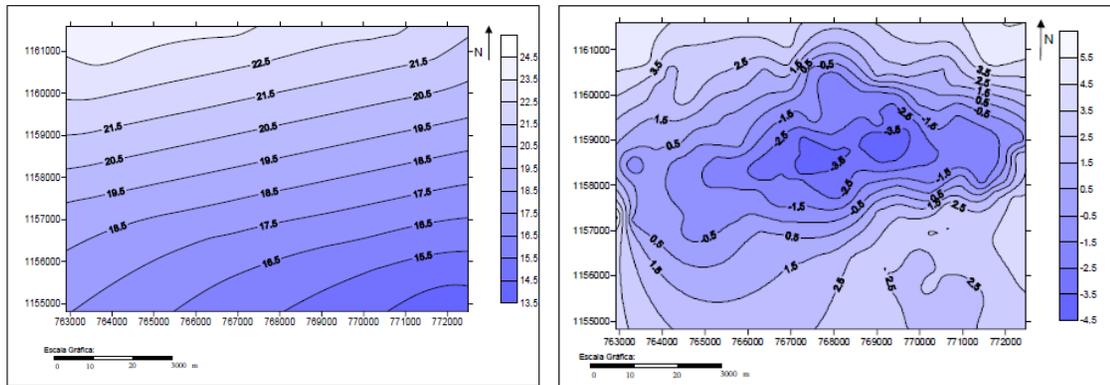


Figura 3.10. Mapa de anomalía regional (izquierda) y de anomalía residual (derecha), calculado con el polinomio de primer grado (Extraído de HETCH, 2005).

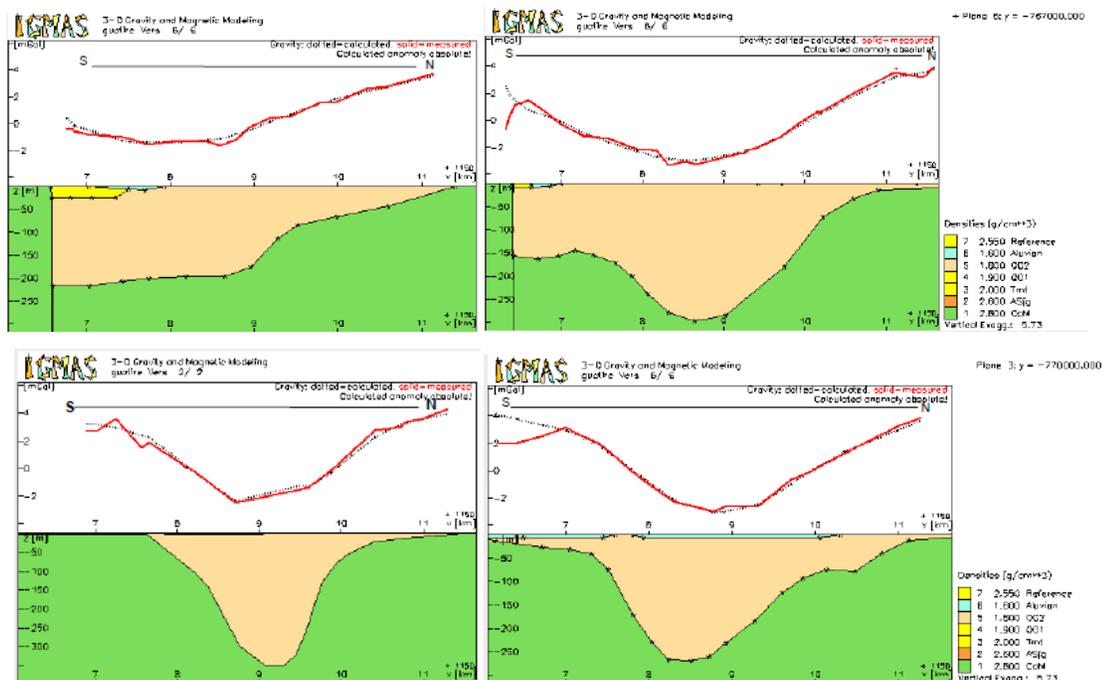


Figura 3.11. Perfiles de subsuelo realizados a la cuenca por HETCH (2005), con cortes en dirección N-S. La geometría de la cuenca varía en estos perfiles en un eje E-W, donde se muestra su forma asimétrica.

En las imágenes 2D representadas en la figura 3.11, HECHT coloca una falla hacia la zona sur con información geológica de WERHMMAN (1972) y URBANI (2004), para así

complementar la información ausente hacia esa zona, y menciona su posible relación con la falla El Ávila como una conjugada de esta por el ajuste de la cuenca Guarenas-Guatire entre los dos sistemas montañosos en la cual se encuentra enclavada.

NODA (2008) por otro lado, luego de correlacionar datos gravimétricos y de ruido ambiental observa que en la zona occidental y central de la cuenca Guarenas-Guatire los espesores de sedimentos varían entre los 3 y 30 m aproximadamente, mientras que la parte oriental presenta en su margen norte espesores que llegan a los 100 m profundizándose hasta los 300 m en su parte central.

3.4. AGUAS SULFUROSAS

URBANI (1987, 1991) reporta en el borde sur de la cuenca Guarenas-Guatire, a 3 km al sur de Guarenas, en las quebradas Cloris y Güeime manantiales de aguas sulfurosas (H₂S) frías. Estos manantiales se ubican a 200 m de una traza de falla con rumbo N70°E y son conocidos desde 1873 cuando fueron estudiados por primera vez por M. DÍAZ (ver tabla 3.3).

Tabla 3.3. Reportes geotérmicos en la región de Guarenas-Guatire (Extraído de URBANI, 1987).

Localidad	Tipo de agua	T. Max. °C	T.D.S.
Qda. Gueime	SO ₄ - Ca	23	2780
Qda. Cloris	HCO ₃ - Ca	21	545

3.5. SISMICIDAD HISTORICA Y RIESGO GEOLÓGICO

El estudio de la sismicidad histórica permite catalogar de forma restrictiva la actividad sísmica instrumental conocida en una determinada zona y su intensidad a partir del arqueo de fuentes escritas de información disponibles desde el inicio de la colonia, lo cual resulta útil para la realización de un estudio neotectónico.

A partir de ejemplos venezolanos, RODRÍGUEZ y AUDEMARD, F. (2005) exponen las diferentes circunstancias que han influido en la sobreestimación y limitación del significado documental de sismos antiguos. Señalan además, la dificultad que representa

el separar en esquemas rígidos los factores limitantes y las sobreestimaciones encontradas, debido a que en ciertos casos, se superponen unos a otros.

En diversas circunstancias históricas, la cuenca de Guarenas-Guatire ha sufrido pérdidas humanas y materiales relacionadas con eventos y otras manifestaciones de peligro geológico asociadas o no con la actividad sísmica. En la zona en estudio se disponen de datos instrumentales locales solamente a partir del año 1982, por lo que los datos previos recopilados, a partir de fuentes históricas pueden estar sujetos a interpretaciones subjetivas.

Entre otras fuentes de datos históricos, JOSÉ MANUEL MILANO (2006) señala que en documentos escritos para el siglo XVII reportan actividad sísmica: “Manteniéndose el valle prácticamente despoblado unas décadas, aun cuando los misioneros capuchinos conformaron la misión de la Araguata a finales del siglo XVI hasta el año 1641 cuando entregaron estos indios a los dominicos en la misión de Chuspita, precisamente y a raíz del terremoto de San Bernarbé que desplomó la misma, el 11 de Junio de 1641, este terremoto fue suficiente para hacer desistir a los capuchinos de la misión de la Araguata en el nacimiento del río Caucagua...”. Así como también para el siglo XVIII, donde esta misma fuente comenta: “En 1766, surge un segundo terremoto, el de Santa Úrsula el 21 de Octubre a las 4:30 a.m. encontró a un pueblo ya consolidado el cual quedo destruido en gran parte...”. Igualmente menciona al sismo histórico del 26 de Marzo de 1812, “El terremoto del Jueves Santo...” y el sismo del 29 de Octubre de 1900, “dejándolo completamente en ruinas...” (ver figura 3.12).

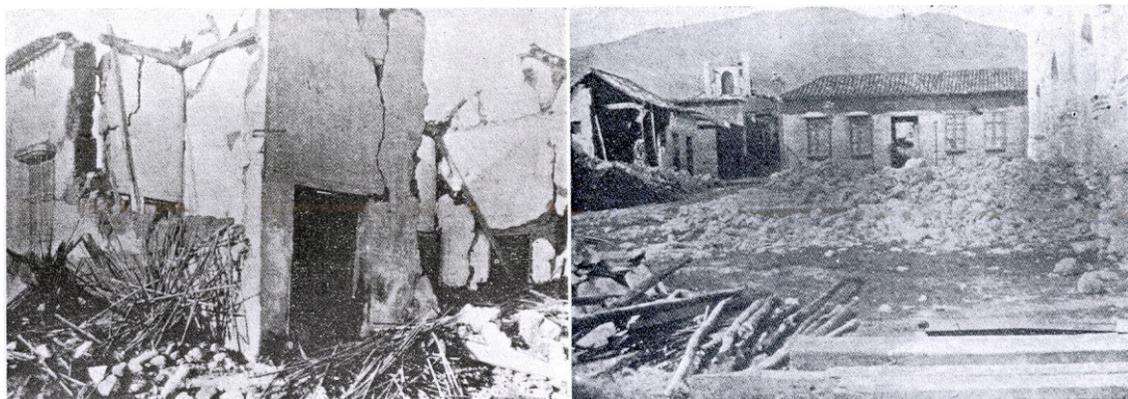


Figura 3.12. Fotos tomadas en Guarenas en la esquina Ancheta (izquierda), y en Guatire en la plaza de la iglesia (derecha), después del terremoto del 29 de octubre de 1900 (Extraído de JAKUBOWICS & LAROTTA, 1974).

A fin de evaluar las manifestaciones de peligro sísmico y geológico de la región de Guarenas-Guatire a partir de fuentes históricos, se recopiló una lista de los principales eventos sísmicos históricos, y de riesgos geológicos compilados por GRASES, J., ALTEZ, R. & LUGO, M. (1999), y SINGER (1983) (ver tablas 3.4 a 3.6).

Tabla 3.4. Sismicidad histórica de la zona de estudio (Modificado de GRASES et. al. 1999).

Año	Lugar	Fecha	Hora	Magnitud (mb/Ms)	Comentarios
1766	Guarenas	21-10	Mañana		Daño considerable de la Iglesia Parroquial (p. 86)
1812	Guatire	26-03			Daño en la Iglesia de Guatire (p. 128)
1812	Guarenas	26-03			Daño en la Iglesia Parroquial (p. 128)
1874	Guarenas	15-01	12:00 p.m.		Temblor en Guarenas (p. 216)
1874	Guarenas	15-01	4:00 p.m.		Temblor en Guarenas (p. 217)
1874	Guarenas	15-01	Noche		Siete temblores casi sin interrupción. Se sintió en lugares vecinos (p. 217)
1874	Guarenas	16-01	3:00 p.m.		Temblor fuerte y prolongado, con fuertes ruidos subterráneos (p. 217)
1880	Guarenas	16-04	10:00 p.m.		Temblor, se sintió en Guatire, Petare y otros lugares vecinos (p. 235)
1880	Guarenas	16-04	11:30 p.m.		Temblor, se sintió en Guatire, Petare y otros lugares vecinos (p. 235)
1880	Guarenas, Guatire y Petare	17-04	7:10 a.m.		Temblor (p. 235)
1900	Guarenas y Guatire	29-10	4:42 a.m.		Algunos muertos y muchos heridos. Se cayó el hospital de la Caridad en Guarenas junto con varias casas, la iglesia y otras viviendas quedaron deterioradas (p. 297)
1911	Guatire	18-08	12:45 a.m.		Fuerte temblor (p. 86)
1912	Guarenas	20-03	10:25 a.m.		Temblor. Se sintió en Petare, Macuto, La Guaira, Maiquetía, Antímano, Los Teques, Municipio San Pedro, El Valle, Hacienda Coche, en este último se registró la máxima intensidad. (p. 324)
1940	Guarenas	21-10	6:00 a.m.		Fuerte sismo en Guarenas (p. 389)
1967 *	Guarenas	29-07	8:02 p.m.		Se cayó el Hospital Francisco Rafael García, y 3 casas. Edificaciones deterioradas, entre ellas la Iglesia. Algunos muertos y heridos.
1988	Guarenas	20-11	20:30:59	3,8	Temblor (p. 544)

* Esta información fue establecida por comunicación personal con el Sr. Elio Bolívar, Cronista de la ciudad de Guarenas.

Tabla 3.5. Riesgo geológico de la zona de estudio (Tomado de SINGER et. al., 1983).

LOCALIZACIÓN DEL RIESGO			NATURALEZA DEL RIESGO				EFFECTOS DEL RIESGO		
SITIO NATURAL O POBLADO	LOCALIDAD CERCANA MAS GRANDE	FECHA DE OCURRENCIA	IDENTIFICACION		VINCULO CON LA SISMICIDAD				DAÑOS MATERIALES
			GENERICA	ESPECIFICA	A	B	C	D	
Vía a Caracas	Guatire	1900-10-29	A ₁ ?	Deslizamiento	x				
Vía a Guatire	Caucagua	1900-10-29	A ₁ ?	Deslizamiento	x				
Los Moriches (al sur de Guarenas/Guatire)	Guarenas	1900-10-29	D ₃ ?	No especifica	x				
	Araira	>1967-07-29	A ₁	Deslizamiento	x				
Vía hacia Caracas (Kilometro 3)	Guarenas	1975-11-30	A ₁	Derrumbe				x	Vía obstruida
Vía Araira-Caracas	Araira	1976-06-02	A ₁	Derrumbe				x	Un carro tapiado
Barrio San José de las Clavellinas	Guarenas	1979-09-08 al 14	A ₁	Deslizamiento				x	17 viviendas destruidas
Barrio Copacabana y Barrio Guacarapa	Guarenas	1979-09-08 al 14	A ₁	Deslizamiento				x	
Barrio Guacarapa	Guarenas	1981-06-09	A ₂	Arrastres torrenciales				x	Viviendas arrastradas
Río Guarenas	Caucaguaita/ Guarenas	1977	A ₂	Arrastres torrenciales				x	Daños considerables
Autopista Petare-Guarenas. Sector Ochoa		1975-11-24	A ₁	Derrumbe				x	Vía cerrada 12 horas
Autopista Petare-Guarenas. Sector Ochoa		1975-12-23	A ₁	Derrumbe				x	Vía interrumpida
Autopista Petare-Guarenas. Sector Ochoa		1976-10-09	A ₁	Derrumbe				x	
Aguacatico-Mampote. Autopista Caracas-Guarenas	Guarenas	1976-10-09	A ₂	Arrastres torrenciales				x	Viviendas arrastradas
Aguacatico-Mampote. Autopista Caracas-Guarenas	Guarenas	1977-08-08	A ₁	Derrumbes y caída de rocas				x	Autopista cerrada
Aguacatico-Mampote. Autopista Caracas-Guarenas	Guarenas	1977-03-30	A ₁	Deslizamientos				x	Autopista cerrada

Tabla 3.6. Clave de identificación de fuentes geológicas de riesgo y vínculo con la actividad sísmica.

Riesgos asociados con fenómenos Gravitacionales	A ₁	Deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas
	A ₂	Aludes de tierra y peñas, arrastres torrenciales
Riesgos asociados con deformaciones del suelo y cambios fisiográficos	D ₃	Rupturas de superficie y desplazamientos laterales y/o verticales a lo largo de fallas activas
Nivel de vínculos de los fenómenos geológicos inventariados con la actividad sísmica	A	Comprobado
	B	Vínculo probable
	C	Vínculo dudoso
	D	Ausencia de vínculo

La cantidad de eventos sísmicos históricos documentados en Guarenas-Guatire (ver tabla 3.4) es relativamente limitada en comparación a otras regiones del país. La explicación de esta situación puede encontrarse en la reducida actividad sísmica señalada en el Mapas de sismicidad instrumental de la región nor-central de Venezuela (ver figura 3.4) hacia el área de la cuenca Guarenas-Guatire.

Los eventos sísmicos de mayor intensidad ocurrieron en los años 1900 y 1967, y ocasionaron daños a numerosas edificaciones tanto en Guarenas como en Guatire, además de la pérdida de vidas humanas. El evento de 1900 produjo deslizamientos cosísmicos.

Aparte del riesgo sísmico, el riesgo geológico planteado por concepto de deslizamiento es aparentemente el más significativo en la cuenca, junto con las manifestaciones de arrastres torrenciales. Los deslizamientos se pueden originar por la acción combinada de la lluvia sobre las rocas mal consolidadas o de competencia intermedia a baja que afloran en la ciudad y constituyen su sustrato rocoso.

Por las condiciones generales de la cuenca, en especial la combinación entre material litológico desfavorable y fuertes pendientes, propician la ocurrencia de fuertes arrastres torrenciales en momentos de intensas lluvias, y también el hecho de que la ciudad se ha emplazado y expandido en los sectores inferiores de las cuencas por lo que están expuestas a los procesos que ocurran aguas arriba.

4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

El área de interés corresponde a un valle intramontano limitado geográficamente por dos unidades de relieve de pendiente media-alta, como son la cadena litoral Ávila-Cabo Codera al norte de la zona en estudio, y los Altos de Mariche en el cuadrante sur, formando una especie de rombo alargado, de 3-7 km de ancho, por 16 km de largo, con una orientación aproximada de N70°W (ver anexo 2, figura 4.1).



Figura 4.1. Panorámica en dirección N40°W aproximadamente, mostrando el contraste de altura entre las diferentes unidades. Se señala con líneas oscuras las zonas escarpadas y al curso de agua principal (Río Guarenas).

Para la distinción de las características que determinan a las distintas unidades geomorfológicas de la región de Guarenas-Guatire fue necesario la utilización de los mapas topográficos que cubren el área del I.G.V.S.B. (1995), utilizando las hojas: 6847-I-SE, 6847-I-SO, 6847-II-NE, 6847-II-NO, junto con las fotografías aéreas del I.G.V.S.B, pertenecientes a la misión 172 (1961), faja de fotos 8171-8161, cuyo resultado fue cartografiado en la hoja titulada: Mapa de Unidades Geomorfológicas de la Cuenca Guarenas-Guatire, a escala 1:25.000 (ver figura anexo 2, 4.2).

En general, el relieve del área de estudio fue dividido según la variación de la pendiente que existe entre los distintos cuerpos topográficos, tomando en cuenta la geometría que estos exhiben, la litología que presentan, el tipo de contacto entre unidades y la extensión que cubren, obteniéndose dos unidades principales que se subdividen a su vez en:

- 1. Contrafuertes Montañosos**

- 1.1 Montañas**

- 1.2 Mesetas Altas**

- 2. Depresión Sedimentaria**

- 2.1 Rampas piemontinas**

- 2.2 Mesetas Bajas**

- 2.3 Planicie Aluvial**

En las figuras 4.1, 4.2, y 4.3 se puede apreciar el área que ocupan y el contraste de altura existente entre las distintas unidades, las cuales serán descritas con mayor detalle a lo largo de este capítulo.

Los cortes topográficos que se generaron, señalados en la figura 4.2 y 4.3 (A-A', B-B', etc.), están realizados en dirección N-S coincidiendo con los ejes de coordenadas pares, para un total de 7 cortes, donde se observa el mayor contraste de altura hacia el norte y oeste, y que la variación del área de la depresión sedimentaria aumenta a medida que se recorre en dirección W-E, mostrando la mayor extensión horizontal en el corte D-D'. En los cortes se señalan los remanentes amesetados con una línea segmentada (ver figura 4.3).

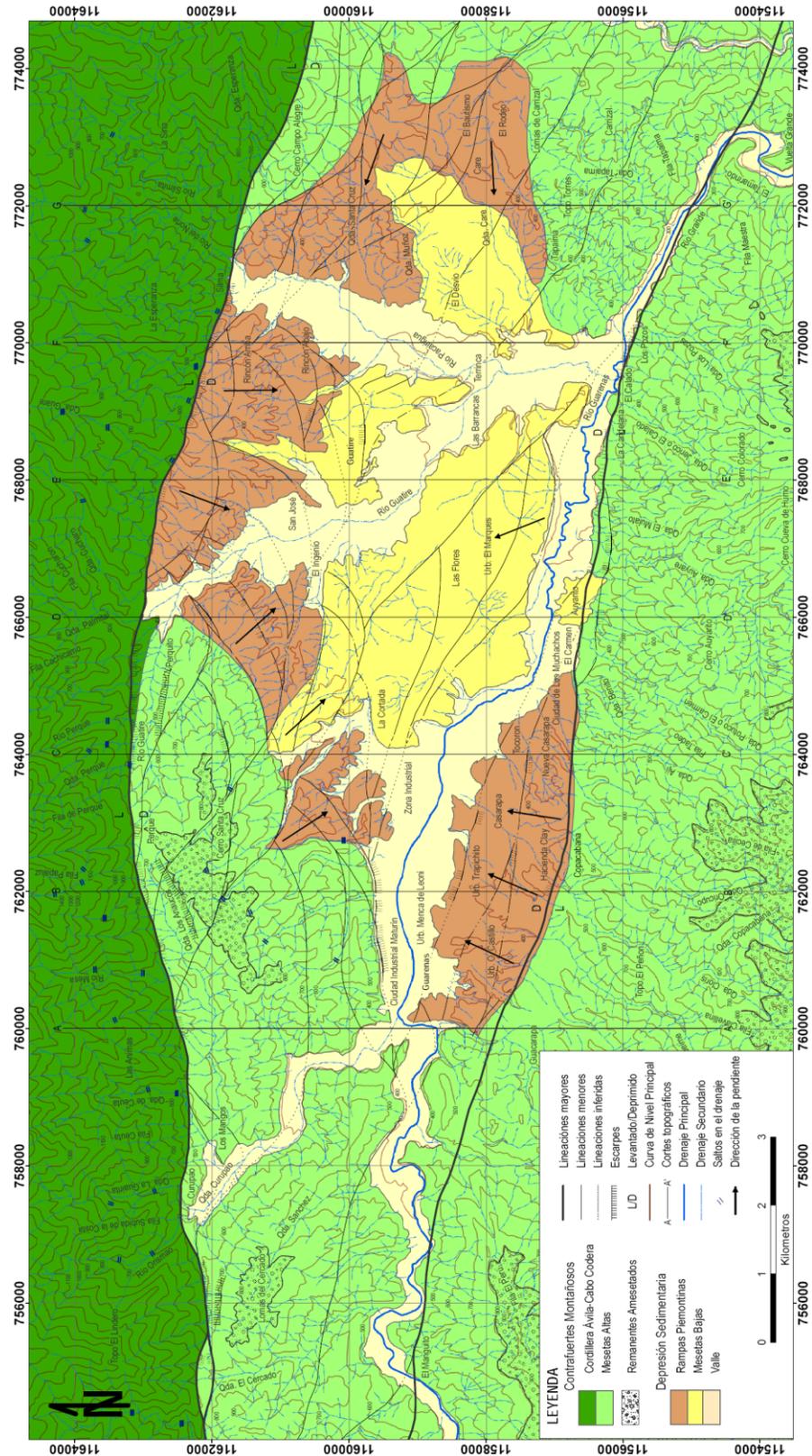
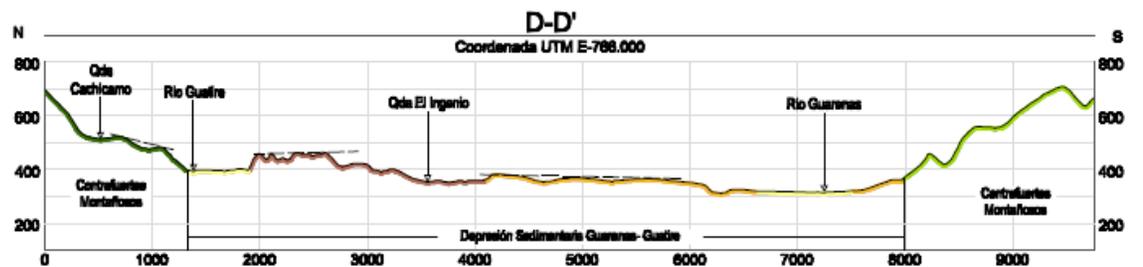
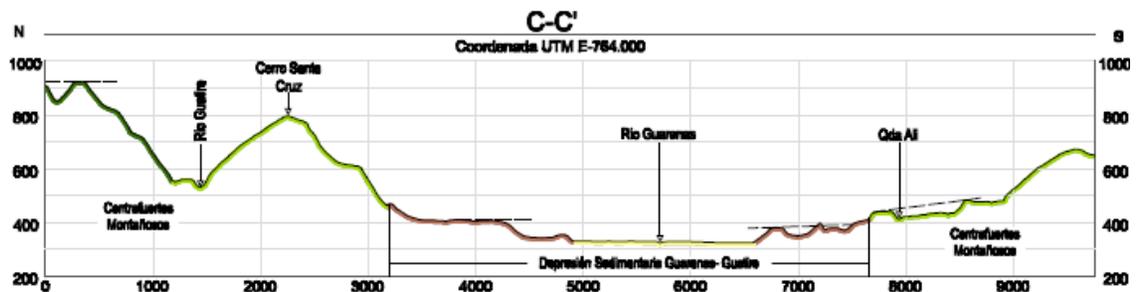
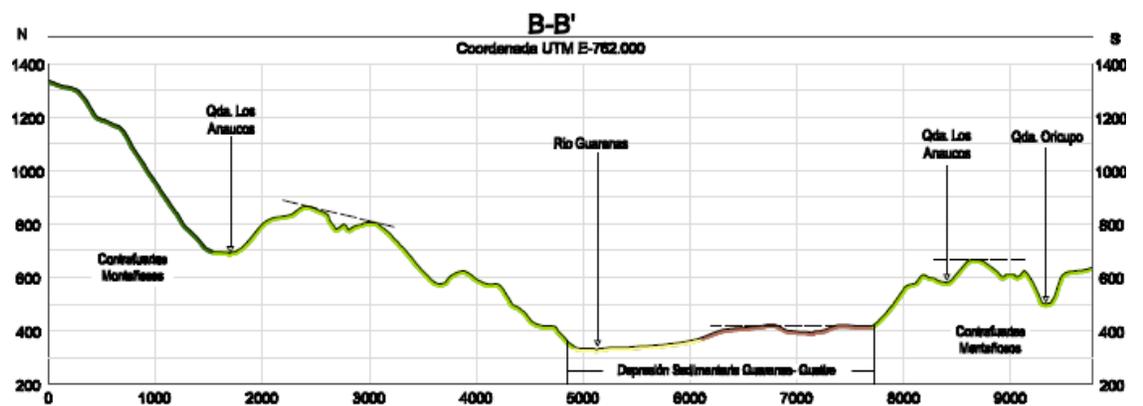
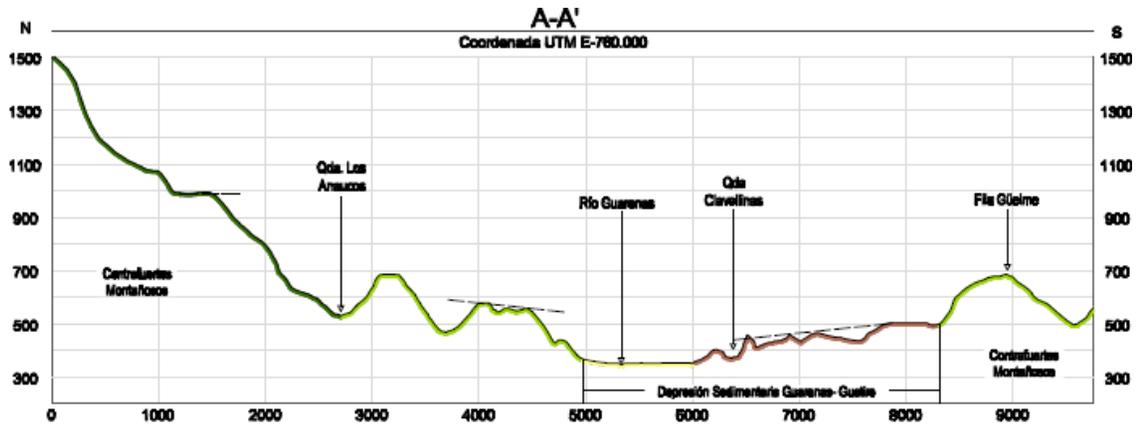


Figura 4.2. Mapa de Unidades Geomorfológicas de la Cuenca Guarenas-Guatire. Se remarcan en negro las coordenadas por donde se realizaron los perfiles topográficos.



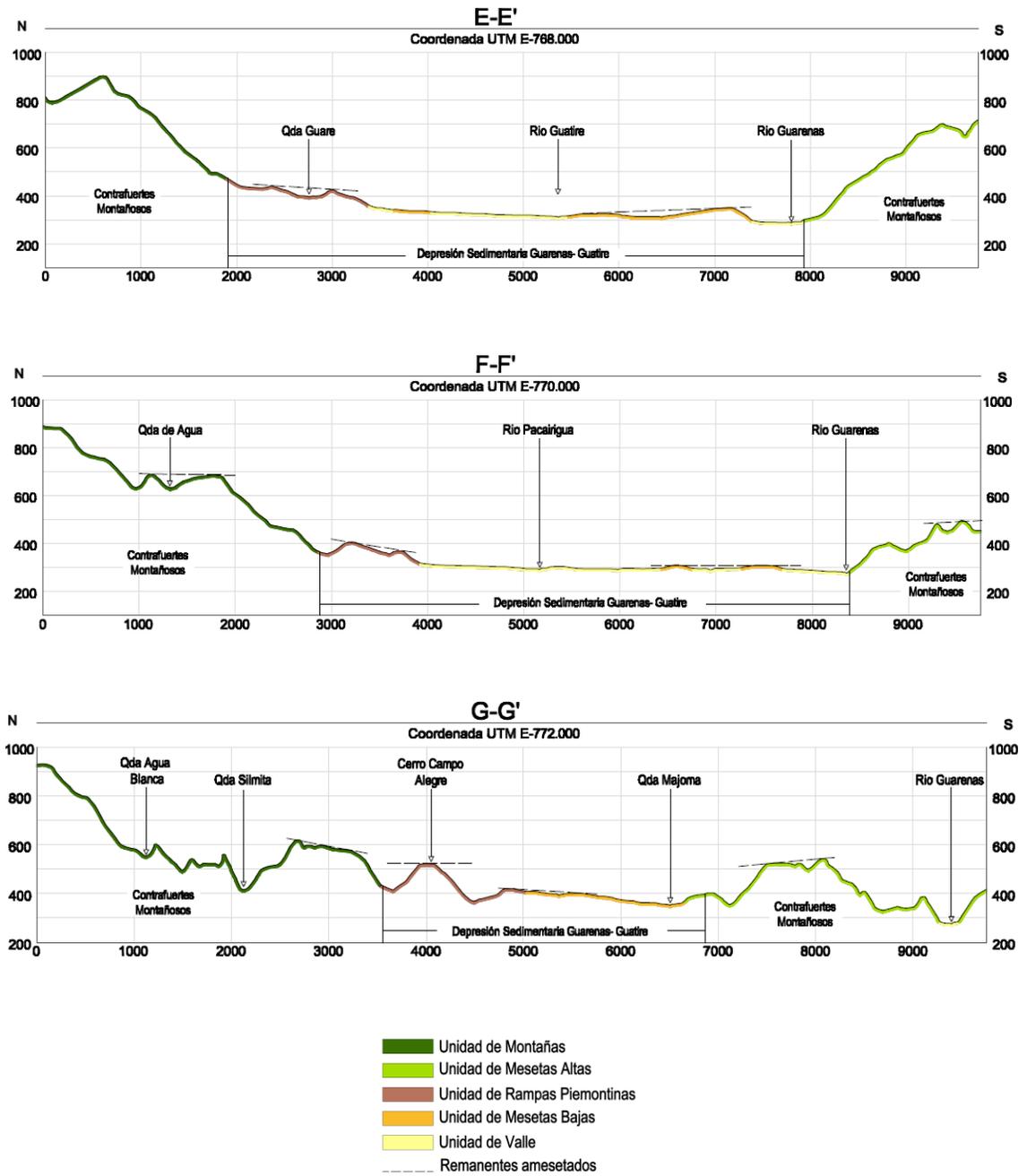


Figura 4.3. Perfiles topográficos N-S a través de la cuenca Guarenas-Guatire.

4.1. CONTRAFUERTE MONTAÑOSOS

4.1.1. Montañas

Está representada por la cadena litoral Ávila-Cabo Codera, ubicada al norte de la zona de estudio, y ocupa aproximadamente 20% de dicha área. Es la unidad con mayor elevación de la región, con desniveles de hasta 1500 m con respecto al nivel de base de la cuenca Guarenas-Guatire, dominando al resto de las unidades de paisaje. Hacia el sur está en contacto con la unidad de mesetas altas a excepción de un tramo comprendido entre el río Guatire y río Pacairigua donde entra en contacto con la unidad de mesetas bajas y la planicie aluvial. El contacto con las unidades es de falla. La litología de la unidad está constituida por rocas metaígneas pertenecientes a la Super-Asociación Ávila, profundamente meteorizadas, desarrollando mantos residuales gruesos con arenas silíceas y arcilla fácilmente erosionables (ver anexo 2, figura 4.4).



Figura 4.4. Vista panorámica del Macizo El Ávila. Se observa el contraste de altura entre las montañas y la depresión de Guarenas-Guatire. Rumbo de la vista: Norte.

Su principal rasgo geométrico es una fila angosta de cresta aguda que se extiende a lo largo de un eje E-W al norte de la región. Las estribaciones también angostas, se unen a la fila casi perpendicularmente, con una orientación que varía entre N10°W y N10°E. La pendiente de las laderas en general es recta a cóncava, con ángulos >40° de inclinación, observándose quiebres a lo largo de su recorrido. La red de drenaje describe un patrón paralelo, con valles en forma de “V” fuertemente entallados.

Esta unidad de relieve está atravesada por la falla activa Tacagua-El Ávila, que secciona transversalmente a las estribaciones del flanco sur, con una dirección E-W, formando extensos valles lineales con la misma orientación, y escarpes de falla

atenuados. Constituye un bloque levantado entre la falla Tacagua-El Ávila y la falla de San Sebastián.

4.1.2. Mesetas Altas

Abarca la mayor superficie en el área de estudio, aproximadamente 50%, con desniveles de altura de hasta 700 m con respecto al nivel de base. Esta dominado por la unidad de montañas y domina a su vez a las rampas piemontinas, mesetas bajas y a la planicie aluvial. Esta unidad constituye una superficie de aplanamiento a 800 m.s.n.m. de cuya existencia son evidencia los remanentes amesetados (ver anexo 2, figuras 4.5 y 4.6).



Figura 4.5. Vista de la unidad de mesetas altas hacia el sur, sombreada en verde. Rumbo de la vista: S 30°W.



Figura 4.6. Vista de la unidad de mesetas altas al norte, representada por el Cerro Santa Cruz. Se señalan algunas de las que segmentan a la unidad de mesetas altas. Al fondo el macizo Ávila. Rumbo de la vista: N 10°E.

Se caracteriza por tener topes amesetados degradados por el drenaje, con zonas de crestas anchas, laderas con pendientes entre 30°-40°, redondeadas. El patrón de drenaje es subparalelo, con valles en “V” medianamente entallados. En la unidad se distinguen diferencias en cuanto al grado de conservación de los remanentes amesetados (ver anexo

2, figura 4.2, 4.6), que varía en función del grado de entallamiento de las quebradas en la topografía y la resistencia de la litología, representada por la Asociación Metasedimentaria Caracas, que se compone esencialmente de esquistos grafitosos y esquistos cuarzo micáceos, metareniscas y metaconglomerados, cuyo espesor de manto residual no sobrepasa los 2 m.

Esta unidad se encuentra bordeando a la depresión sedimentaria excepto hacia la zona nororiental de la cuenca, en el tramo comprendido entre el río Guatire y el río Pacairigua. Está en contacto de falla con todas las unidades definidas, salvo hacia el este de la cuenca, cercano a la zona de El Rodeo, donde el contacto entre los sedimentos de la Formación Guatire y la Asociación Metasedimentaria Caracas es discordante. Hacia el sur el contacto entre las mesetas y la depresión sedimentaria está marcado por un escarpe erosionado con dirección N80°W.

Hacia el norte del río Guarenas, en el cerro Santa Cruz, están mejor conservadas las superficies amesetadas, en una fila de orientación E-W a una cota de 800 m. Hacia el sur del río Guarenas, se observa un mayor grado de entallamiento en las lomas que forman parte de los Altos de Mariches, por lo que la preservación del elemento meseta es más escaso, conservándose mejor más cercano al tope de la fila. En ambos casos se conserva mejor las superficies aplanadas en filas de orientación E-W±20° que en las estribaciones que divergen de las mismas, posiblemente debido a la orientación de los planos de debilidad de la litología. Hacia el sureste de la cuenca, los topos amesetados están degradados casi por completo a topos disectados, ejemplo de ello se observa en el topo Torres al sureste de Guatire.

4.2. DEPRESIÓN SEDIMENTARIA

4.2.1. Rampas Piemontinas

La unidad de piedemonte está ubicada en la base de los contrafuertes montañosos como un paisaje transicional hacia la planicie sedimentaria, tanto al norte como al sur del área de estudio. Forman colinas de topos rectos-convexos y estrechos, desarrolladas en sedimentos de la Formación Guatire, en parte del basamento fracturado y en

remanentes de rampas torrenciales de edad Q_3 que han sido erosionados (ver anexo 2, figura 4.7).

Ocupa aproximadamente 10% del área de estudio, presenta desniveles de hasta 200 m respecto al nivel de base, con pendientes entre 20° - 10° de inclinación; domina a las unidades dentro de la depresión sedimentaria, donde el contacto con estas es transicional.



Figura 4.7. **A)** Material aluvional de edad Q_3 discordante sobre la Formación Guatire en las cercanías de el Rodeo. **B)** Secuencia basculada de la Formación Guatire hacia el sur, cerca del sector Rincón Arriba. Rumbo de la vista: Este.

El contacto entre esta unidad y los contrafuertes montañosos al norte y al sur es tectónico activo, originando flexiones en rampas detríticas de edad Q_3 (se explicará este nivel de rampas con más detalle en el capítulo 5) basculadas hacia el centro de la cuenca.

Hacia el este, cercano a la zona de El Rodeo, el contacto con las mesetas altas se hace discordante, presentándose el piedemonte basculado hacia el centro de la depresión.

En esta unidad se han desarrollado asentamientos humanos hacia el sureste en la población de Guarenas desde la época colonial, interviniendo drásticamente la topografía original a través de cortes, rellenos, botes, ampliaciones de las cuencas de drenaje superficial, incidiendo negativamente en la estabilidad de los taludes generados artificialmente (ver figura 4.8).

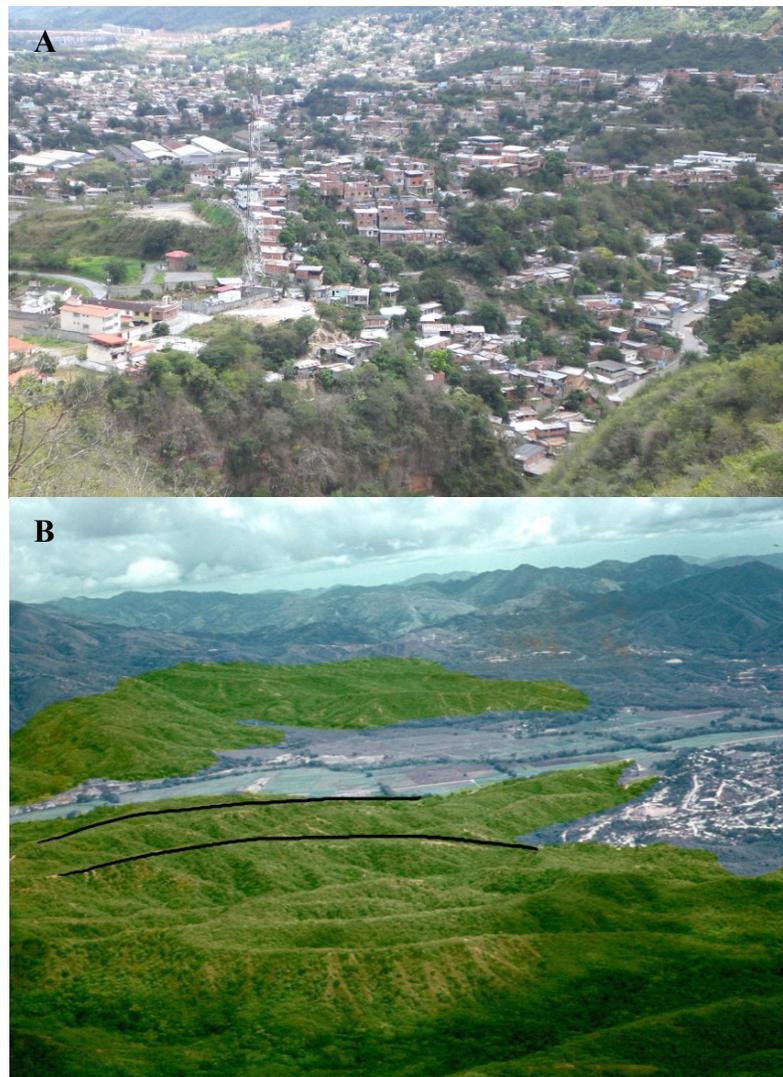


Figura 4.8. A) Vista hacia el este de la unidad de rampas piemontinas en la población de Guarenas, donde la intensa intervención urbana ha ejercido un control negativo sobre la estabilidad de las laderas. Rumbo de la vista: E-W. **B)** Vista hacia el sureste de la cuenca donde se sombrea la unidad de piedemonte en la base de los contrafuertes montañosos. Con la línea de color negro se señala la forma que presenta la envolvente topográfica de la unidad. Hacia la derecha de la foto esta la población de Guatire. Rumbo de la vista: S80E.

4.2.2. Mesetas Bajas

Se extiende aproximadamente 9% en el área de interés, con desniveles de altura respecto al nivel de base de hasta 100 m. Está ubicada hacia el centro de la cuenca, en contacto transicional con la unidad de piedemonte, disectada por la planicie aluvial actual; y en contacto discordante, en algunos casos tectónico, con las mesetas altas en zonas localizadas cerca de Auyarito al sur, al sur del cerro Santa Cruz y al sur del Desvío.

Está caracterizada por colinas y lomas de topes amplios, achatados, con pendientes menores a 20° , cuyo mejor ejemplo se observa en el paisaje amesetado donde se asienta la población de Guatire (figura 4.9). Hay lomas alargadas que se observan hacia los márgenes norte y sur de la unidad, dispuestas en dirección E-W, formadas por cuevas de buzamiento basculadas hacia el centro de la cuenta. La unidad esta modelada por el drenaje, formando en ocasiones valles amplios como se observa hacia el sur del sector El Ingenio, o como en el caso de la población de Guatire, formando valles más estrechos, esculpiendo la forma amesetada que presenta (ver figura 4.9).

