TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN NEOTECTONICA DE CUENCA LA GONZÁLEZ, MERIDA VENEZUELA

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela Por el Ing. Alvarado C. Miguel J. Para optar al Título de Master en Ciencias Geológicas

Caracas Mayo 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN NEOTECTONICA DE LA CUENCA DE TRACCIÓN LA GONZÁLEZ, MERIDA VENEZUELA

TUTOR: Prof. Franck A. Audemard M.

Pesentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela Por el Ing. Alvarado C. Miguel J. Para optar al Título de Master en Ciencias Geológicas

Caracas 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por la coordinación de postgrado Facultad de Ingeniería, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Ingeniero Miguel José Alvarado titulado:

"Caracterización neotectónica de la cuenca de Tracción La González, Mérida Venezuela "

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Master en Ciencias Geológica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el (los) autor (es), lo declaran APROBADO.

Prof. (nombre y apellido) Jurado Prof. (nombre y apellido) Jurado

Prof. Franck A. Audemard M. Tutor

AGRADECIMIENTOS

"Hay alguien tan inteligente que aprende de la experiencia de los demás." Francois Marie Arouet Voltaire

La culminación de este trabajo se debió no sólo a mi esfuerzo, sino a la colaboración de un grupo de personas que hicieron sus valiosos aportes, a quienes doy mis sinceros agradecimientos.

En primer lugar, debo agradecer al Doctor Franck Audemard por haber sido el tutor de este trabajo y por haber aportado parte de su tiempo y de sus valiosos conocimientos. Al Profesor Jaime Laffaille de La Universidad de Los Andes por haber sido uno de los pilares fundamentales en la realización de este trabajo. Al Ingeniero Reynaldo Ollarves y a la Ingeniera Luz María Rodriguez por el apoyo en la construcción e interpretación de las trincheras. De igual manera, a la Profesora Stéphanie Klarica, a la Ingeniera Reina Aranguren y a las tesistas del Laboratorio de Geofísica, por su ayuda en el desarrollo de las trincheras. También debo agradecer al Profesor Carlos Ferrer por su compañía en la primera campaña de campo que se realizó para la cartografía de la traza activa de la falla de Boconó. Por último y no menos importante debo dar mis más sinceros agradecimientos a La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS, ya que sin su apoyo institucional este trabajo no se hubiese materializado.

;A todos MUCHAS GRACIAS!

iv

Alvarado C. Miguel J.

CARACTERIZACIÓN NEOTECTONICA DE LA CUENCA DE TRACCIÓN LA GONZÁLEZ, MERIDA VENEZUELA **Tutor: Prof. Franck A. Audemard M.**

Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Comisión de estudio de postgrado. Año 2008,

87 p.

Palabras Claves: Neotectónica, paleosismología, falla activa, Boconó, Andes de Mérida

Resumen: Se presenta la caracterización neotectónica de la falla de Boconó en el tramo comprendido entre las poblaciones de Estanques - La González. Este estudio se dividió en dos etapas principales donde la primera se centró en la cartografía de la traza activa de la falla, para lo cual se realizó un estudio fotogeológico y una posterior campaña de campo donde se pudo corroborar la interpretación de las fotos mediante un análisis en quebradas y corte de carretera que exponían sedimentos deformado por la falla, lo cual conllevó a establecer un modelo estructural de la zona y proponer sitios para la excavación de trincheras para los estudios paleosísmico a partir de observaciones de campo. Con respecto al modelo estructural, se propuso dos etapas evolutivas para la zona. La primera donde se pudo observar un conjunto de fallas en "echelon" correspondiente a trazas de la falla de Boconó (las cuales no presentan evidencias de actividad actualmente) que originaron una depresión cortical, conocida como cuenca La González y una segunda etapa, donde la traza de la falla evoluciona a una traza continua que toma el borde norte de la Cuenca La González y en la cual se pudo observar algunas evidencias de actividad reciente. Sobre esta última traza se observó una cuenca de tracción pequeña denominada en este trabajo como Cuenca de tracción Lagunillas, cuyas trazas limítrofes fueron cartografiadas y además, sobre ellas, se consiguieron los dos sitios para la excavación de las trincheras para el posterior estudio paleosímico. Con base en lo antes mencionado, se procedió a la excavación de las trincheras con el fin de establecer la historia símica del tramo de falla en estudio. Para ello se realizó ensayos dataciones radiométrica, por el método ¹⁴C, donde se pudo deducir la presencia de los sismos de 1610, 1674 y 1894, entre los que se destaca el sismo de 1674 por ser asociado por primera vez con la falla de Boconó.

INDICE GENERAL

	Pag
Agradeciemientos	iv
Resumen	v
Indice de Figuras	viii
Indice de Tablas	xii
Introducción	13
CAPITULO I: GENERALIDADES	15
Marco Geográfico	15
Reseña histórica de los trabajos hechos en la zona	17
Justificación y alcance de la investigación	19
Objetivos	20
Metodología	20
CAPITULO II: ASPECTOS GEOLOGICOS	25
Marco geodinámico	25
La Falla de Boconó	27
Geología cuaternaria local	32
CAPITULO III: CARTOGRAFIA NEOTECTÓNICA DE LA FALLA DE	
BOCONO ENTRE LOS CASERIOS ESTANQUES – LA GONZÁLEZ	35
CAPITULO IV: ANALISIS PALEOSISMOLOGICO DE LA FALLA DE	
BOCONO EN LA ZONA DE ESTUDIO	54
Trinchera La Pantaleta	55
Descripción de la Trinchera	55
Análisis Paleosísmico de la Trinchera	59
Trinchera Quinanoque	65
Descripción de la Trinchera	66
Análisis Paleosísmico de la Trinchera	67
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	74
Modelo Estructural	74
Análisis Paleosismológico	75

Conclusiones	78
Recomendaciones	80
Bibliografía	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Ubicación de la zona de estudio en el estado Mérida (Imagen
	Landsat 754 2001)
Figura 1.2	Vista oblicua de la cuenca La González. Obsérvese las diferencias
	de alturas que existe entre la cuenca y lo cerros circundantes
	(Tomado de Google Earth, versión 4.0.1693)
Figura 1.3	Esquema de la cuenca La González, basado en el mapa de Tricart &
	Michel 1965. SP: laguna de falla (sag pond), FS: escarpe de falla
	(fault scarp), T: trinchera de falla (fault trench), TF: faceta
	triangular (triangular facet) (Modificado de Schubert
	1980b)
Figura 1.4	Flujograma que muestra los pasos a seguir en la ejecución de una
	síntesis sismotectónica (Modificado de Michetti et al.,
	2005)
Figura 2.1	Situación geodinámica de margen sur de la placa Caribe. (Tomado
	de Audemard et al., 2005)
Figura 2.2	Bloque diagrama propuesto por Van der Hilst & Mann (1994), para
	mostrar su modelo de subducción de la placa Caribe por debajo del
	norte de la placa de Suramérica
Figura 3.1	Lomo de obturación represando sedimentos. Nótese también, en
	línea roja, la tendencia del rumbo de la falla y el grado de
	antropización de la zona
Figura 3.2	Segundo sitio de trinchera. En esta imagen se puede observar como
	el terreno ha sido antropizado, al igual que se ve la diferencia de
	altura entre la ladera (de donde se tomó la foto) y el lugar de
	trinchera
Figura 3.3	Tendencia de la "traza norte" de la falla de Boconó en la cuenca de
	tracción La González