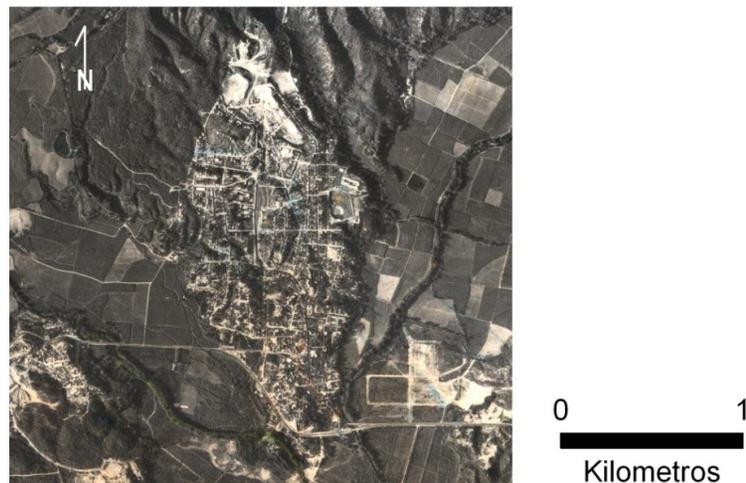


Figura 4.9. Vista en la fotografía aérea de la unidad de mesetas bajas donde se asienta la población de Guatire. Esta encuentra flanqueada por la planicie aluvial holocena.

La litología de la unidad está constituida por sedimentos de la Formación Guatire poco cementados, representado por limos, arenas y arcillas de colores claros, y remanentes de depósitos torrenciales y coluviales de los niveles de rampas Q_3 y Q_2

(serán explicados con mayor detalle en el capítulo 5), que se encuentran truncando suprayacentes a la Formación Guatire, ubicados en los topes de las elevaciones.

Esta unidad al igual que las rampas piemontinas, está muy intervenida por la acción humana, desarrollando procesos de tubificación y erosión concentrada en taludes intervenidos y sin protección.

Esta unidad muestra la forma de un sinclinal abierto, relacionado con los movimientos de levantamiento-subsidencia de la región y las fallas que bordean y definen los límites de la cuenca sedimentaria (ver figura 4.10).



Figura 4.10. Flanco sur del sinclinal en la localidad El Marques. Se señala en negro el límite entre los distintos estratos de la Formación Guatire, indicando un importante basculamiento hacia el norte. Rumbo de la vista: Este.

4.2.3. Planicie Aluvial

Ocupa aproximadamente el 11% del área de estudio, reúne las áreas más deprimidas del valle de Guarenas-Guatire, a lo largo de los drenajes principales, ubicada entre 200-400 m.s.n.m. Está representada por las llanuras de inundación de los ríos Guarenas, Guatire y Pacairigua, que confluyen a la altura de Los Calados, en el sector los Pozos. La llanura aluvial del río Guarenas ubicada al sur es la de mayor extensión en la zona (ver anexo 2, figura 4.2 y 4.11).

El valle de inundación mantiene su amplitud a lo largo de la unidad, las laderas son uniformes, de pendiente menor a 5°, mostrando un trazado regular, con algunos quiebres

significativos a lo largo de su recorrido. En el tramo comprendido entre la quebrada Benito y la quebrada los Pozos, el trazado del río Guarenas se hace rectilíneo y se pega al sur hacia las mesetas de los Altos de Mariche, con una orientación similar a la falla de Guarenas, por lo que es probable que esta ejerza un control estructural sobre el curso del drenaje en este sector. El valle aluvial se encuentra discordante sobre las demás unidades, a excepción del tramo mencionado y al suroeste del cerro Santa Cruz donde el contacto con las mesetas altas es de falla.

La litología del valle está compuesta por aluviones y material de desborde transportado por los drenajes actuales. A lo largo de la unidad, en el estudio fotogeológico se observa el desarrollo de abanicos aluviales-torrenciales y terrazas fluviales de edad Q_1-Q_0 , que dominan por unos metros a la planicie aluvial.

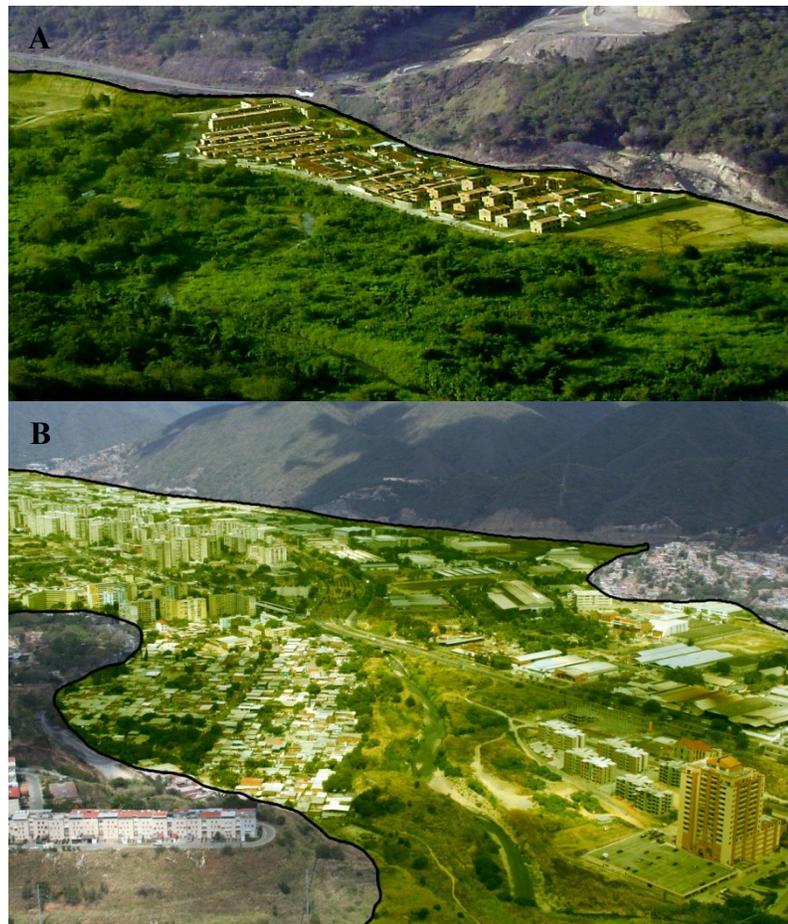


Figura 4.11. A) Vista de la vega aluvial del río Guarenas hacia el sur del sector el Marques, invadido parcialmente por construcciones recientes. Rumbo de la vista: $N15^{\circ}W$ B) Vista de la Planicie aluvial hacia el noroeste de Guarenas. Esta unidad se observa muy reducida por la cantidad de asentamientos humanos. Rumbo de la vista: $N75^{\circ}W$.

5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y GEOLOGIA LOCAL

En el escenario geológico de la cuenca Guarenas-Guatire, se presentan las siguientes condiciones:

- Existe una ventana de tiempo abarcada por el relleno sedimentario representado por la Formación Guatire y terrazas cuaternarias previamente no estudiadas (Plioceno tardío al Holoceno).
- Es una depresión tectónica controlada por fallas y estructuras anteriores, contemporáneas y posteriores al relleno sedimentario, principalmente por el sistema de fallas Tacagua-El Ávila, segmento El Ávila y la Falla Guarenas.
- Se encuentran abundantes afloramientos artificiales como resultado del actual urbanismo.

Estas condiciones, ideales para la realización de investigaciones geológicas con fines neotectónicos, fue lo que motivó a la examinación en la región de Guarenas-Guatire de las deformaciones tectónicas presentes tanto en las rocas metamórficas que conforman los bordes como en los sedimentos que rellenan a la depresión tectónica, con el propósito de determinar que procesos geológicos estuvieron involucrados en la formación y evolución de la cuenca sedimentaria durante el Neógeno. Para ello se realizó un inventario de las principales estructuras geológicas, unidades morfoestratigráficas cuaternarias, y evidencias geomorfológicas de fallamiento activo de la región, cartografiadas en mapas a escala 1:25.000 generados por medio de la fotointerpretación de misiones aéreas, los mapas topográficos, e integración de la cartografía geológica disponible en la literatura.

Adicionalmente, con el objeto de reconocer las diferentes evidencias geomorfológicas de fallamiento activo obtenidas, así como las unidades morfoestratigráficas y estructuras geológicas fotointerpretadas, se efectuaron levantamientos de geología clásica de campo, en donde se tomaron en cuenta principalmente los cortes artificiales y los afloramientos naturales de roca “in situ” que presentan deformaciones, describiendo la estratigrafía, las

estructuras sedimentarias y tectónicas que se manifiestan, estableciendo así estaciones mesotectónicas medidas bajo el esquema propuesto por ESPÍNOLA y OLLARVES (2000), que a continuación se señala:

- Ubicación de la estación mesotectónica en un mapa a escala 1:25.000.
- Elaboración de columnas estratigráficas y croquis para cada afloramiento visitado.
- Medición de rumbo y buzamiento de estratos y planos de falla.
- Identificación y medición del pitch y/o plunge de las estrías de falla.
- Identificación del sentido del movimiento relativo de los bloques fallados.
- Determinación de la relación temporal entre los planos de falla y las rocas sedimentarias deformadas.
- Representación en la red de Schmidt y diagrama de rosa de las estructuras planares.

5.1. TENDENCIAS DE ALGUNAS ESTRUCTURAS PLANARES

En la cuenca Guarenas-Guatire se realizaron mediciones de la tendencia planar de la disposición estratigráfica y de planos de diaclasas sobre la Formación Guatire.

5.1.1. Estratificaciones

La estratificación en general se caracterizó por la presencia en su mayoría de capas horizontales a subhorizontales (0-20°), ubicadas en la región interna de la cuenca, y, en pocos casos observados, capas con buzamientos entre 20-65°, localizadas hacia los contactos y/o bordes de la cuenca.

Se realizaron 24 mediciones sobre capas a fin de determinar la disposición espacial de la estratigrafía de la cuenca, compuesta por los depósitos plio-pleistocenos de la Formación Guatire (ver anexo 3, tabla 5.1 y figura 5.1).

Tabla 5.1. Mediciones realizadas sobre planos de estratificación en la cuenca.

Medida N°	Rumbo/Buzamiento
E-01	N60°E 06°N
E-02	N80°E 20°N
E-03	N78°W 06°N
E-04	N25°E 11°N
E-05	N25°E 08°N
E-06	N80°W 16°N
E-07	N06°E 11°N
E-08	N80°W 08°N
E-09	N20°E 27°S
E-10	N40°E 25°S
E-11	N50°E 22°S
E-12	N65°E 30°N
E-13	N60°E 40°N
E-14	N15°W 14°S
E-15	N30°W 20°N
E-16	N40°E 10°N
E-17	N50°E 15°N
E-18	N60°E 13°N
E-19	N75°E 16°S
E-20	N20°E 04°N
E-21	N68°W 65°N
E-22	N60°W 40°N
E-23	N55°E 14°N
E-24	E-W 22°S

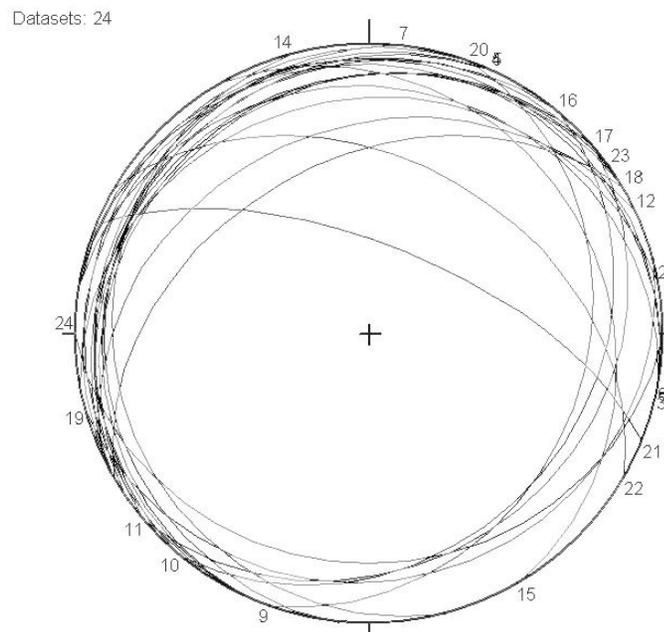


Figura 5.1. Representación en la red de Schimdt de la actitud de capas dentro de la Cuenca Guarenas-Guatire.

A partir de la información de la actitud de las capas levantadas y omitiendo las mediciones que resultaron ser horizontales, se generó un diagrama de rosa que muestra la tendencia de los planos de estratificación.

Esta tendencia estratigráfica, que se observa en la figura 5.2, destaca que los rumbos de los planos de estratificación se encuentran distribuidos en un rango bastante amplio, con 2 tipos predominantes de disposiciones espaciales: una orientada hacia NE-SW la cual representa la mayor parte de la población, y otra dispuesta WNW-ESE en menor proporción. Además de estas dos tendencias estratigráficas, también se observan otros arreglos estratigráficos de menor relevancia.

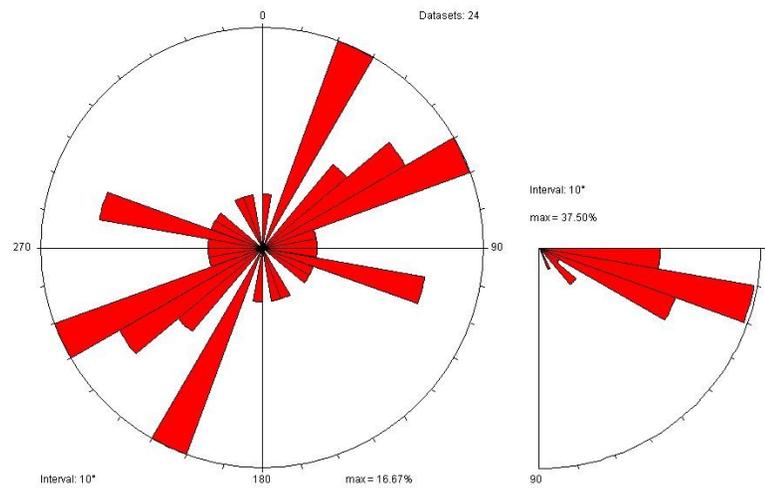


Figura 5.2. Diagrama en rosa a intervalos de 10° de las actitudes de las capas dentro de la Cuenca Guarenas-Guatire. El grafico de la izquierda representa la tendencia de rumbo de los estratos y el derecho el buzamiento de estos.

Con respecto a los buzamientos de las capas, en la figura 5.2, la mayor parte estos estratos se encuentran buzando entre los 10° y 20°, en la región norte hacia el sur, y en la región sur hacia el norte. Cabe mencionar que buena parte de las mediciones obtenidas fueron levantadas en la parte central y sur de la cuenca, lo cual conlleva a que la mayor parte de los planos registrados tiendan a buzarse al norte.

Con estas características se puede establecer que la cuenca Guarenas-Guatire (Formación Guatire) presenta una tendencia general de buzamientos centrípetos en la estratigrafía del relleno sedimentario.

Debido al crecimiento urbano que ha sufrido la región en los últimos años, mucha información estratigráfica se ha perdido, dejando como resultado que el número de mediciones levantadas sea muy bajo.

5.1.2. Diaclasas

Este tipo de tendencia planar, en el relleno sedimentario, fue encontrada en 3 localidades cercanas a la población de Guarenas, al este y oeste del sector de la Villa del Cine, y en la urbanización Buenaventura Country Club, en zonas cercanas a franjas de deformación.

Se obtuvieron 25 mediciones de las actitudes de diaclasas en estos puntos, representadas en la figura 5.4, y que exhiben una orientación preferencial NW-SE con buzamientos que sobrepasan los 80° en 23 de los datos, en patrones simples, con una frecuencia máxima de hasta 4 diaclasas por metro, presentando en muchos casos precipitados de óxidos de color rojo y morado en la superficie de los planos (ver tabla 5.2 y figura 5.3).

Tabla 5.2. Mediciones realizadas sobre planos de diaclasas en la cuenca.

Medida N°	Rumbo/Buzamiento
D-01	N26°W 66°N
D-02	N30°E 89°N
D-03	N32°E 89°N
D-04	N05°W 66°S
D-05	N04°E 65°S
D-06	N21°W 80°S
D-07	N18°W 87°S
D-08	N30°W 81°S
D-09	N56°W 89°S
D-10	N34°W 84°S
D-11	N29°W 80°S
D-12	N27°W 87°S
D-13	N42°W 86°S
D-14	N32°W 84°S
D-15	N38°W 85°S
D-16	N40°W 87°S
D-17	N32°W 89°S
D-18	N39°W 86°S
D-19	N32°W 86°S
D-20	N42°W 83°S
D-21	N48°W 88°S
D-22	N37°W 87°S
D-23	N42°W 89°S
D-24	N46°W 86°S
D-25	N32°W 89°S

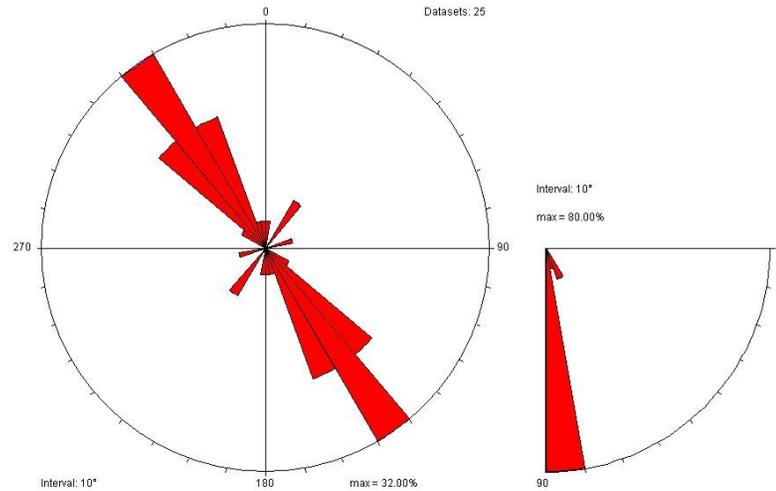


Figura 5.3. Diagrama en rosa a intervalos de 10° de la actitud de las diaclasas dentro de la Cuenca Guarenas-Guatire. El grafico de la izquierda representa la orientación de los planos de diaclasas y el derecho, el buzamiento de estos.

5.2. EVIDENCIAS GEOMORFOLÓGICAS DE FALLAMIENTO ACTIVO

A fin de establecer las evidencias del comportamiento tectónico que dio origen a la depresión sedimentaria y que imperó posteriormente en la región de Guarenas-Guatire, fue necesario determinar los rasgos geomorfológicos y estratigráficos que revelen la presencia de estructuras geológicas (fallas y pliegues) generadas en tiempos geológicos recientes por efecto de la deformación regional.

En la cuenca de Guarenas-Guatire, estas evidencias geomorfológicas de fallamiento y estratigráficas se obtuvieron a partir de la interpretación de las fotografías aéreas y de la comparación de la misma con la base topográfica y geológica de la región, con su respectiva verificación en campo, con la cual realizó un inventario local de unidades morfoestratigráficas cuaternarias y de evidencias geomorfológicas de fallamiento activo. A tal efecto se utilizó como base topográfica el Modelo de Elevación Digital de Venezuela a escala 1:500.000, de GARRITY *et. al* (2004), los mapas topográficos a escala 1:100.000, hojas 6847 y 6848, y a escala 1:25.000, hojas 6847-I SE y SO, y 6847-II NE y NO, del I.G.V.S.B. (1995), las fotografías aéreas a escala 1:50.000, de la misión 172, faja 8161-8171, del I.G.V.S.B. (1961), y los siguientes mapas geológicos:

- DENGU & HESS (1949)
- NICKLAS (1953)
- FEO-CODECIDO (1962)
- WERHMANN (1972)
- URBANI & RODRIGUEZ *et al.* (2004)
- OLLARVES *et al.* (2007)
- SINGER *et al.* (2007)

El conjunto de la información obtenida figura en las hojas geológicas tituladas: Mapa de Unidades Morfoestratigráficas del Cuaternario y Mapa de Evidencias Geomorfológicas de Fallamiento Activo de la Cuenca Guarenas-Guatire, a escala 1:25.000 (anexo 3 y 4, figura 5.4)

5.2.1. Morfoestratigrafía Cuaternaria

El estudio de las unidades morfoestratigráficas cuaternarias dentro de una investigación neotectónica sirve como apoyo para el análisis de la evolución tectono-estratigráfica de una región. Esta herramienta trata de explicar cómo las variables morfogenéticas cuaternarias (litológicas, tectónicas, y/o climáticas) han originado y modificado los depósitos sedimentarios recientes.

En la cuenca Guarenas-Guatire estos cuerpos sedimentarios son de origen fluvial y fluvio-torrencial, y se definen morfológicamente como relieves de acumulación/erosión de diferentes períodos, tales como rampas, terrazas fluviales, abanicos aluviales, y abanicos torrenciales, generados en respuesta a eventos y/o cambios paleo-climáticos, que representan marcadores cronológicos y/o evolutivos, con los cuales no solo se puede caracterizar temporalmente los ambientes sedimentarios del cuaternario, sino también la evolución estructural de la cuenca, en vista de la susceptibilidad de estos cuerpos litológicos a cambios generados por procesos tectónicos.

Establecida la utilidad de estas unidades como marcadores temporales de la evolución tectónica, se efectuó en la región de la cuenca Guarenas-Guatire la clasificación de las unidades morfoestratigráficas del cuaternario, definidas como Q_n (niveles

depositacionales cuaternarios), los cuales fueron diferenciados a partir de las siguientes condiciones:

- Los niveles depositacionales cuaternarios (Q_n) yacen por encima a la Formación Guatire, y fueron diferenciados y agrupados en familias o unidades morfoestratigráficas.
- Las unidades morfoestratigráficas se separaron en base a la relación espacio/tiempo de éstas con respecto a la Formación Guatire, y la morfología que exhiben.

ZINCK (1981) establece que para caracterizar la historia de una forma a nivel cronológico es necesario aplicar métodos de datación que ayuden a determinar la edad de la depositación de los materiales que componen a estos cuerpos sedimentarios. En la región de Guarenas-Guatire no existen trabajos publicados de datación absoluta que determinen las edades de las unidades morfoestratigráficas cuaternarias, y es por ello que se plantea para la datación de estos depósitos un sistema de cronología relativa adaptada a las condiciones locales, utilizando como referencia la edad propuesta por el Léxico Estratigráfico de Venezuela (1997), donde se plantea la edad para la sedimentación de la Formación Guatire en el Plioceno-Pleistoceno, y la tabla estratigráfica internacional 2009 revisada por la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS por sus siglas en inglés).

En este sistema de datación relativa se utilizó la nomenclatura propuesta por ZINCK (1981), los criterios para la identificación de los niveles estratigráficos que él mismo sugiere, y criterios de deformación.

Estos criterios de identificación de niveles morfoestratigráficos se pueden separar en dos grupos: Criterios Morfológicos y Criterios Temporales.

- **Criterios Morfológicos:** establecen las formas y estructuras caracterizan a los depósitos cuaternarios, con los cuales se puede definir la morfogénesis de los distintos tipos de cuerpos sedimentarios.

- **Criterios Temporales:** en base a noción de posición topográfica y algunos de los rasgos físicos que caracterizan a los cuerpos sedimentarios (grado de alteración del material, grado de resistencia del material, grado de evolución pedogenética y deformación), se busca establecer como han sido afectados cronológicamente los depósitos por las variaciones climáticas y tectónicas.

La identificación se realizó de la siguiente manera:

- Con el subíndice número (Q_n : Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3) se establecen los niveles temporales de los distintos depósitos sedimentarios cuaternarios en función de la edad creciente, donde Q_0 representa a las unidades morfoestratigráficas más jóvenes en la secuencia sedimentaria cuaternaria de la región (Holoceno) y Q_3 a las unidades morfoestratigráficas más antiguas depositadas por encima de la Formación Guatire (Pleistoceno Inferior).
- Con el subíndice letra (Q_{nz} : Q_{na} , Q_{nb} , Q_{nc}) se distingue los diferentes tipos genéticos en relación a un nivel temporal.

El índice de conservación de las unidades morfoestratigráficas cuaternarias es variable a lo largo de la región, dependiendo esencialmente del grado de meteorización y erosión al que han sido expuestas y, con la llegada del hombre desde la época colonial, el grado de intervención urbana al que han sido sometidos.

Tomando en cuenta estos principios y criterios, y utilizando un sistema de cronología relativa local, en la cuenca Guarenas-Guatire se distinguieron, clasificaron y cartografiaron a escala 1:25.000 las siguientes unidades morfoestratigráficas cuaternarias, presentadas a continuación según su orden de depositación (ver anexo 3, figura 5.4):

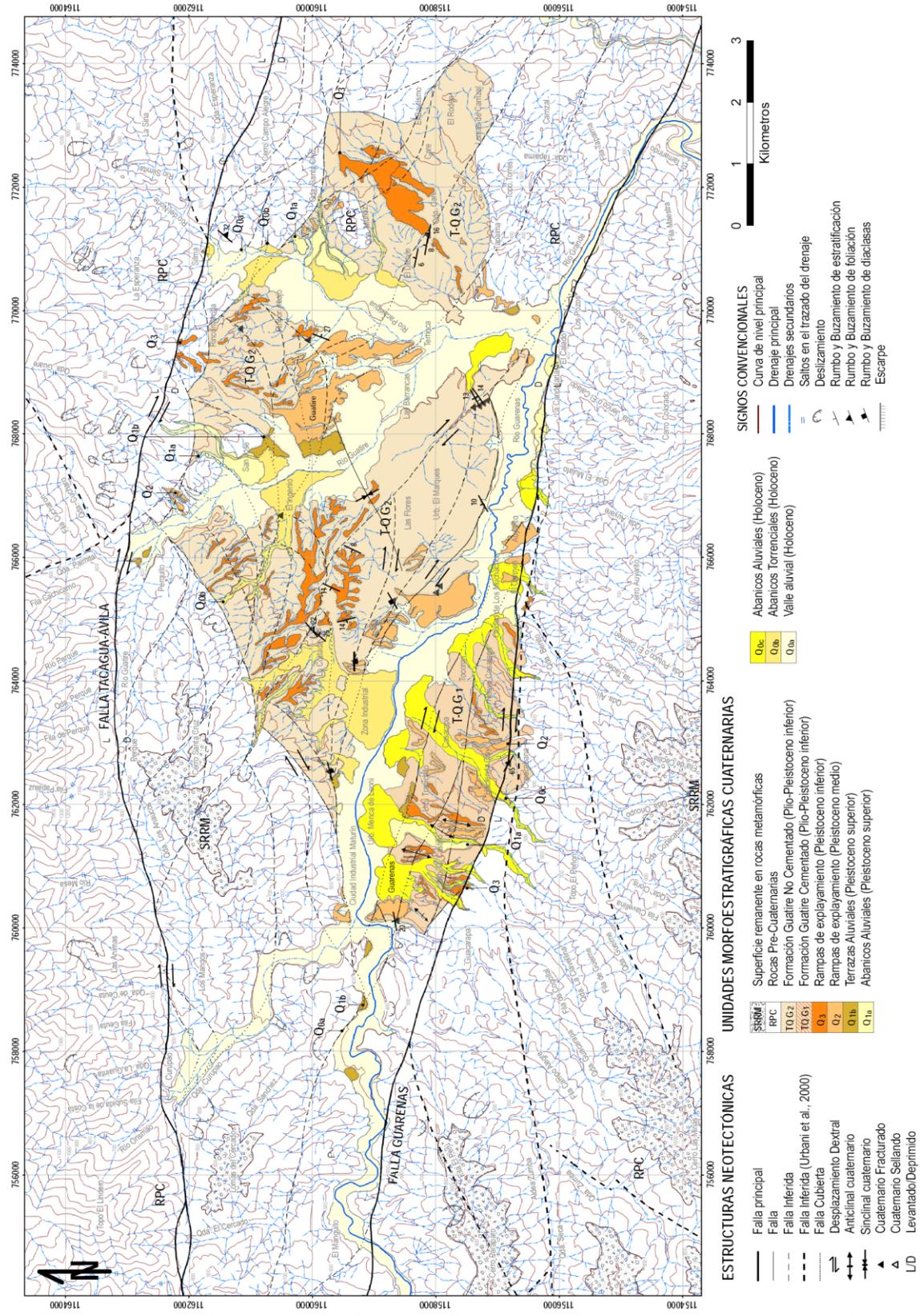


Figura 5.4. Mapa de Unidades Morfoestratigráficas Cuaternarias de la Cuenca Guarenas-Guatire.

5.2.1.1. Nivel de Rampas de Explayamiento (Pleistoceno Temprano) (Q₃)

Esta unidad cuaternaria representa a las rampas de explayamiento de mayor edad y altitud de la región. Ubicadas al sur y al noreste de Guarenas, y al norte y al este de Guatire (ver anexo 3, figura 5.4), pertenecen a los primeros cuerpos sedimentarios discordantes depositados de forma truncada sobre la Formación Guatire. Lo conforman una serie de rampas detríticas ubicadas en el piedemonte que rodea la cuenca de Guarenas-Guatire en las zonas donde la Formación Guatire alcanza mayor altura (entre 400 y 500 m.s.n.m.), correspondientes a remanentes de depósitos torrenciales compuestos por conglomerados con cantos subangulosos-subredondeados que superan los 50 cm de tamaño y matriz arenosa-limosa mal consolidada.



Figura 5.5. Rampas detríticas Q₃, en su facie proximal (foto superior) y facie distal (inferior), truncando a la Formación Guatire.

Se caracteriza por la presencia de abundante granulometría gruesa hacia los bordes de la cuenca correspondiendo a la facie proximal de estas acumulaciones, que a medida que se aleja del borde montañoso, exhibe un contenido litológico con menor cantidad de gruesos. Estos cuerpos sedimentarios en general se caracterizan por presentar matriz de tonalidades rojas y amarillas fuertes indicando un contenido mineralógico alto en compuestos de hierro, sílice y aluminio, que bajo los efectos de la meteorización presentan esta coloración. Los cantos gruesos tienen una mineralogía variada, donde se pudo identificar cuarzo, gneiss y esquisto altamente descompuestos debido a la degradación a la que han sido sometidas. El perfil de suelo que sella a estos depósitos superficiales, constituido por lateritas y una capa delgada de suelo orgánico, alcanza en algunos casos hasta 50 cm, es producto de la acción directa de la meteorización sobre la superficie expuesta del depósito. Las rampas se encuentran ligeramente flexionadas hacia el centro de la cuenca y deformadas por la acción directa de las fallas de la región (ver figuras 5.4 y 5.5).

5.2.1.2. Nivel de Rampas de Explayamiento (Pleistoceno medio) (Q₂)

Ubicada en las localidades de Guarenas, Casarapa, Tocarón, Auyarito, Guatire, y Tapaima, esta unidad se concentra en buena proporción en los márgenes de los ríos y quebradas importantes (ríos Guarenas, Guatire y Pacairigua, y las quebradas Copacabana y Santa Cruz), truncada sobre la Formación Guatire, un nivel por debajo de Q₃. Al igual que la unidad anterior, morfológicamente define a una serie de rampas constituidas por material detrítico proveniente de las vertientes-fuentes, tanto del norte como del sur, por intermedio del escurrimiento superficial intermitente, caracterizado por sus formas topográficas amesetadas que han sido entalladas por la erosión. Está compuesta por conglomerados con cantos de hasta 45 cm, subangulosos a subredondeados, donde predomina la presencia de cantos muy alterados por la meteorización de esquisto, gneiss y cuarzo, de matriz limo-arcillosa.

El perfil de alteración en la superficie de estos depósitos puede alcanzar hasta 70 cm de espesor, se observa muy meteorizado formando lateritas rojas y edafosuelos de color marrón oscuro. La parte interna de estos cuerpos sedimentarios se encuentra meteorizada

y exhiben colores que varían en tonalidades de rojo oscuros a moderados. Dependiendo de la cercanía de éstos a zonas de cizallamiento, muestran evidencias de deformación por efecto del fallamiento secundario intracuenca (ver anexo 3, figuras 5.4 y 5.6).

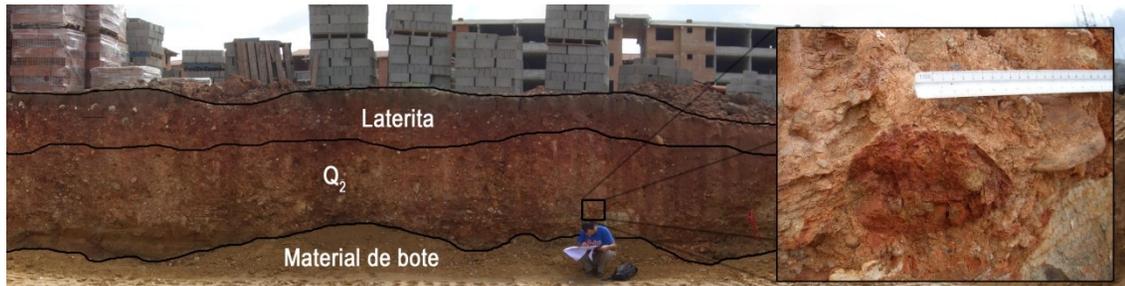


Figura 5.6. Depósito Q_2 con el perfil de alteración que lo recubre al este de la Urb. Buenaventura Contry Club. La parte interna también se encuentra afectada por la meteorización, con cantos de gneisses y esquistos muy alterados.

5.2.1.3. Nivel de Terrazas Aluviales (Pleistoceno Tardío) (Q_{1b})

Está conformada por cuerpos sedimentarios que dominan a la vega aluvial actual, en forma de terrazas entalladas discordantes sobre la Formación Guatire, que se componen de arenas, limos y gravas, dispuestos en masas irregulares que generan superficies amesetadas al pie de depósitos cuaternarios y hacia el oeste en el borde de las laderas montañosas.

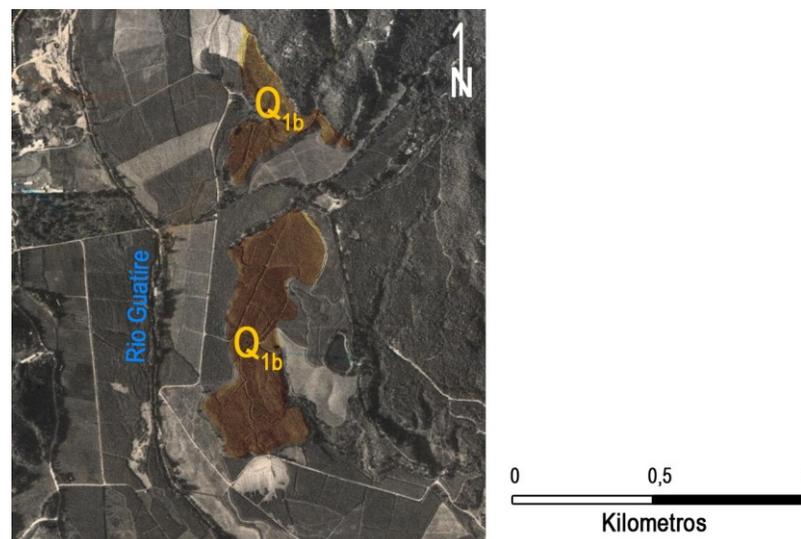


Figura 5.7. Foto aérea usada para la fotointerpretación donde se sombreadan dos de las terrazas aluviales correspondientes al nivel Q_{1b} ubicadas al este de Guatire.

Estas terrazas son de origen climático-sedimentario. Su morfogénesis se debe principalmente a dos fases: una fase inicial donde ocurre la sedimentación en las planicies aluviales por expansión lateral de los ríos Guarenas y Guatire, y a una subsecuente fase final en la cual ocurre el entallamiento vertical del drenaje sobre la planicie aluvial producida en la fase anterior. Estos depósitos se encuentran a los márgenes de las planicies de inundación de los Ríos Guarenas y Guatire, hacia el oeste y norte de Guarenas, y al oeste y noroeste de Guatire (ver anexo 3, figuras 5.4 y 5.7).

5.2.1.4. Nivel de Abanicos Aluviales (Pleistoceno superior) (Q_{1a})

Localizados en San José y la Quebrada Santa Cruz al norte, y al sur en la urbanización Oropeza Castillo, La Ciudad de Los Muchachos, y La Candelaria (ver figura), estos cuerpos sedimentarios se presentan en formas de abanico. Este tipo de acumulación de material detrítico, especialmente arenas y gravas gruesas, se encuentra por encima del nivel de base actual y disectados por la red de drenaje. Estos cuerpos fueron diferenciados a través de la fotointerpretación de otros cuerpos con formas de abanico utilizando relaciones de altura, siendo éstas las más altas en la región (ver anexo 3, figuras 5.4 y 5.8).



Figura 5.8. Vista de un depósito Q_{1a} , ubicada en La Ciudad de Los Muchachos, donde se observa el desnivel con respecto a la planicie aluvial en la parte inferior de la imagen. Rumbo de la vista: Sur.

5.2.1.5. Nivel de Abanicos Aluviales (Holoceno) (Q_{0c})

Los abanicos aluviales Q_{0c} se ubican al sur de la cuenca, y representan formas de acumulación de material detrítico grueso que proviene de los drenajes de pendiente moderada desarrollados en la serranía de los Altos de Mariches. Esta unidad presenta una forma de abanico abierto y poco abombado, y contiene una buena selección del material clástico, con una topografía amesetada la cual se interdigita con la vega aluvial actual. No presentan deformaciones, pero deja en evidencia el comportamiento tectónico del borde sur de la cuenca, al presentarse levemente inclinada hacia el centro de la misma, orientados hacia el noreste. No se pudo determinar la mineralogía, el grado de evolución pedogenética, el grado de alteración ni la resistencia del material que conforman a estos cuerpos sedimentarios, debido a la falta de afloramientos de este tipo de depósito (ver anexo 3, figuras 5.4 y 5.9).



Figura 5.9. Vista de la unidad Q_{0c} cercana del sector Auyarito, al sur de Guatire. La vegetación revela en la imagen la presencia de esta unidad, al mostrar una forma abombada. Rumbo de la vista: Sur.

5.2.1.6. Nivel de Abanicos Torrenciales (Holoceno) (Q_{0b})

Su origen se debe a la depositación forzada y caótica de material aluvial en las zonas bajas del piedemonte del cerro Santa Cruz y el macizo El Ávila. Estos depósitos son abanicos de origen torrencial, y presentan una morfología abombada (convexo en sentido transversal) y alargada, los cuales están compuestos por material clástico poco

retrabajado provenientes de las partes elevadas de la región. No se pudieron determinar la descripción litológica, el grado de evolución pedogenética, el grado de alteración ni la resistencia del material (ver anexo 3, figura 5.4 y 5.10).



Figura 5.10. Modelo de elevación digital de relieve en proyección angular de Guarenas, donde se resaltan con color amarillo claro los aludes torrenciales del nivel Q_{0b} provenientes del macizo montañoso al norte. Rumbo de la vista: $N15^{\circ}E$.

5.2.1.7. Nivel de Vega Aluvial (Holoceno) (Q_{0a})

Conforman los depósitos aluviales más jóvenes de la región. Esta unidad depositacional se caracteriza por una topografía plana y de poca elevación y conforma el nivel de base actual (entre 300 y 400 m.s.n.m.), y se debe a la sedimentación y depositación del material clástico, en general compuesto por gravas, arenas, arcillas y limos, poco consolidados, no deformados, en las llanuras de inundación de los ríos principales (río Guarenas, río Guatire, y río Pacairigua), constituyendo la unidad cuaternaria de mayor extensión. Estos depósitos generalmente presentan un perfil de suelo poco desarrollado de colores marrón, amarillo y gris claros, el cual no sobrepasa los 20 cm de espesor, se identifican fragmentos de roca metamórfica embebidos en la matriz (ver figura 5.4 y 5.11, anexo 3).



Figura 5.11. Vista de la vega aluvial actual del río Guarenas, al oeste de la ciudad de Guarenas. En esta zona ha sido parcialmente cubierta por el terraplen de la autopista. Rumbo de la vista: NW.

5.2.2. Evidencias geomorfológicas de fallamiento activo de la cuenca

Las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo son expresiones manifestadas en el relieve generadas en respuesta a eventos tectónicos capaces de producir deformación superficial reconocible. Estas geoformas son el resultado de movimientos cosísmicos (durante un evento tectónico) de la traza de falla o producidos por las sacudidas generadas al momento de los sismos, la cual incluye la deformación de la superficie del terreno que rodea a la falla activa (escarpes de falla, fisuras, lagos de falla, valles desplazados, lomos de obturación, terrazas plegadas, conos aluviales deformados, bermas desplazadas, etc.), así como también, a gran escala, levantamientos bruscos o subsidencia en zonas de límites de placa (líneas de costa elevadas, arrecifes emergidos, etc.) (GOUDIE, 2006).

Estas evidencias relacionadas con la actividad tectónica reciente de la zona en estudio fueron separadas en relación al vínculo estructural que representa, ya sea a nivel regional (evidencias de levantamiento general) o a escala local (evidencias de actividad reciente asociadas a las fallas).

La actividad de las trazas de las fallas a nivel local se presenta según su asociación estructural con respecto a los accidentes tectónicos principales, los cuales corresponden a dos estructuras importantes (ver figura 5.12):

- Falla El Ávila, del sistema de fallas Tacagua-El Ávila
- Falla Guarenas, relacionada al segmento de falla El Ávila

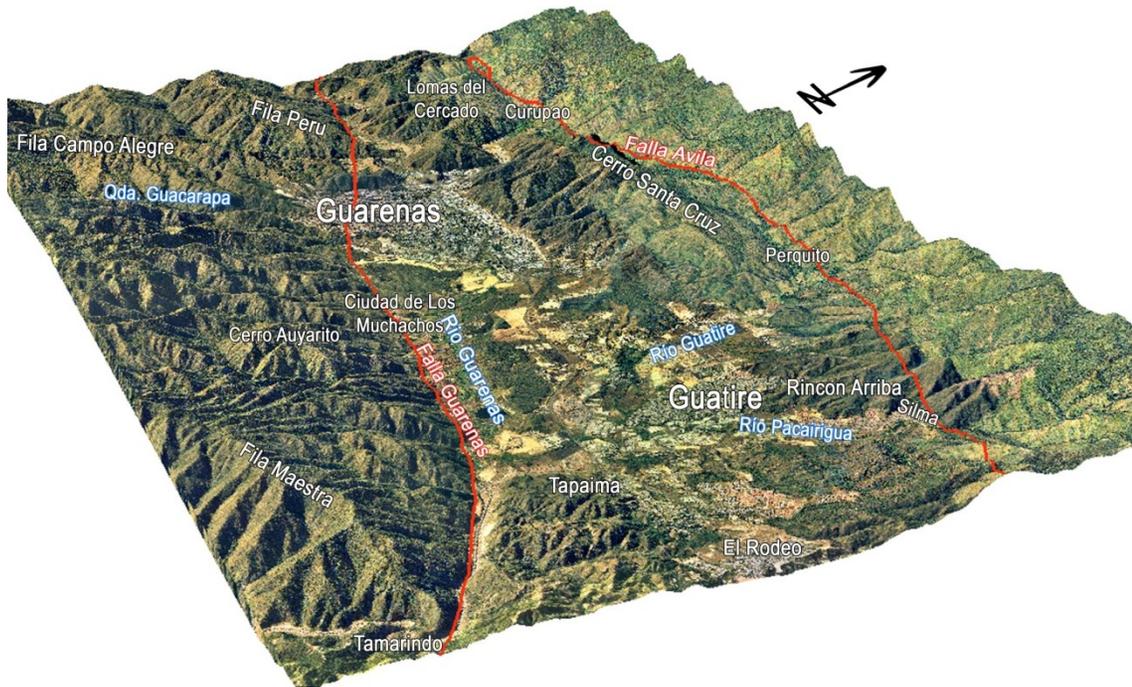


Figura 5.12. Modelo de elevación digital con vista angular de la cuenca de Guarenas-Guatire limitada por las fallas Ávila al norte, y Guarenas al sur. Con las líneas rojas se señalan las fallas principales en la región. Rumbo de la vista: N75°E.

Teniendo en cuenta la definición propuesta por MACHETTE (2000) de falla activa como aquella que demuestra acción o movimiento actual (contemporáneo, histórico, Holoceno o Cuaternario), en la región de Guarenas-Guatire se identificaron y cartografiaron a escala 1:25.000 las evidencias geomorfológicas asociadas a fallas activas, al igual que las trazas de fallas activas principales y secundarias, así como también las fallas inferidas y cubiertas, las geformas diagnosticas y no diagnosticas, y otras estructuras relacionadas a la actividad de las fallas, tanto a escala regional como a escala local (ver anexo 4, figura 5.13).

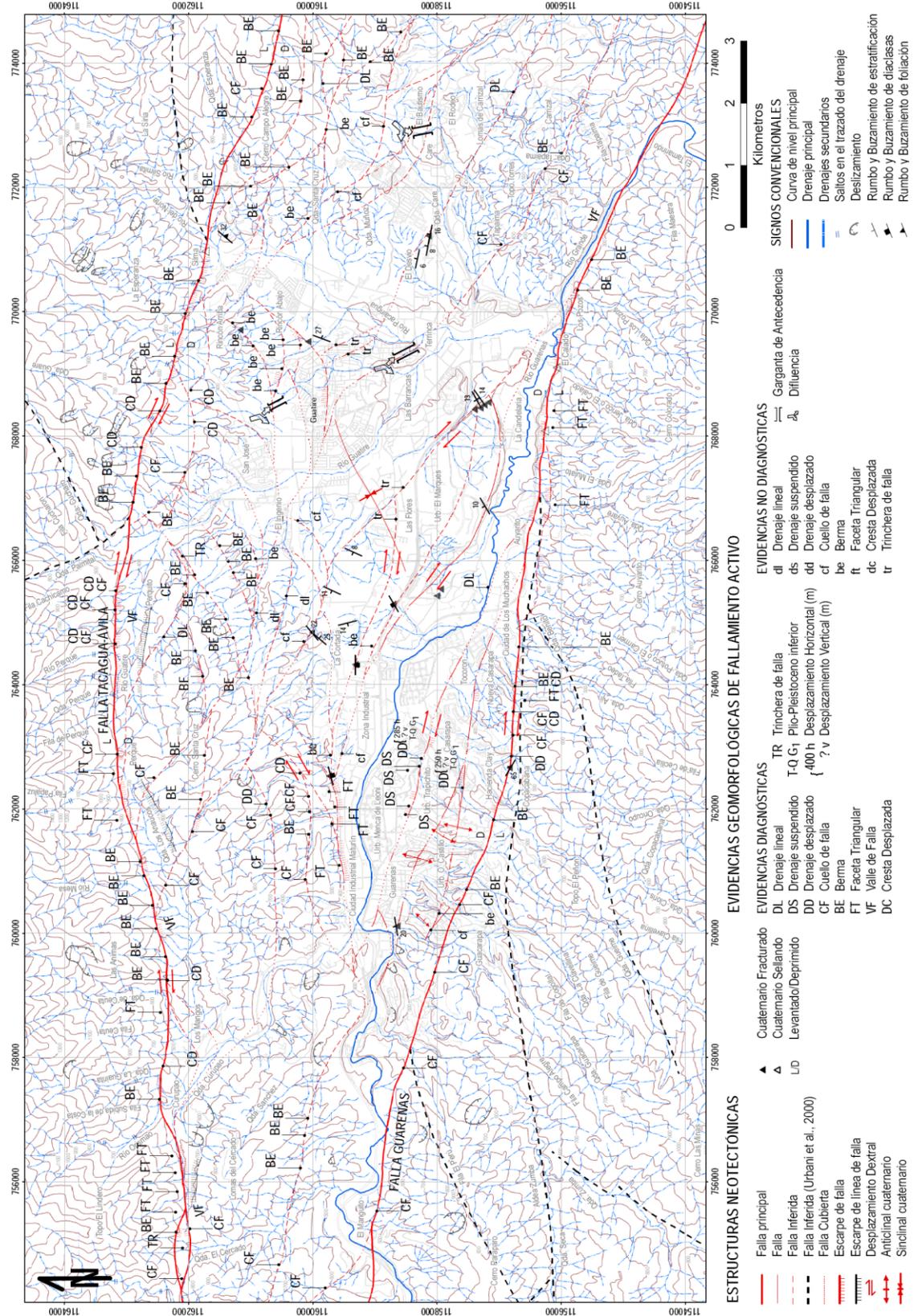


Figura 5.13. Mapa de Evidencias Geomorfológicas de Fallamiento Activo de la Cuenca Guarenas-Guatire.

5.2.2.1. Evidencias geomorfológicas de actividad reciente asociadas al levantamiento general de la cuenca

A grandes rasgos, la región de Guarenas-Guatire presenta una serie de evidencias que indican la presencia de una importante actividad tectónica relacionada con levantamiento de la región. A continuación se mencionan estas evidencias de carácter regional (ver anexo 4, figura 5.13):

- Desnivel topográfico entre las serranías metamórficas y el relleno sedimentario: la diferencia de cota que existe entre el macizo El Ávila y Los Altos de Mariche con respecto al relleno sedimentario, además de sus límites rectilíneos y la forma brusca de los contactos, entre pendientes escarpadas y casi llanas, sugieren un control tectónico dominante la región (ver figura 5.14).

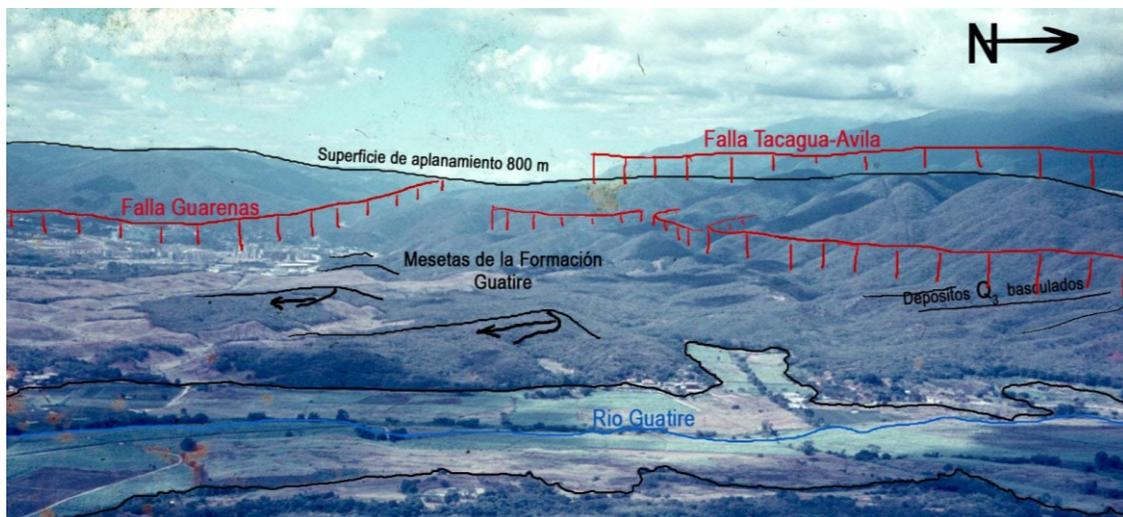


Figura 5.14. Vista hacia el oeste de la cuenca, donde se señalan algunos de los rasgos estructurales observados que indican la naturaleza tectónica de la cuenca de Guarenas-Guatire (Fotografía cortesía de Andre Singer, 1970).

- Gargantas epigénicas y difluencias: la presencia de estas asociaciones en los poblados de El Rodeo, Terrinca y al noroeste de Guatire están relacionadas a procesos climáticos y tectónicos verticales.

- Unidades morfoestratigráficas cuaternarias en posiciones topográficas positivas: la ubicación en el piedemonte, hacia los márgenes de la depresión sedimentaria de rampas cuaternarias Q_3 buzando hacia el centro, así como la diferencia de cota ($\Delta h = 100-200$ m) que existe entre éstas unidades morfoestratigráficas con respecto al nivel de base actual (Q_{0a}), apuntan a un proceso de levantamiento/hundimiento en la región (ver figura 5.14).
- Comportamiento del drenaje principal: la ubicación del río Guarenas entre La Ciudad de Los Muchachos y el sector Los Pozos, contra el frente de las elevaciones del Macizo de Los Altos al sur, entallado sobre la Formación Guatire (Plio-Pleistoceno), evidencia un levantamiento diferencial más pronunciado del bloque norte (Macizo Montañoso Ávila) con respecto al bloque sur (Mesetas Altas-Depresión Sedimentaria). No se observó evidencias de migración del drenaje principal (figura 5.15).



Figura 5.15. Vista con dirección WSW, donde se observa la cercanía del valle del río Guarenas a los contrafuertes montañosos al sur. Se observa en primer plano el relieve de cuesta al sur de El Marques con declive al norte.

5.2.2.2. Evidencias geomorfológicas de actividad reciente asociadas a la Falla Tacagua-El Ávila, segmento El Ávila

Ubicadas al norte de la región Guarenas-Guatire, este grupo de evidencias pertenecen a la sección de falla definida entre el sector Curupao y el Cerro Campo Alegre, la cual conforma el borde norte de la cuenca sedimentaria, y corresponde al segmento central-

oriental de la falla El Ávila, del sistema de fallas Tacagua-El Ávila (ver figura 5.13 y 5.16).

El tipo de fallamiento que caracteriza a esta sección de falla es transcurrente dextral con una componente normal importante, evidenciado por el desarrollo de evidencias morfotectónicas a lo largo del contacto entre los bloques metamórficos levantados norte y sur (Super Asociación Ávila y Asociación Metasedimentaria Caracas), generadas por la traza activa de la falla El Ávila.

La geometría de esta sección exhibe una longitud de 20,6 km, valor obtenido a partir de la base topográfica del I.G.V.S.B., mostrando un rumbo promedio N 81°W, siguiendo una forma parabólica.

Esta sección de falla es exclusiva del cinturón de deformación de La Costa, napa El Ávila, la cual coloca de forma tectónica y discordante a las rocas de la Super Asociación Ávila (bloque metamórfico norte) con la Asociación Metasedimentaria Caracas (bloque metamórfico sur). La disposición de esta sección de falla no muestra control sobre la morfología del relleno sedimentario, debido a la colocación de la sección de falla despegada y por encima ($\Delta_h \geq 80$ m) de los depósitos de la Formación Guatire.

Teniendo en cuenta que en la sección de estudio la expresión en superficie de la falla El Ávila no muestra una geometría homogénea en toda su extensión, se describió de forma detallada a manera de tramos segmentados de fallas, resultando en los siguientes (ver tabla 5.3 y figura 5.16):

- Tramo Curupao-Perquito
- Tramo Perquito-La Silma
- Tramo La Silma-Cerro Campo Alegre

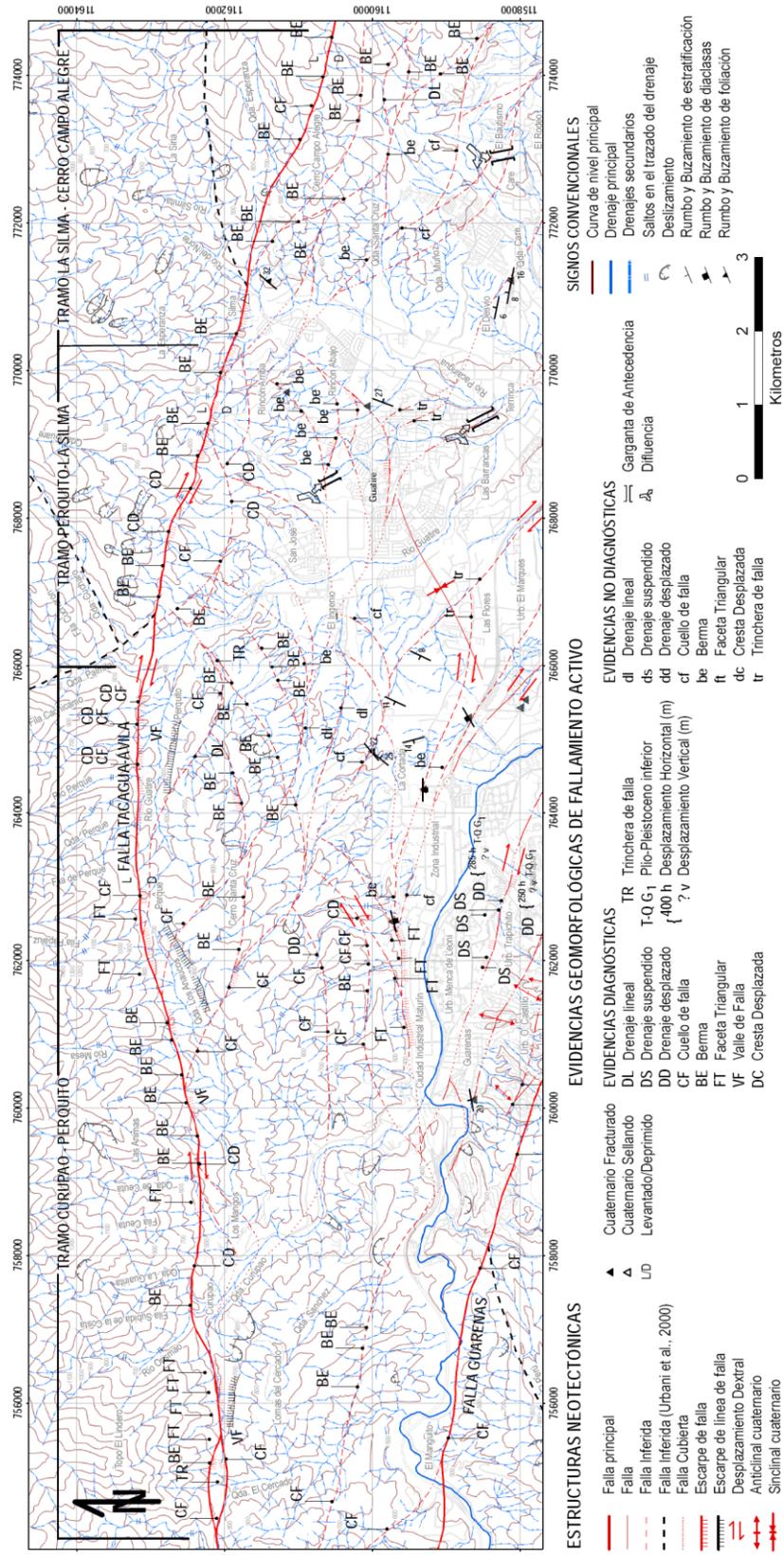


Figura 5.16. Mapa de Evidencias Geomorfológicas de Fallamiento Activo, segmentado para la falla El Ávila.

- **Tramo Curupao-Perquito**

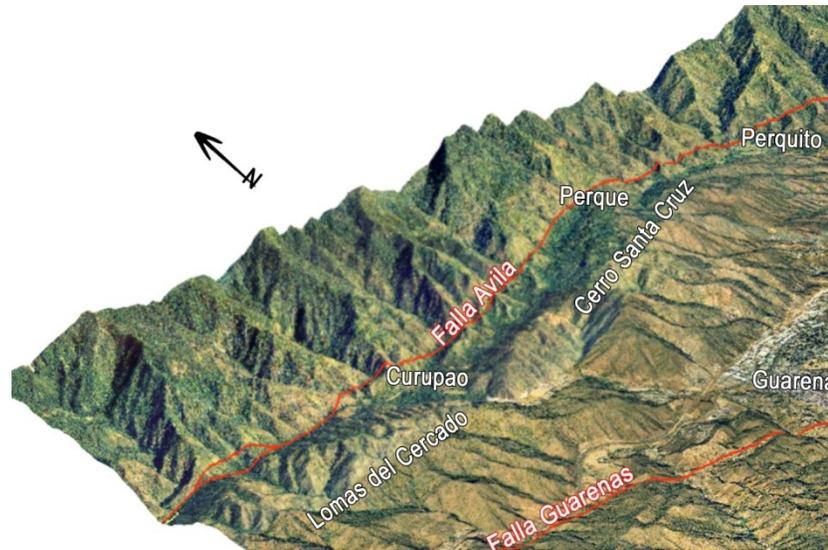


Figura 5.17. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo de falla comprendido entre Curupao y Perquito. Se señala en rojo la traza de las Fallas El Ávila y Guarenas. Rumbo de la vista: N45°E.

Ubicado en el extremo nor-occidental de la zona en estudio, este tramo de falla se extiende desde las localidades de Curupao hasta Perquito, con una longitud de 11,175 km, con rumbo promedio $N85^{\circ}E \pm 2^{\circ}$, y con promedio de buzamiento alto hacia el sur, mostrando una traza de falla continua (ver figura 5.16 y 5.17).

Expresiones Geomorfológicas: Las expresiones geomorfológicas que figuran en este tramo de falla son características de fallas transcurrentes con componente normal, entre las que tenemos:

- Una serie de **valles de falla** en la cual se desarrollan las quebradas Curupao y Los Anaucos, y el río Guatire, orientados paralela a la traza de la falla El Ávila, (ver figura 5.17 y 5.18).
- Entre Curupao y Perquito, se observan **escarpes de falla degradados** con buzamientos al sur (correspondiente a la estructura de la falla) y **escarpes de línea de falla** con buzamientos al norte (no correspondiente a la estructura de la falla), exhibidos en el contacto entre el piedemonte del Macizo El Ávila (Super

Asociación Ávila), y el Cerro Santa Cruz (Esquisto Las Mercedes) (ver figura 5.18).

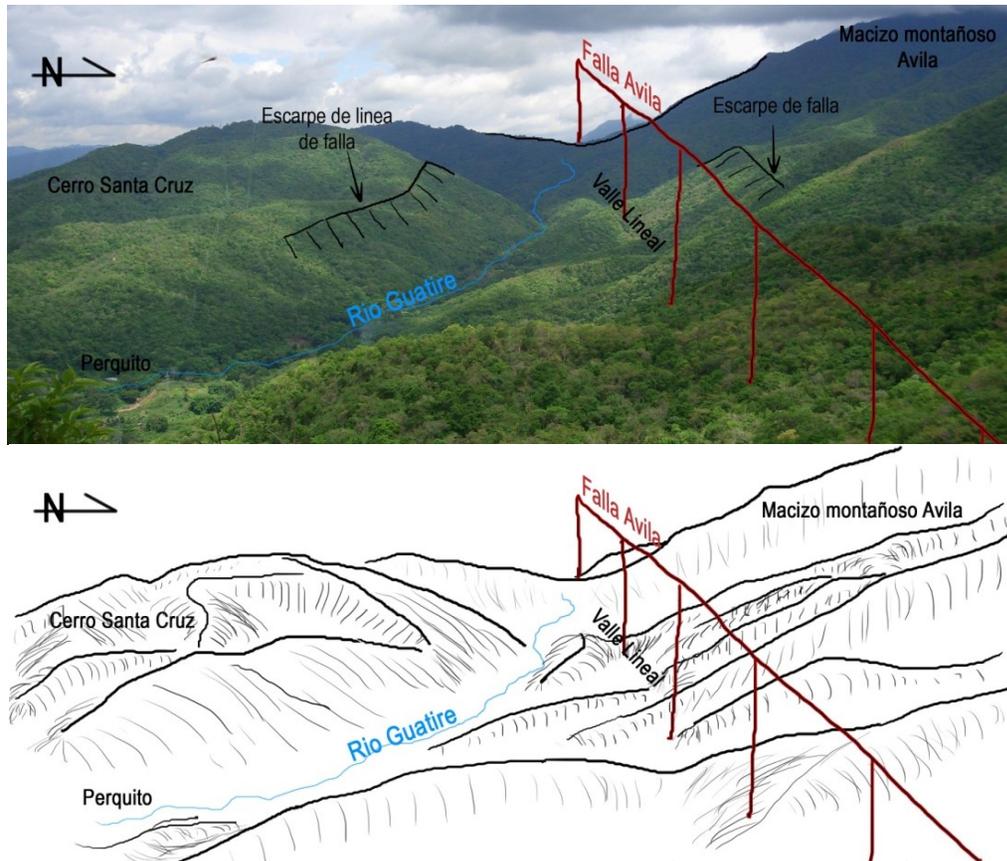


Figura 5.18. Valle de falla generada por la actividad de la Falla El Ávila entre el macizo Ávila y el Cerro Santa Cruz. Rumbo de la vista: Oeste.

- **Facetas triangulares** con buzamiento al sur, ubicadas en las localidades de Curupao y Perque.
- **Crestas desplazadas** de forma dextral en Curupao, Las Animas y Perquito, cercanas al contacto entre los bloques metamórficos, manifestadas en el labio norte de la falla (Super Asociación Ávila), en las partes bajas de las estribaciones orientadas N-S correspondientes al macizo El Ávila.
- **Cuellos de falla** al oeste de Curupao y en Perque (ver figura 5.18).

- **Bermas** localizadas en las partes bajas de las estribaciones orientadas N-S del bloque metamórfico norte, perteneciente al macizo El Ávila.
- **Trinchera de falla** al oeste de Curupao.
- **Salto en el drenaje** en los ríos Orismao y Mesa, en las quebradas La Guairita y de Ceuta, y en otros drenajes sin identificar.

Fallamiento Secundario: A lo largo de este tramo de falla se infirieron fallas secundarias ubicadas en el bloque metamórfico sur (Asociación Metasedimentaria Caracas) y el relleno sedimentario (Formación Guatire), al noroeste de la cuenca Guarenas-Guatire. En el bloque metamórfico sur muestran orientaciones $N70^{\circ}W \pm 10^{\circ}$, segmentando al Cerro Santa Cruz y a las Lomas del Cercado, dándoles un amplio patrón en forma de escamas. A pesar de que el trazado de algunas de estas fallas es bastante simple y continuo, hay sectores donde la continuidad se degrada dificultando su reconocimiento en la fotointerpretación (ver figura 5.19).

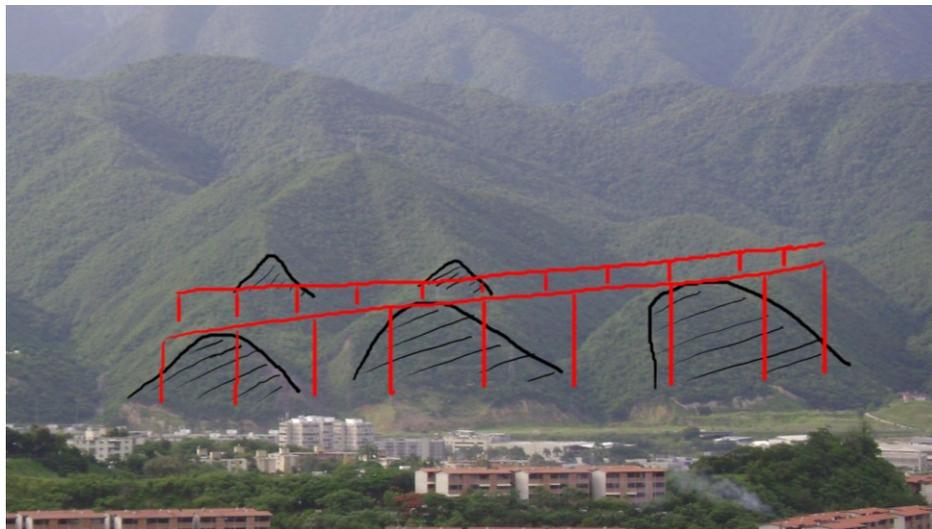


Figura 5.19. Facetas triangulares en el flanco sur del cerro Santa Cruz, consecuencia del fallamiento secundario asociado a la Falla El Ávila. Rumbo de la vista: Norte

El contacto entre el Cerro Santa Cruz y el relleno sedimentario lo constituye un sistema de fallas orientadas $N 45^{\circ}E$, correspondientes a la continuidad del fallamiento

que corta a los bloques metamórficos en patrones de escama. Estas fallas afectan a la Formación Guatire y a la unidad morfoestratigráfica Q₃, dejando en evidencia la deformación generada por el basamento y los bordes metamórficos, apreciable en el sector El Ingenio y La Cortada.

En campo, el reconocimiento de este tipo de fracturas solo pudo ser reconocido al norte de la Zona Industrial Maturín, donde se observó el fallamiento del Cerro Santa Cruz, sin poder establecer su dinámica.

Evidencias de Actividad: Entre las evidencias de la actividad tectónica de esta estructura podemos mencionar la existencia de anomalías en el drenaje en la localidad de Curupao, entre las Quebradas Curupao y Los Anaucos, en donde se aprecia un patrón en forma de rastrillo, generado por la intersección de las quebradas orientadas N-S que descienden del macizo El Ávila, con dichas quebradas. Indirectamente, en la zona de La Cortada, fallas secundarias posiblemente asociadas al tramo de falla principal norte y a la deformación generada por el basamento han deformado a la Formación Guatire y a las unidades morfoestratigráficas Q₃ al noroeste de la cuenca (ver figura 5.20).



Figura 5.20. Patrón del drenaje en forma de rastrillo y tramos rectilíneos (DL) ubicado al noroeste del Cerro Santa Cruz. Se señala en rojo la traza de la Falla El Ávila, sub-paralela al curso de agua (en azul) ubicado en los valles falla.

- Tramo Perquito-La Silma

Localizado en la parte nor-central de la zona en estudio, este tramo presenta una serie de evidencias extendidas desde las localidades de Perquito hasta La Silma, al norte de Guatire, y muestra una longitud en la traza de falla de 5,625 km, orientada

aproximadamente $N76^{\circ}W \pm 2^{\circ}$, con una inclinación promedio con buzamiento alto hacia el sur (ver figura 5.16 y 5.21).

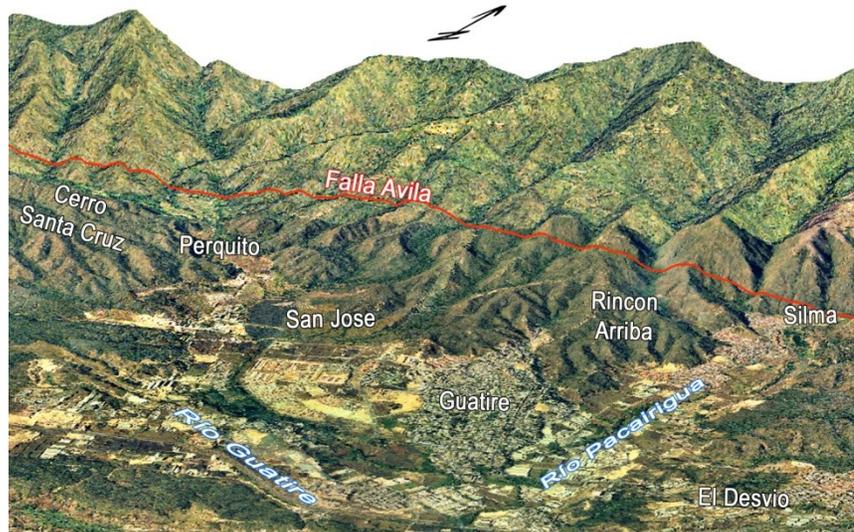


Figura 5.21. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre Perquito y Silma. Se señala en rojo la traza de la Falla El Ávila. Rumbo de la vista: $N30^{\circ}W$.

Expresiones Geomorfológicas: En este tramo figuran evidencias morfológicas típicas de fallas transcurrentes con componente normal, tales como (ver figura 5.22):

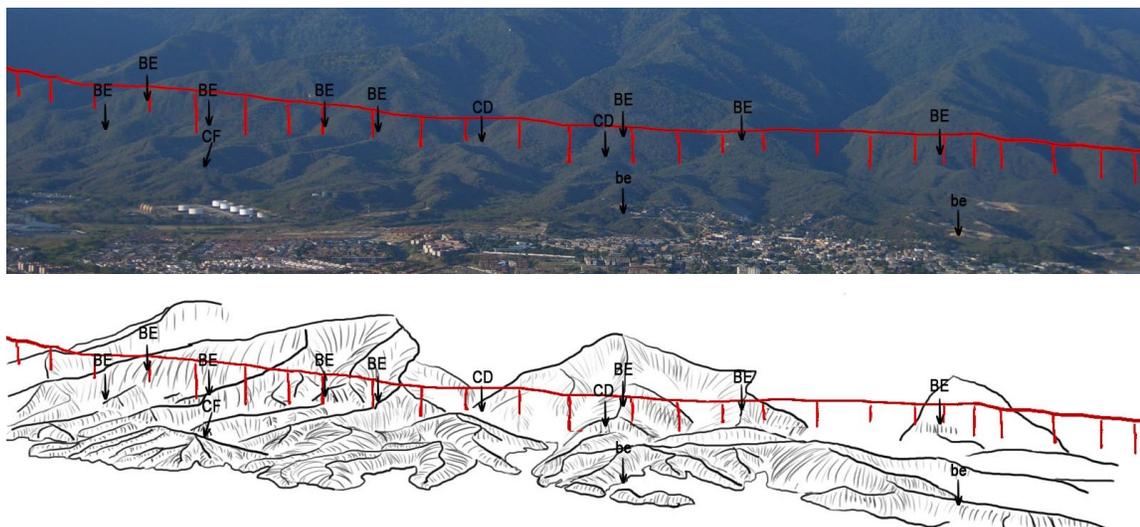


Figura 5.22. Fotografía y Dibujo esquemático del tramo de Perquito-La Silma, al noroeste de Guatire, entre la localidad de Perquito (a la izquierda de la imagen) y La Silma (a la derecha de la imagen). Se señala la traza de la Falla El Ávila (en rojo) y sus respectivas expresiones geomorfológicas: Bermas (BE, be), Crestas desplazadas (CD), Cuello de falla (CF). Rumbo de la vista: $N10^{\circ}W$.

- **Escarpes de falla** degradados con buzamientos al sur correspondientes al flanco sur del macizo El Ávila (Super Asociación Ávila), ubicados al norte de Guatire.
- **Crestas desplazadas** al norte de San José y al este de Perquito, correspondientes a las estribaciones seccionadas del macizo El Ávila (Super Asociación Ávila) con desplazamiento dextral.
- **Bermas** ubicadas en las estribaciones provenientes del macizo El Ávila relacionadas al comportamiento normal del fallamiento.
- **Saltos en el drenaje**, en el río Perque y las quebradas Perque y Palmital, y en otros drenajes sin identificar.

Fallamiento Secundario: En el bloque metamórfico deprimido sur constituido por rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas, se infirieron mediante la fotointerpretación sistemas de fallas secundarias que cortan el piedemonte del macizo El Ávila, las cuales ocupan una pequeña franja al norte de Guatire, y conforman una discordancia tectónica orientada aproximadamente N70°W entre el relleno sedimentario y el bloque metamórfico. Estas fallas deforman a rampas de edad Q₃ depositadas de forma discordante sobre este bloque metamórfico.

El fallamiento secundario en el relleno sedimentario presenta un trazado complejo, consecuencia de la deformación generada por el basamento y los bordes metamórficos, evidente en el poblado de Guatire, donde los sedimentos compuestos por la Formación Guatire y las unidades morfoestratigráficas Q₃ y Q₂ exhiben a pequeña escala y degradadas bermas, escarpes de falla, contraescarpes, trincheras y cuellos de falla.

Evidencias de Actividad: Al norte del sector Rincón Arriba se puede observar en campo el afloramiento de la traza de la falla El Ávila, donde se aprecia el contacto principal entre los bloques metamórficos. Al noroeste del sector Rincón Arriba se identificaron en fotografía aérea la deformación de una unidad morfoestratigráfica Q₃, directamente asociada al tramo de falla principal. Indirectamente relacionada a la

actividad del segmento de falla principal, en la localidad de Rincón Arriba se observó mediante fotointerpretación la Formación Guatire fallada.

Las unidades morfoestratigráficas Q_3 y Q_2 ubicadas sobre la Formación Guatire en la propia localidad de Guatire y al norte de ésta, se encuentran muy deformadas y levantadas por la falla principal norte sobre el borde y el basamento metamórfico. En el poblado de San José al norte de Guatire y en el poblado de Terrinca, al sur de Guatire, se interpretaron por fotografía aérea gargantas epigénicas y difluencias asociadas indirectamente a la actividad normal transcurrente de la falla principal norte.

- Tramo La Silma-Cerro Campo Alegre



Figura 5.23. Modelo de elevación digital con vista angular del comprendido entre Silma y el Cerro Campo Alegre. Se señala en rojo la traza de la Falla El Ávila. Rumbo de la vista: Este.

Pertencientes al tramo oriental de la sección de la falla El Ávila, este grupo de evidencias se desarrollan desde la localidad de La Silma hasta el Cerro Campo Alegre, exhibiendo una traza de longitud 3,825 km, con rumbo promedio $N72^{\circ}W \pm 2^{\circ}$, e inclinación promedio con buzamiento alto hacia el sur. El sentido del movimiento de este tramo de falla es difícil de caracterizar mediante evidencias geomorfológicas, pero muestra indicios de actividad transcurrente-dextral con una componente normal moderada, marcadas entre los bloques metamórficos positivos del macizo El Ávila

(Super Asociación Ávila) y del Cerro Campo Alegre (Asociación Metasedimentaria Caracas) (ver figura 5.16 y 5.23).

Expresiones Geomorfológicas: Las evidencias características de este tramo se encuentran muy degradadas y en pocas localidades, mostrando indicios de fallamiento de tipo transcurrente con una leve componente normal, correspondientes a las siguientes morfoestructuras:

- **Cuello de falla** localizada al sur de la quebrada La Esperanza, en el Cerro Campo Alegre.
-
- **Bermas** al norte del Cerro Campo Alegre, a lo largo de todo el tramo de falla, en las estribaciones que descienden al sur, pertenecientes al macizo El Ávila.

Fallamiento Secundario: En el bloque metamórfico sur, correspondiente al Cerro Campo Alegre, se muestra un patrón de fallamiento en forma de escamas, en la que es posible inferir las trazas de las fallas secundarias, y bermas en condiciones degradadas. Este tipo de fallamiento en el sector El Bautismo y en la quebrada Santa Cruz conforma una discordancia orientada en dirección NW entre el relleno sedimentario (Formación Guatire) y el Cerro Campo Alegre (Asociación Metasedimentaria Caracas). La Formación Guatire y la unidad morfoestratigráfica Q_3 y Q_2 al este de la cuenca sedimentaria se encuentran deformadas por la actividad de estas fallas secundarias, siguiendo el mismo patrón en forma de escamas, como respuesta a la deformación generada por el basamento y los bordes metamórficos.

Evidencias de Actividad: En la localidad El Rodeo se observa en fotografía aérea una garganta epigénica y difluencias asociadas a la deformación generada por el basamento metamórfico e indirectamente a la actividad transcurrente-normal del tramo oriental de falla principal.

Tabla 5.3. Resumen de las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo en la sección de falla El Ávila.

Nombre del tramo de falla		Tramo Curupao-Perquito	Tramo Perquito-La Silma	Tramo La Silma-Cerro Campo Alegre
Extensión		11,175 km	5,625 km	3,825 km
Rumbo Promedio Buzamiento		N85°E ± 2° Buzamiento alto hacia el sur	N76°W ± 2° Buzamiento alto hacia el sur	N72°W ± 2° Buzamiento alto hacia el sur
Tipo de Fallamiento		Transcurrente dextral con una componente normal altamente marcada	Transcurrente dextral con una componente normal altamente marcada	Transcurrente dextral con una componente normal levemente marcada
Rocas Deformadas	Directo	- Super Asociación Ávila - Asociación Metasedimentaria Caracas	- Super Asociación Ávila - Asociación Metasedimentaria Caracas - Unidad morfoestratigráfica Q ₃	- Super Asociación Ávila - Asociación Metasedimentaria Caracas
	Indirecto	- Formación Guatire - Unidad morfoestratigráfica Q ₃	- Formación Guatire - Unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂	- Formación Guatire - Unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂
Expresiones Geomorfológicas		- Valles de Falla - Crestas desplazadas de forma dextral - Cuellos de falla - Escarpes de falla degradados - Bermas - Saltos en el drenaje	- Crestas desplazadas de forma dextral - Escarpes de falla degradados - Bermas - Saltos en el drenaje	- Cuello de falla - Bermas
Fallamiento Secundario		- El Cerro Santa Cruz y Lomas del Cercado (Asociación Metasedimentaria Caracas) se encuentra fallado con patrón en forma de escamas. - La Formación Guatire y las unidades morfoestratigráficas Q ₃ se encuentran falladas al noroeste de la cuenca.	- El bloque metamórfico sur (Asociación Metasedimentaria Caracas) al norte de Guatire se encuentra fallado con patrón en forma de escamas - La Formación Guatire y las unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂ se observan fallados en la parte nor-central de la cuenca.	- El Cerro Campo Alegre (Asociación Metasedimentaria Caracas) se encuentra fallado con patrón en forma de escamas. - Formación Guatire y las unidades morfoestratigráficas Q ₃ se encuentra fallada en la parte oriental de la cuenca.
Evidencias de Actividad		- Patrón en el drenaje en forma de rastrillo entre las quebradas Curupao y Los Anaucos. - Unidades morfoestratigráficas Q ₃ deformados sobre la Formación Guatire (Evidencia indirecta)	- Unidad morfoestratigráfica Q ₃ deformada al norte de Guatire sobre rocas metamórficas. - Unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂ deformados en Guatire sobre la Formación Guatire (Evidencia indirecta) - Gargantas epigénicas y difluencias talladas en la localidad de Guatire y Terrinca sobre la Formación Guatire y la unidad morfoestratigráfica Q ₂ (Evidencia indirecta).	- Unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂ deformados al este de Guatire y en el norte de Care sobre la Formación Guatire (Evidencia indirecta) - Gargantas epigénicas y difluencias talladas en la localidad de El Rodeo sobre la Formación Guatire (Evidencia indirecta).

5.2.2.3. Evidencias geomorfológicas de actividad reciente asociadas a la Falla de Guarenas

Localizadas al sur de la región de Guarenas-Guatire, este grupo de evidencias son consecuencia de la falla Guarenas, la cual conforma el borde sur de la cuenca sedimentaria relacionada al segmento de falla El Ávila, y corresponden a la sección de falla comprendida entre El Manguito-El Tamarindo. La extensión total de la falla Guarenas va desde la ciudad de Caracas, al noreste de Urbanización Miranda en el extremo noroccidental, partiendo del segmento de falla El Ávila, con un rumbo N75°W, difiriendo con respecto al rumbo de esta falla por 15° aproximadamente, hasta la localidad de El Tamarindo en el extremo suroriental, donde esta se conecta con el sistema de fallas de La Victoria en el segmento de falla Pichao. La sección de falla analizada para el estudio neotectónico se encuentran en la zona oriental de la Falla Guarenas y se desarrolla desde el poblado El Manguito al oeste de Guarenas hasta el sector El Tamarindo al sureste de Guatire (ver anexo 4, figura 5.13 y 5.24).

La geometría de la sección de falla exhibe una longitud de punta a punta de 21,310 km, valor obtenido a partir de la base topográfica del I.G.V.S.B., mostrando un rumbo promedio N 75°W.

Este segmento de falla es exclusivo del cinturón de deformación de La Costa, napa El Ávila, la cual corta a las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas al sur y coloca de forma tectónica y discordante al bloque metamórfico correspondiente al flanco norte de los Altos de Mariche con el relleno sedimentario constituido por los depósitos fluvio-lacustres de la Formación Guatire y por unidades morfoestratigráficas cuaternarias. La disposición de esta sección de falla muestra dominio sobre la morfología del relleno sedimentario, evidenciado entre los tramos Guacarapa-Ciudad de Los Muchacho-Los Pozos, donde el trazado rectilíneo marcado por la falla Guarenas controla la discordancia litológica entre el bloque metamórfico perteneciente a los Altos de Mariche y la depresión sedimentaria.

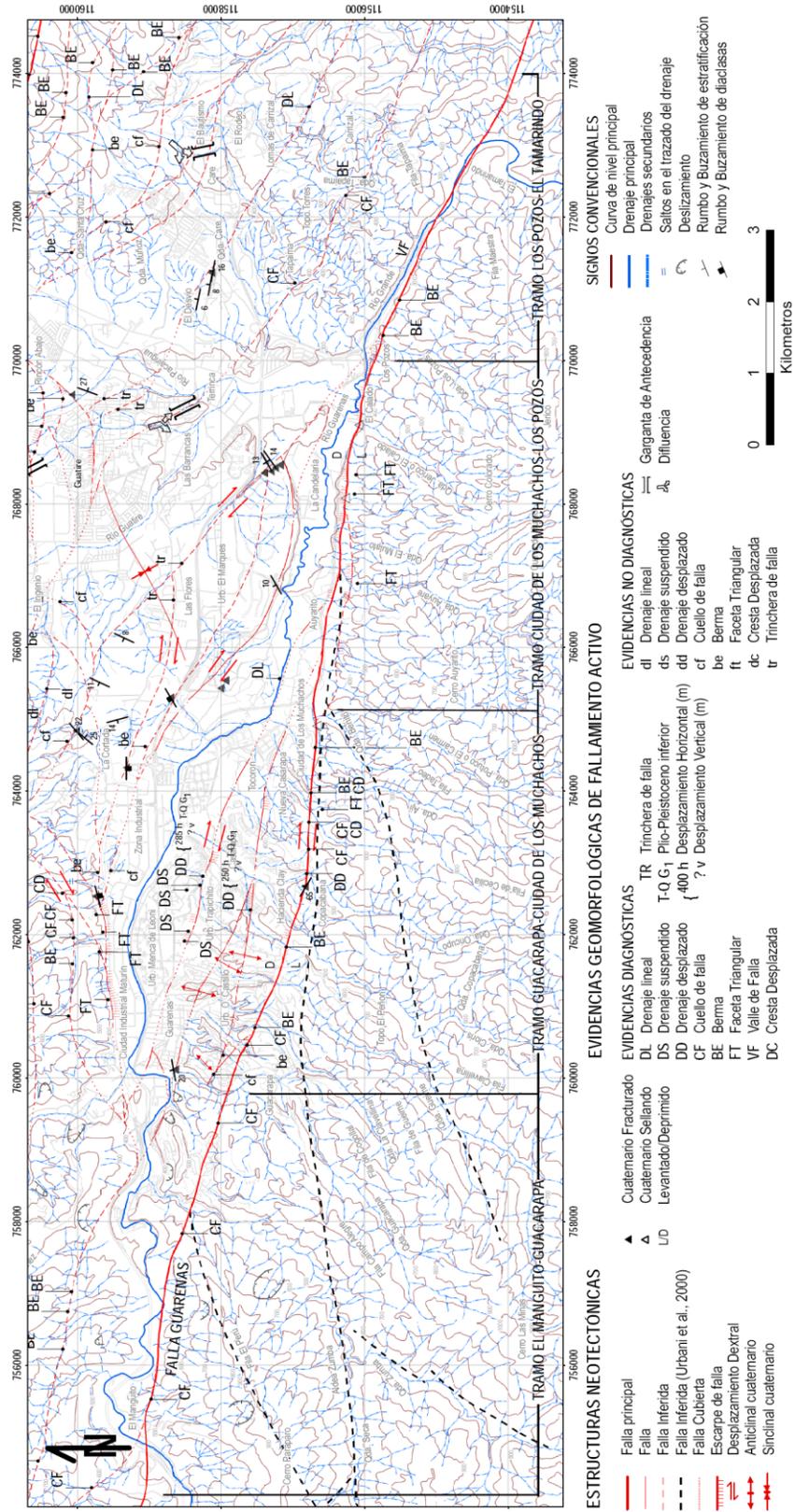


Figura 5.24. Mapa de Evidencias Geomorfológicas de Fallamiento Activo, segmentado para la falla Guarenas.