Figura 3.4	Afloramiento sobre el cauce del río Chama, a la altura del	
	Distribuidor Estanques, que muestra evidencia de la traza norte de	
	la falla de Boconó	39
Figura 3.5	Tendencia de la Falla de Boconó en el cerro Sabaneta	40
Figura 3.6	Afloramiento que expone la traza activa de la falla de Boconó en la	
	quebrada El Anís	41
Figura 3.7	Plano de falla de la traza sur de la cuenca Lagunillas en la quebrada	
	El Barro. El gouge, de color negro, realza el plano de	
	falla	43
Figura 3.8	Traza norte de la cuenca Lagunillas en la sección de la quebrada El	
	Barro; al igual que la traza sur, ésta presenta gouge en el plano de	
	falla	43
Figura 3.9	Vista panorámica de la sección Quebrada Casés, en la cual se	
	observan las trazas norte y sur de la cuenca Lagunillas, así como	
	una de las trazas internas a la cuenca de tracción	44
Figura 3.10	Afloramiento de la carretera Lagunillas-Casés. En esta foto se	
	puede observar la presencia de tres fallas menores	45
Figura 3.11	Fotografía del sector Quinanoque, donde se muestran dos lomos de	
	presión y la laguna de falla	47
Figura 3.12	Calicata hecha para estudios arqueológicos en la laguna de falla del	
	sector Quinanoque, la cual tiene aproximadamente dos metros de	
	altura por un metro de ancho	47
Figura 3.13	Sitio seleccionado para la excavación de trinchera paleosímica. La	
	línea roja demarca la tendencia de la traza	47
Figura 3.14	Sitio seleccionado para excavación de trinchera sobre la traza norte,	
	sector vía La Trampa	48
Figura 3.15	Panorámica del pueblo de Lagunillas. En línea roja, se delinea la	
	traza sur de la falla de Boconó	49

Figura 3.16 Sitio por donde pasa la traza sur de la cuenca en tracció						
	Lagunillas en la quebrada Murachí. Nótese el basculamiento de l					
	terraza	50				
Figura 3.17	Surco natural formado por la unión de las trazas de la cuenca de					
	tracción Lagunillas, al norte de la población de San Juan de					
	Lagunillas	50				
Figura 3.18	Pared de cárcava que muestra la traza activa de la falla de Boconó,					
	al norte de la población de San Juan de Lagunillas	51				
Figura 3.19	Lugar seleccionado como potencial sitio de trinchera. Las flechas					
	azules muestra el sitio aproximado y la disposición de la					
	misma	51				
Figura 3.20	Vista panorámica del deslizamiento La González	53				
Figura 4.1	Ubicación de las Trincheras Pantaleta y Quinanoque, sobre el mapa					
	neotectónico del área en estudio	54				
Figura 4.2	Croquis de fotografía aérea a escala 1:8000 donde se muestra a					
	detalle el sitio de la trinchera Pantaleta. LF: Laguna de Falla; LO:					
	Lomo de Obturación; DD: Drenaje desplazado; BE: Berma	57				
Figura 4.2	Explicación de la calibración dendrocronológica de edades de					
radiocarbono a edades de calendario, publicada por Beta Analyt						
	en http://www.radiocarbon.com/sample1.htm	56				
Figura 4.3	Croquis de fotografía aérea a escala 1:8000 donde se muestra a					
detalle el sitio de la trinchera Pantaleta. LF: Laguna de Falla;						
	Lomo de Obturación; DD: Drenaje desplazado; BE: Berma	57				
Figura 4.4	Lugar seleccionado para la excavación de la trinchera sobre la traza					
	norte de la cuenca de tracción Lagunillas	58				
Figura 4.5	Dibujo de la pared este Trinchera Pantaleta. Las edades					
	representadas aquí contienen el 95 % de probabilidad (2 sigma).					
	Los números en color azul corresponden a fechas de sismos					
	históricos. Cortesía del Ingeniero Reinaldo Ollarves					
	(FUNVISIS)	60				

Figura 4.6	Dibujo de la pare	ed oeste Trinchera	Pantaleta. Las edade	S		
	representadas aquí c	ontienen el 95 % de	probabilidad (2 sigma)).		
	Los números en co	olor azul correspond	en a fechas de sismo	S		
	históricos			. 61		
Figura 4.7	Principales sismos h	istóricos asociados co	on el segmento sur de la	a		
	falla de Bocono, po	or Soulas et al. (198	87 en Audemard 1997)).		
	Leyenda: 1) área me	sosísmica; 2) Isosista	VIII; 3) Simplificación	n		
	de la traza activa	del sistema de falla	a Bocono; 4) Epicentro	0		
	macrosismico			. 64		
Figura 4.8	Lugar seleccionado p	ara la excavación de	la trinchera sobre la traz	a		
	sur de la cuenca de tr	acción Lagunillas		. 65		
Figura 4.9	Croquis de fotografi	a aérea a escala 1:8	000 donde se muestra	a		
	detalle el sitio de la	trinchera Quinanoqu	ie. LF: Laguna de Falla	ι;		
	LO: Lomo de Obtura	ción; LP: Lomos de P	resión	. 66		
Figura 4.10	Dibujo de la pare	d este Trinchera Q	uinanoque. Las edade	S		
	representadas aquí c	ontienen el 95 % de	probabilidad (2 sigma)).		
	Los números en co	olor azul correspond	en a fechas de sismo	S		
	históricos. Cortes	ía de la Ing	geniera Luz María	a		
	Rodríguez			68		
Figura 4.11	Dibujo de la parec	l oeste Trinchera Q	uinanoque. Las edade	S		
	representadas aquí c	ontienen el 95 % de	probabilidad (2 sigma)).		
	Los números en co	olor azul correspond	en a fechas de sismo	S		
	históricos. Cortesía d	el Doctor Franck Aud	emard	. 69		
Figura 4.12	Sismicidad histórica	de la falla de Bocon	ó y fallas secundarias er	n		
	los Andes Centrales	de Venezuela. (Mod	lificado de Soulas el al.	.,		
	1987 en Audemard et al., 1999). El sismo de 1674 fue tomado					
	Parlme y Altez (200	2), donde la escala o	de intensidad usada par	a		
	este	sismo	es l	a		
	MKS			. 72		

Figura 5.1 Segmentación de la falla de Boconó en la región de Los Andes. Los cuadros verdes indican la posición de las trincheras hechas sobre la falla de Boconó. T1: Mis Delirios; T2: La Grita; T3: Pantaleta; T4: Quinanoque; T5:Morro de Los Hoyos; T6:Mesa del Caballo....

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Información detallada de los sitios de trinchera recolectada en	el
	reconocimiento de campo de la traza activa de la falla de Boconó	en
	la zona de estudio	37
Tabla 2	Resultados de análisis radiocarbónicos de la trinchera Pantaleta, o	en
	años calendario calibrado. 1 sigma representa el 68 % o	de
	probabilidad y 2 sigma el 95 % de probabilidad. Los puntos e	de
	muestras de los dibujos referidos en el texto corresponden a	la
	numeración de la nomeclatura de muestras FUNVISIS que	se
	encuentra resaltada e	en
	negrita	62
Tabla 3	Resultados de análisis radiocarbónicos de la trinchera Quinanoqui	le,
	en años calendario calibrado. 1 sigma representa el 68 % o	de
	probabilidad y 2 sigma el 95 % de probabilidad. Los puntos e	de
	muestras de los dibujos referidos en el texto corresponden a	la
	numeración de la nomeclatura de muestras FUNVISIS que	se
	encuentra resaltada e	en
	negrita	. 71

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La falla de Boconó es el rasgo estructural activo más importante del occidente de Venezuela, la cual fue nombrada y descrita por primera vez por Rod (1956) como una falla rumbo deslizante dextral. Sobre ella se han hechos numerosos trabajos en los cuales describen su morfología, desplazamiento, longitud y accidentes estructurales asociados a ella. El estudio de **Schubert (1980b)** constituye uno de los trabajos de gran relevancia por que propone la presencia de 3 cuencas de tracción sobre la falla de Boconó entre las que se destaca la cuenca de tracción de La González. Schubert (1982), con base en fotografías aéreas, hace un análisis estructural de esta cuenca y propone que su formación se debe a una curvatura de alivio que presenta la falla de Boconó en la zona de Estanques. Previo a los trabajos de Schubert, Tricart & Michel (1965) hicieron una importante contribución en el estudios geomorfológico de la zona, al realizar una cartografía geomorfológica de la zona de Lagunillas, distinguiendo cuatro niveles de terrazas y además proponen la presencia de algunas fallas las cuales no les dio un significado estructural preciso, pero que parecen demarcar la cuenca de tracción La González de Schubert (1982). Recientemente Alvarado et al. (2006) proponen para la zona de Estanques-La González, que la falla de Boconó funcionó como un juego de trazas dispuestas en "echelon" las cuales originaron un desplome cortical y posteriormente la formación de una cuenca. Por otro lado consiguieron que la traza activa de la falla de Boconó pasa al borde norte de esta cuenca y origina una cuenca de tracción incipiente que se denominó en este trabajo como cuenca de tracción Lagunillas.