Considerando que en la sección de estudio el trazado de la falla Guarenas su geometría no es homogénea en toda su extensión, se realizó la descripción detallada de esta estructura en tramos segmentados, resultando en los siguientes tramos (ver tabla 5.4 y figura 5.24):

- Tramo El Manguito-Guacarapa
- Tramo Guacarapa-Ciudad de Los Muchachos
- Tramo Ciudad de Los Muchachos-Los Pozos
- Tramo Los Pozos-El Tamarindo
- **Tramo El Manguito-Guacarapa**



Figura 5.25. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre El Manguito y Guacarapa. Se señala en rojo la traza de la Falla Guarenas. Rumbo de la vista: S85°W.

Correspondiente a la sección occidental de la falla Guarenas, este tramo se extiende entre las localidades de El Manguito y Guacarapa exhibiendo una longitud en el trazado de 6,5 km, con rumbo aproximado $N88^{\circ}W \pm 2^{\circ}$, e inclinación promedio con buzamiento alto hacia el norte. Es el tramo de la falla Guarenas más cercana a la falla El Ávila en la zona de estudio ($d_{\min} = 3$ km). El sentido del movimiento de la traza de falla es difícil de determinar debido a la degradación y la poca cantidad de evidencias geomorfológicas presentes, sin embargo muestra evidencias de una estructura de tipo transcurrente. Este

tramo de falla secciona a las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas (Esquisto Las Mercedes) ubicadas en el flanco norte de la fila El Perú (ver figura 5.24 y 5.25).

Expresiones Geomorfológicas: En este tramo de falla solo se observan como evidencias geomorfológicas del fallamiento activo **cuellos de falla** al sur de El Manguito, al noreste de la Fila El Peru y al oeste de Guacarapa (ver figura 5.26).

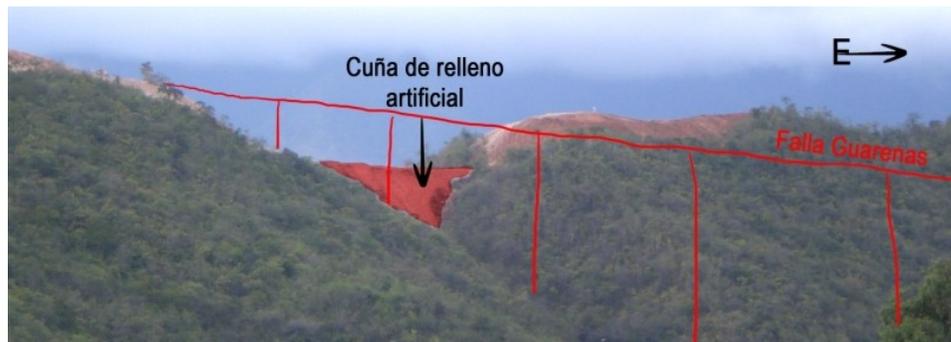


Figura 5.26. Cuello de falla rellenado artificialmente. Rumbo de la vista: N15°W.

Fallamiento Secundario: El fallamiento secundario que se observa paralelo al tramo de falla principal sur, sobre las Lomas del Cercado, correspondiente a las morfoestructuras observadas al noroeste y noreste de El Manguito, donde se manifiestan un Cuello de falla y una serie de Bermas, evidencian la deformación generada por la cuña metamórfica de desplazamiento entre las fallas El Ávila y Guarenas.

Evidencias de Actividad: Indirectamente, este tramo de falla deforma la parte suroccidental de la Formación Guatire y las unidades morfoestratigráficas Q₃ y Q₂ ubicadas en ese sector.

- **Tramo Guacarapa-Ciudad de Los Muchachos**

Extendiéndose entre las localidades Guacarapa y la Ciudad de Los Muchachos, la Falla Guarenas muestra en este tramo una longitud de 5 km, con un rumbo promedio orientado N81°W±2° y una inclinación promedio con buzamiento alto hacia el norte. El sentido de movimiento en este tramo se caracteriza por movimientos transcurrente

dextral. Este tramo de falla, además corresponde a una discordancia entre el relleno sedimentario (Formación Guatire) y el flanco norte de los Altos de Mariche (Asociación Metasedimentaria Caracas), reflejado en el trazado rectilíneo que existe en el contacto entre ambas unidades litológicas (ver figura 5.24 y 5.27).



Figura 5.27. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre Guacarapa y la Ciudad de Los Muchachos. Se señala en rojo la traza de la Falla Guarenas. Rumbo de la vista: S60°W.

Expresiones Geomorfológicas: Este tramo exhibe la mayor concentración de evidencias geomorfológicas de fallamiento activo asociadas a la deformación transcurrente-normal generada por la Falla Guarenas. Entre éstas tenemos:

- **Cuellos de falla** localizadas al este Guacarapa y al sur de Nueva Casarapa.
- **Crestas desplazadas** de forma dextral-normal en las estribaciones correspondientes al flanco norte de la fila de Cecilia (Asociación Metasedimentaria Caracas), al sur de Nueva Casarapa.
- **Drenajes desplazados** al oeste de Casarapa y al noreste de la urbanización Trapichito.
- **Drenajes suspendidos** al norte y oeste de la urbanización Trapichito.

- **Facetas triangulares** con buzamiento al norte, al sur de Nueva Casarapa
- **Bermas** al sur de Guarenas, Oropeza Castillo y Nueva Casarapa, en las estribaciones del flanco norte de los Altos de Mariche.

Fallamiento Secundario: La franja norte, entre Guacarapa y la Ciudad de Los Muchachos, donde se ubican las rocas calcáreas de la Formación Guatire y unidades morfoestratigráficas Q_3 y Q_2 que se hallan en estas localidades, muestran fallamiento secundario con orientaciones paralelas a la traza de falla principal sur, mostrando un patrón en forma de cola de caballo. Este fallamiento genera al noroeste de Casarapa el desplazamiento de drenajes, de unidades morfoestratigráficas Q_3 y drenajes suspendidos.

Evidencias de actividad: Al sureste de Guarenas, en la urbanización Copacabana se observa la Falla de Guarenas en afloramiento, deformando a sedimentos de la Formación Guatire. Al noroeste de Casarapa se interpretaron en fotografías aéreas drenajes y unidades morfoestratigráficas Q_2 desplazadas en dos localidades: la primera al oeste de Casarapa desplazada 250 m de forma dextral, y la segunda muestra aprox. 285 m de desplazamiento también de forma dextral, al noreste de la urbanización Trapichito.

Además se observan unidades morfoestratigráficas Q_3 y Q_2 deformadas por fallamiento secundario paralelo a la Falla Guarenas en las localidades de Guarenas, Oropeza Castillo, Trapichito, Copacabana, Casarapa, Nueva Casarapa y Ciudad de Los Muchachos. Otra evidencia de la actividad de la Falla Guarenas, es la orientación que presentan las unidades morfoestratigráficas Q_{0c} (abanicos aluviales), con rumbos NE-SW, provocado por el desplazamiento dextral de la falla principal y de los sistemas de fallas secundarios, generando la rotación en sentido horario de los canales fluviales entallados sobre la Formación Guatire, en donde luego fueron depositados estos abanicos.

- **Tramo Ciudad De Los Muchachos-Los Pozos**

Ubicada entre la Ciudad de Los Muchachos, al este de Nueva Casarapa y el sector Los Pozos, al sur de Guatire, el tramo de falla muestra una longitud 4,810 km, rumbo promedio $N80^{\circ}W \pm 2^{\circ}$ y una inclinación promedio con buzamientos altos hacia el norte. Ésta corresponde además a una discordancia entre el relleno sedimentario compuesto por Formación Guatire y las unidades morfoestratigráficas Q_2 , Q_{1a} , Q_{0c} y Q_{0a} (rampas, abanicos aluviales y la vega aluvial actual) con el flanco norte de los Altos de Mariche (Asociación Metasedimentaria Caracas), reflejado en el trazado rectilíneo que existe en el contacto entre las unidades litológicas (ver figura 5.24 y 5.28).



Figura 5.28. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre la Ciudad de Los Muchachos y Los Pozos. Se señala en rojo la traza de la Falla Guarenas. Rumbo de la vista: $S15^{\circ}W$.

Expresiones Geomorfológicas: Este tramo no presenta expresiones geomorfológicas que indiquen el sentido de movimiento, sin embargo, si muestra indicios de fallamiento transcurrente con una componente vertical importante, expuesto por las siguientes expresiones geomorfológicas:

- Una **depresión de borde de cuenca** fallada se genera a lo largo de todo el tramo, paralelo al trazado de la falla, entallada por del río Guarenas sobre los depósitos sedimentarios de la Formación Guatire recostados sobre el borde sur de la cuenca

sedimentaria. El entallamiento de este drenaje expuso las cuestas de buzamiento con inmersiones al norte, localizadas al norte de este tramo de falla principal, en la urbanización El Marqués y La Sabana (ver figura 5.29).



Figura 5.29. Se subraya el perfil convexo de las estribaciones montañosas, evidenciando escarpes de falla degradados. El valle del río Guarenas conforma la depresión de borde de cuenca, pegada a los contrafuertes montañosos de Los Altos de Mariche. Rumbo de la vista: E-W (Fotografía cortesía de Andre Singer, 1970).

- **Escarpes de falla** afacetados polipulso, degradados, entre Auyarito y La Candelaria con exposición hacia el norte, constituyen una de las evidencias de movimientos verticales sucesivos (ver figura 5.30).



Figura 5.30. Escarpes de falla con facetas triangulares que señalan la traza de la falla de Guarenas, vista hacia el sur de la cuenca.

Fallamiento Secundario: Al norte del tramo de falla principal sur, se observan en fotografías aéreas fallamiento secundario inferido con orientación NW-SE, cortando en distintas localidades de la urbanización La Sabana, a la Formación Guatire. En Auyarito, las unidades morfoestratigráficas Q_2 , además de estar deformadas por la falla principal, son deformadas por segmentos de fallas secundarias que confluyen con la estructura principal en ese sector.

Evidencias de Actividad: En el sector de Auyarito se observan las unidades morfoestratigráficas Q_2 (rampas) deformadas por acción directa del tramo de falla principal. Al sur de Guatire, en distintas localidades de la urbanización La Sabana, se observa fallamiento secundario cortando a sedimentos lacustres de la Formación Guatire.

- Tramo Los Pozos-El Tamarindo

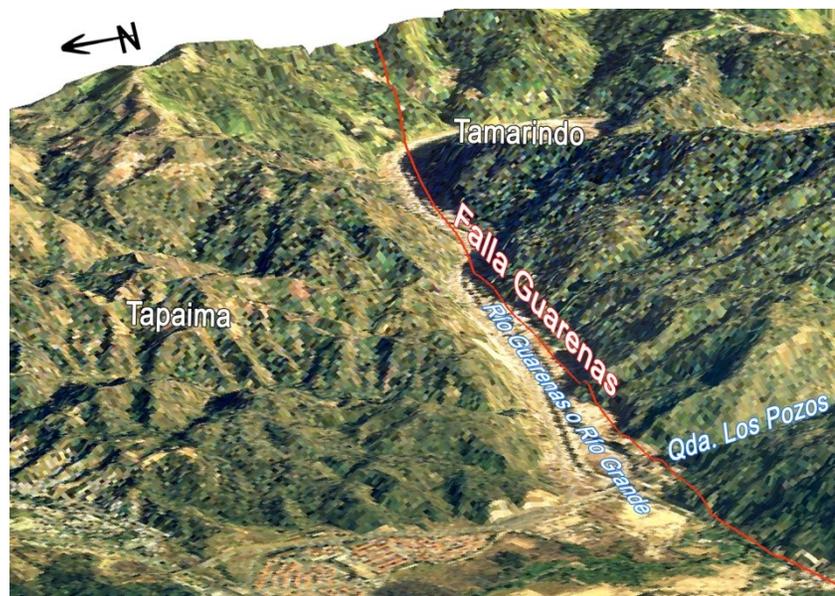


Figura 5.31. Modelo de elevación digital con vista angular del tramo comprendido entre Los Pozos y El Tamarindo. Se señala en rojo la traza de la Falla Guarenas. Rumbo de la vista: $S70^{\circ}W$.

Ubicado en la parte oriental de la falla Guarenas, entre el sector Los Pozos y El Tamarindo, se extiende con una longitud de 5,0 km, rumbo promedio: $N61^{\circ}W \pm 2^{\circ}$, y una inclinación promedio con buzamiento alto hacia el norte. En cuanto al tipo de

fallamiento, ésta señala un comportamiento transcurrente, evidenciado por la morfología de valle de falla que ésta genera al cortar las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas (ver figura 5.24 y 5.31).

Expresiones Geomorfológicas: Las expresiones geomorfológicas que se observan en el tramo caracterizan a estructuras con movimientos horizontales y verticales, siendo estas representadas por las siguientes morfoestructuras:

- **Valle de falla** localizado entre el sector Los Pozos y El Tamarindo, generado sobre la Asociación Metasedimentaria Caracas, con orientación N61°W (ver figura 5.32).



Figura 5.32. Vista hacia el sureste de la cuenca donde se aprecia un valle de falla que revela el trazado de la falla Guarenas.

- **Escarpes de falla degradados** en el flanco noreste de los Altos de Mariche con exposición al norte entre Los Pozos y El Tamarindo.
- **Bermas** en la parte baja de la Quebrada Los Pozos evidencian la componente vertical que presenta este tramo de falla.

Fallamiento Secundario: Al norte, en el Topo Torres y en Lomas de Carrizal, se observan fallas secundarias paralelas al tramo principal de la falla Guarenas que cortan a las rocas de la Asociación Metasedimentaria Ávila, donde es posible identificar Cuellos

de falla, Bermas y Drenajes Lineales. En las localidades de Tapaima, El Rodeo y Care, sedimentos de la Formación Guatire y unidades morfoestratigráficas Q₃ se encuentran deformados por este sistema de fallas secundarias paralelas a la Falla Guarenas (ver figura 5.32).

Evidencias de actividad: La observación en fotografías aéreas de una garganta y una difluencia entalladas sobre la Formación Guatire al norte de El Rodeo, se puede asociar a la deformación generada por la Falla Guarenas al sur, la Falla El Ávila al norte y el fallamiento secundario que segmenta las rocas de la Formación Guatire y el basamento metamórficos, provocado por la interacción de estos segmentos de fallas principales. Al noroeste de Care las unidades morfoestratigráficas Q₃ se encuentran deformadas por la acción del fallamiento secundario relacionado al tramo de falla principal sur.

Tabla 5.4. Resumen de las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo en la sección de falla Guarenas.

Nombre del tramo de falla		Tramo Los Mangos-Guacarapa	Tramo Guacarapa-Ciudad de Los Muchachos	Tramos Ciudad de Los Muchachos-Los Pozos	Tramo Los Pozos-El Tamarindo
Extensión		6,500 km	5,000 km	4,810 km	5,000 km
Rumbo Promedio Buzamiento		S 78°E ± 2° Buzamiento alto al norte	S 81°E ± 2° Buzamiento alto al norte	S 80°E ± 2° Buzamiento alto al norte	S 61°E ± 2° Buzamiento alto al norte
Tipo de Fallamiento		Transcurrente con una componente normal levemente marcada.	Transcurrente dextral con una componente normal altamente marcada.	Transcurrente con una componente normal altamente marcada.	Transcurrente con una componente normal moderadamente marcada.
Rocas Deformadas	Directo	- Asociación Metasedimentaria Caracas	- Asociación Metasedimentaria Caracas - Formación Guatire - Unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂	- Asociación Metasedimentaria Caracas - Unidad morfoestratigráfica Q ₂	- Asociación Metasedimentaria Caracas
	Indirecto	- Formación Guatire	- Formación Guatire - Unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂	- Formación Guatire	- Formación Guatire
Expresiones Geomorfológicas		- Cuellos de falla	- Cuellos de falla - Crestas desplazadas - Facetas triangulares - Bermas - Drenajes suspendidos - Drenajes desplazados	- Escarpe de línea de falla - Facetas triangulares degradadas	- Valle de falla - Bermas
Fallamiento Secundario		- Fallamiento paralelo a la falla Guarenas cortando a las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas al sur de Lomas del Cercado.	- La Formación Guatire y unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂ se hallan falladas con orientaciones paralelas a la traza de falla principal sur, en la parte suroeste de la cuenca, mostrando un patrón en forma de cola de caballo.	- El fallamiento secundario se observa al norte de este tramo de falla, correspondiente a deformación intracuenca, apreciable en la urbanización La Sabana, al sur de Guatire, donde los sedimentos lacustrinos de la Formación Guatire se encuentran fallados.	- Se observan fallas secundarias cortando a las rocas de la Asociación Metasedimentaria Ávila, en el Topo Torres y en Lomas de Carrizal, donde es posible identificar Cuellos de falla, Bermas y Drenajes Lineales. - En Tapaima, El Rodeo y Care, sedimentos de la Formación Guatire y unidades morfoestratigráficas Q ₃ se encuentran deformados por este sistema de fallas
Evidencias de Actividad		- Se observan hacia el noreste del tramo de falla evidencias de deformación en sobre la Formación Guatire y unidades morfoestratigráficas Q ₃ .	- Formación Guatire fallada por la Falla Guarenas en Copacabana, al sur de Guarenas - Unidades morfoestratigráficas Q ₂ desplazados 285 m al suroeste de Casarapa y 250 m al noreste de Trapichito (Evidencia indirecta) - Unidades morfoestratigráficas Q ₃ y Q ₂ deformadas por fallamiento secundario generado por la Falla Guarenas en las localidades de Guarenas, Oropeza Castillo, Trapichito, Copacabana, Nueva Casarapa y Ciudad de Los Muchachos. (Evidencia indirecta)	- Unidades morfoestratigráficas Q ₂ (rampas) deformadas por acción directa del tramo de falla principal en Auyarito. - En la urbanización La Sabana se observa fallamiento secundario cortando a sedimentos lacustres de la Formación Guatire.	- No se observan evidencias directas o indirectas asociadas a la actividad tectónica de este tramo de falla.

5.2.2.4. Otras evidencias de actividad de las fallas que delimitan a la cuenca

Podemos mencionar las siguientes evidencias:

- Cuestas de buzamiento de sedimentos de la Formación Guatire localizadas al norte en el sector El Ingenio, así como al sur en el sector El Marqués, con buzamientos sur y norte respectivamente, son posible consecuencia del arrastre tectónico provocado por las fallas que definen los márgenes de la cuenca o por el levantamiento diferencial de los bloques metamórficos norte y sur (ver anexo 4, figura 5.14).
- La envolvente topográfica curvada de las unidades morfoestratigráficas Q₃ localizadas al suroeste de la cuenca, entre Guarenas y la urbanización Trapichito, parece indicar la existencia de una compresión sobre el relleno sedimentario, generada por el estilo de deformación transcurrente dextral que impera en la región, donde el bloque metamórfico correspondiente al Cerro Santa Cruz comprime a la cuña de relleno representada por los depósitos sedimentarios cementados de la Formación Guatire contra el bloque metamórfico constituido por el flanco norte de los Altos de Mariche, produciendo el plegamiento tanto del relleno como de las unidades morfoestratigráficas Q₃ (ver figura 5.33).



Figura 5.33. Vista de la ciudad de Guarenas hacia el ESE, donde se señala en negro la envolvente topográfica flexurada.

- El buzamiento elevado de 65° en algunos de los estratos de la Formación Guatire, medido en el borde sur de la cuenca en la mesoestación 01, es consecuencia de movimientos tectónicos superpuestos de basculamiento.

5.3. OBSERVACIONES ESTRUCTURALES

A partir del análisis geomorfológico se evidencia la existencia de las siguientes estructuras:

5.3.1. Fallas principales

Con orientación WNW-ESE son las principales estructuras de deformación de la cuenca, se caracterizan por un movimiento transcurrente dextral.

- Falla Ávila: Coloca en contacto tectónico a dos bloques metamórficos al norte la Super-asociación Ávila, al sur la Asociación Metasedimentaria Caracas, presenta evidencias de movimientos transcurrentes dextrales con componente normal. El bloque metamórfico deprimido sur es el basamento de la cuenca, por lo que la falla ejerce una influencia disipada sobre el relleno sedimentario a través de dicho bloque.
- Falla Guarenas: pone en contacto al relleno sedimentario con el bloque metamórfico sur, presenta evidencias geomorfológicas de fallamiento transcurrente dextral reciente (cuaternario), pero el marcado escarpe que se observa en el Macizo de los Altos, de hasta 400 m de desnivel con respecto a la planicie aluvial actual, es una evidencia de que la falla presentó en algún momento de su historia una componente vertical marcada previa a la fase transcurrente actual.

5.3.2. Fallas secundarias

Son sistemas que se derivan a partir de las fallas principales, en la mayoría de los casos no se encontraron evidencias que determinen su dinámica.

- Sistema de Fallas WNW-ESE: estas fallas cortan al relleno sedimentario y al bloque metamórfico encerrado entre las fallas principales. Por su geometría con respecto a las fallas principales parecieran ser riedels sintéticos de estas, según el modelo de WILCOX (1973). Hacia el sureste de la cuenca, al sur de El Marques, se estableció para una de las fallas que corta al relleno sedimentario movimiento de tipo transcurrente dextral.
- Sistema de Fallas NE-SW: se ubican en la zona septentrional de la región de estudio, afecta a los sedimentos y al basamento metamórfico, estas forman las terminaciones de algunas de las fallas con orientación WNW-ESE, pudieran representar fallas especulares P del sistema transcurrente.

5.3.3. Pliegues

- En el poblado de Guarenas en la esquina suroeste de la cuenca, las rampas piemontinas definen una serie de anticlinales, cuyo eje principal está orientado $N75^{\circ}W \pm 5^{\circ}$, pseudoparalelo a la orientación de la Falla Guarenas.
- Los buzamientos centrípetos observados en los márgenes de la cuenca indican la presencia de un sinclinal amplio, cuyo eje se encuentra hacia el centro de la cuenca orientado en dirección ENE-WSW.

5.4. OBSERVACIONES MESOTECTÓNICAS

Se realizaron 46 mediciones de actitud de fallamiento sobre rocas sedimentarias de la Formación Guatire, distribuidas en 5 estaciones mesotectónicas a lo largo de la cuenca Guarenas-Guatire correspondientes a deformaciones internas y de borde de cuenca (ver figura 5.34).

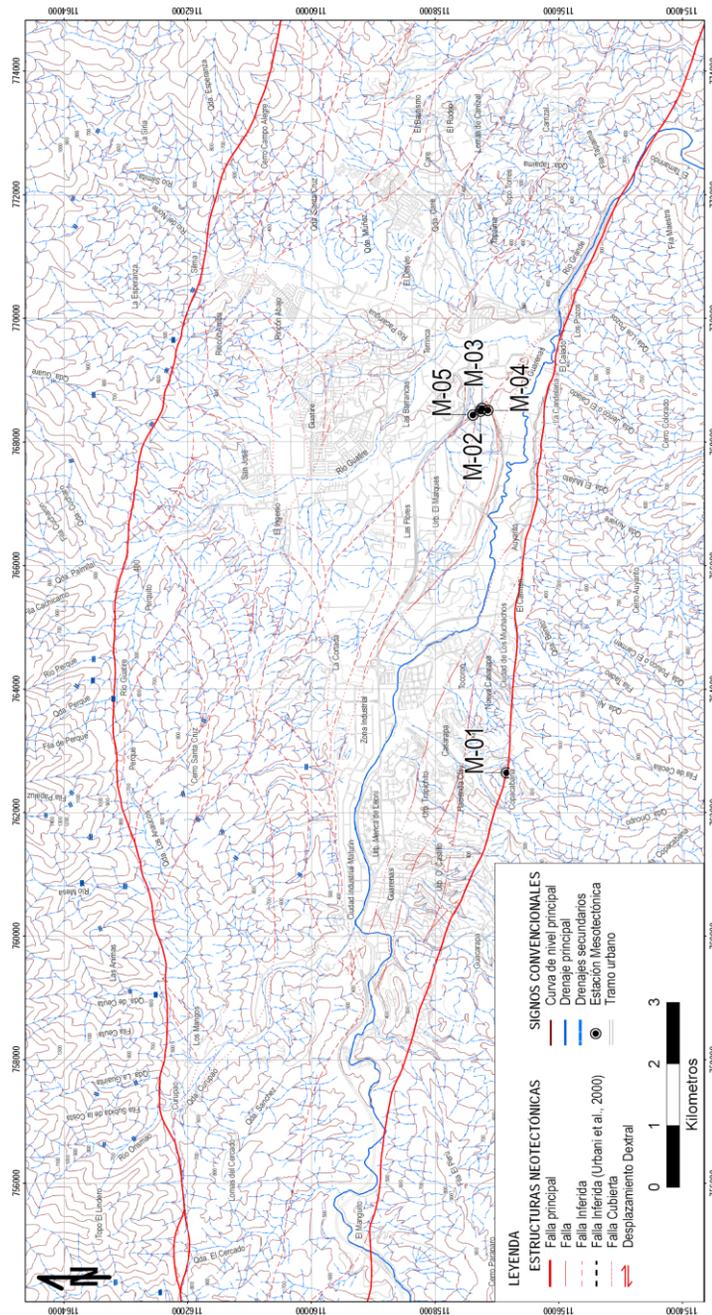


Figura 5.34. Mapa de ubicación de las estaciones mesotectónicas de la cuenca Guarenas-Guatire.

Para el análisis de las poblaciones de fallas se utilizaron sólo las fallas que presentaron evidencias cinemáticas o desplazamiento, tales como facetas escalonadas, intercrecimiento de cristales, elementos estriadores, superficies pulidas-no pulidas, entre otros criterios, a fin de poder establecer el estilo de dinámico que presenta el fallamiento dentro de la cuenca.

5.4.1. Estación Mesotectónica M-01: Copacabana

Ubicación: la estación se localiza dentro de la urbanización Copacabana, en el municipio Plaza, al sur de Guarenas. Esta fue levantada en la parte posterior de la urbanización en un talud de corte orientación N05°E, sobre la traza de la falla Guarenas (ver figuras 5.34).

Descripción Litológica: la secuencia sedimentaria está conformada por tres paquetes litológicos, de acuerdo a su granulometría y diferencias en la orientación de los planos estratigráficos. Se corresponden a depósitos de ambientes fluviales, cuya base está discordante sobre el Esquisto Las Mercedes (ver figuras 5.35 a 5.37):



Figura. 5.35. Estación mesotectónica M-01. En el Afloramiento con dirección N05°E se señalan en rojo los planos de falla observados. En la parte izquierda de la imagen se aprecia el doblez que sufre la estratificación a causa de la Falla Guarenas.

- Secuencia arrítmica de conglomerados y lutitas. Dentro del paquete se diferencian a su vez dos secuencias. La secuencia basal está constituida por conglomerados de matriz arenosa-calcárea cementada de color gris-lila, con abundantes cantos subangulosos-subredondeados de cuarzo, esquisto, gneiss y fragmentos de roca de hasta 30 cm, meteoriza a tonos abigarrados; y una lutita de

color marrón rojizo. Cortando a estos estratos se observan depósitos de canal, constituidos por conglomerados de cantos subangulosos-subredondeados, fracturados, de gneiss, esquisto, cuarzo y fragmentos de roca ≤ 30 cm, con matriz limo-arenosa de color gris, disminuye su granulometría de base a tope. En total este paquete tiene aproximadamente 11 m de espesor.

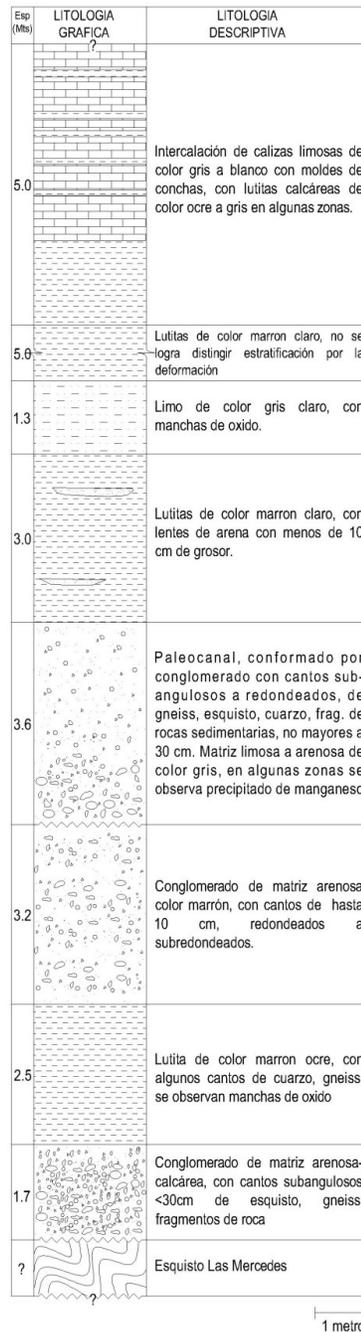


Figura 5.36. Columna estratigráfica de la estación M-01 (escala deformada).

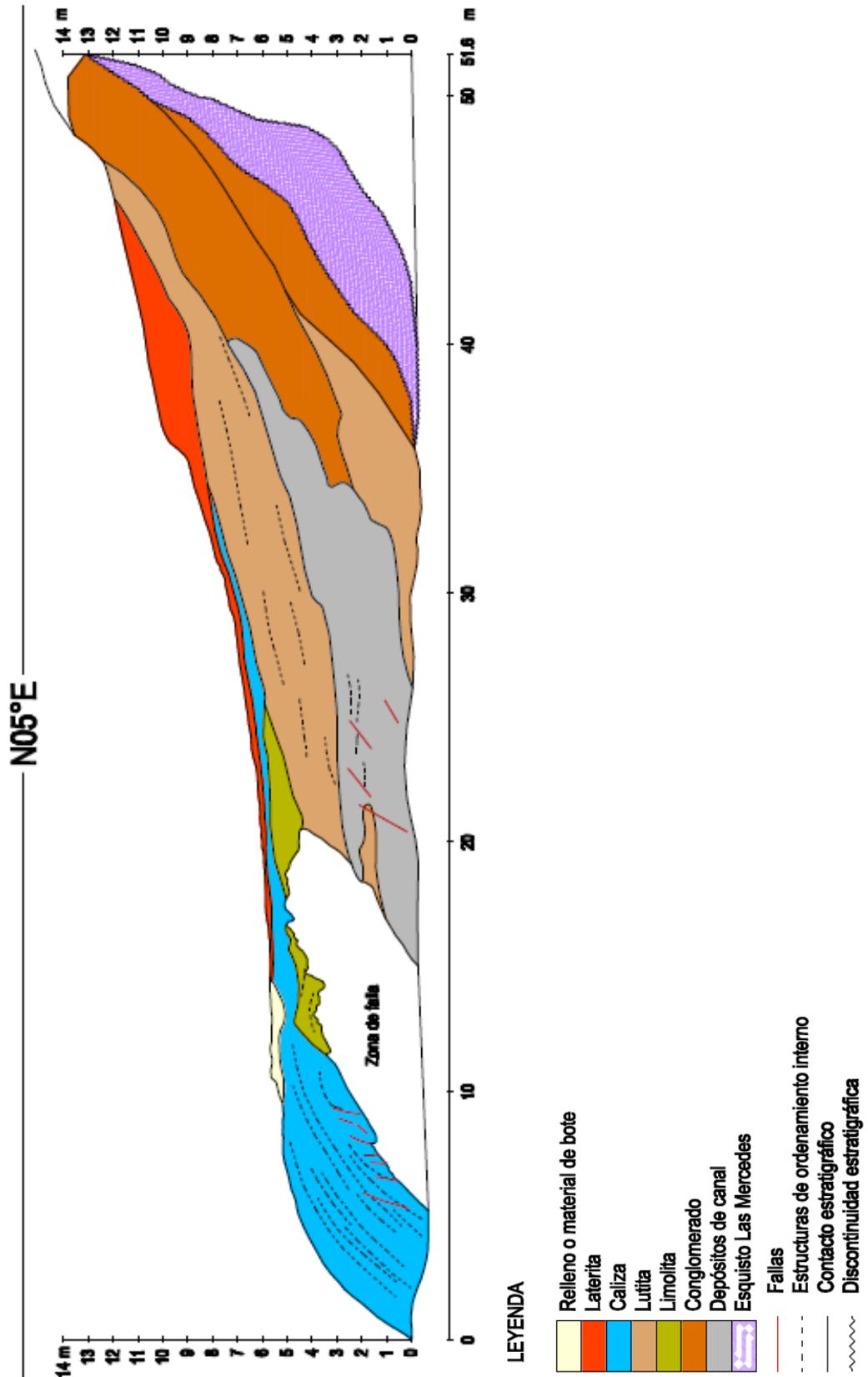


Figura 5.37. Corte simplificado de la mesoestación M-01: Copacabana.

- Lutitas y limos con lentes de arenisca: continúa sobre los depósitos de canal siguiendo con la misma estratificación que este, N20°E 4°N. La lutita es de color ocre de 3m de espesor con lentes de arena delgados. La sigue un limo cubierto, de color gris claro. Siguiendo la secuencia hacia el norte, hay una zona de 5 m de arcilla y litología sin diferenciar, en donde se pierde la estratificación, y separa a la sección sur cuyo límite es el 2do paquete, de la sección norte, descrita a continuación.
- Secuencia de calizas y lutitas: Esta se encuentra hacia el norte del afloramiento, muy basculada con una estratificación de N68°W 65°N, formando una intercalación arritmica de 5 m de espesor, de lutitas calcáreas color ocre y calizas fosilíferas de color gris a ocre, afaníticas, ambas de grosor variable a lo largo de la secuencia desde 30 cm a 2 m, la secuencia inicia con una lutita muy fracturada donde se tomaron datos para la mesoestación. En el tope de una de las capas de caliza se obtuvo una muestra con moldes de fósiles (ver figuras 5.38).

Fósiles: Se encontraron moldes fósiles de gasterópodos sin diagnosticar en el tope de uno de los estratos de caliza (ver figura 5.38).



Figura 5.38. Moldes de gasterópodos encontrados en la estación M-01 en Copacabana.

Mediciones: Las mediciones se obtuvieron en un talud de orientación N 05°E, dentro de una zona de deformación de aproximadamente unos 20 m de ancho, donde las fallas se presentaban subparalelas a la secuencia sedimentaria hacia la parte norte de la secuencia.

En la tabla 5.5 se muestran las mediciones tomadas y en la figura 5.39 la representación estereográfica de las mismas. Se observan dos direcciones preferenciales de los planos de falla: una casi E-W y la otra NNE-SSW.

Tabla 5.5. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-01

N° de Falla	Orientación		Pitch	Movimiento de la Falla
	Rumbo	Buzamiento		
F01	N 80°E	60°N	75°N	Inverso
F02	N 85°E	65°N	75°N	Dextral
F03	N 80°W	85°N	20°N	Dextral
F04	N 30°W	78°N	40°N	Dextral
F05	N 80°E	80°N	72°N	Inverso
F06	E-W	75°N	45°N	Inverso
F07	N 85°W	68°N	21°N	Dextral
F08	N 68°W	74°N	20°N	Dextral
F09	E-W	60°S	12°N	Dextral
F10	N 85°E	60°N	40°N	Dextral
F11	N 15°E	60°N	20°N	Sinistral
F12	N 20°W	73°S	10°N	Dextral
F13	N 30°E	55°N	04°N	Sinistral
F14	N 75°W	78°N	06°W	Dextral
F15	N 15°E	60°N	55°N	Sinistral
F16	N-S	67°W	34°N	Dextral
F17	N 05°E	65°W	10°S	Sinistral
F18	N 70°E	63°S	40°W	Inverso

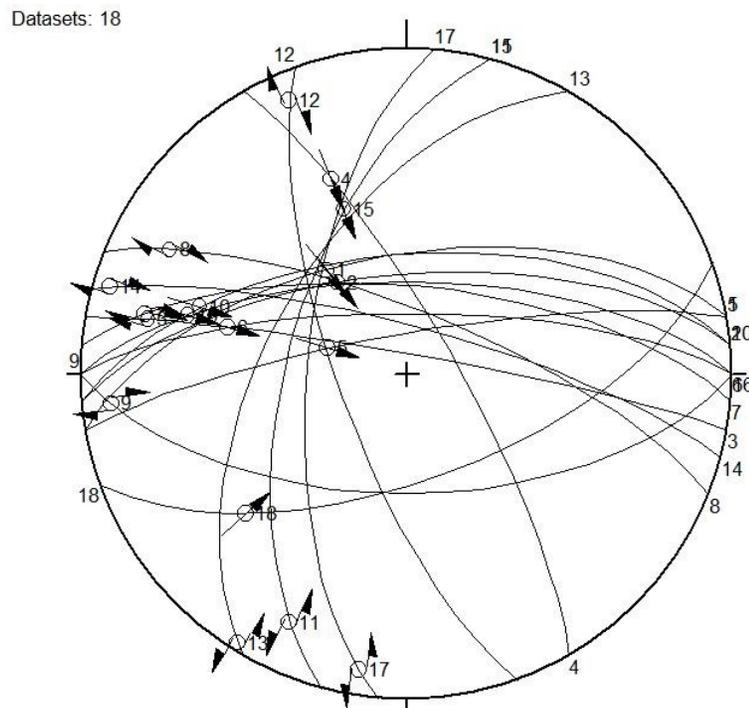


Figura 5.39. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-01.

Observaciones: Se realizaron unas mediciones en lutitas y otras en una capa de caliza. En los paquetes de lutitas ubicados entre las capas de calizas se observaron patrones sigmoidales en el estilo de deformación intracapa (Ver figura 5.40A). El paquete de lutitas sin estratificación constituye la zona de mayor deformación, generado por la actividad de la traza de la Falla de Guarenas. La flexura que sufre la estratificación en la sección norte de la secuencia es indicativa de una zona de deformación de importancia. Entre las evidencias microtectónicas de fallamiento se observaron los criterios pulido-no pulido, facetas escalonadas, recristalización de minerales, entre otras (ver figura 4.41) Esta mesoestación está cercana al punto de levantamiento 13 realizado por Picard (1973), donde igualmente reporta la presencia de una caliza fosilífera con gasterópodos de ambientes fluvio-lacustres.

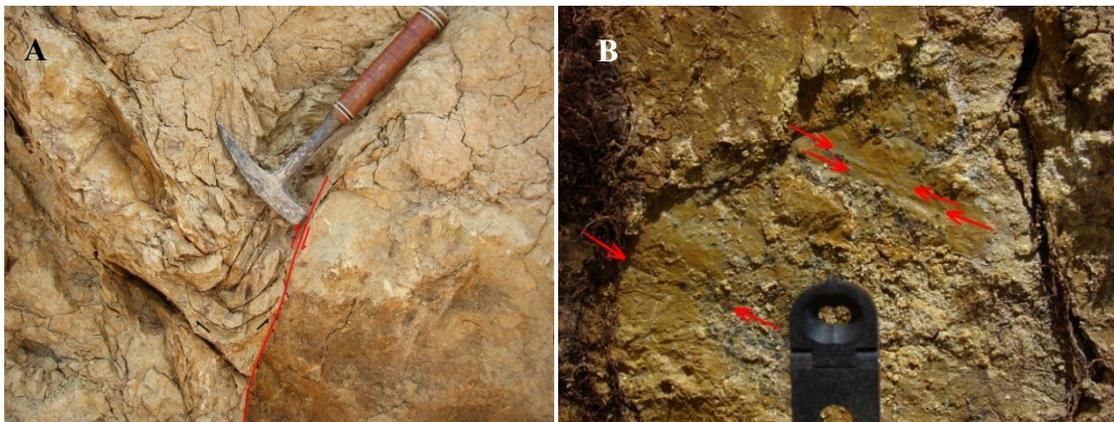


Figura 5.40. A) Pliegue intracapa en lutita. B) Detalle de uno de los planos medidos, donde se señalan las direcciones de las estrías.



Figura 5.41. En la imagen de la izquierda se observa intercrecimiento de cristales (encerrado en el círculo rojo) además de las estrías, cuya dirección se señala con las flechas rojas. En la imagen de la derecha se aprecian estrías en caliza.

5.4.2. Estación Mesotectónica M-02: La Sabana 1

Ubicación: Esta estación, al igual que las próximas tres estaciones mesotectónicas se localizan en el desarrollo urbanístico Parque Residencial La Sabana, al sur del sector Las Barrancas, ubicado al sur de Guatire, muy cerca a la zona de deformación generada por la Falla de Guarenas. Esta estación se encuentra al noreste de la urbanización, y corresponde al talud este que existe entre las terrazas que se elaboraron para la construcción de edificios residenciales (ver figura 5.34).



Figura 5.42. Sección estratigráfica de la mesoestación M-02, donde se aprecia la secuencia lacustre de la Formación Guatire.

Descripción Litológica: Esta secuencia de unos 10 m de altura se compone de una intercalación rítmica de laminaciones entre los 5 y 15 cm de arenas finas con limos arcillosos y limos orgánicos. La arena se presenta de color marrón pardo y el limo de color gris. El limo orgánico muestra colores oscuros, entre el negro y el marrón, indicativo de una sedimentación de ambiente lacustre con cierta influencia fluvial periódica, señalada por la presencia de las capas de arenas. En la transición entre las litologías se observa la precipitación de capas delgadas de óxido que no superan los 0,5 cm. El rumbo de la estratificación es de orientación N50°E15°N (ver figuras 5.42 a 5.44).



Figura 5.43. A) Detalle de un plano de falla medido en la estación en el cual se señala la orientación aproximada de la estría. B) Intercalaciones rítmicas compuesto por laminaciones paralelas con depósitos lacustres.

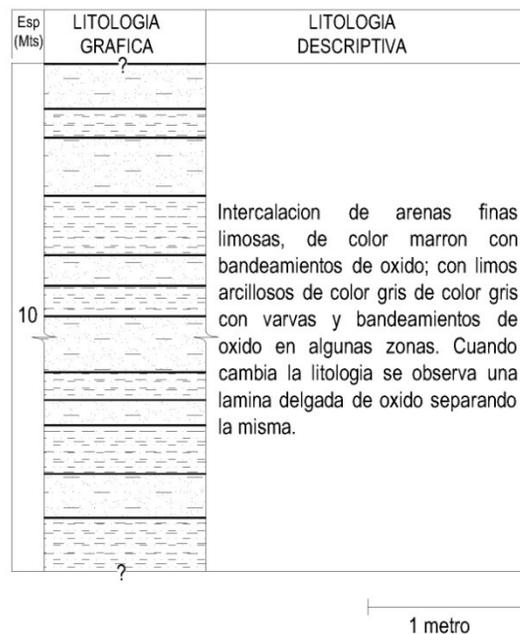


Figura 5.44. Columna estratigráfica de la estación M-02 (escala deformada).

Mediciones: Se realizaron un total de 8 mediciones, obteniéndose dos direcciones preferenciales: NNE y NNW. Dependiendo de la litología se consiguió en ocasiones definir bien los planos con indicadores de movimiento, principalmente sobre la litología más fina. Los datos levantados en la estación pueden observar en la tabla 5.6 y en la figura 5.45.

Tabla 5.6. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-02.

Falla	Orientación		Pitch	Movimiento de la Falla
	Rumbo	Buzamiento		
F1	N 50°E	80°N	07°N	Sinistral
F2	N 32°E	85°N	12°N	Sinistral
F3	N 30°W	84°S	15°N	Dextral
F4	N 40°E	77°N	14°N	Sinistral
F5	N 20°W	84°S	20°N	Sinistral
F6	N 24°W	76°S	15°N	Dextral
F7	N 17°E	80°S	07°N	Sinistral
F8	N 20°E	89°S	15°N	Sinistral

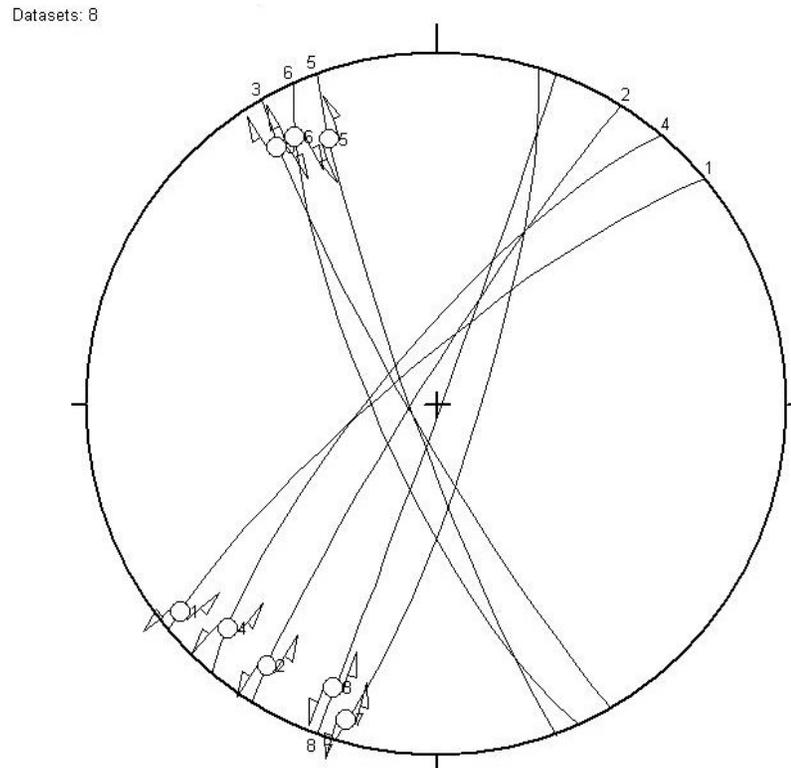


Figura 5.45. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-02.

5.4.3. Estación Mesotectónica M-03: La Sabana 2

Ubicación: Ubicada a las afueras de la urbanización, constituye el talud lindero noreste de la urbanización, orientado N25°W. Este se encuentra a un nivel de altura inferior que la mesoestación anterior (Ver figura 5.34).

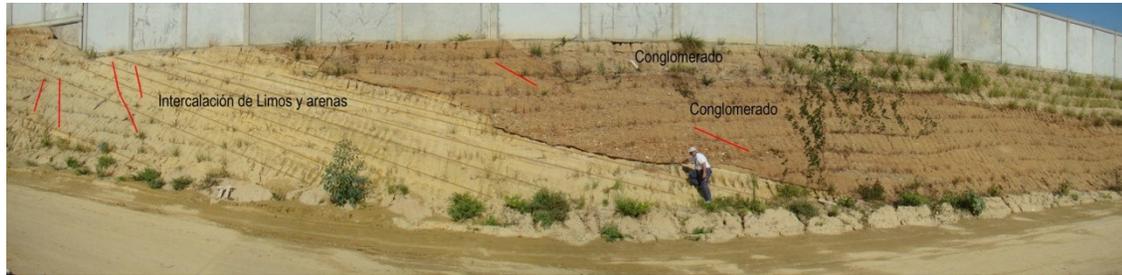


Figura 5.46. Sección estratigráfica de la estación mesotectónica M-03. En rojo se señalan algunas de las fallas estudiadas.

Descripción Litológica: Se distinguen dos paquetes estratigráficos bien definidos. El primer paquete corresponde al mismo tipo litológico encontrado en la estación M-02 (La Sabana 1), la cual constituye la secuencia infrayacente, compuesta por una intercalación de arenas y limos de ambientes lacustres con influencia fluvial (ver figura 5.46). El segundo paquete se corresponde a una secuencia con mayor cantidad de clastos, discordante sobre el paquete anterior, y está representada por dos secuencias conglomeráticas. La primera secuencia, hacia la base, es una intercalación de gravas con arenas, compuesta de cantos de esquisto, gneiss, y cuarzos no mayores a 10 cm, con influencia fluvial. Le sigue por encima otra intercalación de capas de grava, constituidas por cantos de limos calcáreos y limos soportados por una matriz limosa, que representan antiguos flujos de detritos provenientes del retrabajo sufrido en la unidad subyacente. En el primer paquete estratigráfico se aprecian estructuras sinsedimentarias de deformación tipo slump (Figura 5.42), además del fallamiento postsedimentario. Se observa deformación frágil a lo largo de la secuencia completa, aunque en general la deformación se concentra hacia el sur del talud, especialmente en el primer paquete estratigráfico (ver figura 5.47 a 5.49).



Figura 5.47. Parte de la sección estratigráfica de la estación mesotectónica M-03 donde se aprecia deformación tipo slump.

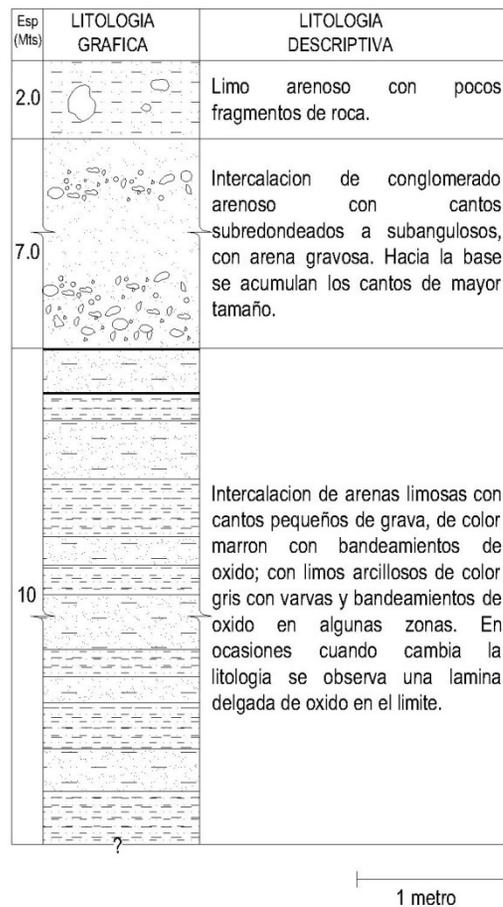


Figura 5.48. Columna estratigráfica de la estación M-03 (escala deformada).

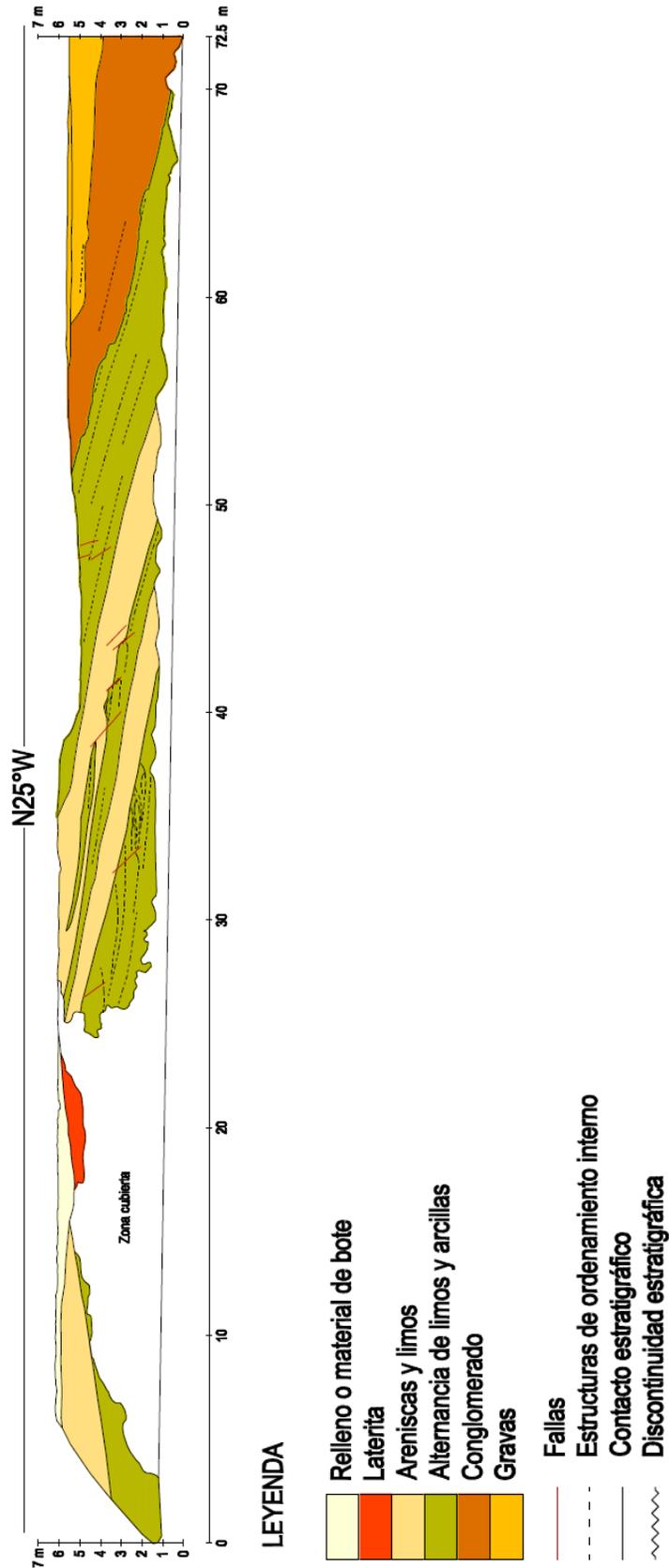


Figura 5.49. Corte simplificado de la mesoestación M-03: La Sabana 2.

Mediciones: Se observa una tendencia NNE con buzamiento alto al norte en casi todos los casos, mostrando estrías con pitch entre los 4° y 28° con inmersiones al norte y movimientos sinestrales (ver tabla 5.7 y figura 5.50).

Tabla 5.7. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-03.

Falla	Orientación		Pitch	Movimiento de la Falla
	Rumbo	Buzamiento		
F1	N 20°E	81°N	08°N	Sinistral
F2	N 15°E	81°N	10°N	Sinistral
F3	N 18°E	76°N	18°N	Sinistral
F4	N 23°E	86°N	04°N	Sinistral
F5	N 20°E	81°N	08°N	Sinistral
F6	N 19°E	88°N	05°N	Sinistral
F7	N 11°E	89°N	08°N	Sinistral
F8	N 16°E	86°N	06°N	Sinistral
F9	N 20°E	85°S	22°N	Sinistral
F10	N 20°E	86°N	28°N	Dextral

Datasets: 10

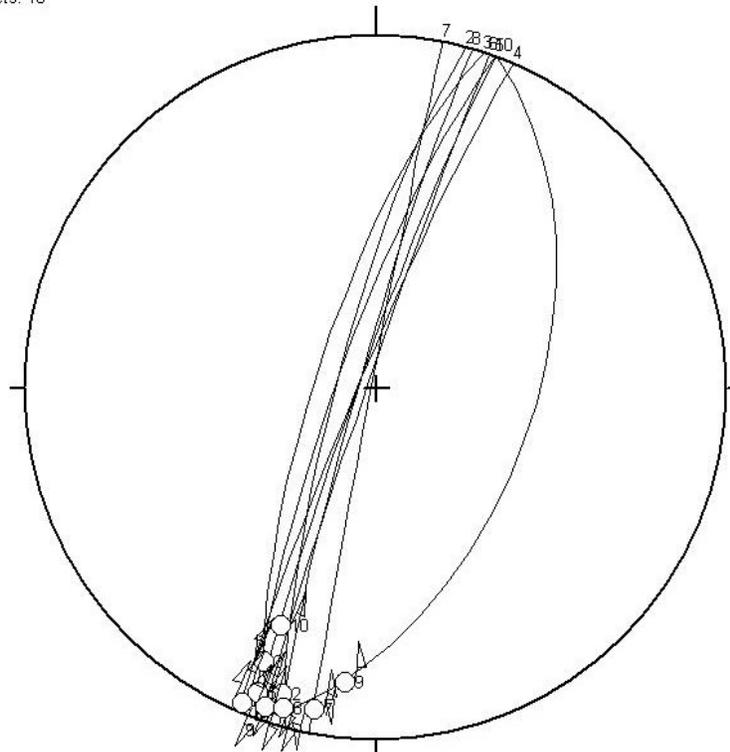


Figura 5.50. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-03.

Observaciones: Se identificó deformación tipo *slump* en la secuencia estratigráfica inferior, lo que evidencia actividad tectónica previa a la litificación de la secuencia sedimentaria (ver figura 5.51).

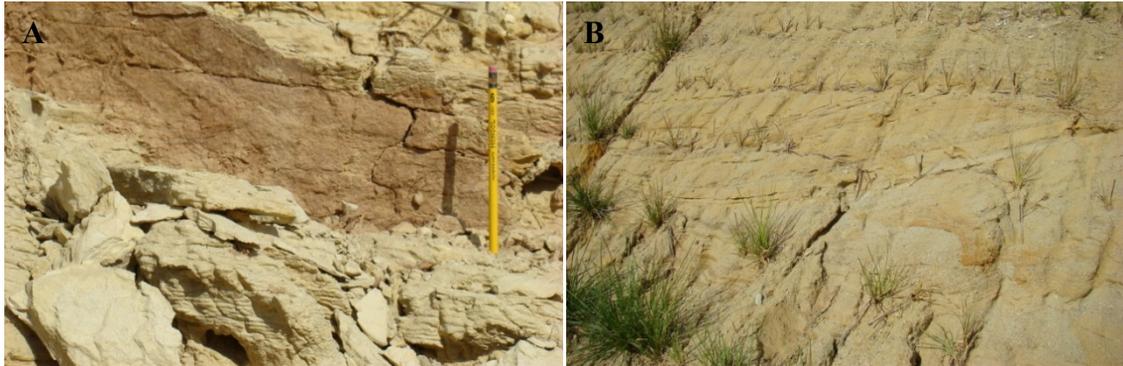


Figura 5.51. A) Detalle de un plano de falla medido en la estación M-03. B) Detalle de la deformación tipo “slump”.

5.4.4. Estación Mesotectónica M-04: La Sabana 3

Ubicación: Localizado al suroeste del afloramiento anterior, corresponde a un talud de corte orientado en dirección N80°E (ver figura 5.34).

Descripción Litológica: La sección estratigráfica está en un afloramiento de aproximadamente 14 m de altura, constituye una secuencia de granulometrías finas compuesta por tres paquetes litológicos. En la base, el primer paquete está compuesto por un limo arenoso de aproximadamente 2,4 m de color gris claro con bandeamientos de óxido. En el tope de esta primera secuencia se encuentra una capa de yeso de 2 cm de espesor. El segundo paquete corresponde a lutitas de 5 m de espesor de color marrón pardo, mostrando abundante material micáceo. Estas primeras secuencias muestran estratificación tipo “*slump*”. El último paquete lo constituye un limo grisáceo masivo de 7 m de espesor que rodea a un estrato de lutita de forma lenticular (ver figura 5.52 a 5.54).

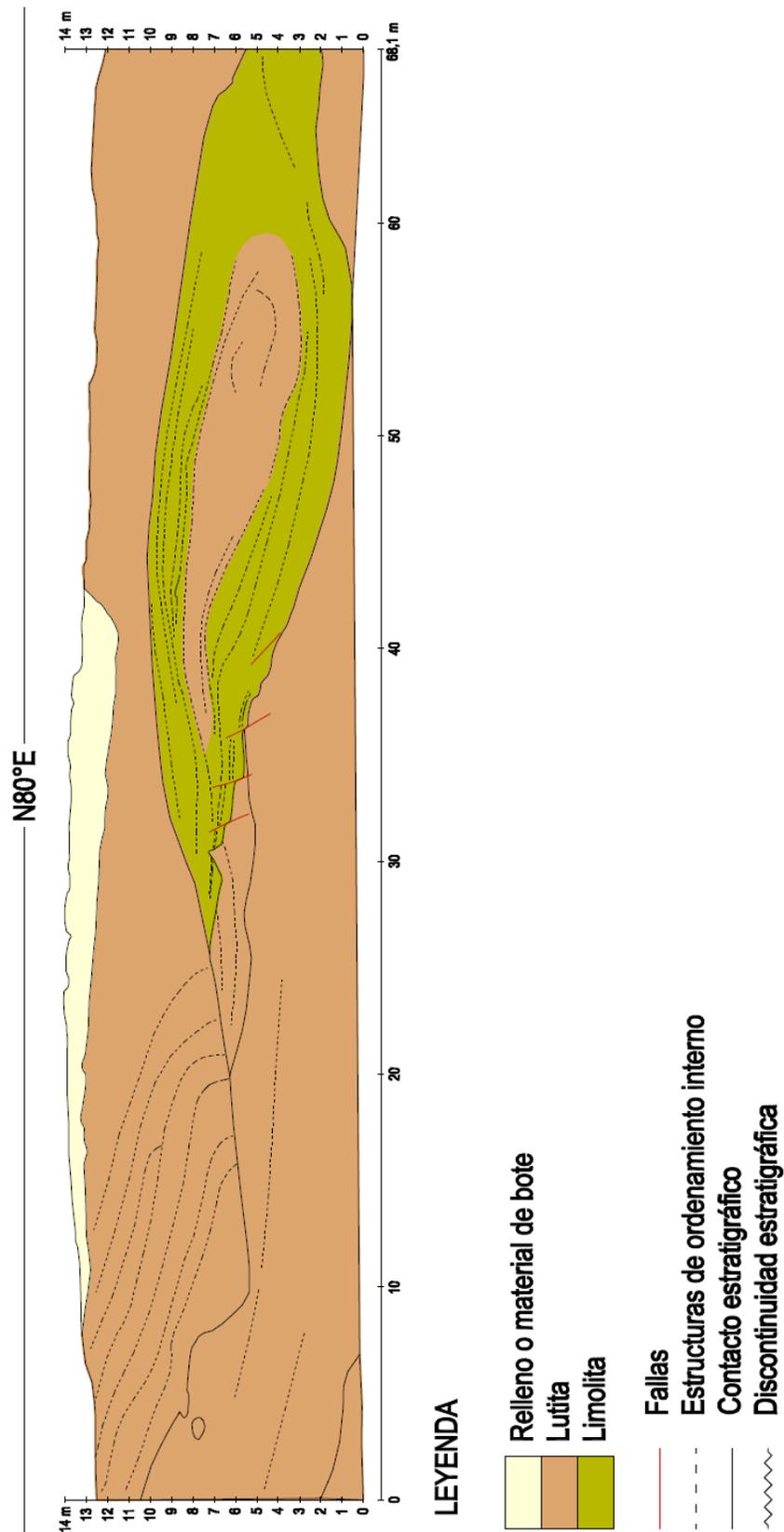


Figura 5.52. Corte simplificado de la mesoestación M-04: La Sabana 3.



Figura 5.53. Estación mesotectónica M-04.

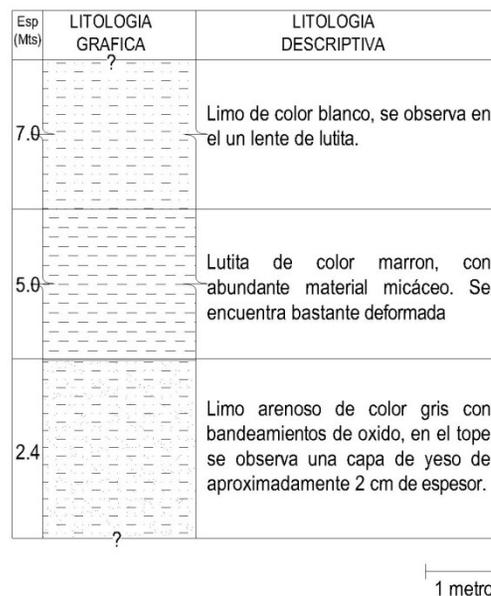


Figura 5.54. Columna estratigráfica de la estación M-04 (escala deformada).

Mediciones: Se observa a lo largo de las 2 primeras secuencias fallamiento, mostrando una tendencia en el rumbo NNW con buzamientos entre los 70° y 90° y pitch entre los 5° y 11° con inmersión al norte y movimiento de tipo dextral en su mayoría. Los planos de fallas se encuentran medianamente desarrollados. Se destaca la presencia de planos de ruptura generados por la deformación tipo *slump* la cual no está asociada al fallamiento local, sin embargo estas rupturas simulan a los planos de falla al mostrar pulidas las superficies de discontinuidad (ver tabla 5.8 y figura 5.55).

Tabla 5.8. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-04.

Falla	Orientación		Pitch	Movimiento de la Falla
	Rumbo	Buzamiento		
F1	N 20°W	80°N	05°S	Dextral
F2	N 16°W	74°N	10°N	Dextral
F3	N 18°W	72°S	11°N	Dextral
F4	N 16°W	80°S	11°N	Dextral
F5	N 10°W	87°N	07°N	Dextral
F6	N 55°E	76°N	06°N	Sinistral

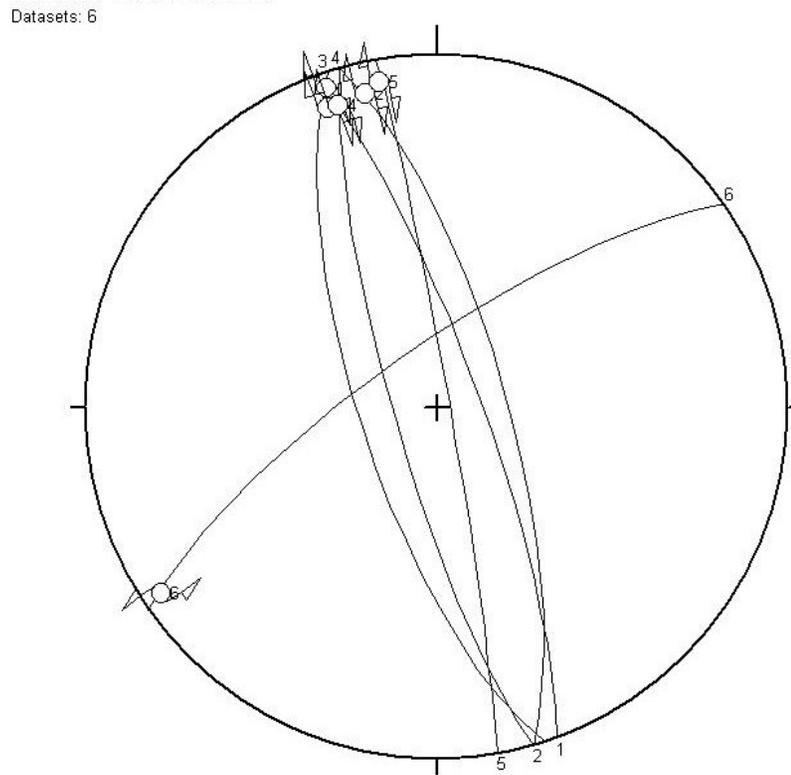


Figura 5.55. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-04.

Observaciones: Más que el fallamiento, la evidencia más clara de a escala mesotectónica es la deformación tipo *slump*, indicativo de actividad tectónica antes de la litificación de la secuencia sedimentaria (ver figura 5.56).



Figura 5.56. A) Detalle de un espejo de falla generado por un slump de gran escala, donde se distingue claramente la dirección del movimiento, señalado por las flechas rojas. B) Pliegue local en lutita.

5.4.5. Estación Mesotectónica M-05: La Sabana 4

Ubicación: Se encuentra ubicada en las afueras de la urbanización, al noroeste de la estación M-03, y pertenece a un talud orientado E-W que representa el lindero norte de la urbanización La Sabana (ver figura 5.34).

Descripción Litológica: Se compone de un masivo estrato de arena limosa de color ocre que no supera los 3 metros de altura, la cual muestra evidencias de meteorización en toda la capa, en forma de precipitaciones de óxido. Este se encuentra estratigráficamente por encima de los limos observados en las estaciones previas (ver figura 5.57 y 5.58).

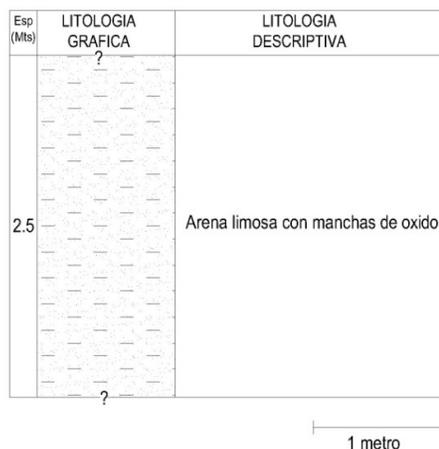


Figura 5.57. Columna estratigráfica de la estación M-05 (escala deformada).



Figura 5.58. Secuencia estratigráfica de la estación mesotectónica M-05, representado por unas capas de arenas limosas.

Mediciones: Se realizaron pocas mediciones, debido a que los planos de falla no están bien conservados en la sección estratigráfica. Se observan dos tendencias en la orientación: una NNE-SSW y la otra NE-SW, ambas con buzamientos altos, y estrías con pitches entre los 5° y 14° con movimiento tipo sinistral (ver tabla 5.9, y figuras 5.59).

Tabla 5.9. Población de fallas medidas en la estación mesotectónica M-05.

Falla	Orientación		Pitch	Movimiento de la Falla
	Rumbo	Buzamiento		
F1	N 10° E	85° S	14° S	Sinistral
F2	N 20° E	80° S	11° S	Sinistral
F3	N 40° E	86° N	05° N	Sinistral
F4	N 50° E	79° S	15° S	Sinistral

Datasets: 4

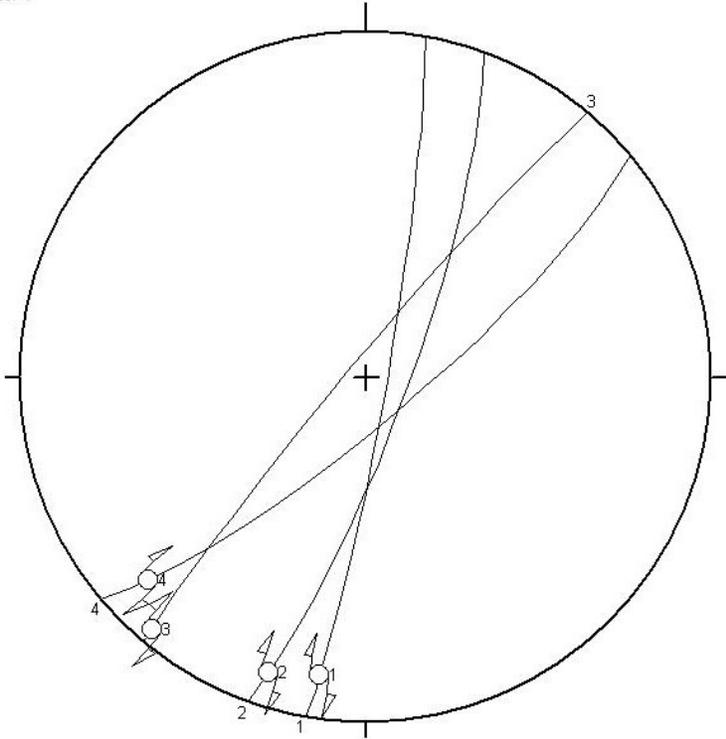


Figura 5.59. Representación en la red de Schimdt de la población de fallas en la estación M-05.

6. ANÁLISIS E INTERPRETACIONES

A fin de determinar la evolución tectono-estratigráfica de la cuenca Guarenas-Guatire, se presentan a continuación los resultados obtenidos del análisis de las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo (morfoestructuras, anomalías de drenaje y unidades morfoestratigráficas cuaternarias) y del análisis de las mediciones microtectónicas levantadas en las estaciones mesotectónicas de la región de Guarenas-Guatire.

6.1. TENSORES DE ESFUERZOS LOCALES

Para la determinación del régimen de deformación al que están sometidas las rocas que conforman el relleno sedimentario dentro de la cuenca de Guarenas-Guatire, se empleó el programa FAILLE versión 4, desarrollado por ETCHECOPAR & VASSEUR (1992), el cual aplica la metodología propuesta por ETCHECOPAR *et al.* (1981) basada en el análisis de poblaciones de fallas a escala de afloramientos en relación con las estrías observadas sobre los planos. El resultado que se obtiene de este método son las distintas configuraciones de estados de esfuerzo que dan origen a las poblaciones de fallas estudiadas. Para que la metodología sea aplicable es necesario que las poblaciones de fallas presenten un número mayor a 3 planos/estrías.

A partir de la aplicación de este método analítico y del análisis de las características geométricas que muestran las poblaciones de fallas, se establecieron estaciones mesotectónicas (poblaciones de fallas a escala de afloramiento con movimiento comprobado) de donde se definirán los tensores de esfuerzos presentes en la cuenca Guarenas-Guatire.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis del comportamiento de las poblaciones de fallas:

6.1.1. Análisis Mesotectónico T-01: Estación Copacabana M-01

La población de fallas en la estación mesotectónicas M-01 corresponden a planos de fallas que cortan las rocas de la Formación Guatire, generadas por la deformación producida por la Falla Guarenas, borde sur de la cuenca sedimentaria. El resultado que se muestra representa la deformación debasculada generada sobre el plano inclinado N68°W 65°N.

Los resultados del análisis son expuestos en la tabla 6.1 y 6.2, de la cual se determinó una fase de deformación establecida por un tensor de esfuerzos (T-01), cuyas características a continuación se mencionan (ver figura 6.1):

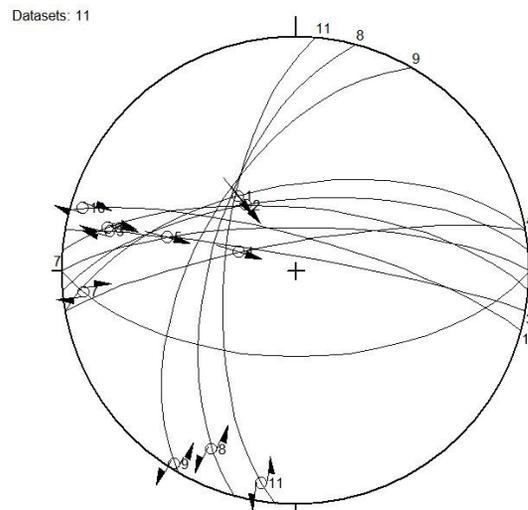
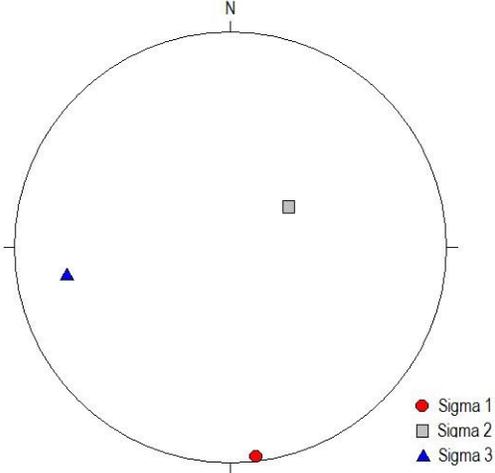
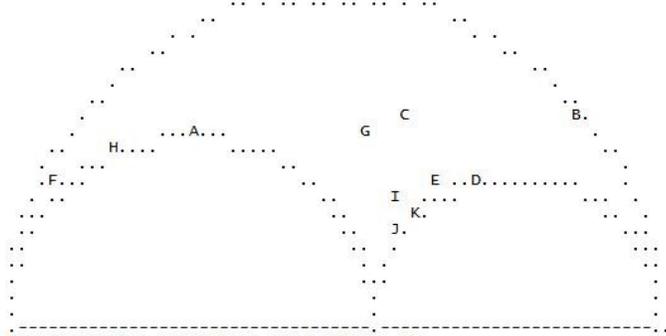


Figura 6.1. Representación estereográfica de las fallas que componen la estación mesotectónicas M-01, con la cual se obtuvo las características del tensor de esfuerzo T-01.

Tabla 6.1. Resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-01.

SOFTWARE EMPLEADO	FAILLE				
	N° de Falla	Rumbo	Buzamiento	Azimut de la Estría	Comportamiento
ENTRADA DE DATOS	F01	N080°E	60°N	322°	Inverso
	F02	N085°E	65°N	323°	Dextral
	F03	N100°E	85°N	282°	Dextral
	F05	N080°E	80°N	289°	Inverso
	F06	N090°E	75°N	285°	Inverso
	F07	N095°E	68°N	283°	Dextral
	F09	N090°E	60°S	264°	Dextral
	F11	N015°E	60°N	205°	Sinestral
	F13	N030°E	55°N	212°	Sinestral
	F14	N105°E	78°N	286°	Dextral
F17	N005°E	65°N	189°	Sinestral	

Tabla 6.2. Continuación de los resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-01.

<p>EJES DE ESFUERZOS</p>	 <p style="text-align: right;"> ● Sigma 1 ■ Sigma 2 ▲ Sigma 3 </p>																																																								
<p>ESFUERZOS CALCULADOS POR EL MÉTODO ETCHECOPAR ET AL. (1981)</p>	<p>ESFUERZOS</p>	<p>BUZAMIENTO/RUMBO DEL BUZAMIENTO</p>																																																							
	<p>σ_1</p>	<p>173,2/2,9</p>																																																							
	<p>σ_2</p>	<p>55,4/63,2</p>																																																							
	<p>σ_3</p>	<p>260,8/24,5</p>																																																							
<p>CIRCULOS DE MORH</p>	 <table border="1" data-bbox="673 1249 1055 1428"> <tr><td>LE CARACTERE A</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>13</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE B</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>9</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE C</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>3</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE D</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>5</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE E</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>6</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE F</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>17</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE G</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>14</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE H</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>11</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE I</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>7</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE J</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>1</td></tr> <tr><td>LE CARACTERE K</td><td>CORRESPOND</td><td>AUX</td><td>DONNEES</td><td>2</td></tr> </table>		LE CARACTERE A	CORRESPOND	AUX	DONNEES	13	LE CARACTERE B	CORRESPOND	AUX	DONNEES	9	LE CARACTERE C	CORRESPOND	AUX	DONNEES	3	LE CARACTERE D	CORRESPOND	AUX	DONNEES	5	LE CARACTERE E	CORRESPOND	AUX	DONNEES	6	LE CARACTERE F	CORRESPOND	AUX	DONNEES	17	LE CARACTERE G	CORRESPOND	AUX	DONNEES	14	LE CARACTERE H	CORRESPOND	AUX	DONNEES	11	LE CARACTERE I	CORRESPOND	AUX	DONNEES	7	LE CARACTERE J	CORRESPOND	AUX	DONNEES	1	LE CARACTERE K	CORRESPOND	AUX	DONNEES	2
LE CARACTERE A	CORRESPOND	AUX	DONNEES	13																																																					
LE CARACTERE B	CORRESPOND	AUX	DONNEES	9																																																					
LE CARACTERE C	CORRESPOND	AUX	DONNEES	3																																																					
LE CARACTERE D	CORRESPOND	AUX	DONNEES	5																																																					
LE CARACTERE E	CORRESPOND	AUX	DONNEES	6																																																					
LE CARACTERE F	CORRESPOND	AUX	DONNEES	17																																																					
LE CARACTERE G	CORRESPOND	AUX	DONNEES	14																																																					
LE CARACTERE H	CORRESPOND	AUX	DONNEES	11																																																					
LE CARACTERE I	CORRESPOND	AUX	DONNEES	7																																																					
LE CARACTERE J	CORRESPOND	AUX	DONNEES	1																																																					
LE CARACTERE K	CORRESPOND	AUX	DONNEES	2																																																					
<p>RAPPORT</p>	<p>R = 0,56</p>																																																								
<p>DIFERENCIA EN GRADOS ENTRE LA ESTRÍA MEDIDA Y LA CALCULADA POR EL PROGRAMA (TEÓRICA)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>GAMME</th> <th>NBRE</th> <th>INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 0- 6</td> <td>6</td> <td>13 9 3 5 6 17</td> </tr> <tr> <td>2 6- 11</td> <td>11</td> <td>14 11 7 1 2</td> </tr> </tbody> </table>		GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME	1 0- 6	6	13 9 3 5 6 17	2 6- 11	11	14 11 7 1 2																																														
GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME																																																							
1 0- 6	6	13 9 3 5 6 17																																																							
2 6- 11	11	14 11 7 1 2																																																							

La configuración del estado de esfuerzos en la estación muestra a σ_1 sub-horizontal en la NNW-SSE, σ_2 sub-vertical y σ_3 sub-horizontal en la ENE-WSW; formando σ_1 y σ_3

un plano sub-horizontal. El cálculo de la relación de esfuerzos “Rapport” fue realizado a partir de una población levantada de 18 planos de falla estriados, de la cual se analizaron 11, resultando $R = 0,56$. De acuerdo a la posición del estado de esfuerzos, con σ_2 sub-vertical y el valor de Rapport, presenta un régimen de esfuerzos rumbo deslizante.

El rango máximo para valores de diferencia angular entre la estría teórica (calculada por el programa) y las estrías medidas en campo de 6° a 11° , en solo el 45% de los datos de la población de fallas. El resto, correspondiente al 55% de los datos de la población de fallas, se encuentra entre 0° y 11° de diferencia, considerándose aceptable el margen de variación.

Las características geométricas de la población de fallas, así como de la población de estrías estudiadas, se representaron en las figuras 6.2 y 6.3, en forma de diagrama de rosas, donde se presentan las tendencias que adoptan estas estructuras de deformación en la estación.

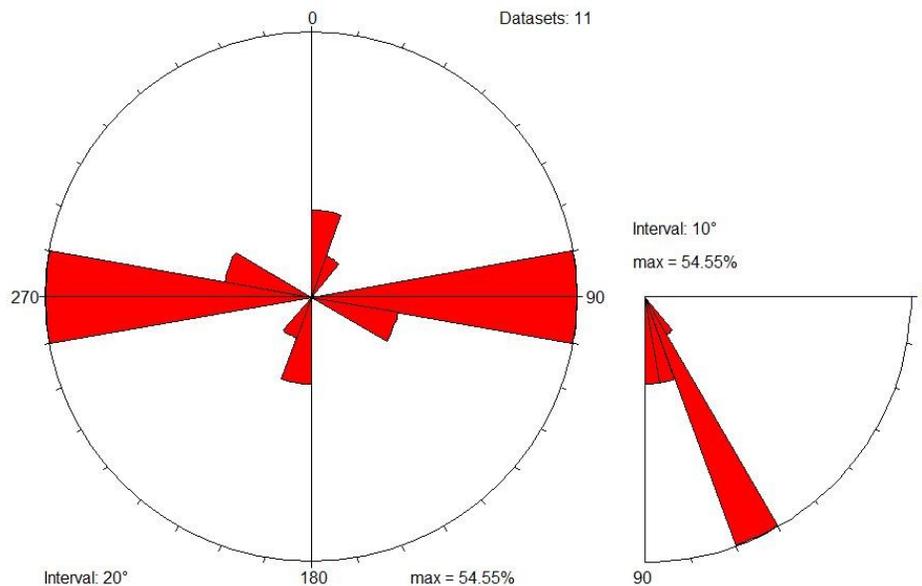


Figura 6.2. Diagrama de rosas para rumbos e inmersiones de fallas a intervalos de 10° obtenido para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-01.

Los planos de falla, en general, muestran una orientación E-W y exhibiendo buzamientos altos, entre 70° y 80° , y pitch dominados por la orientación $N75^\circ W$, con buzamientos generales muy variados, ubicados entre los 0° y 20° la mayor parte de éstos

(ver figura 6.3). Estas características definen movimientos con tendencia rumbo-deslizante.

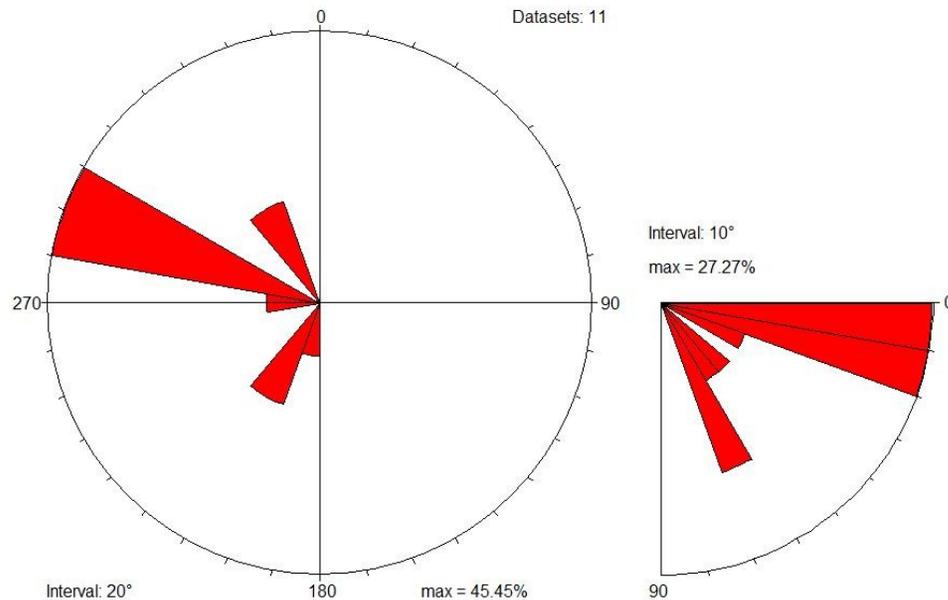


Figura 6.3. Diagrama de rosa para rumbos e inmersiones de estrías a intervalos de 10° obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-01.

Esta configuración de ejes de esfuerzos representa un régimen rumbo-deslizante con una leve componente normal, indicado por la ubicación de σ_2 sub-vertical, y del esfuerzo principal (σ_1) en la sub-horizontal y orientada NNW-SSE, lo que determina un estado de deformación transcurrente.

6.1.2. Análisis Mesotectónico T-02: Estaciones La Sabana 1, 2, 3 y 4

Para el cálculo de la configuración del tensor de esfuerzos T-02 se realizó la integración de todas las mediciones levantadas en las estaciones La Sabana 1, 2, 3 y 4, al sur de Guatire.