Uno de los objetivos principales de este trabajo es el estudio sismogénico de la falla de Boconó, mediante la realización de trincheras para los estudios paleosísmicos en el tramo comprendido entre las poblaciones de La González y Estanques en el estado Mérida. Este tipo de investigación según **Audemard (2005)**, se comenzó a llevar a cabo en el país en el año 1968, sobre la traza activa de la falla de Oca, al norte de la Ciudad de Maracaibo, en el marco del proyecto amenaza sísmica de los diques costaneros de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo. Desde 1980 La Fundación de Investigaciones sismológicas (FUNVISIS) comenzó con la realización de trincheras sobre las principales fallas activas que se encuentran en el territorio nacional con la finalidad de estimar su potencial

INTRODUCCION

sismogénico (determinar los sismos máximos probables sobre una falla dada y su correspondiente período de retorno). Según **Audemard (2005)**, sobre la falla de Boconó se han realizado 4 trincheras para estudios paleosímicos, todas ejecutadas por el departamento de Ciencias de la Tierra de FUNVISIS: La primera en la Grita, estado Táchira en 1986, sobre el segmento sur de la falla, en la que se identificaron los sismo de 1610 y 1894; la segunda en Cordero, estado Tachira en 1987, en la zona meridional de la falla donde se observó una larga recurrencia sísmica; la tercera en Buena Vista, estado Lara, en 1987, sobre el segmento mas norte de esta falla, la cual sirvió para constatar la actividad holocena de la falla; y la ultima en Morro de los Hoyos, Estado Mérida en 1997, también sobre la porción norte de la falla en la se pudo observar la ocurrencia de 6 a 8 sismos en los últimos 9.000 años

La Paleosismogía es una disciplina que complementa a los estudios de sismicidad instrumental y sismología histórica y por consiguiente ayuda a establecer áreas potenciales de desastres por actividad sísmica de fallas activas, como es el caso de la zona de falla de Boconó.

En este trabajo se realizó el estudio del comportamiento sismogénico de la Falla de Boconó, mediante la realización de dos trincheras situadas en las trazas norte y sur de la cuenca de tracción Lagunillas, la cual se formó por un cambio de rumbo que experimenta la traza activa, al suroeste del pueblo Lagunillas.

CAPITULO I

GENERALIDADES

Marco Geográfico

La Cuenca La González se encuentra ubicada al suroeste del estado Mérida, entre los caseríos La González y Estanques, en los municipios Alberto Adriani y Sucre principalmente (**figura 1.1**), con una extensión de 90 km². En ella se localizan las poblaciones de Lagunillas (capital del municipio Sucre), San Juan de Lagunillas y Chiguará; y los caseríos La González, Casés, Los Araques y Estanques, que suman aproximadamente 40 mil habitantes. La actividad económica de la zona se basa en la agricultura. El clima es semiárido con temperaturas y precipitaciones promedios anuales de 21,5 °C y 70 mm respectivamente. (http://www.merida.gob.ve). El río Chama pasa al sur de la cuenca La González de manera longitudinal, en dirección noreste-suroeste.



Figura 1.1.- Ubicación de la zona de estudio en el estado Mérida (Imagen Landsat 754 2001)

En el área de estudio, los ríos La González y Nuestra Señora y las quebradas La Sucia, Murachí, San Miguel, Casés, El Barro y El Anís son los afluentes principales del río Chama Ellos a su vez son alimentados por quebradas pequeñas e intermitentes que forman un patrón de drenaje dendrítico y en algunos casos rectangulares alrededor de la cuenca, la orientación de mucho de estos drenajes obedecen a un control estructural que han ayudado a la identificación de algunas fallas secundarias y de las trazas activas de la falla de Boconó (ej. río La González, quebrada San Miguel, quebrada el Barro, etc.). Los afluentes principales al río Chama poseen una orientación general noroeste-sureste (casi norte-sur) generando buenas secciones transversales a la cuenca (**ver Anexo 1**).

La topografía en la zona está representada por colinas redondeadas, que alcanza hasta 1.100 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), las cuales se encuentran situadas dentro de la cuenca y representan remanentes de las terrazas T_{IV} , que son los depósitos cuaternarios mas antiguos de la zona (**Tricart & Michel 1965**), los niveles de terrazas T_{III} , T_{II} se observan bastantes conservadas, inclinadas hacia el sur con alturas que varían desde los 700 m.s.n.m hasta los 1.000 m.s.n.m. El valle actual del río Chama es la parte de la cuenca que posee menor cota, las montañas circundantes a la cuenca tienen cotas máximas de 1.900 m.s.n.m (**figura 1.2**).



Figura 1.2.- Vista oblicua de la cuenca La González. Obsérvese las diferencia de alturas que existe entre la cuenca y lo cerros circundantes (Tomado de Google Earth, versión 4.0.1693)

Reseña histórica de los trabajos hechos en la zona

Como ya se mencionó, la cuenca de tracción La González se encuentra ubicada en el tramo sur-oeste de la falla de Bocono (**figura 1.1**), entre los caseríos de La González y Estanques (**Schubert, 1980b**). Inicialmente, este rasgo estructural fue definido por **Künding (1938)** como el Graben las González.

Tricart & Michel (1965), en la zona La Gonzalez – Lagunillas, describe fallas normales paralelas al valle del río Chama, que definen una depresión estructural post pliocena. Además, postulan la presencia de algunas fallas de orientación NE- SO, probablemente mas antiguas que las primeras. Por último mencionan de la presencia de una cuenca pequeña, mas reciente que las anteriores, que se encuentra delimitada por fallas normales al norte y al sur de la Laguna de Urao

Shagam (1972) menciona la existencia de surcos estructurales, rellenos de sedimentos continentales que siguen a la falla de Boconó en su extensión sur-oeste hasta San Cristóbal, producto de la deformación post-Paleozoica.

Giegengack (1977) realiza un estudio detallado del Graben Tabay–Estanques, previamente nombrado por Rod (1956), Giegengack y Grauch (1975) y Giengengack *et al.* (1976), y lo define como una depresión topográfica que se encuentra en la parte central de los Andes venezolanos con 36 km de largo y de 2 a 15 km de ancho, e igualmente identifica dos grupos de fallas. Un primer grupo que se encuentran paralelas, poco espaciadas, sub-verticales, con rumbo N60°E a N70°E y demarcan el flanco nor-oeste del graben. La mayoría de estas fallas son normales de edades de activación pre-cretácica. El segundo grupo de fallas reportado se encuentra en la parte sureste del río Chama, con traza rectilínea en el tramo La González–Estanques y rumbo N82°E. Más hacia el norte, en dirección hacia Tabay, la traza es más difusa y hacia el sur, en la zona de Estanques, la falla cambia de rumbo a N55°E.

Murphy y Graubard (1977) describen, mediante fotografías aéreas en la zona de Tabay-Estanques, el desarrollo de drenaje dendrítico atípico a la zona circundante, terrenos de relativo bajo relieve y numerosas alineaciones de drenajes que luego fueron verificadas en el campo como fallas normales e interpretadas como el limite norte del graben. Por último, concluyen que la morfología atípica, la cual consiste en colinas redondeadas, es

debido a la intersección de dos juegos de fallas normales, con tendencia general norestesuroeste que están en los limites norte y sur del graben Tabay-Estanques.

Schubert (1980a), mediante un análisis morfológico y basado en los experimentos de Tchalenko (1970) y en rasgos morfotectónicos encontrados en la falla de San Andrés, caracteriza a un segmento de la falla de Boconó (entre Mucuchíes y Llano Corredor) y encuentra elementos morfológicos (trincheras, escarpes de fallas, lomos de fallas y depresiones cerradas o abiertas) que le dan el carácter de falla rumbo-deslizante. A partir de estas ideas, Schubert (1980b) postula la presencia de 3 cuencas en tracción a lo largo de la falla de Boconó, en la zona andina, producto de curvaturas de alivio; una de mayor tamaño en el tramo Estanques – La González y las otras dos de menor dimensión, en los sectores Mérida - Mucuchies y Mucubají - Las Mesitas. A la del tramo Estanques - La González la identifica como la cuenca de tracción La González, basándose en el nombre propuesto por kündig (1938), primera persona en describirla y nombrarla. Realiza un dibujo donde esquematiza la cuenca, basándose en el mapa propuesto por Tricart & Michel (1965) (Figura 1.3)