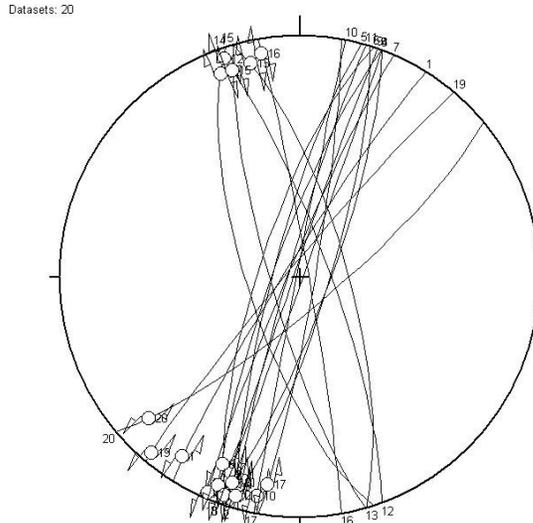
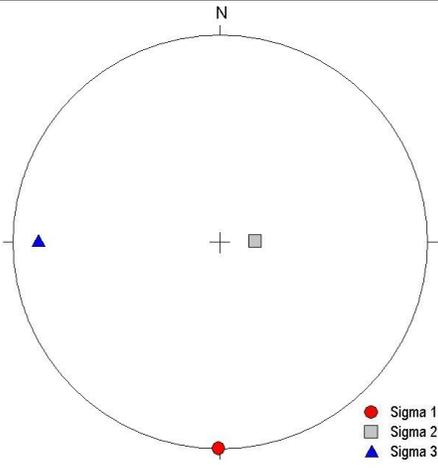
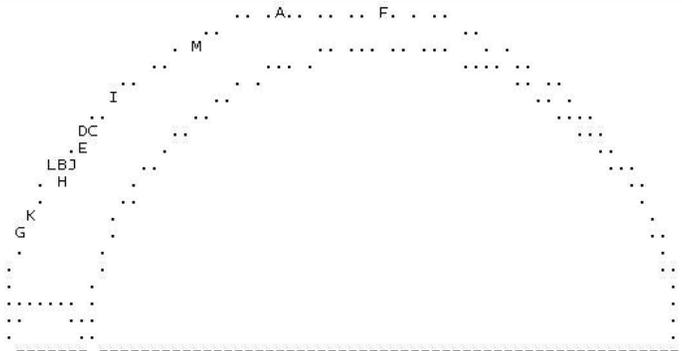


Figura 6.4. Resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de las estaciones M-02, M-03, M-04 y M-05.

Tabla 6.3. Resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de las estaciones M-02, M-03, M-04 y M-05.

SOFTWARE EMPLEADO	FAILLE				
ENTRADA DE DATOS	N° de Falla	Rumbo	Buzamiento	Azimut de la Estría	Comportamiento
	02	N032°E	85°N	213°	Sinistral
	07	N017°E	80°S	196°	Sinistral
	08	N020°E	89°S	200°	Sinistral
	09	N020°E	81°N	201°	Sinistral
	10	N015°E	81°N	197°	Sinistral
	11	N018°E	76°N	202°	Sinistral
	12	N023°E	86°N	203°	Sinistral
	13	N020°E	81°N	201°	Sinistral
	14	N019°E	88°N	199°	Sinistral
	15	N011°E	89°N	191°	Sinistral
	16	N016°E	86°N	196°	Sinistral
	17	N160°E	80°N	341°	Dextral
	18	N164°E	74°N	347°	Dextral
	19	N162°E	72°S	340°	Dextral
	20	N164°E	80°S	342°	Dextral
	21	N170°E	87°N	350°	Dextral
23	N010°E	85°S	189°	Sinistral	
24	N020°E	80°S	198°	Sinistral	
25	N040°E	86°N	220°	Sinistral	
26	N050°E	79°S	227°	Sinistral	

Tabla 6.4. Continuación de los resultados obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de las estaciones M-02, M-03, M-04 y M-05.

<p>EJES DE ESFUERZOS</p>											
<p>ESFUERZOS CALCULADOS POR EL MÉTODO ETCHECOPARD ET AL. (1981)</p>	<p>ESFUERZOS</p> <p>σ_1</p> <p>σ_2</p> <p>σ_3</p>	<p>BUZAMIENTO/RUMBO DEL BUZAMIENTO</p> <p>180,4/0,4</p> <p>88,6/76,4</p> <p>270,5/13,5</p>									
<p>CIRUCLOS DE MOHR</p>	 <pre data-bbox="682 1270 1234 1491"> LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 25 LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 7 16 LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 13 9 LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 17 8 14 24 LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 19 11 LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 26 LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 23 LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 10 LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES 12 LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES 20 LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES 21 15 LE CARACTERE L CORRESPOND AUX DONNEES 18 LE CARACTERE M CORRESPOND AUX DONNEES 2 </pre>										
<p>RAPPORT</p>	<p>R=0,13</p>										
<p>DIFERENCIA EN GRADOS ENTRE LA ESTRÍA MEDIDA Y LA CALCULADA POR EL PROGRAMA (TEÓRICA)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>GAMME</th> <th>NBRE</th> <th>INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0- 6</td> <td>13 25 7 13 9 17 19 26 23 10 12 20 8 14</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6- 11</td> <td>20 24 16 21 18 2 11 15</td> </tr> </tbody> </table>		GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME	1	0- 6	13 25 7 13 9 17 19 26 23 10 12 20 8 14	2	6- 11	20 24 16 21 18 2 11 15
GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME									
1	0- 6	13 25 7 13 9 17 19 26 23 10 12 20 8 14									
2	6- 11	20 24 16 21 18 2 11 15									

El resultado de la configuración del estado de esfuerzos muestra a σ_1 localizado en posición sub-horizontal orientado hacia la N-S, a σ_2 sub-vertical y σ_3 en posición sub-horizontal, orientado hacia la E-W, donde σ_1 y σ_3 forman un plano sub-horizontal, definiendo un estado de esfuerzos rumbo-deslizante (ver tablas 6.3 y 6.4).

Respecto a la relación de los esfuerzos “Rapport” se obtuvo $R = 0,13$, a partir del análisis de 20 fallas de una población total de 28 mediciones levantadas en deformación postsedimentaria de sedimentos de la Formación Guatire. De esta población de fallas examinada se determinó que el rango máximo de diferencia que existe entre la estría teórica (calculada por el programa) y las estrías levantadas en campo se ubica entre 6° y 11° con el 35% de los datos analizados, mientras que el 65% de los datos se encuentran entre 0° y 6° de diferencia, siendo aceptable éste margen (ver tablas 6.5 a 6.7).

Al revisar la geometría que presentan las poblaciones de fallas, se observan en la tendencia dos familias de fallas que se conjugan. La primera familia de fallas conjugadas presenta orientaciones varían desde $N10^\circ E$ hasta $N30^\circ E$, en donde la mayor parte de la población se orienta hacia $N20^\circ E$. La segunda familia de fallas en menor proporción muestra una orientación general $N10^\circ W$. Los buzamientos se presentan altos, sobrepasando los 80° en la mayor parte de la población (ver figura).

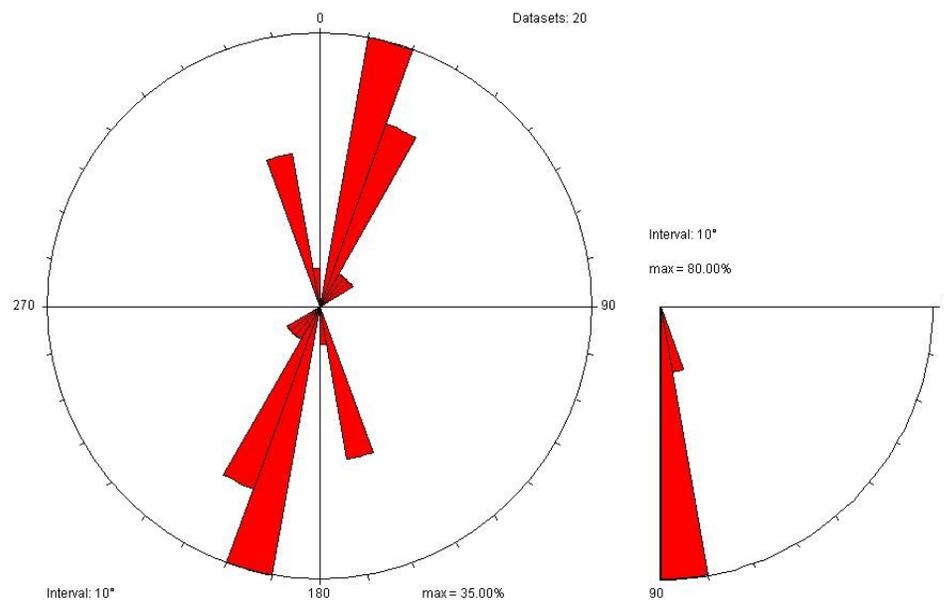


Figura 6.5. Diagrama de rosa para rumbos e inmersiones de fallas a intervalos de 10° obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-02, M-03, M-04 y M-05.

El análisis de la población de estrías señala pitch con una distribución variada, orientados hacia N20°W, S40°W, y S10°W, siendo ésta última la orientación la que agrupa mayor número de estrías, mostrando en todas bajas ángulos de buzamientos, que varían entre los 0° y 20°, lo cual concuerda con el régimen rumbo-deslizante (ver tabla 6.8).

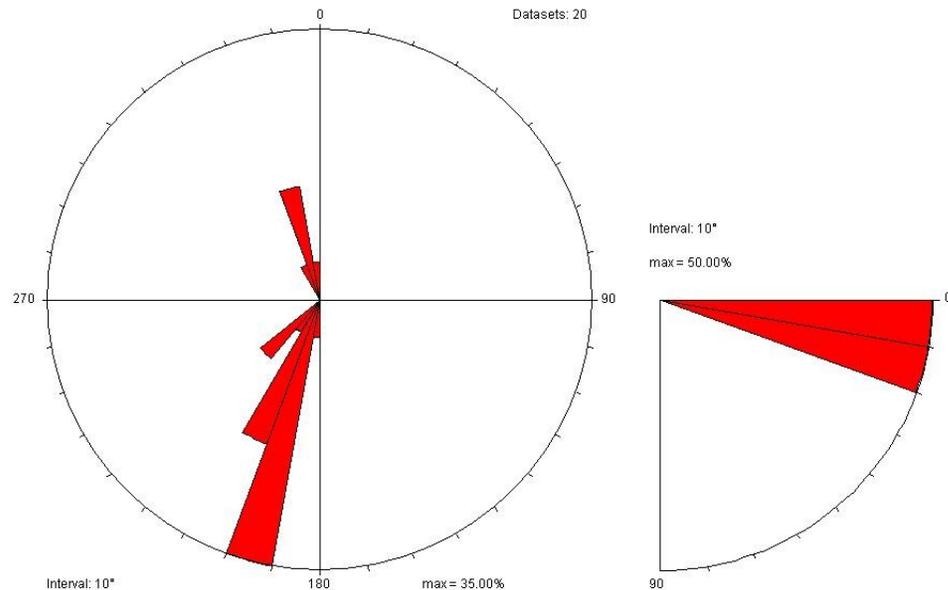


Figura 6.6. Diagrama de rosa para rumbos e inmersiones de estrías a intervalos de 10° obtenidos para el análisis del tensor de esfuerzo de la estación M-02, M-03, M-04 y M-05.

La configuración de los ejes de esfuerzo determinado para las estaciones M-2, M-03, M-04 y M-05, indican la presencia de un régimen transcurrente con una componente inversa, señalado por la ubicación de σ_2 en la vertical, y del esfuerzo principal (σ_1) sub-horizontal en la N-S, sugiriendo que el esfuerzo σ_2 tiende a σ_3 , generando un estado de deformación rumbo-deslizantes que tiende a la compresión uniaxial.

6.2. INTERPRETACIONES TECTÓNICAS

A fin de integrar y valorizar la calidad de la información generada durante el estudio de las estaciones mesotectónicas, se muestra una tabla resumen en donde se compilan las características relevantes para cada tensor calculado.

Tabla 6.5. Compilación de los tensores de esfuerzo cuaternarios obtenidos por los métodos de inversión a través del análisis de evidencias cinemáticas de planos de fallas.

ESTACIÓN	LOCALIDAD	POBLACIÓN DE FALLAS			σ_H (max)		σ_h (min)		VALOR DE RAPPORT	EDAD	OBSERVACIONES
		Medidas	Analizadas	Software/ Método	Rumbo	Buzamiento	Rumbo	Buzamiento			
01	Copacabana, Guarenas	18	11	Faille (Etchecopar & Vasseur, 1992)	NNW- SSE	Subhorizontal	ENE- WSW	Subhorizontal	0,56	Cuaternario	Deformación en rocas sedimentarias de la Formación Guatire (Plio-Pleistoceno). Las mediciones fueron realizadas sobre poblaciones de fallas generadas por la actividad directa de la traza de la Falla Guarenas.
02 03 04 05	Parque Res. La Sabana, Guatire	28	20	Faille (Etchecopar & Vasseur, 1992)	N-S	Subhorizontal	E-W	Subhorizontal	0,13	Cuaternario	En rocas sedimentarias de la Formación Guatire (Plioceno-Pleistoceno inferior). Las mediciones fueron realizadas sobre distintas poblaciones de fallas que cortan una secuencia fluvio- lacustre.

A partir de tabla 6.5 se puede determinar lo siguiente:

- El resultado obtenido del análisis de los tensores de esfuerzos muestran configuraciones similares, mostrando una sola fase de deformación.
- Los tensores obtenidos T-01 y T-02 exhiben una configuración del esfuerzo compresivo orientado en dirección NNW-SSE, y el esfuerzo extensivo ENE-WSW.
- Ambos tensores muestran σ_1 sub-horizontal, σ_2 sub-vertical y σ_3 sub-horizontal, y corresponden a una misma fase de deformación postsedimentaria.
- Todas las deformaciones analizadas corresponden a fallamiento posterior a la depositación del relleno sedimentario, compuesto por sedimentos de edad Plio-Pleistoceno, de la Formación Guatire. Sin embargo, existen evidencias de deformación sinsedimentaria (estratificación tipo “slump”) previas a la compactación de la Formación Guatire.

- Los tensores de esfuerzo obtenidos representan un buen estimado del régimen de deformación presente en esta fase.

A continuación, en la figura 6.7, se ubican las estaciones mesotectónicas junto con las características determinadas durante en el análisis de los tensores de esfuerzos por medio del método numérico que desarrolla el programa Faille.

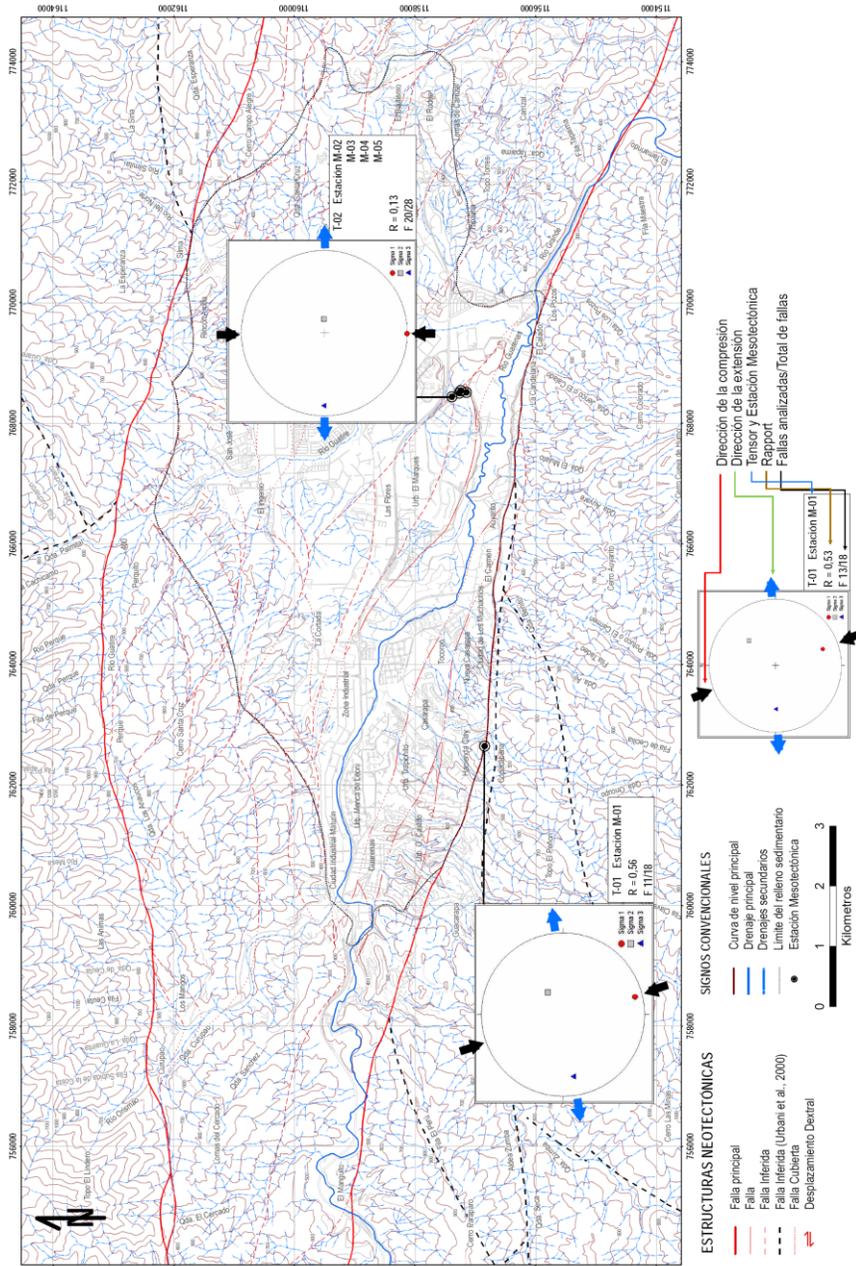


Figura 6.7. Mapa de ubicación de las configuraciones de los estados de esfuerzos en la región calculados mediante el Faille.

En la figura 6.8 se muestra la clasificación de los diferentes tipos de tensores de esfuerzos propuesto por RITZ (1991), en donde se señala la ubicación de los resultados obtenidos durante el análisis.

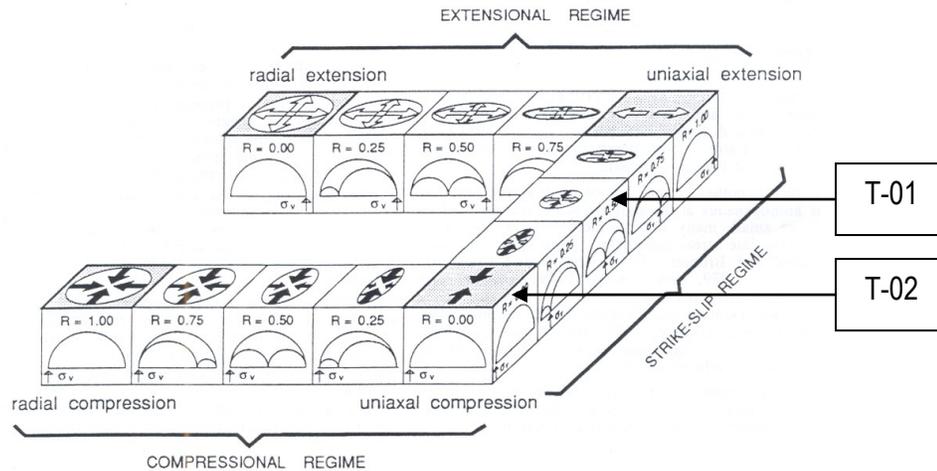


Figura 6.8. Clasificación de los diferentes tipos de tensores de esfuerzos según RITZ (1991) y los resultados obtenidos en el análisis (Extraído de RITZ & TABOADA, 1993).

En general, la fase de deformación determinada se caracteriza por ser transcurrente dextral. El tensor de esfuerzo T-01 muestra deformación estrictamente de tipo transcurrente con una baja componente extensional, y el tensor T-02 se caracteriza por un estado de esfuerzos dominado por deformación de tipo transcurrente con componente inversa, la cual tiende a compresión uniaxial ($\sigma_2 \rightarrow \sigma_3$).

El régimen de deformación actual presenta en la cuenca Guarenas-Guatire los esfuerzos máximos y mínimos en posiciones horizontales, con σ_2 en posición sub-vertical, con la orientación de eje compresivo NNW-SSE, y del eje extensivo ENE-WSW, presentando características transcurrentes dextrales en los principales sistemas de falla (ver figura 6.8).

6.2.1. Tensores de Esfuerzos de datos mesotectónicos previos

FUNVISIS (1984) en el informe final del proyecto “Estudio de riesgo sísmico: Ferrocarril Caracas-Litoral” presenta los resultados del análisis mesotectónico de dos

estaciones levantadas hacia el extremo oriental de la región de Guarenas-Guatire, medidas en la Formación Guatire (ver figura 6.9).

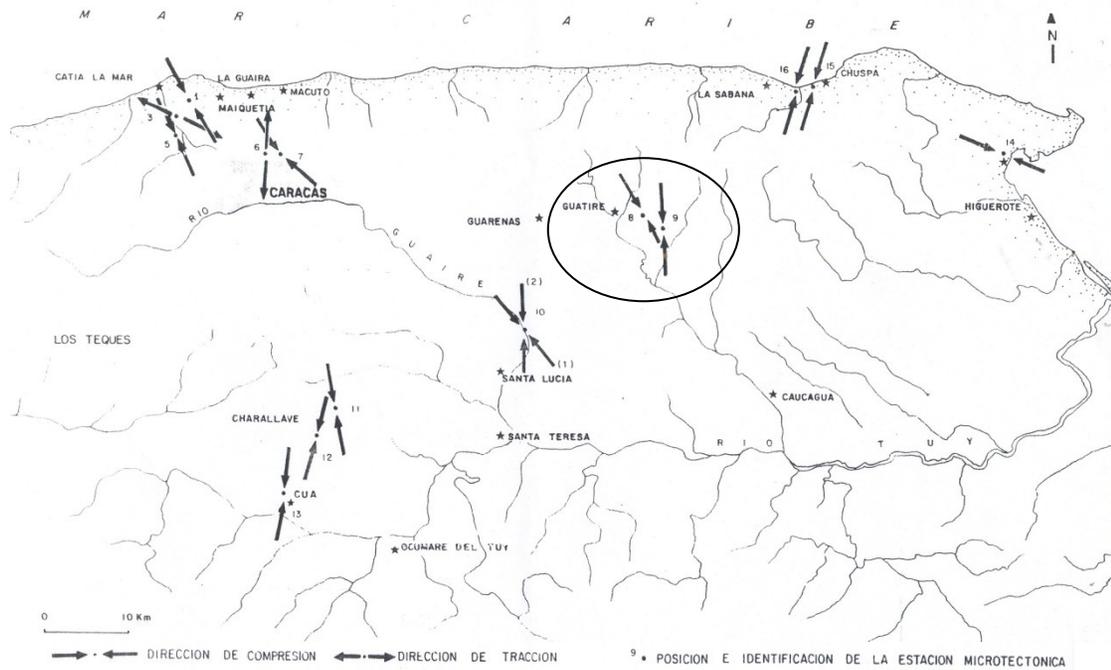


Figura 6.9. Ubicación de las mesoestaciones levantadas en la región de Guarenas-Guatire (señaladas dentro círculo) para el estudio de riesgo sísmico del proyecto Ferrocarril Caracas-Litoral (Extraído de FUNVISIS, 1984).

Como se aprecia en la figura 6.10, los esfuerzos resultantes en las estaciones presentan una orientación del esfuerzo compresivo (σ_1) NNW-SSE y del esfuerzo extensivo (σ_3) WSW-ENE.

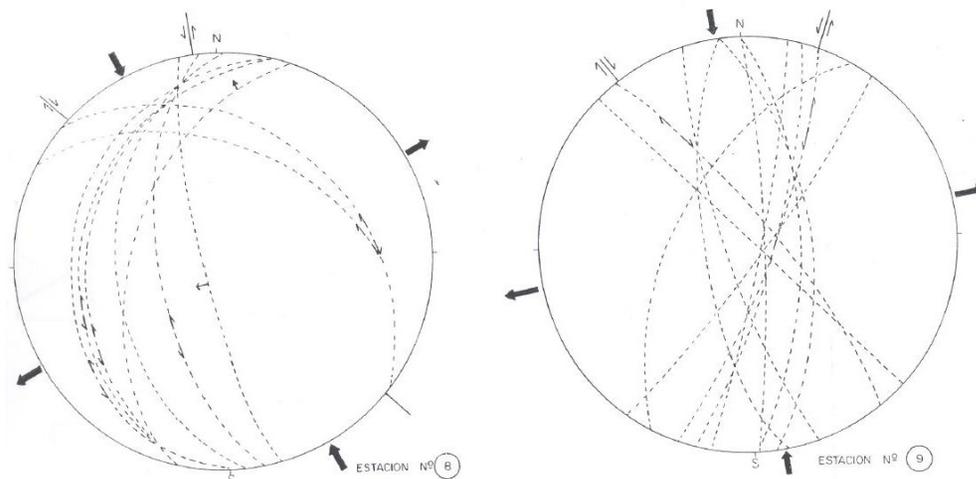


Figura 6.10. Resultados de los esfuerzos de las estaciones mesotectónicas (Extraído de FUNVISIS, 1984).

Al ser comparados con los resultados conseguidos en esta investigación se observan actitudes similares entre las configuraciones de los tensores, lo cual confirma y valida el comportamiento tectónico determinado para la última fase de deformación en la región.

6.2.2. Interpretaciones tectónicas generales

En este apartado se establecen relaciones entre las evidencias geomorfológicas interpretadas, las observaciones estructurales y observaciones e interpretaciones mesotectónicas obtenidas para la cuenca de Guarenas-Guatire.

1) La falla de Guarenas presenta evidencias geomorfológicas relacionadas a desplazamientos verticales de tipo normal. La evidencia más relevante la constituye el escarpe con declive al norte que alcanza desniveles entre 300-500 m, y que pone en contacto a rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas y los sedimentos de la Formación Guatire. Por lo anterior descrito es posible que esta falla tuviera un comportamiento normal relacionado con la apertura de la cuenca, limitando al sur la depositación de las unidades sedimentarias. La presencia de estratos con buzamientos altos (65°), específicamente en la localidad de Copacabana, hacia el sur de la cuenca pertenecientes a la Formación Guatire explica este comportamiento normal de la falla, aunque no se encontró evidencia microtectónicas registrada de esta posible fase inicial.

2) La falla El Ávila también muestra evidencias geomorfológicas de una fase de movimientos verticales normales a lo largo de su emplazamiento entre los bloques metamórficos de la Super-Asociación Ávila al norte y la Asociación Metasedimentaria Caracas al sur, como lo son los escarpes de falla y facetas triangulares; pero su colocación entre estos dos bloques metamórficos positivos con respecto a la depresión sedimentaria le confiere un grado de aislamiento a la estructura en relación a la génesis de esta, al encontrarse despegada del relleno sedimentario a una cota superior y al norte. Lo anterior evidencia que la falla El Ávila ha participado en fases sucesivas de levantamiento/hundimiento previas a la existencia de la depresión sedimentaria.

3) Los resultados mesotectónicos establecen la presencia de una fase de deformación frágil postsedimentaria relacionada con la deformación ejercida por la Falla de Guarenas, con características transcurrentes, bajo una configuración de esfuerzos con σ_2 en posición sub-vertical, y la orientación de eje compresivo NNW-SSE, y del eje extensivo ENE-WSW. Esta falla presenta evidencias geomorfológicas diagnósticas como lo son crestas y drenajes desplazados exhibiendo movimiento transcurrente dextral que afectan a la Formación Guatire y a los depósitos de edad cuaternaria del nivel Q₂, por lo que se asume que dicho régimen estaba vigente entre el límite Plio-Pleistoceno y el Pleistoceno Medio.

El fallamiento transcurrente puede generar diversidad de estructuras que pueden ser explicadas usando el modelo de WILCOX *et al* (1973) (ver figura 6.11).

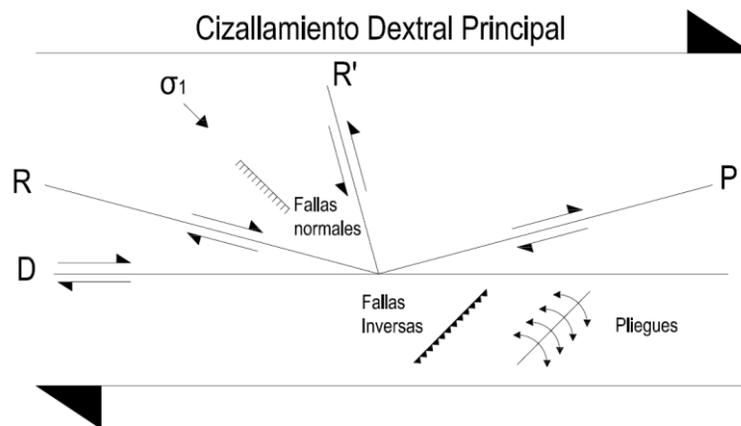


Figura 6.11. Modelo de WILCOX *et al* (1973).

- Los anticlinales observados hacia la esquina suroeste de la cuenca se corresponde con la deformación de la fase transcurrente dextral según el modelo de WILCOX *et al* (1973), cuyo eje de dirección WNW-ESE es perpendicular al esfuerzo máximo σ_1 orientado NNW-SSE.
- Las fallas secundarias de orientación WNW-ESE a NW-SE que afectan tanto al basamento como al relleno sedimentario, por sus relaciones geométricas con respecto a la cizalla principal corresponden a riedels sintéticos (R) que se

interdigitan con fallas de orientación NE-SW que pueden asumirse como fallas especulares (P) (figura 6.11).

4) El levantamiento general de la región es diferencial, donde el bloque norte de la Cordillera de la Costa sufre un levantamiento más acelerado con respecto al resto de los bloques, lo cual se evidencia por:

- El desnivel existente entre los bloques litológicos correspondientes a la Superasociación Ávila ($h_{\max} = 1.600$ m.s.n.m.), la Asociación Metasedimentaria Caracas ($h_{\max} = 850$ m.s.n.m.), y depresión sedimentaria Guarenas-Guatire ($h_{\max}=400$ m.s.n.m.).
- Las cuestas de buzamiento con inmersiones centrípetas observadas en la Formación Guatire (Plio-Pleistoceno) al norte y al sur de la región pueden interpretarse como los flancos de un amplio sinclinal cuyo eje se observa hacia la zona central de la cuenca, con orientación ENE-WSW. Su presencia puede ser explicada por el levantamiento diferencial de las serranías metamórficas en los bordes y la consecuente subsidencia de la cuenca, o como respuesta al estado de esfuerzos con el esfuerzo máximo horizontal en dirección NNW-SSE o N-S.
- Las Rampas de explayamiento de los niveles Q_2 y Q_3 en posiciones topográficas positivas y flexionadas (solo el nivel Q_3) hacia el centro de la cuenca.
- Las Gargantas orientadas N-NW, con divergencias hacia el E-NE, entalladas en sedimentos de la Formación Guatire (Plio-Pleistoceno) y en las unidades morfoestratigráficas Q_2 y Q_3 , señalando también la existencia de condiciones climáticas áridas entre finales del Plioceno e inicios del Pleistoceno.
- La posición del río Guarenas contra el margen sur de la depresión puede explicarse por el levantamiento diferencial de la región, donde es notorio que el levantamiento más importante es hacia la parte norte de la cuenca sedimentaria.

- Otra evidencia es la diferencia de cota existente entre el yacimiento fosilífero de la estación M-01 del presente trabajo, correspondiente al punto 13 del trabajo de PICARD (1972), ubicado a 450 m.s.n.m., y la cota a la cual se formaron, a menos de 100 m.s.n.m. (MACSOTAY, 1969), lo cual implicaría un levantamiento de al menos 300 m.
- HECHT (2005) en su tesis “Caracterización Geofísica mediante estudios de ruido sísmico ambiental y gravimétricos del municipio Zamora (Guatire), Estado Miranda”, indica que el basamento tiene buzamiento hacia el sur, lo que constituye una validación a la afirmación de que el levantamiento del bloque norte es más rápido que el borde metamórfico sur.

6.3. TASAS DE VARIACIÓN

Tomando en cuenta los estimados de desplazamientos obtenidos mediante la fotointerpretación, el registro fósil, la información geofísica disponible, y algunas características de la depresión, se determinaron las velocidades de desplazamientos horizontales, desplazamientos verticales y de sedimentación de la cuenca.

6.3.1. Velocidad de desplazamientos horizontales

Esta tasa representa un valor aproximado para las velocidades horizontales de las fallas que cortan y desplazan al relleno intracuenca, producto de la deformación generada por la actividad de la Falla Guarenas, por lo que constituye un valor para la velocidad ésta, en vista de su proximidad con los desplazamientos evaluados.

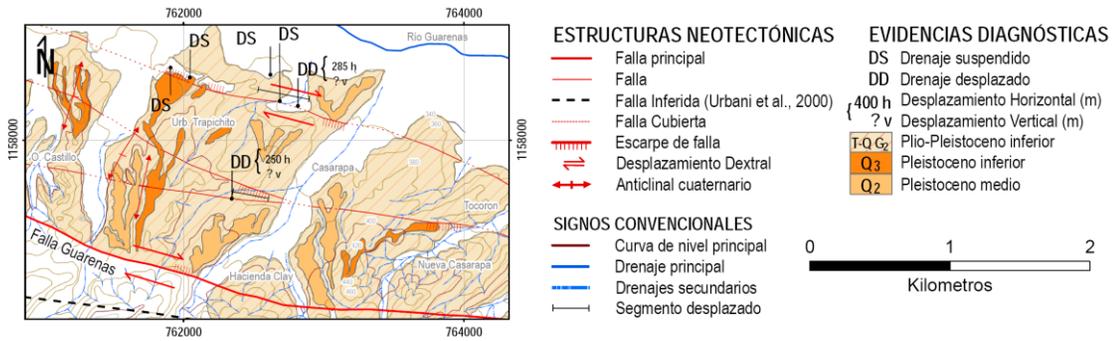


Figura 6.12. Segmentos de drenaje desplazados utilizados para calcular la tasa de desplazamiento horizontal para la falla de Guarenas.

Para ello fueron considerados los desplazamientos generados sobre los depósitos de la Formación Guatire, de edad Plioceno-Pleistoceno inferior (entre 3.600 Ma y 1.806 Ma) que además desplazan a unidades morfoestratigráficas del nivel Q₃ y Q₂, observadas a 2 km al norte de la zona de deformación de la Falla Guarenas, correspondiente a un drenaje desplazado (d₁ = 285 m) y a un escarpe de falla (d₂ = 250 m), ubicados cerca de la Urbanización Casarapa, donde se el salto ocurre de forma transcurrente-dextral. (Ver figura 6.12). Para el cálculo se asume que ambos saltos de fallas corresponden a saltos cosísmicos generados por los eventos de la Falla Guarena, debido a la geometría observada en fotointerpretación.

Datos

d₁ = 250 m

Δt=1,806 Ma - 0,126 Ma= 1,68 Ma

d₂ = 285 m

t_{Tope Fm. Guatire}= 1,806 Ma

t_{Tope de Q2}=0,126 Ma

$$V_h = \frac{d_n}{\text{Tope Fm. Guatire}}$$

$$V_{h1} = \frac{250.000 \text{ mm}}{1.680.000 \text{ años}} \quad V_{h2} = \frac{285.000 \text{ mm}}{1.680.000 \text{ años}}$$

$$V_H = 0,1488 \text{ mm/año} + 0,1696\text{mm/año} = 0,3184 \text{ mm/año} \approx 0,32 \text{ mm/a}$$

El grado de incertidumbre del valor obtenido principalmente depende de dos factores: de las imprecisiones generadas durante la medición de los desplazamientos de estas morfoestructuras en la fotointerpretación, debido a la alta degradación que muestran, producto de la erosión y urbanismo, y a la falta de edades absolutas en la Formación Guatire.

AUDEMARD (2006) señala que las fallas secundarias asociadas al límite sur actual de la placa Caribe con movimiento rumbo deslizante (compuesto por las fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar-Warm Spring), presentan tasas de deslizamiento por debajo de 0,5 mm/año, a excepción de Oca-Ancon (2 mm/a), y las fallas de Valera y la Victoria (≤ 1 mm/a). El valor obtenido (0,32 mm/a) por ende concuerda con lo propuesto para fallas secundarias asociadas a este límite de placa.

6.3.2. Velocidad de desplazamientos verticales

Considerando el diagnóstico realizado por MACSOTAY (1969) de los fósiles hallados en el borde sur de la depresión sedimentaria, correspondiente a una paleofauna fluvio-lacustre representada por gasterópodos de edad Plioceno Tardío-Pleistoceno Temprano, donde indica que estos organismos necesariamente tuvieron que haberse desarrollado en un ambiente a escasa altura sobre el nivel del mar (menos de 100 m.s.n.m.), y la ubicación actual a 450 m.s.n.m. de estas calizas fosilíferas levantadas y basculadas, se calculó un estimado de la velocidad del movimiento vertical que caracteriza a esta parte de la región. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el nivel del mar que caracterizó al Plio-Pleistoceno se encontraba entre 15 y 30 m por encima del nivel actual, según MÉNDEZ (1997), pero este factor no se tomó en cuenta para el cálculo.

Datos

$$h_1 \text{ (Cota actual promedio de los fósiles)} = 450 \text{ m.s.n.m.}$$

$$h_2 \text{ (Paleo cota promedio de los fósiles)} = 50 \text{ m.s.n.m.}$$

$$t \text{ (Edad promedio de Fm. Guatire)} = \frac{3,6 \text{ Ma} + 2,588 \text{ Ma}}{2} = 2,703 \text{ Ma}$$

$$V_v = \frac{\Delta h}{t}$$

t (Edad promedio de Fm. Guatire)

$$V_v = \frac{450.000 \text{ m} - 50.000 \text{ m}}{2.703.000 \text{ años}}$$

$$V_v = 0,147 \text{ mm/año}$$

6.3.3. Tasa de sedimentación

Para la obtención de la tasa de sedimentación en la región de Guarenas-Guatire, fue necesario el cálculo del volumen aproximado que ocupa el relleno sedimentario, a partir del área que abarca en la cuenca, de 54 km², cuya profundidad promedio, establecida por HECHT (2000), es de 200 m, y de la edad del inicio del proceso sedimentario de la Formación Guatire.

Hay que tener en cuenta que en la región imperan condiciones climáticas tropicales que cuales generan periodos continuos de meteorización y de erosión, lo que provoca un continuo lavado de sedimentos.

Datos

$$S_{\text{promedio de la cuenca}} = 54,0 \text{ km}^2$$

$$D_{\text{promedio de la cuenca}} = 0,2 \text{ km}$$

$$t_{\text{Base Fm. Guatire}} = 3.6 \text{ Ma}$$

$$V_{\text{sed}} = \frac{S_{\text{promedio de la cuenca}} \times D_{\text{promedio de la cuenca}}}{t_{\text{Base Fm. Guatire}}}$$

$$V_{\text{sed}} = \frac{54 \text{ km}^2 \times 0,2 \text{ km}}{3.600.000 \text{ años}} = \frac{10,8 \text{ km}^3}{3.600.000 \text{ años}} = \frac{10,8 \times 10^{15} \text{ cm}^3}{3,600 \times 10^6 \text{ años}}$$

$$V_{\text{sed}} = 3 \times 10^9 \text{ cm}^3/\text{año}$$

6.4. MODELO GENÉTICO Y EVOLUTIVO

Para el modelo genético de la cuenca Guarenas-Guatire se propone a ésta como una cuenca de tipo semi-graben, controlada en el borde meridional por la Falla de Guarenas con orientación WNW-ESE. La traza de la Falla El Ávila en la zona de estudio, emplazada entre dos bloques metamórficos, parece no ejercer algún control en la formación de la cuenca (ver figura 6.14).

La apertura de la cuenca se estima anterior al límite Plio-Pleistoceno, donde seguidamente tuvo lugar el inicio de depositación de la Formación Guatire (Plio-Pleistoceno), deducido a partir de la edad establecida para la formación. De esta fase de deformación inicial, caracterizado por fallamiento normal, no se encontró evidencia microtectónica en campo, sin embargo, a través de las evidencias geomorfológicas observadas en los bloques metamórficos tanto al norte y sur, como lo son escarpes de fallas degradados, facetas triangulares, y bermas, se asume la existencia de una fase de levantamiento/hundimiento que pudiera estar asociada a la profundización de la cuenca (ver figura 6.13).

La presencia hacia el sureste de la cuenca de deformación sinsedimentaria tipo *slump* intraformacional (a escala de afloramiento) e intracapa (a escala de estratos), indican que durante la depositación de Formación Guatire (Plio-Pleistoceno) la región fue sometida a distintos eventos tectónicos, generando dichas estructuras sedimentarias

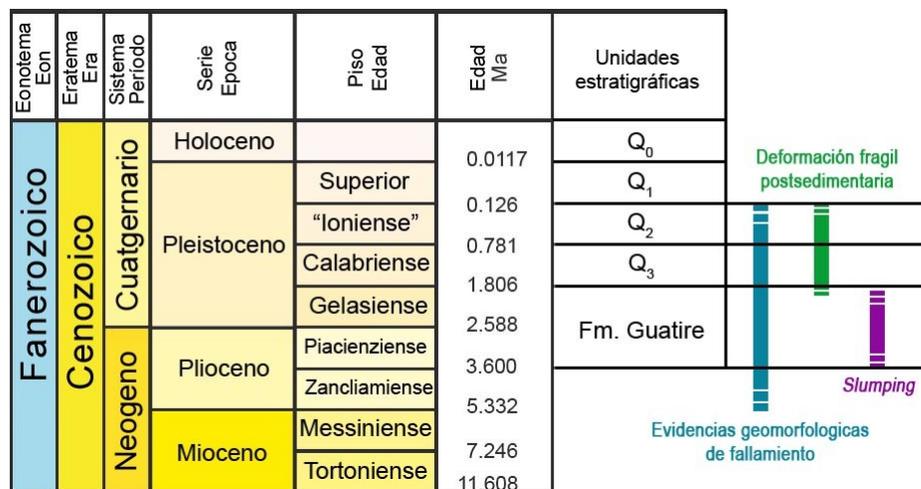


Figura 6.13. Extracto de la tabla estratigráfica internacional (ICS, 2009) donde se colocan las unidades estratigráficas observadas en intervalo de tiempo relativo junto con las evidencias de deformación que las afectan.

Durante el Cuaternario se tiene registrado tanto deformación frágil como dúctil. Posterior a la depositación de los sedimentos de la Formación Guatire (Plio-Pleistoceno), y de algunas unidades morfoestratigráficas cuaternarias, los niveles Q_2 y Q_3 específicamente, se registra fallamiento de tipo transcurrente, generada por un estado de esfuerzo caracterizada por tener los esfuerzos máximos y mínimos en posiciones horizontales, con σ_2 en posición sub-vertical, con la orientación del eje compresivo es NNW-SSE, y del eje extensivo ENE-WSW, presentando fallamiento transcurrente dextral en los principales sistemas de falla. La deformación dúctil se evidencia por los anticlinales localizados hacia la localidad de Guarenas, y el sinclinal que abarca casi toda la Formación Guatire, los cuales indican la dirección del esfuerzo compresivo, correspondiendo con el modelo de WILCOX *et al* (1973), y el levantamiento diferencial que viene sufriendo la región durante este periodo de tiempo.