Figura 1.3.- Esquema de la cuenca La González, basado en el mapa de Tricart & Michel 1965. SP: laguna de falla (sag pond), FS: escarpe de falla (fault scarp), T: trinchera de falla (fault trench), TF : faceta triangular (triangular facet). (Modificado de Schubert 1980b).

Schubert (1982), mediante un análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales de la cuenca en tracción La González, logra definir su extensión, proponiendo un tamaño de 50 km de longitud y 4,5 km de ancho. La ubica en un tramo de la falla Boconó entre los caseríos Estanques y La González, donde dicha falla forma una curvatura de alivio que da origen a un área de tensión. Consigue cuatro eventos de sedimentación aluvial que están separados y disectados en forma de terrazas, compara dichos sedimentos con los encontrados en el valle del río Motatán (al norte de la cuenca de La González) datados en 53.000 años antes del presente y postula una edad Pleistocena tardía para la cuenca. Con base en imágenes Landsat, sugiere que fue necesario de 7 a 9 km de desplazamiento rumbo deslizante hacia la derecha, a lo largo de la zona de falla de Boconó, para producir la cuenca.

Posteriormente, **Schubert** (**1984**) propone nuevas dimensiones para la cuenca de tracción La González e indica, que tiene 20-25 km de largo por 6 -7 km de ancho en una relación entre 3 y 4:1, basadas en las relaciones de **Aydin y Nur (1982).**

Ferrer (1988) analiza los trabajos hechos por Schubert sobre la cuenca de tracción La González y compara los modelos propuestos por **Mann (1983)**, concluyendo que la misma se aproxima mucho al tipo suave z (Lazy-Z shaped basin), pudiendo estar ésta en una fase de desarrollo inicial, indicando que el modelo de cuenca de extensión parece explicar muy bien algunos aspectos encontrados entre Estanques- La González.

Justificación y alcance de la investigación

A lo largo de la falla de Boconó se han hecho numerosos estudios en los que se ha conseguido rasgos de evidencia tectónica cuaternaria (e.j., Rod, 1956; Giengengack et al., 1976; Schubert, 1980a,b; Soulas, 1985b; Audemard et al. 1999; Audemard, 2003b). Uno de los rasgos estructurales más importantes son las posibles cuencas en tracción. Schubert (1982) propone la existencia de este tipo de cuenca a lo largo de la falla de Boconó, siendo objeto de este estudio la cuenca de tracción "La González", que se encuentra ubicada al suroeste de los Andes merideños, entre los caseríos La González y Estanques, en donde un tramo de la traza activa de la falla de Boconó marca una posible curvatura de alivio.

Las cuencas en tracción son depresiones corticales limitadas por fallas normales que se forman donde la traza rumbo-deslizante presentan relevos o curvaturas transtensivas (**Rahe et al., 1988**). Según **Mann et al. (1983**), estas cuencas normalmente presentan formas romboédricas y son sitios de importante sismicidad. Se encuentran en la naturaleza en un rango que van desde pequeñas cuencas hasta grandes cuencas de 200 km de largo por 60 km de ancho (**Gölke et al. 1994**).

Objetivos

General:

 Establecer un modelo estructural, y el comportamiento sismogéncio de la falla de Boconó en el área comprendida entre los caseríos La González y Estanques.