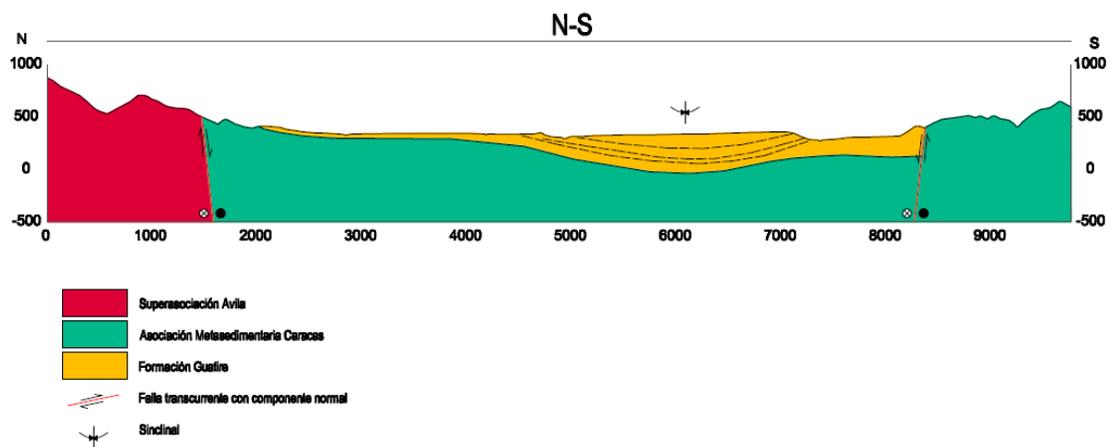


Figura 6.14. Corte estructural simplificado de la cuenca Guarenas-Guatire.

6.5. DISCUSIÓN REGIONAL

En las tablas 6.6 y 6.7 se muestran algunas de las evidencias relacionadas al levantamiento general y a fallamiento transcurrente de la cuenca Guarenas-Guatire y del resto de las cuencas neógenas adyacentes, conformadas por el Valle de Caracas (SINGER, 1977a, b), la cuenca Ocumare-Santa Lucía (PICARD & PIMENTEL, 1968, y AUDEMARD, 1984) y la cuenca de Barlovento (HERNÁNDEZ & ROJAS y ESPÍNOLA & OLLARVES, 2002), con el fin de establecer patrones geométricos comunes a nivel regional.

De la comparación de estas depresiones se resalta lo siguiente (ver figura 6.15):

- Los límites de los márgenes septentrionales están definidos por serranías.
- Se ubican extensas zonas en el relieve asociadas a fallamiento normal: escarpes y facetas triangulares y saltos en el drenaje.
- Muestran evidencias de deformación en los rellenos sedimentarios, tanto en formaciones sedimentarias como en unidades morfoestratigráficas cuaternarias.
- La posición de los drenajes principales contra los bordes sur en todas las cuencas sedimentarias refleja el levantamiento diferencial que sufre la región, marcadamente hacia el norte.
- Presentan evidencias geomorfológicas asociadas a movimientos de fallas transcurrentes dextrales.
- Se observan anomalías de drenajes y unidades morfoestratigráficas cuaternarias deformadas que indican la presencia de fallas transcurrentes.

Tabla 6.6. Resumen de evidencias relacionadas al levantamiento regional.

Cuencas Sedimentarias	Guarenas-Guatire	Valle de Caracas (Singer, 1977a, b)	Ocumare-Santa Lucía (Picard & Pimentel, 1968, y Audemard, 1984)	Barlovento (Espinola & Ollarves, y Hernández & Rojas, 2002)
Desnivel entre el relleno sedimentario y los bordes metamórficos	Este desnivel alcanza un máximo aproximado de 1.500 m, entre el topo Cabrera y la población de Guarenas.	Señala la existencia del contraste de alturas entre las unidades de relieve, pero no se estima cual es el valor. (En el Valle de Caracas, este desnivel alcanza en la parte oriental del valle más de 1.800 m entre el pico Naiguatá y los poblados al sur de esta importante elevación)	Indican la existencia del contraste de alturas entre las unidades de relieve, pero no se estima cual es el valor. (En la región de Ocumare-Santa Lucía, este desnivel alcanza en la parte norte de la depresión al menos 800 m entre las zonas mas elevadas de los Altos de Mariche al norte y los poblados al sur de esta importante serranía)	Mencionan el contraste de alturas generados entre la depresión sedimentaria y las serranías que limitan al noroeste y al sur (Cordillera de La Costa y Serranía del Interior), sin determinar un valor estimado.
Evidencias Geomorfológicas	Se identifican escarpes de falla degradados y facetas triangulares al norte y al sur, correspondientes al comportamiento normal de la falla El Ávila y la falla Guarenas.	Ubica en Sebacán escarpes de falla con componente normal al norte del valle.	Audemard (1984) identifica zonas extensas de escarpes de fallas al norte de la cuenca, relacionadas con la falla La Victoria, donde se observan facetas triangulares con exposición al sur.	Determinan facetas triangulares y drenajes suspendidos asociados a la actividad cuaternaria normal de la falla La Victoria.
Evidencias Estratigráficas	La presencia en la Formación Guatire de cuevas de buzamientos con inmersiones centripetas sugiere el levantamiento de las serranías metamórficas con respecto a la depresión sedimentaria. Las rampas de explayamiento Q ₃ al norte de la cuenca se observan flexionadas hacia el sur y al norte, originado por el efecto de bisagra entre el macizo El Ávila y la depresión sedimentaria.	La disposición de las formaciones cuaternarias de la parte oriental del Graben de Caracas muestran evidencias de deformaciones tectónicas contemporáneas y posteriores a la depositación de estas, correspondientes al efecto de bisagra estructural que acompaña la articulación de los bloques positivos y negativos del macizo El Ávila y la fosa de Los Palos Grandes.	Audemard (1984) menciona que hacia la parte del margen norte de la cuenca, conformado por la falla La Victoria se observan rampas coluvionales de edad reciente basculadas al sur producto del arrastre provocado por los movimientos ascendentes del bloque metamórfico.	Espinola & Ollarves (2002) indican que en la parte occidental del sistema de fallas de La Victoria se observa una meseta estructural, conformada por sedimentos de la Formación Aramina, cuya sección basal se encuentra pegada al frente de montañas con buzamientos al sur, producto del arrastre generado por el movimiento ascendente del sistema de fallas, la cual levanta relativamente a la Cordillera de La Costa con respecto a la cuenca de Barlovento.
Gargantas epigénicas y Difluencias	Entalladas sobre la Formación Guatire, estas gargantas evidencian el último proceso del levantamiento de la Cordillera de La Costa.	Menciona la existencia de gargantas entre el valle de Caracas y la cuenca del Tuy Medio correspondientes a un proceso de ascenso de la Cordillera de La Costa.	Audemard (1984) indica las gargantas epigénicas mencionadas por Singer (1977a) entre el Valle de Caracas y la cuenca del Tuy Medio.	No señalan la presencia de gargantas ni de difluencias en los drenajes.
Comportamiento del drenaje principal	El río Guarenas se encuentra contra el borde sur de la depresión.	El río Guaire se desarrolla contra el borde sur de la depresión del Valle de Caracas.	El río Tuy se encuentra contra el margen sur de la cuenca (Picard & Pimentel, 1968). La Quebrada Soapire se ubica contra el borde sur de la depresión (Audemard, 1984).	El río Tuy se localiza contra el borde sur de la depresión.

Tabla 6.7. Resumen de evidencias relacionadas a movimientos de fallas transcurrentes.

Cuencas Sedimentarias	Guarenas-Guatire	Valle de Caracas (Singer, 1977a, b)	Ocumare-Santa Lucía (Audemard, 1984)	Barlovento (Espínola & Ollarves y Hernández & Rojas, 2002)
Evidencias Geomorfológicas	<p>Las depresiones en los bordes estructurales, representadas por los Valles de falla al norte y por la Depresión de borde cuenca fallada y el Valle de falla al sur y sureste, corresponden a evidencias de fallamiento transcurrente asociados a las fallas El Ávila y Guarenas.</p> <p>La presencia de crestas desplazadas tanto al norte como al sur, así como los drenajes desplazados al sur indican movimientos transcurrentes de sentido dextral relacionadas a la actividad de las fallas El Ávila y Guarenas.</p>	<p>No menciona evidencias geomorfológicas relacionadas a este tipo de fallamiento.</p>	<p>Audemard (1984) señala la ubicación de la falla La Victoria en contacto con la cuenca del Tuy muestra la única evidencia de movimientos rumbo-deslizantes, donde se observan drenajes desplazados de manera dextral.</p> <p>La falla de Tácata localiza cualitativamente y cuantitativamente las mejores evidencias geomorfológicas de fallamiento transcurrentes dextral preservadas en relieve metamórfico.</p>	<p>Estos autores indican la presencia en el borde septentrional un sistema de falla con orientación NE-SW pertenecientes al sistema de fallas de La Victoria, evidenciado por facetas triangulares, drenajes suspendidos, colinas desplazadas, y drenajes desplazados, cuyos movimientos relativos son dextrales.</p> <p>A todo lo ancho de la cuenca, reconocen evidencias de fallamiento asociado al sistema de fallas de Píritu, entre ellas, valles lineales, drenajes lineales y drenajes desviados.</p>
Evidencias Estratigráficas	<p>La disposición de los sedimentos cuaternarios del nivel Q₃ con crestas desplazadas y escarpes.</p>	<p>Indica que la disposición de depósitos cuaternarios subrayan la presencia de una estructura hundida romboidal, la cual afecta los mantos de escombros cuaternarios como resultado del desplazamiento dextral transcurrente que caracteriza al tramo de falla E-W que se extiende desde Los Chorros hasta El Marqués.</p>	<p>No menciona evidencias relacionadas directamente a la deformación de los cuerpos sedimentarios recientes y al fallamiento transcurrente.</p>	<p>Señala colinas y drenajes desplazados asociados a la actividad cuaternaria transcurrente dextral de la falla La Victoria.</p>
Anomalías en el drenaje	<p>Patrones de drenaje en forma de rastrillo en Curupao. Tramos rectilíneos del río Guarenas. Drenajes desplazados al sur de la cuenca al este de Guarenas.</p>	<p>Señala que en Los Chorros y en El Rosario, se observa en el drenaje un patrón en forma de rastrillo, en las quebradas Tenería y Tocome asociado a la falla E-W, con desplazamientos transcurrentes dextrales.</p>	<p>Indica la existencia de lineaciones de menor importancia en la red de drenaje.</p>	<p>No señalan anomalías en el drenaje generadas por la actividad de fallas transcurrentes.</p>

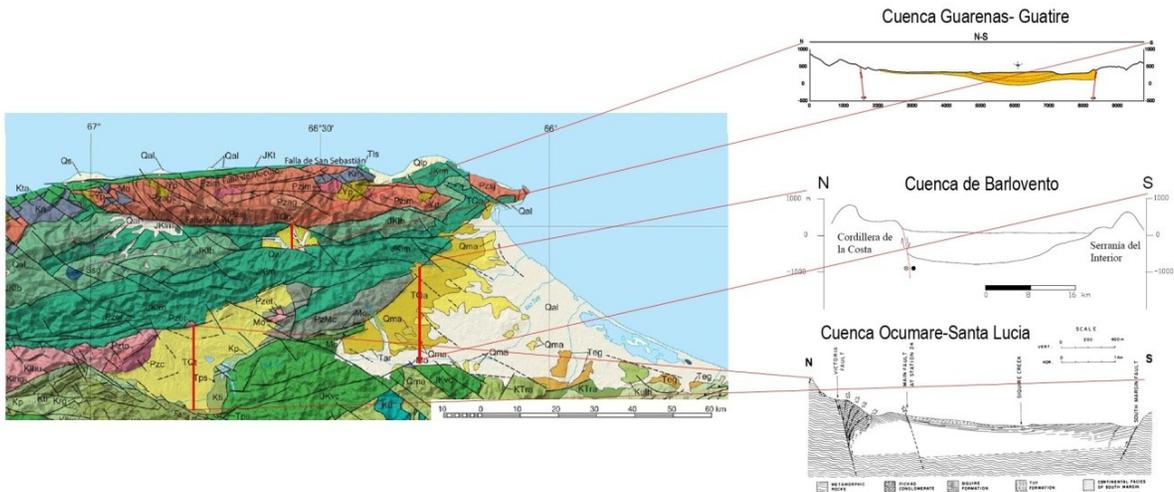


Figura 6.15. Representación esquemática de la relación espacial entre las cuencas de Ocumare-Santa Lucía, Guarenas-Guatire y Barlovento. En rojo se señala la orientación y ubicación geográfica de los cortes estructurales realizados para las distintas depresiones.

En la figura 6.15 se ubican espacialmente cortes estructurales extraídos de trabajos previos (ESPÍNOLA & OLLARVES, 2002; AUDEMARD, 2002) que representan las configuraciones de las depresiones localizadas en la parte nor-central de Venezuela. Las cuencas de Ocumare-Santa Lucía y Barlovento muestran un control estructural marcado hacia el norte asociado a la actividad de la Falla La Victoria, mientras que en la cuenca Guarenas-Guatire la Falla Guarenas, al sur, es la estructura que define a la forma de la depresión.

Teniendo en cuenta que la Falla Guarenas está asociada a la Falla Tacagua-El Ávila y La Victoria, y que no se observan evidencias de actividad cuaternaria de la Falla Tacagua-El Ávila en su trazado por la zona de estudio, es posible que la génesis de la depresión se deba a la interacción entre la Falla Guarenas y la Falla La Victoria durante el Plio-Pleistoceno.

6.5.1. Fases de Deformación

Para la región nor-central de Venezuela diversos autores (entre ellos AUDEMARD 1984, ESPÍNOLA y OLLARVES 2002, HERNÁNDEZ y ROJAS 2002) establecen a través de diversas evidencias la presencia de dos fases de deformación frágil en la región: una

distensiva y otra compresiva (ver tabla 6.8). SINGER (1977a, b) solo determina rasgos geométricos en la caracterización de la depresión del Valle de Caracas por lo cual no pudo ser comparada.

AUDEMARD (2002) en una revisión de su estudio previo del año 1984, reporta un régimen de extensión “local” ocurrido durante el Plio-Pleistoceno registrado en el relleno sedimentario de la cuenca media del río Tuy, que pudiera estar relacionado al colapso orogénico de la Cordillera de la Costa en la zona nor-central de Venezuela, y una segunda fase de deformación que se reinicia durante el Cuaternario donde el esfuerzo máximo (σ_1) se intercambia con el esfuerzo intermedio (σ_2) de vertical a la dirección NNW-SSE, de una fase extensional a una fase compresional generalizada a toda la costa norte de Venezuela.

ESPÍNOLA y OLLARVES (2002) establecen para la cuenca de Barlovento al menos dos fases de deformación frágil: una primera fase distensiva (Mioceno Tardío-Plioceno Temprano) con σ_1 en posición vertical y σ_2 y σ_3 orientados SE-NW Y NE-SW, generando un sistema de fallas normales sinsedimentarias orientadas NW-SE; y una segunda fase de tipo transcurrente caracterizada por fallamiento postsedimentario (Plioceno Tardío-Holoceno) con σ_2 en posición vertical, σ_1 orientado NNW-SSE a N-S y σ_3 ENE-WSW a E-W.

De la primera fase distensiva asociada a la formación de la cuenca Guarenas-Guatire las evidencias en la cuenca son indirectas, relacionadas a movimientos verticales que dejaron su huella en el paisaje a través de evidencias geomorfológicas en los bordes de la cuenca.

La segunda fase de deformación de tipo compresiva y con un esfuerzo máximo con orientación NNW-SSE (AUDEMARD, 1984, 2002; SOULAS, 1986, BELTRÁN & GIRALDO, 1989), en el presente estudio se presenta como fallamiento transcurrente postsedimentario, donde σ_1 y σ_3 están en posición horizontal NNW-SSE y ENE-WSW respectivamente, y σ_2 en posición vertical. La configuración anterior coincide con lo reportado por ESPÍNOLA y OLLARVES para la cuenca de Barlovento (ver tabla 6.8).

Tabla 6.8. Resumen de los modelos propuestos para las cuencas de la región de Miranda.

NOMBRE DE LA CUENCA	Valle de Caracas (Singer, 1977a, b)	Cuenca de Barlovento (Espínola & Ollarves, 2002, y Hernández & Rojas, 2002)	Cuenca Sta. Lucia-Ocumare (Audemard, 2002)
COBERTURA SEDIMENTARIA	- Formaciones Cuaternarias (Continental): terrazas fluviales, abanicos torrenciales.	- Formaciones Terciarias (Marino Somero): Aramina. - Formaciones Cuaternarias (Continental): Caucagua (Canales entrelazados y abanicos aluviales), Mamporal (Abanicos aluviales)	- Formaciones Terciarias: Siquire (Lacustre), Tuy (Fluvio-Lacustre) - Formaciones Cuaternarias: Terrazas Aluviales no discriminadas (Continental)
TECTÓNICA DE LA CUENCA	No determina las fases de deformación.	Dos fases de deformación.	Dos fases de deformación.
TENSOR DE ESFUERZO	No determina tensores de esfuerzos.	Primera fase: Régimen distensivo (Mioceno tardío) Sinsedimentario	Primera fase: Régimen distensivo (Plio-Pleistoceno) Sinsedimentario
		σ ₁ Vertical	σ ₁ Vertical
		σ ₂ NW-SE	σ ₂ NW-SE
		σ ₃ NE-SW	σ ₃ NE-SW
		Segunda fase: Régimen transcurrente (Plioceno tardío) Postsedimentario	Segunda fase: Régimen transcurrente (Cuaternario) Postsedimentario
		σ ₁ NNW-SSE	σ ₁ NW-SE
		σ ₂ Vertical σ ₃ ENE-WSW	σ ₂ NE-SW σ ₃ Vertical
OBSERVACIONES TECTÓNICAS	El valle de Caracas constituye a una estructura de tipo semi graben, sujeta a la actividad de la Falla Tacagua-El Ávila. El drenaje principal (río Guaire) se observa contra el borde sur de la depresión.	La cuenca de Barlovento representa al borde occidental de una estructura tipo graben, controlado por la falla de Piritu en el oeste y la falla San Mateo al este. Además, el drenaje principal se observa contra el sur de la cuenca.	La cuenca del Tuy corresponde a una estructura tipo graben, controlado por la falla La Victoria al norte y la falla Tácata al suroeste. El drenaje principal se ubica al sur de la cuenca.
MODELO GENÉTICO	Tipo Semi-Graben	Tipo Semi-Graben	Tipo Graben
GEOLOGÍA HISTÓRICA	No especifica la evolución tectónico-estratigráfica.	Para finales del Mioceno, luego del colapso orogénico, se origina la cuenca Tipo Semi-Graben, inicialmente controlado por el sistema de fallas de Piritu, en donde ocurren las primeras depositaciones de facies marinas someras (Aramina), que luego colmatan la cuenca, y dan lugar a la depositación continental (Caucagua y Mamporal) bajo un régimen sintectónico, controlado por el sistema de fallas de la Victoria, afectados posteriormente por una segunda fase de deformación de tipo transcurrentes.	A finales del Mioceno ocurre un colapso orogénico el cual genera el hundimiento de la cuenca (tipo Graben), inicialmente controlado por el sistema de fallas La Victoria y Tácata, básicamente por fallamiento de tipo normal, en donde ocurren las primeras depositaciones de facies coluviales y fluvio-lacustres (Pichao, Siquire y Tuy), que luego colmatan la cuenca. Posteriormente, se da lugar la depositación las terrazas cuaternarias, y al cambio en el estilo de deformación, controlado nuevamente por el sistema de fallas La Victoria y Tácata pero en una segunda fase de deformación de tipo dextral transcurrente.

6.6.GEOLOGÍA HISTÓRICA

La historia geológica de la Cuenca Guarenas-Guatire tiene inicio a previo al límite Plio-Pleistoceno cuando ocurre la apertura de la cuenca sedimentaria producto de la tectónica asociada a los procesos orogénicos de la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior Central.

Durante el Plio-Pleistoceno comienza la depositación de facies piemontinas, fluviales y lacustres correspondientes a la Formación Guatire, discordantes sobre rocas metamórficas de edad Cretácico (ver figura 6.16).

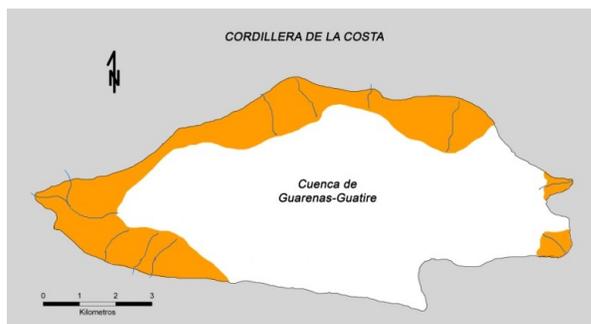


Figura 6.16. Esquema paleogeográfico de la cuenca Guarenas-Guatire para el inicio del relleno sedimentario (Plioceno Tardío). Se señala en color amarillo la distribución de los depósitos dentro de la depresión sedimentaria.

La sedimentación se produce por la acumulación de conos aluvionales piemontinos, conformadas por conglomerados basales, provenientes de los bordes montañosos, siendo más notorio el aporte del macizo montañoso norte, y de depósitos fluviales y lacustres en las partes más bajas de la depresión. (ver figura 6.17).



Figura 6.17. Esquema paleogeográfico de la cuenca Guarenas-Guatire para la evolución del relleno sedimentario (Pleistoceno Temprano). Se señala en color amarillo la distribución de los depósitos dentro de la depresión sedimentaria. En azul se indica la ubicación de un antiguo lago.

Hacia la zona oriental de la cuenca existía un lago que fue progresivamente restringiendo su área hacia el sureste por el continuo aporte sedimentario proveniente norte y oeste hasta desaparecer por completo, culminando así con la depositación de la Formación Guatire (ver figura 6.18).



Figura 6.18. Esquema paleogeográfico de la cuenca Guarenas-Guatire para la evolución del relleno sedimentario (Pre-Pleistoceno Medio). Se señala en color amarillo la distribución de los depósitos dentro de la depresión sedimentaria. En azul se indica la ubicación de un antiguo lago.

Durante el Pleistoceno Tardío, los movimientos tectónicos estuvieron presentes, generando estructuras sedimentarias tipo slumps (a gran escala) hacia el sureste de la cuenca.

Para el Pleistoceno Medio comienza la depositación de las primeras unidades morfoestratigráficas cuaternarias (Q_3 , Q_2) hacia los bordes de la cuenca, caracterizadas por depósitos piemontinos, y empieza el registro de deformación dúctil y frágil de tipo transcurrente dextral, producto de la actividad tectónica de la región, tanto en la Formación Guatire como en las recientes unidades morfoestratigráficas depositadas (Q_3 , Q_2).



Figura 6.19. Esquema paleogeográfico de la cuenca Guarenas-Guatire para la evolución del relleno sedimentario (Pleistoceno Medio). Se señala en color amarillo la distribución de los depósitos dentro de la depresión sedimentaria.

Actualmente, la región mantiene la actividad tectónica que viene ocurriendo desde el Pleistoceno Medio según las evidencias geomorfológicas, sismológicas y tectónicas observadas, sin embargo, no se tiene evidencias de deformación tectónica en las unidades morfoestratigráficas más jóvenes (Q₁, Q₀). La sedimentación aluvional impera desde el Pleistoceno Temprano en los cauces actuales de los ríos y quebradas de la región.

7. CONCLUSIONES

La cuenca Guarenas-Guatire es una cuenca intramontana, que constituye una unidad deprimida emplazada dentro de la Cordillera de la Costa central. El relleno sedimentario lo conforman depósitos Neógenos y Cuaternarios de origen continental: la Formación Guatire con influencia fluvio-lacustre, discordante sobre rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas, y formaciones cuaternarias aluvio-torrenciales.

El estudio de unidades cuaternarias se utilizó como herramienta auxiliar para establecer evidencias de fallamiento activo. Estas unidades cuaternarias se encuentran distribuidas en toda la región y comprenden desde depósitos en forma de rampas de edad Pleistoceno Medio (Q_3 y Q_2), terrazas fluviales y abanicos aluviales de edad Pleistoceno Tardío (Q_1) hasta abanicos aluviales y torrenciales, y vega aluvial de edad Holoceno (Q_0), discordantes sobre la Formación Guatire. Se caracterizan por sedimentos gruesos con matriz areno-arcillosa de tonos oscuros. Las edades propuestas son relativas y requieren un mayor análisis antes de establecer su edad definitiva.

A partir de la fotointerpretación y del levantamiento geológico de campo se encontraron evidencias geomorfológicas de fallamiento activo en la región, tales como bermas, escarpes de falla, facetas triangulares, cuellos de falla, crestas desplazadas, drenajes lineales, drenajes suspendidos, drenajes desplazados, difluencias en el drenaje, trincheras de fallas, y depósitos cuaternarios deformados. Estas evidencias señalan:

- La existencia de fases de deformación previas a la formación de la cuenca, asociadas a la Falla El Ávila y la Falla Guarenas.
- La existencia de un control estructural asociada a la apertura de la cuenca en el margen sur de la cuenca relacionada a la Falla Guarenas.
- Fallamiento transcurrente dextral posterior a la formación de la depresión que afecta a la Formación Guatire y a depósitos cuaternarios hasta el nivel Q_2 .

Del análisis de las poblaciones de fallas se determinó para la cuenca Guarenas-Guatire una fase de deformación frágil durante el Cuaternario, posiblemente iniciada en el Pleistoceno. Se caracteriza por fallamiento postsedimentario transcurrente, donde el esfuerzo principal (σ_1) se encuentra sub-horizontal, orientado en dirección NNW-SSE, variando hacia la N-S, el esfuerzo mínimo (σ_3) se ubica sub-horizontalmente, orientado ENE-WSW, y el esfuerzo medio (σ_2) está en posición subvertical, afectando a sedimentos de la Formación Guatire. A esta fase de deformación están asociadas las siguientes estructuras:

- Pliegue anticlinal en la esquina suroeste de la cuenca, con eje en dirección WNW-ESE, perpendicular al esfuerzo principal.
- Pliegue sinclinal en el centro de la cuenca, con eje en dirección ENE-WSW, perpendicular al esfuerzo principal.
- Fallas orientadas WNW-ESE con posible movimiento transcurrente dextral, correspondientes a riedels sintéticos (R) con respecto al esfuerzo principal en dirección NNW-SSE, según el modelo de WILCOX *et al* (1973). Dentro de esta familia de fallas se encuentra la estructura que define el límite sur de la cuenca, para la cual se propone el nombre de Falla Guarenas, con movimiento transcurrente dextral comprobado.
- Fallas orientadas en dirección NE-SW con posible movimiento transcurrente dextral, correspondientes a fallas especulares (P) según el modelo de WILCOX *et al* (1973).

La cuenca estuvo sujeta a movimientos tectónicos durante la depositación de la Formación Guatire, evidenciado por la presencia estructuras sedimentarias tipo *slumps*.

Se realizó un estimado de la tasa de desplazamiento para la falla de Guarenas de 0,32 mm/a, lo cual concuerda con lo propuesto por AUDEMARD (2006) para las tasas de desplazamiento de fallas secundarias asociadas al límite de placa Caribe-Suramérica (<0,5 mm/a). Este valor debe tomarse como un aproximado a falta de edades absolutas sobre el marcador cuaternario utilizado. La tasa de levantamiento calculada del registro

fósil es de 0,147 mm/año, valor aproximado por lo anterior mencionado. Se calculó asimismo la tasa de sedimentación dando como resultado $3 \times 10^9 \text{ cm}^3/\text{año}$.

Se propone de modelo genético para la formación de la cuenca como una depresión Semi-Graben, cuyo límite sur, la Falla Guarenas, es un Riedel sintético (R) entre los sistemas de Fallas Tacagua-El Ávila y La Victoria. La génesis de la cuenca, según la comparación con trabajos previos de las cuencas aledañas de Santa Lucía-Ocumare, y Barlovento septentrional, posiblemente está asociada a la Falla La Victoria y a un colapso orogénico regional iniciado a finales del Mioceno.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar la datación absoluta de la Formación Guatire y de las unidades morfoestratigráficas cuaternarias. Esto con el objeto de precisar en el tiempo la evolución paleo-climática y morfotectónica del cuaternario de la región.
- Realizar estudios sobre licuación de suelos con fines de microzonificación sísmica, en vista del potencial expansivo que presentan las arcillas de esta región y de las condiciones sísmotectónicas presentes de esta región.
- Realizar un estudio de sísmica de refracción a fin de identificar en el basamento las estructuras de deformación presentes.
- Estudiar la dinámica de laderas con la finalidad de entender el comportamiento de estos movimientos de masa en la cuenca, teniendo en cuenta la presencia de marcas de paleodeslizamientos en las serranías que bordean a la depresión y de depósitos torrenciales en la depresión.
- Continuar con el estudio morfotectónico de la falla Tacagua-El Ávila hacia la región de Barlovento, debido a las deficiencias que existen en la literatura actual acerca del comportamiento de esta importante estructura.
- Realizar un estudio para establecer una posible relación entre la Falla de Guarenas y el sistema de fallas de La Victoria.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUERREVERE, S. & G. ZULOAGA. 1937. *Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa*, Venezuela. Bol. Geol. Y Min., Caracas, 1(2-4): 8-24.
- AGUERREVERE S. E Y G. ZULOAGA. 1938. *Nomenclatura de las formaciones de la parte central de la Cordillera de la Costa*. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4): 281-284.
- ÁLVAREZ, M. 2006. *Estudio neotectónico de las cuencas Tocuyo-Quibor-Yay* Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela de geología, minas y geofísica, Departamento de geología, U.C.V., Inédito, 221 p.
- ANGELIER, J. 1979. *Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population*. *Tectonophysics*, 56: 17-26.
- ASUAJE, L. 1972. *Geología de la región de Guatire - Cabo Codera (Resumen)*. Bol. Geol., Caracas, Public. esp. 5, 3: 1289.
- AUDEMARD, F. 1984. *Evaluación geológica de la Cuenca del Tuy para fines de investigaciones neotectónicas*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. Inédito 208p.
- AUDEMARD, F. 1985. *Neotectónica de la cuenca del Tuy*. Mem. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 4:2339-2377.
- AUDEMARD, F. 2002. *Syn-sedimentary extensional tectonics in the River Tuy Basin, northern Venezuela: implications on basin genesis southern Caribbean Geodynamics*. Mem. XI Congr. Venez. de Geofísica, Caracas, disco compacto.
- AUDEMARD, F. 2003. *Estudios paleosísmicos por trincheras en Venezuela: métodos, alcances, aplicaciones, limitaciones y perspectivas*. Revista Geográfica Venezolana, Universidad de Los Andes, 44 (1): 11-46.
- AUDEMARD, F. 2007. *Los estudios neotectónicos y paleosísmicos en la mitigación del riesgo sísmico*. FUNVISIS, Caracas.
- AUDEMARD, F. & C. GIRALDO. 1997. *Desplazamientos dextrales a lo largo de la frontera meridional de la placa Caribe, Venezuela Septentrional*. VIII Cong. Geol. Venezolano, Porlamar, 1:101-108.
- AUDEMARD, F., A. SINGER & J. SOULAS. 2006. *Quaternary faults and stress regime of Venezuela*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 61(4): 480-491.

- AUDEMARD, F., J. COX, R. DART., K. HALLER & M. MACHETTE. 2000. *Map and database of quaternary faults in Venezuela and its offshore regions*. USGS. Reporte 00-018. 82 p.
- AUDEMARD, F., M. MACHETTE, J. COX, R. DART, Y K. HALLER 2000. *Map of Quaternary Faults in Venezuela. A project of International Lithosphere Program Task Group II-2, Major Active Faults of the World, scale 1:2000000*, en Edic. Fundación Geos, U.C.V., ediciones en CD-rom, número 1, Caracas.
- AUDEMARD, F., G. ROMERO, H. RENDON, Y V. CANO, 2005. *Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions*. Earth-Science Reviews 69 (3-4): 181-233.
- BECK, C. 1985. *Caribbean Colliding, Andean Drifting and the Mesozoic-Cenozoic Geodynamic: Evolution of the Caribbean*. Mem. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 10:6574-6614.
- BECK, C. 1986. *Geologie de la chaîne Caräibe su meridiem de Caracas (Venezuela)*. Soc. Geol. De Nord, Villeneuve s' Ascq, Francia, Public. N° 14, 462 p.
- BELL, J.S. 1969. *El significado de la faja piemontina de la Cordillera de la Costa*. IV Congreso Geológico Venezolano, Caracas, M.M.H.
- BELLIZZIA A. Y D. RODRÍGUEZ. 1968. *Consideraciones sobre la estratigrafía de los estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo*. Bol. Geol., Caracas, 9(18): 515-563.
- BELTRÁN C. (comp.) 1993. *Mapa neotectónico de Venezuela a escala 1:2.000.000*. Public. FUNVISIS. Caracas.
- BELTRÁN, C. & GIRALDO, C. 1990. *Aspectos neotectónicos de la región nororiental de Venezuela*. 7° congreso geológico venezolano, proceedings 3: 1000-1021.
- BERMÚDEZ, P. 1966. *Consideraciones sobre los sedimentos del Mioceno Medio al Reciente de las Costas Central y Oriental de Venezuela*. Boletín de Geología, volumen VII, Caracas, Venezuela, 342 -343 p.
- COTTON, C.1945. *Geomorphology. An Introduction to the study of land forms*. 4° ed., Whitcombe & Tombs, New Zealand. p 505.
- DENGO G. 1951. *Geología de la región de Caracas*. Bol. Geol., Caracas, 1(1): 39 - 115. Versión en inglés: *Geology of the Caracas region, Venezuela*. Geol. Soc. Amer. Bull., 64(1): 7-40, 1953.
- DUSENBURY, A. N., 1956. *Guatire, Formación. Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Bol. Geol., Pub. Esp. N° 1, 289-290 p.

- ESPÍNOLA, E. & OLLARVES, R. 2002 *Metodología para el estudio de una cuenca sedimentaria con fines neotectónicos*. Resumen, Jornadas de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, U.C.V., Noviembre. En prensa.
- ESPÍNOLA, E. & OLLARVES, R. 2002 *Estudio Tectono-Estratigráfico del Margen Meridional de la Cuenca de Barlovento, Estado Miranda: Implicaciones Neotectónicas*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. 240 p.
- ETCHECOPAR, A., G. VASSEUR & M. DAIGNIERES. 1981. *An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis*. *Jou. Struct. Geol.*, 3 1): 51-65.
- FEO CODECIDO, G. 1962. *Contribution to the geology of north-central Venezuela*. *Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol., Bol. Inf.* 5(5): 117-142.
- FUNVISIS. 1984. *Estudio de riesgo sísmico Ferrocarril Caracas-Litoral*. Informe final. 2 Volúmenes.
- GARRITY, C., HACKLEY, P. & URBANI, F. 2004. *Digital shadedrelief map of Venezuela*. U.S.G.S.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., J. ITURRALDE DE AROZENA Y X. PICARD, 1980. *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Ediciones FONINVES. 2: 715-716.
- GONZÁLEZ S. L. 1972. *Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro - occidental*. *Bol. Geol., Caracas, Public. esp.* 5, 3: 1589-1616.
- GOUDIE, ANDREW S. 2006. *Encyclopedia of Geomorphology*. New York. Editorial Routledge. 1155p.
- GRASES, J., R. ALTEZ & M. LUGO. 1999. *Catálogo de Sismos Sentidos o Destruyentes Venezuela 1530/1998*. Editorial Innovación Tecnológica. UCV. Facultad de Ingeniería. 654 p.
- GUTIÉRREZ, J. 2004. *Guía teórica de Geomorfología*. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica, U.L.A.. Materia: Geomorfología. 105 p.
- GRATEROL V. 1970. *Estudio Gravimétrico de la Cuenca de Guarenas-Guatire*. *Boletín de Geología, Caracas, Venezuela*, incluye mapa, 11(21): 319-336.
- HACKLEY, P., F. URBANI, A.W. KARLSEN, & C.P. GARRITY. 2006. *Mapa geológico de Venezuela*. U.S.G.S., Dos hojas a escala: 1:750.000.
- HANCOCK P.L. 1994. *Continental deformation*. Oxford: Pergamon press. 421 p.

- HANS, G. *et al.* 2005. *Caribbean-South America Plate Interactions, Venezuela*. The Geological Society of America. Special Paper 394. U.S.A.
- HECHT, J. 2005. *Caracterización Geofísica mediante estudios de ruido sísmico ambiental y gravimétricos del municipio Zamora (Guatire), Estado Miranda*. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela. 209 p.
- HESS & DENG, 1949. *Geological reconnaissance Guarenas-Guatire-Colonia Bolivar area and a traverse from Guatire to Caucagua*. Inedito. Biblioteca MMH.
- INSTITUTO DE ESTUDIOS REGIONALES Y URBANOS (IERU). 1979. *Estudio de espacios abiertos la región capital. Volumen 2: Geología y Geotecnia*. U.S.B. Valle de Sartenejas.
- INSTITUTO DE ESTUDIOS REGIONALES Y URBANOS (IERU). 2007. *Plan de desarrollo urbano local - Sistema de información urbanística - Agenda de participación comunitaria del municipio Plaza, edo. Miranda*. U.S.B. Valle de Sartenejas.
- JACKSON, JULIA A; MEHL, JAMES P.; NEUENDORF, KLAUS K. 2005. *Glossary of Geology*. American Geological Institute. Editorial Springer Science & Business. 779p.
- JAKUBOWICS, E.; LAROTTA, J. 1974. *Terremoto del 29 de Octubre de 1900*. Boletín Técnico del IMME. U.C.V., Caracas, pp. 23-77.
- KÖPPEN, W. 1948. *Climatología*. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, P. 233.
- KOVACH A., P. M. HURLEY Y H. W. FAIRBAIN. 1979. *Preliminary Rb/Sr whole rock dating of basement rocks from the Coast Range*. Bol. Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol., 20(1-3): 86 - 89.
- MACHETTE, M. 2000. *Active, capable and potentially active faults: a paleoseismic prospective*, Journal of Geodynamics 29, 387-392.
- MACSOTAY, O. 1969. *Estudio de una paleofauna de moluscos dulceacuícolas tropicales Pleistocena de la cuenca Guarenas-Guatire en el Edo. Miranda*. Informe inédito. M.M.H., 9 p.
- MENCHER, E., K. F. DALLMUS, H. J. FITCHER, C. GONZALEZ DE JUANA, R. L. PONTE, H. H. RENZ & P. DE SCHUMACHER. 1951. *Cuadro de Correlación de las formaciones geológicas de Venezuela*. En: *Texto de las monografías presentadas en la Convención Nacional del Petróleo*. Ofic. Tecn. Hidrocarb., Min. Minas e Hidrocarb., Caracas. 419 p. Reimpreso 1950. Bol. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petrol., 2: 18. 1953 en: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 37(4): 774-775.
- MÉNDEZ, J. 1997. *El cuaternario en Venezuela*. P.D.V.S.A. Intevp.

- MENÉNDEZ, V. 1966. *Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela*. Bol. Geol., Caracas, Vol. 8, N° 15, p. 116-139.
- MILANO, J. 2006. *Guatire: Visos de una historia gloriosa*. Fundación Editorial El Perro y La Rana. 85 p.
- NAVARRO E., M. OSTOS Y F. YORIS. 1988. *Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte - central de Venezuela durante el Jurásico Medio - Paleogeno*. Acta Científica Venezolana, 39: 427-436.
- NICKLAS, M. 1953. *Las formaciones terciarias en la cuenca de Guarenas-Guatire*. Soc. Cienc. Nat. La Salle., Mem. 13(36): 369-376.
- NODA, F. 2008. *Estudio geofísico a lo largo de la ruta del ferrocarril Caracas-Guarenas*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Geofísica, U.C.V., Inédito, 173 p.
- OLLARVES, R. 2007. *Neotectónica de la Falla Tacagua-El Ávila*. FUNVISIS. Inédito.
- ODEBRECHT. 2007. *Estudio geológico y caracterización geomecánica del macizo rocoso correspondiente a la sección Urbina norte-La Culebrita, Edo. Miranda, del proyecto "sistema de transporte Caracas-Guarenas-Guatire"*. Inédito.
- OSTOS M., E. NAVARRO Y F. URBANI. 1989. *Edad Rb/Sr. del augengneis de Peña de Mora, Cordillera de la Costa*. Mem. VII Congr. Geol. Venezolano, Barquisimeto, 1: 127 - 136.
- PICARD, X. 1973. *Cuencas sedimentarias continentales en la Cordillera de la Costa, con indicaciones sobre facies lacustres*. Curso de Postgrado, Ambientes Sedimentarios, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Geología, U.C.V., Inédito, 24 p.
- PICARD, X. 1976. *Geología de la Cuenca Guarenas-Guatire, sedimentación continental intracordillerana*. Mem. Bol. Geol., Publicación Especial, 7(2): 965-984.
- PICARD, X. & PIMENTEL N. 1968. *Geología de la Cuenca Santa Lucia-Ocumare*. Bol. Geol., 10(19):263-296.
- PINDELL, J. L. AND BARRETT, S. F.. 1990. *Geological evolution of the Caribbean region: a plate tectonic perspective in Dengo, G., and Case, J. E.* (eds.) The Caribbean, Volume H, Decade of North American Geology, Geological Society of America, Boulder, Colorado. p.404-432.

- RITZ, J.F. 1991. *Evolution du champ de contraintes dans les Alpes du Su depuis la fin de l'Oligocene. Implications sismotectoniques*. These de doctorat. Univ. Montpellier II, France, 187 p.
- RITZ, J.F. & A. TABOADA 1993. *Revolution stress ellipsoids in brittle tectonics resulting from an uncritical use of inverse methods*. Bull. Soc. Geol. France, T. 164, n° 4, pp. 519-531.
- RODRÍGUEZ, J.A & AUDEMARD, F.A. 2005. *Sobreestimaciones y limitaciones en los estudios de sismicidad histórica con base en casos venezolanos*. Revista geográfica Venezolana, Universidad de Los Andes, 44 (1): 47-75.
- RUTTEN, L. 1940. *Remarks on the geology of Colombia and Venezuela. I. The age of the nonfossiliferous slates and the metamorphic schists*. Koninklijke Nederlandsche Akademie.
- SEIDERS, V. M. 1965. *Geología de Miranda central, Venezuela*. Bol. Geol., Caracas, 6 (12): 289-416
- SINGER, A. 1977a. *Síntesis Regional de la evolución geomorfológica de la Cordillera de La Costa*. Mem. V Cong. Geol. Venezolano. Guía de excursión N° 1, Caracas, 8 p.
- SINGER, A., 1977b. *Tectónica Reciente, Morfogénesis Sísmica y Riesgo Geológico en el Graben de Caracas, Venezuela*. M.M.H., Caracas, 41 p.
- SINGER, A., C. ROJAS & M. LUGO. 1983. *Inventario nacional de riesgos geológicos*. FUNVISIS. Serie técnica 03-83. 126 p.
- SMITH, R. J. 1952. *Geología de la región de Los Teques – Cúa*. Bol. Geol., Caracas, 2(6): 333-406. Versión en inglés: *Geology of the Los Teques - Cúa region, Venezuela*. Bull. Geol. Soc. Amer., 64(1): 41-64.
- SNOKE, A. W. 2001. *Petrologic and structural history of Tobago West Indies: A fragment of the accreted Mesozoic oceanic arc of the southern Caribbean*. Geological Society of America Special Paper 354.
- SOULAS, J. 1985. *Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas*. Mem.VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 10: 6640-6656.
- SPEED, R. C. & P. L. SMITH-HOROWITZ, 1998. *The Tobago Terrene*. International Geology Review, 40:805-830.
- STEPHAN, J.F. 1982. *Evolution géodynamique du domaine Caräibe: Andes et chaine Caräibe sur la transversal de Barquisimeto (Vénézuéla)*. Universite de Pierre et Marie Curie (Paris IV), Paris, Francia, Tesis doctoral. 512 p.

- STEPHAN, J.F., C. BECK, A. BELLIZZIA & R. BLANCHET. 1980. *La chaîne Caraïbe du Pacifique a l'Atlantique*. XXVIe. Congr. Geol. Int., Paris, C-5: 38-59.
- SINGER, A. 2007. *Mapa de amenaza sísmica, procesos geomorfológicos activos, y estimación de los efectos de sitio para el proyecto del tren Caracas-Guarenas-Guatire, Escala 1:50.000*. FUNVISIS. Inédito.
- URBANI, F. 1969. *Primera localidad fosilífera del Miembro Zenda de la Formación Las Brisas: Cueva del Indio, La Guairita, estado Miranda*. Bol. Inf. Asoc. Venezolana Geol., Min. y Petról., 12(11): 417-423.
- URBANI, F. 1973. *Notas sobre el hallazgo de fósiles en rocas metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa*. Bol. Inf. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., 16(4-6): 41-54.
- URBANI, F. 1982. *Comentarios sobre algunas edades de las rocas de la parte central de la Cordillera de la Costa*. Geos, UCV, Caracas, (27): 77 - 85.
- URBANI, F. 1987. *A review of Venezuelan Geothermics*. Mem.VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 10: 6640-6656.
- URBANI, F. 1991. *Geotermia*. Geos UCV, Caracas, 31:1-347.
- URBANI, F. 2000. *Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de La Costa, Venezuela*. Geos, UCV, Caracas, 33:1-170.
- URBANI, F. 2005. *Introducción*. En: F. Urbani, L. Camposano, F. Audemard & H. Avé Lallemand. *Cordillera de La Costa, Venezuela: Excursión Geológica de campo*. Geos, UCV, Caracas, 38:125-126 + 39 p. en CD.
- URBANI, F. 2008. *Revisión de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas del norte de Venezuela*. Bol. Acad. C. Fis., Ma. y Nat. Vol. LXVIII Nos. 3, Caracas.
- URBANI F. Y A. QUESADA. 1972. *Migmatitas y rocas asociadas del área de La Sabana. Cordillera de la Costa*. Bol. Geol., Caracas, Publ. esp. 5, 4: 2375-2400.
- URBANI, F., & M. OSTO. 1989a. *El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela*. Geos, U.C.V., Caracas, (29): 205-217.
- URBANI F., J. SILVA Y R. SÁNCHEZ. 1989b. *Reconocimiento geológico de la región de La Sabana - Cabo Codera - Capaya, D. F. y Miranda*. Mem. VII Congr. Geol. Venezolano, Barquisimeto, 1:223-244.

- URBANI F., R. SÁNCHEZ Y J. SILVA. 1988. *Geología de dos geotransversales de la Cordillera de Costa. Parte 1: Geología de la región de La Sabana - Cabo Codera - Capaya. D. F. y Miranda*. Bol. Geociencias, UCV, Caracas, (12): 1 - 122.
- URBANI F., R. SÁNCHEZ Y J. SILVA. 1989c. *Reconocimiento geológico de la región de La Sabana - cabo Codera - Capaya, D. F. y Miranda*. Mem. VII Congr. Geol. Venezolano, Barquisimeto, 1:223-243.
- URBANI, F., & J.A. RODRÍGUEZ 2004. *Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Edic. Fundación Geos, U.C.V., ediciones en CD-rom, número 1, Caracas, ix + 146 mapas a escala 1:25.000.
- WEHRMANN, M. 1972. *Geología de la región Guatire-Colonia Tovar*. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 5,4: 2093-2119.
- WILCOX, R., T. HARDING & D. SEELY 1973. *Basic wrench tectonics*. Amer. Assoc. Petro. Geol. Bull. 57(1): 74-96.
- WOLCOTT P. P. 1943. *Fossils from metamorphic rocks of the Coast Range of Venezuela*. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 27: 1632.
- ZAMBRANO, A. 1970. *Estudio fisiográfico regional de la cuenca del Tuy*. Bol. Geol., Caracas, 11(21): 3-206.
- ZINCK, A. 1981. *Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos*. CIDINT, Merida, 114 p.

Citas de Internet

- CIEN – COMITÉ INTERFILIALES DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA. 1997. *Código geológico de Venezuela*. <http://pdvsa.com/lexico>.
- FUNDACIÓN CULTURAL TERE TERE. 2006. <http://guatire.org>.
- ICS – INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY. 2009. *International Stratigraphic Chart*. <http://www.stratigraphy.org/>

APENDICE

A) GEOFÍSICA

Hecht (2005) realizó una investigación que constituyó su Trabajo Especial de Grado, donde se emplearon tres herramientas geofísicas con la finalidad de evaluar el área de la población de Guatire y sus alrededores (municipio Zamora) del estado Miranda. Empleó el método sísmico de refracción con la finalidad de caracterizar las velocidades de las ondas sísmicas P y S de las capas más someras y elaborar modelos 2D de las mismas. El 2do estudio, de ruido sísmico ambiental, permitió conocer los valores de período fundamental de vibración de los suelos y junto con el estudio gravimétrico elaboró un modelo de cuenca (espesor de sedimentos) a partir de los mapas de anomalías gravimétricas.

El modelo obtenido con el método gravimétrico junto con el mapa de períodos fundamentales elaborado a partir del estudio de ruido sísmico ambiental, permitió establecer una relación aparente período-profundidad para la ventana de estudio mediante la elaboración de perfiles. La zona de estudio se ubico entre las latitudes $N66^{\circ}35'33.9''$ - $N66^{\circ}31'37.4''$ y longitudes $E10^{\circ}29'36.7''$ – $E10^{\circ}26'19.6''$.

En base al estudio sísmico de refracción el autor estableció que el rango de variación de velocidades de las ondas S para los primeros 30 metros de profundidad se encuentra entre 550 y 650 m/s. La velocidad más alta se obtuvo para el perfil D01 (615 m/s), asociado a sedimentos cementados de la Formación Guatire (QG1). Para los perfiles restantes se determinaron valores semejantes de velocidad en el rango de 550 y 600 m/s (ver figura A.1).

Según el estudio de ruido ambiental que permitió la elaboración del mapa de períodos fundamentales (ver figura A.2) en el área central de la ventana de estudio, al sur del pueblo de Guatire, así como en la Urbanización Castillejo, se espera encontrar el mayor espesor sedimentario. Este espesor se extiende hacia el oeste hasta el área que se encuentra entre el

sector El Ingenio, al norte, y el río Guarenas ubicado en el sur. Asimismo, hacia el este se mantiene el espesor en la ruta vía Araira. Los espesores sedimentarios disminuyen en el oeste a la altura de las Urbanizaciones Los Naranjos y Nueva Casarapa, donde comienza el valle de Guarenas, área en la cual se puede observar un acortamiento de la distancia que separa los dos sistemas montañosos que limitan la cuenca. Asimismo, hacia el sur disminuye considerablemente el espesor por la presencia de las unidades metamórficas del Grupo Caracas (Esquistos de Las Mercedes). En la zona noreste del mapa (norte de Guatire y la Urbanización Las Rosas) se observa una disminución fuerte del espesor de sedimentos, debido a que en esta zona comienza la faja piemontina del Macizo del Ávila.

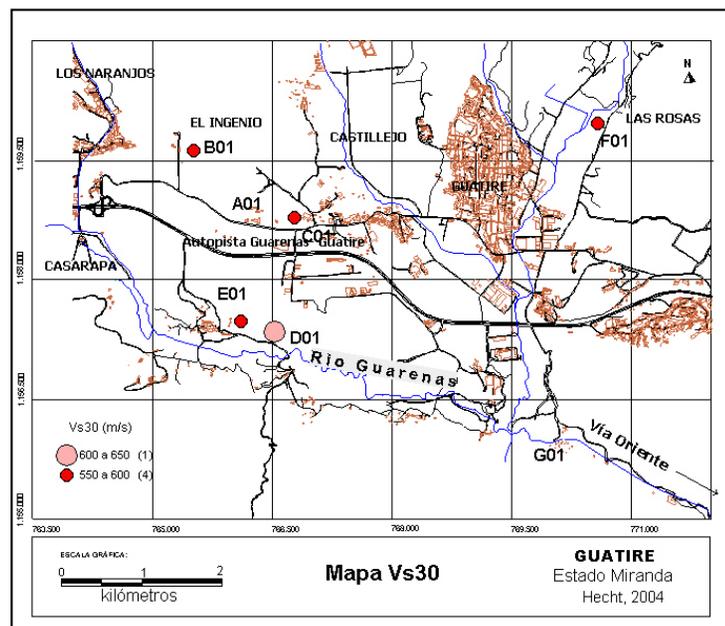


Figura A.1. Mapa propuesto de velocidades promedio a 30 metros (V30) de Guatire (Extraído de Hecht, 2005).

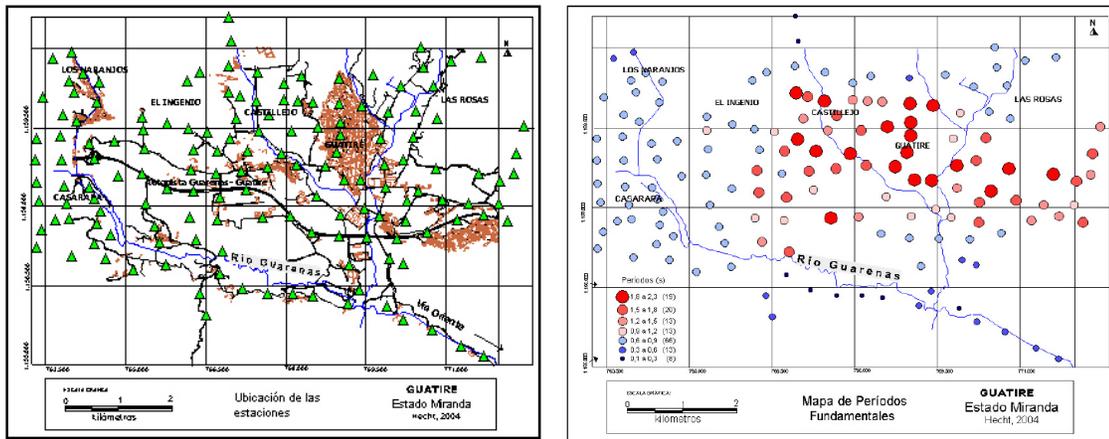


Figura A.2. A la izquierda: Mapa de ubicación de las mediciones de ruido ambiental. Imagen de la derecha: Mapa de períodos fundamentales (Extraído de Hecht, 2005).

El estudio gravimétrico, establece la tendencia general de las líneas isonómalas de Bouguer en dirección este-oeste (ver figura A.3 y A.4). En la zona central se observan los valores mínimos (zona en azul oscuro) prologándose al este y oeste con forma de elipse, dentro de esta elipse se alcanza el mínimo absoluto del área y varios mínimos relativos. En el norte y parte del este (Las Rosas, Castillejo y Los Naranjos) de la ventana de estudio, las anomalías alcanzan los valores más altos con una tendencia este-oeste.

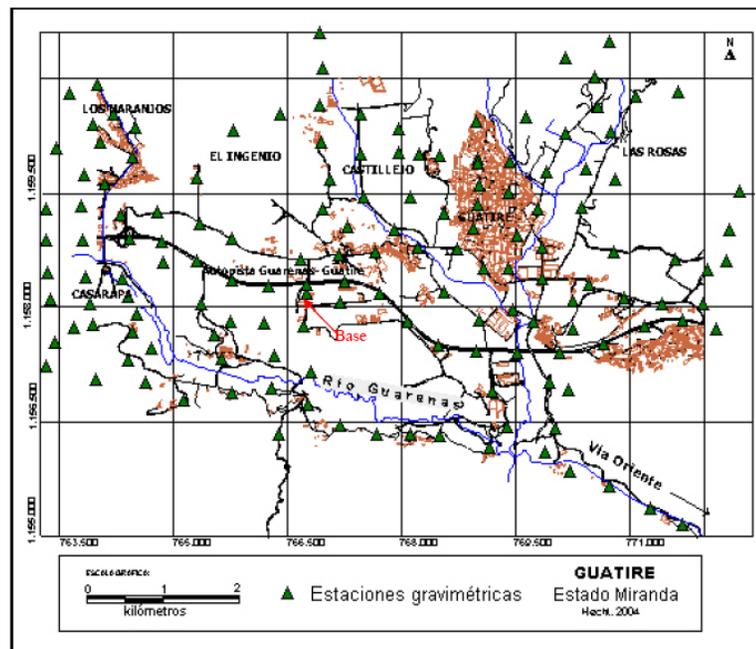


Figura A.3. Ventana de estudio con las Estaciones gravimétricas ordinarias levantadas para el estudio de Hecht y la ubicación de la estación base (Extraído de Hecht, 2005).

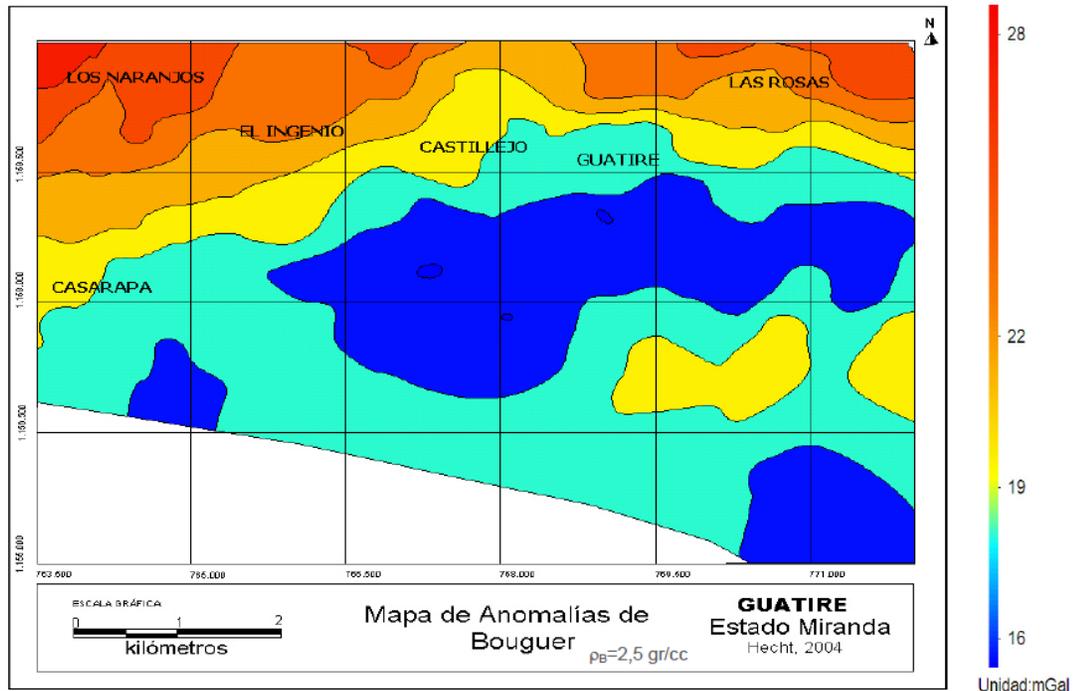


Figura A.4. Mapa de anomalías de Bouguer (Extraído de Hecht, 2005).

La tendencia de las isonómalas regionales es N80°E (ver figura A.5). Las curvas isonómalas indican que el buzamiento del basamento es hacia el sur, o sea, el basamento profundiza en la dirección norte-sur, así como el espesor de sedimentos.

El mapa de anomalías residuales (ver figura A.6) muestra una zona anómala en la parte central causado por el espesor de los sedimentos pertenecientes a la Formación Guatire. Este mapa muestra la forma de la cuenca de Guatire compuesta principalmente por sedimentos poco compactados. La misma abarca un área aproximada de 6 km de largo por 3 km de ancho y se ubica en la parte área central de la ventana de estudio con un alineamiento este-oeste.

La regularidad en el comportamiento de las curvas isonómalas, así como la ausencia de cierres característicos, no da información concluyente sobre la existencia de estructuras geológicas locales, pero esto se debe a la falta de información por el difícil acceso a la zona.

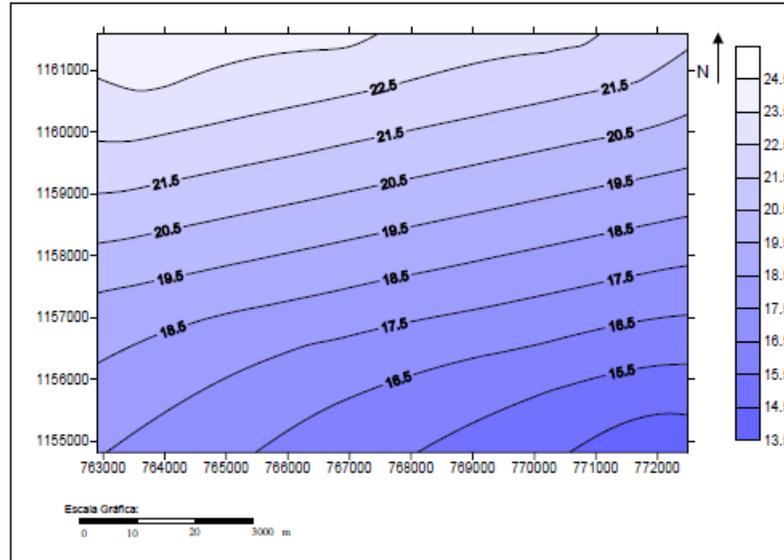


Figura A.5. Mapa de anomalía regional, calculado con el polinomio de primer grado (Extraído de Hecht, 2005).

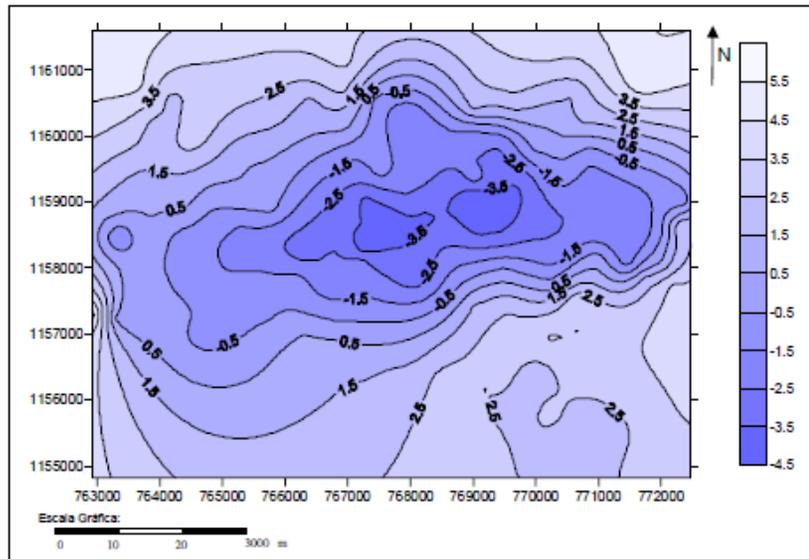


Figura A.6. Mapa de anomalía residual, calculado con el polinomio de primer grado (Extraído de Hecht, 2005).

Modelado Gravimétrico

El modelo gravimétrico se elaboró a partir de los datos de anomalías residuales del polinomio de primer grado. El mapa modelado se ajusta a medida que se elaboran los perfiles gravimétricos. En ellos el autor complementa la información geofísica con datos geológicos de superficie para las zonas en donde no se pudo establecer mediciones

gravimétricas. Establece varios perfiles en dirección norte-sur a partir del mapa modelado corregido con la información medida (ver figura A.7).

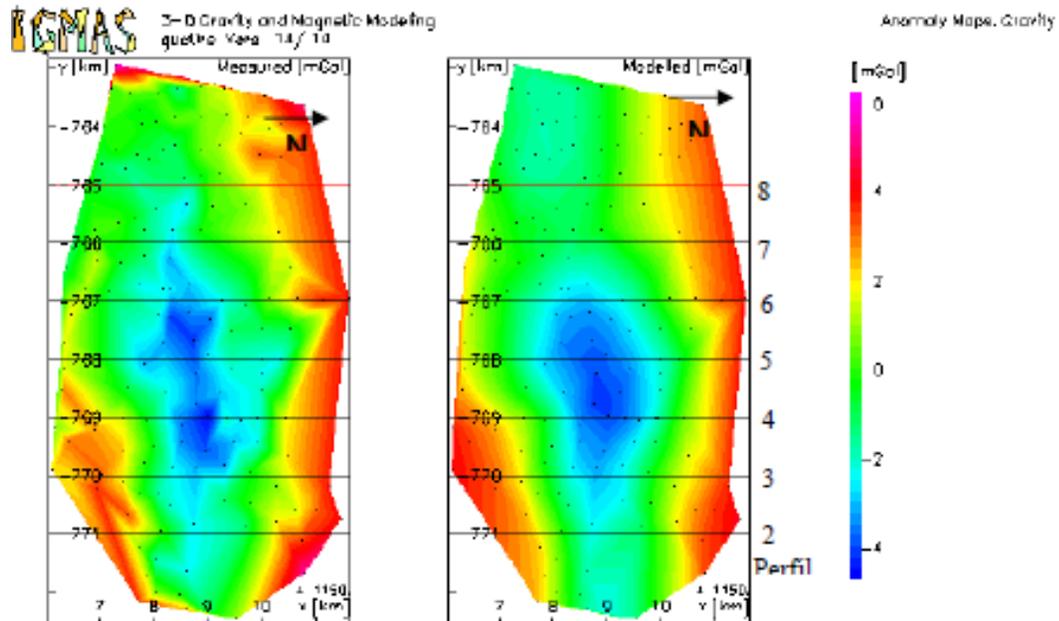


Figura A.7. Mapa de anomalía residual, calculado con el polinomio de primer grado (Extraído de Hecht, 2005).

En las imágenes 2D generadas Hecht establece la presencia de una falla hacia la zona sur con información geológica de Werhman (1972) y Urbani (2004) para complementar la información ausente hacia esa zona por falta de acceso, y ya menciona su posible relación a la falla del Ávila como una conjugada de esta por el ajuste de la cuenca Guarenas-Guatire entre los dos sistemas montañosos en la cual se encuentra enclavada (ver figura A.8).

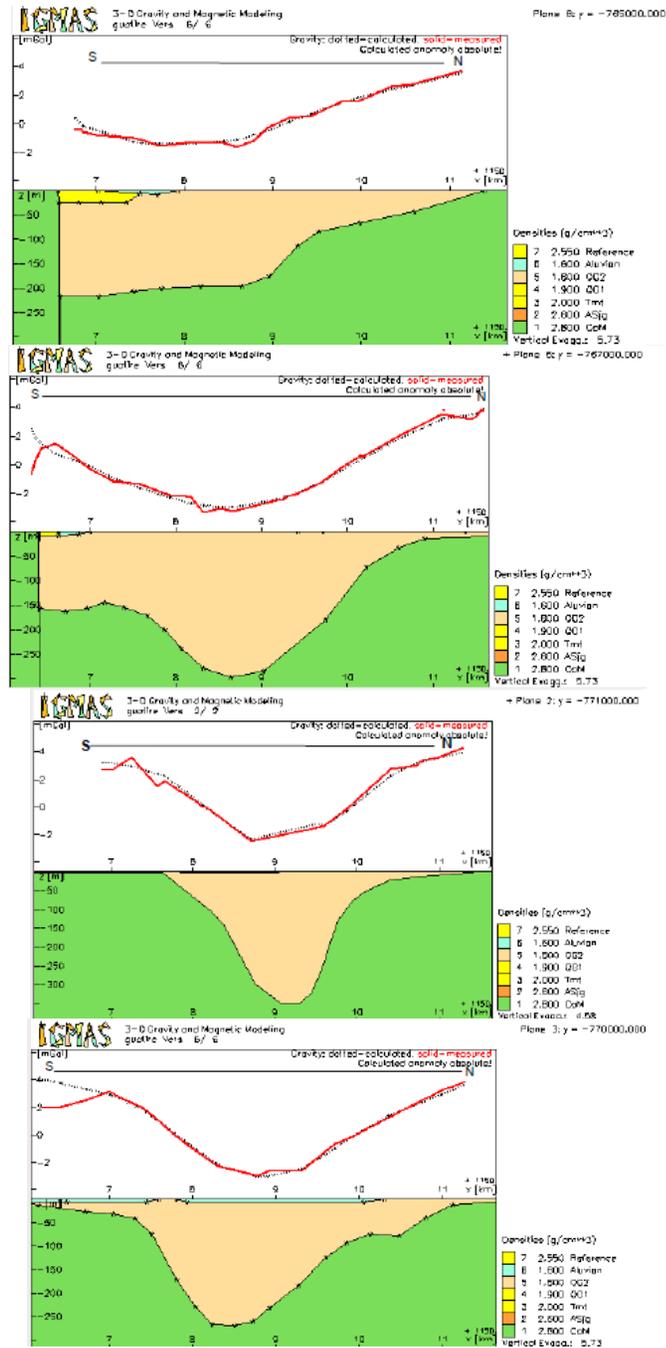


Figura A.8. Mapa de anomalía residual, calculado con el polinomio de primer grado (Extraído de Hecht, 2005).

A partir de los perfiles realiza un modelo 3D de la cuenca, donde establece la mayor profundidad en 370 metros hacia la parte central y este de la ventana de estudio. En la figura A.10 central se observa el límite del modelo en el extremo oeste con una profundidad de 220 metros. En general la cuenca presenta forma de cilindro con alineación este-oeste, se observan dos máximos en la profundidad (figura A.10) en la zona central-este. Hacia el

oeste la profundidad disminuye así como la simetría de la cuenca, teniendo una pendiente más suave hacia el norte (ver figura A.9).

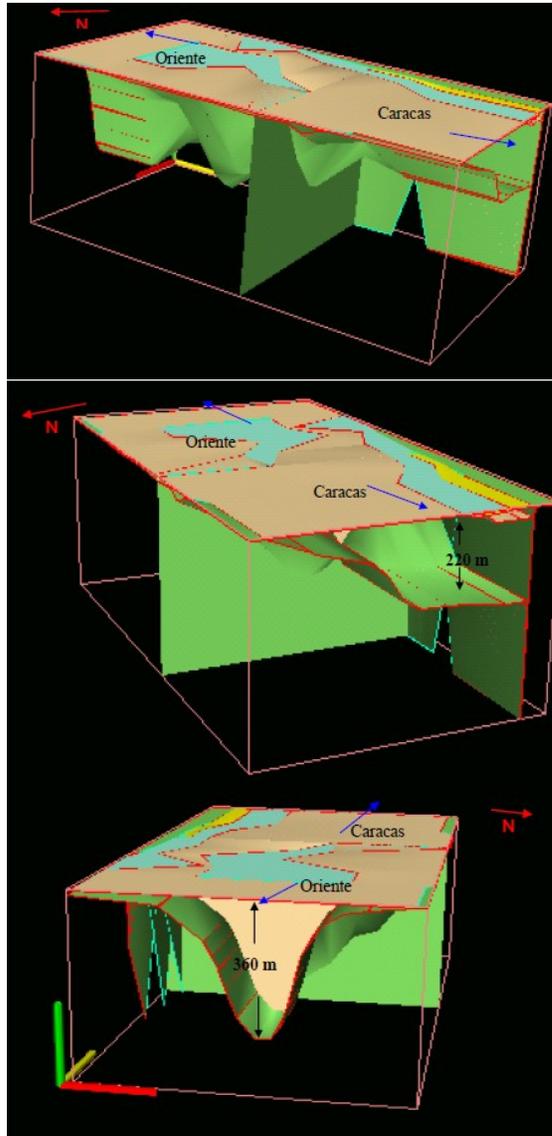


Figura A.9. Vistas 3D de la cuenca de Guatire modelada en IGMAS (Extraído de Hecht, 2005).

B) GLOSARIO

Términos Geomorfológicos para Fallas Activas

Falla: El término falla comúnmente se emplea para definir fracturas en las rocas, a lo largo de las cuales el movimiento ocurre, dicha fractura facilita la erosión, lo que ocasiona la

remoción de la traza de falla (Cotton, 1945). De acuerdo a la reactivación o no de su actividad se pueden distinguir:

Falla Activa: “Es una falla que ha tenido movimiento en tiempo geológico reciente y que puede reactivarse en un futuro” (Audemard, 1984).

Falla Inactiva: “Es aquella falla que ha tenido actividad en un período orogénico antiguo, pero que no presenta ninguna evidencia de actividad en el reciente tectónico” (Audemard, 1984)

Asociadas a la actividad de las fallas existen una serie de evidencias que pueden otorgar información cualitativa y en algunos casos cuantitativa sobre su trazado y movimiento. A continuación se definen algunas de ellas (ver figura B.2).

Berma: Nivel relativamente largo y estrecho o una franja suavemente inclinada o una plataforma de tierra, o roca, limitada por taludes empinados por encima y por debajo, y formados por erosión diferencial de rocas de resistencia variadas o por cambios en el nivel base de erosión.

Drenaje Desplazado: Los drenajes que se presentan ortogonalmente a la traza de la falla se ven desplazados por el movimiento relativo de los bloques. Esta es una evidencia que permite determinar el sentido de movimiento de la falla, pero debe utilizarse con varios drenajes que se hallen desplazados coherentemente.

Difluencia: Los drenajes pueden ser desviados a causa de una superficie basculada. Esta anomalía es frecuentemente observada en asociación con anticlinales y sinclinales crecientes. Esta configuración sugiere que un crecimiento diferencial de un pliegue está sucediendo y/o un rápido levantamiento tectónico, el cual es o son mayores a la tasa de incisión del río.

Ensilladura de Falla: Se define como una pequeña colina que se ubica sobre la traza de la falla, la cual es generada por la presencia de dos drenajes que vierten y socavan a partir de ella, en direcciones contrarias a lo largo del plano de falla, lo que da una configuración de “silla de montar”

Escarpe de falla: Es la parte del plano de falla que queda expuesto a la superficie por el descenso de uno de los bloques. Es una superficie aplanada que puede ser afectada rápidamente por la acción de la erosión, produciendo escarpes degradados. Las formas de un escarpe de falla distan mucho de su forma inicial a sus formas posteriores debido a la disección, transformación, hasta su final destrucción. Cuando el escarpe es disectado y dividido por los drenajes en secciones de forma triangular (de “V” invertida), entonces se le denomina faceta triangular (COTTON, 1945) (ver figura B.1).

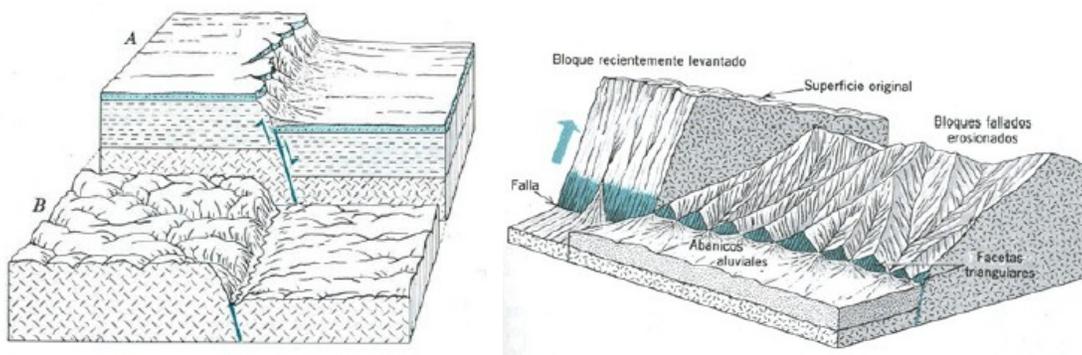


Figura B.1. Escarpe de falla y su degradación a faceta triangular por la disección del drenaje en el relieve (Extraído de Gutiérrez, 2004).

Valle Lineal: Es un valle que se forma a lo largo o que sigue la traza de una falla. Valle subsiguiente desarrollado por la erosión remontante en el material suave deformado relativamente débil a lo largo de la zona de falla.

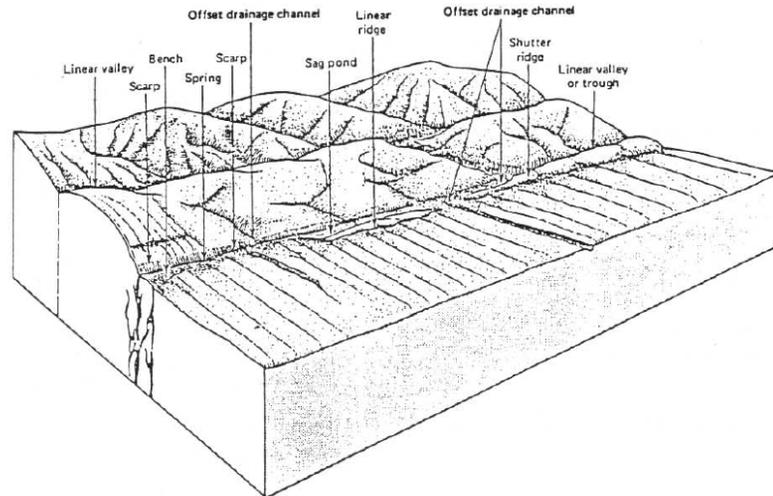


Figura B.2. Algunas evidencias geomorfológicas de fallamiento activo (Extraído de Gutiérrez, 2004).

Paleoformas

En las tierras emergidas, el modelado del relieve está constituido por dos grandes conjuntos de formas: las morfoestructurales y las morfoclimáticas. Estas últimas abarcan las formas actuales, es decir, las originadas bajo condiciones ambientales presentes y las que se modelaron en ambientes diferentes a los de hoy, o sea en medios morfogenéticos antiguos. Estas son las llamadas *Paleoformas*, que pueden ser del Cuaternario o de períodos geológicos anteriores. Algunas de las paleoformas usadas en este trabajo se definen a continuación.

Abanico Aluvial: Es un depósito cuya superficie constituye un segmento de un cono que irradia aguas abajo, a partir del sitio donde el curso de agua deja su área de alimentación. Se desarrollan normalmente donde una corriente fluvial de gradiente alto abandona un valle estrecho en terrenos montañosos y sale súbitamente a una llanura amplia y llana (Piedemonte) o a un fondo de valle (intramontañoso). Los abanicos aluviales se forman como respuesta a la caída abrupta del gradiente, que se combina con un cambio de posición y tamaño del cauce, de un cauce estrecho, de una corriente de montaña, a cauces menos confinados situados en la base de las montañas. La caída súbita de la velocidad hace que la corriente libere rápidamente su carga de sedimento en una acumulación que tiene forma clara de cono o abanico (ver figura B.3).

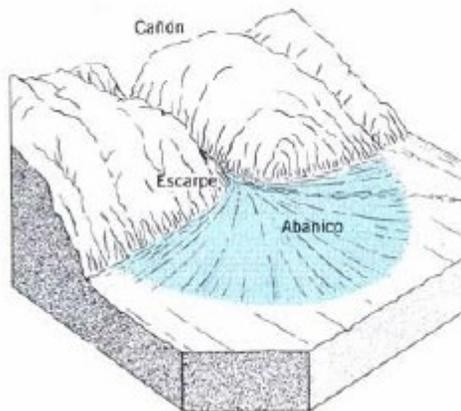


Figura B.3. Dibujo idealizado de un abanico aluvial (Extraído de Gutiérrez, 2004).

Glacis: Plano topográfico inclinado y lo suficientemente uniforme, como para constituir un aplanamiento local, cualquiera que sea su origen y la naturaleza del basamento geológico. Un glacis es siempre inclinado con pendientes muy variables, en función del tipo de glacis considerado. El contacto entre el glacis y los relieves dominantes es generalmente marcado por un ángulo nítido (knick en inglés). Pero esta condición no es una regla, ya que, frecuentemente, la transición entre el glacis y los relieves dominantes es muy gradual, en forma de concavidad muy abierta. Aguas abajo la extremidad de un glacis es generalmente poco nítida. Frecuentemente el glacis pasa gradualmente a las napas aluviales de un valle o a las acumulaciones de ahogo de una depresión.

Glacis Terraza: Esta forma de acumulación tiene la topografía de un glacis pero se limita por un talud de la misma manera que una terraza aluvial. En función de su génesis se puede diferenciar los tipos de glacis-terrazas siguientes:

- Glacis de acumulación o de denudación, actualmente en posición de terraza como consecuencia de un entalle posterior.
- Terraza aluvial fosilizada por aportes laterales (coluviones, explayamientos, etc).
- Aportes laterales (glacis de explayamiento), retomado parcialmente por la dinámica fluvial longitudinal.

Terraza: Es la superficie planar que permanece después de que el río que la formó, incisa su antiguo fondo de valle. Las terrazas fluviales son canales de ríos y llanuras de inundación abandonados. Su presencia en los valles de los ríos provee un registro de cambios en el régimen del flujo de los ríos y de los sedimentos suministrados a ellos a lo largo del tiempo. Las terrazas pueden aparecer continuas a lo largo de un valle, o discontinuas si porciones de la misma terraza se ha separado por el atrincheramiento de un tributario u otro proceso geomórfico. En un área tectónicamente activa, el fallamiento puede alterar la relación de altura entre las terrazas (ver figura B.4).

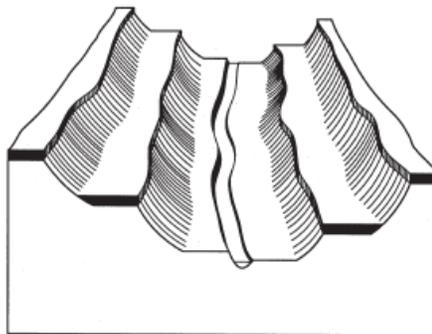


Figura B.4. Terraza no pareada (Extraído de Gutiérrez, 2004).

Análisis de Poblaciones de fallas

- Método de Angelier (1979)

Para emplear esta metodología, se debe asumir que cada población de fallas medidas corresponden a un único evento tectónico, gobernado por un único tensor de esfuerzos, por lo tanto es necesario un buen reconocimiento estratigráfico y estructural en campo.

Los datos de campo necesarios para realizar esta metodología son: actitud del plano de falla, pitch de la estría de falla y el tipo de falla observada. A partir de estos datos, se obtienen cinco vectores los cuales corresponden a los cinco ejes comúnmente utilizados en mecanismos focales de terremotos (ver figura B.5). Todos los diagramas son realizados en proyección de Schmidt en el hemisferio inferior.

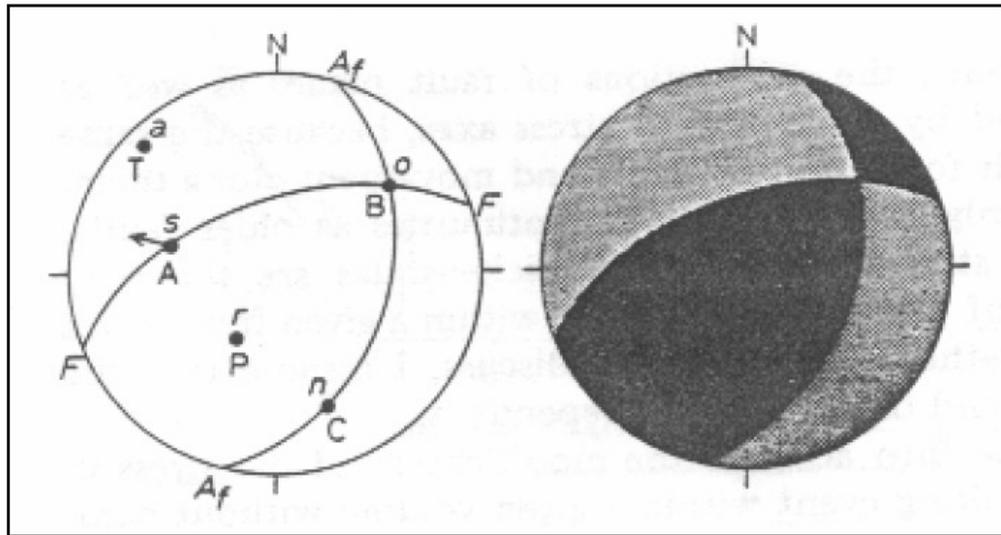


Figura B.5. Mecanismo focal. Nomenclatura dada para cada eje o vector tanto para sismólogos como para autores en tectónica. F: plano de falla. Af: Plano auxiliar. C o n es perpendicular a F, A o s es estría. B u o es perpendicular a A y C. P(r) y T(a) son ejes de “Presión” y “Tensión” de mecanismos focales de sismos, formando un ángulo de 45° con F y Af. Los diedros rectos compresional y extensional en negro y gris, respectivamente. El dibujo, dalla con cinemática normal-sinistral. (Extraído de Angelier, 1979).

Bases físicas del método

Las estrías de falla son la única clave para reconstruir los ejes de esfuerzos principales, dentro de una organización dada de planos de falla. Se asume que la distribución de planos de falla y los esfuerzos son independientes.

No es posible tomar en cuenta las modificaciones del esfuerzo en el tiempo y espacio durante un evento de fallamiento. Consecuentemente, se asume con Carey & Brunier (1974), siguiendo la ley de Bott (1959), que el movimiento en cada falla es independiente y ocurre en la dirección de la cizalla gobernada por un único esfuerzo desviatorio principal.

Se calcula el valor de ρ , el cual expresa una relación lineal entre los esfuerzos:

$$\rho = \frac{N_2 - N_3}{N_1 - N_3} \quad (\text{donde } N_1 \geq N_2 \geq N_3 \text{ con } N_1 \neq N_3, 0 \leq \rho \leq 1)$$

Método Gráfico

Si todas las fallas se mueven independientemente dentro de un único esfuerzo principal, N_1 debe estar en la parte común de todos los P-diedro, mientras N_3 está en la parte común de todos los T-diedros.

- **Método de Etchecopar *et. al* (1981)**

Casas *et. al.* (1990) explica que en este método el tensor óptimo que mejor explica la población de fallas es aquel que hace mínimo el valor de la función $F=S(s_i,t_i)^2$, donde (s_i, t_i) representa el ángulo entre la estría teórica y real expresado en radianes.

De igual forma, Casas *et. al.* (*op. cit.*) indican que el procedimiento general usado para hallar un tensor que explique bien una población de fallas es el de ensayo-error, para lo cual se debe partir de un tensor inicial que es impuesto por el usuario o elegido por el programa entre 100 a 200 tensores lanzados al azar. Las condiciones generales que debe cumplir una solución para considerarse satisfactoria son:

- La desviación angular entre estrías teóricas y reales no debe superar 10° .
- El histograma de desviaciones angulares debe tener forma de semi-campana de Gauss. La población de fallas explicadas por el tensor debe diferenciarse bien del resto y quedar agrupada en las tres primeras clases (desviación máxima de 17°).
- Los resultados han de converger aun partiendo de tensores iniciales diferentes.
- Representados en un círculo de Mohr los puntos correspondientes a las fallas explicadas, éstos deben quedar situados en la parte superior izquierda del diagrama.

ANEXOS