Específicos:

- Cartografiar las trazas activas de la falla de Boconó en el tramo entre las poblaciones La González y Estanques ayudado del análisis fotogeológico y las observaciones de campo
- Ejecutar evaluaciones paleosísmicas mediante la excavación de 2 trincheras para la reconstrucción de la historia sísmica de la falla de Boconó en la zona de estudio
- Proponer, con base en la interpretación de los rasgos morfotectónicos, modelos estructurales tendientes a explicar la génesis de la cuenca La González, así como la actividad neotectónica en el área de estudio

Metodología

A continuación se enumeran los pasos que se siguieron en la elaboración de este trabajo. Dicha metodología se basa en la presentada por Audemard (1989, modificada en

Michetti et al 2005), en donde propone un esquema de las etapas que se deben cumplir para la realización de un estudio neotectónico/paleosísmico (**figura 1.4**)

- Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de estudios realizados sobre la falla de Boconó y la geología cuaternaria en la zona de estudio. Además se revisaron artículos que tratan modelos análogos de cuenca de tracción y modelos de deformación de corteza en ambiente rumbodeslizantes.
- 2) Por otro lado, se buscaron y adquirieron las fotografías aéreas. Es importante destacar que la misión A34 a escala 1:35.000 fue el único juego de foto que cubría de manera total la zona en estudio. Sin embargo, otro grupo de fotos aéreas, misiones 010412 (escala 1:25.000) y 0104013 (escala 1:8.000), fueron adquiridas para ayudar a interpretar lugares puntuales de la zona en estudio.
- Una vez conseguida las fotografías aéreas, se comenzó con la fotointerpretación con el fin de buscar rasgos geomorfológicos de actividad neotectónica en la zona.
- 4) Para la transcripción de datos al mapa topográfico, se buscó los mapas de cartografía nacional a escala 1:100.000, que fueron digitalizados y convertidos a escala 1:35.000 de manera tal que la interpolación hecha en las fotografías aéreas de la Misión A34 a escala 1:35.000 coincidiera con el mapa topográfico.
- Al terminar la interpretación, se preparó un cuerpo de hipótesis acerca de los posibles modelos estructurales del área de estudio.
- 6) Con las interpretaciones realizadas y las hipótesis formuladas se planificó la primera campaña de campo orientada a verificar los rasgos encontrados en la fotointerpretación previamente hecha y ubicar los posibles sitios de trincheras.
- Se procedió a las correcciones del mapa y hacer la cartografía exacta con los rasgos observados y se analizaron los sitios más idóneos para las excavaciones paleosismicas.



Figura 1.4.- Flujograma que muestra los pasos a seguir en la ejecución de una síntesis sismotectónica. (Modificado de Michetti et al., 2005)

- Se ejecutó las evaluaciones paleosísmicas mediante la excavación de dos trincheras. La metodología usada para la construcción y análisis de las trincheras es ampliamente descrita y discutida en McCalpin (1996).
 - 8.1) Se hicieron todos los estudios previos para la localización exacta de la traza de la falla y la ubicación de sitios de trincheras, detallados en Alvarado et al. (2006).
 - 8.2) Se realizó una tabla con todos los posibles sitios de trincheras (tabla 2)
 - 8.3) Se escogieron los sitios de trincheras a excavarse (**figura 4.1**).
 - 8.4) Se procedió a solicitar los permisos correspondientes a los respectivos dueños de los terrenos.
 - 8.5) Después de haberse obtenidos los permisos, se contrataron los obreros para comenzar la excavación manual de las trincheras.
 - 8.6) Una vez terminada las excavaciones, se procedió al lavado y raspado de las paredes de la trinchera.
 - 8.7) Con cuerdas finas, se procedió a reticular cada una de las paredes de las trincheras, con espaciamiento de un metro entre cuerdas, las cuales sirvieron como "cuadricula de referencia" para el posterior dibujado de cada una de las paredes
 - 8.8) Se hicieron los dibujos a mano de cada una de las paredes, utilizando papel milimetrado para logar una mejor precisión, y se realizaron interpretaciones preliminares con el fin de ubicar los sitios de toma de muestra.
 - 8.9) Se fotografiaron cada una de las paredes.
 - 8.10) Se realizó la toma de muestras para su ulterior datación por el método 14 C.
 - 8.11) Por último, se procedió al cierre de las trincheras a la conclusión del estudio, según lo convenido por con los propietarios
- 9. Se realizó una afinación del cuerpo de hipótesis

 Con los datos obtenidos se propuso un modelo estructural para la zona en estudio y el comportamiento sismogénico del segmento en estudio de la traza activa de la falla de Boconó.

CAPITULO II

ASPECTOS GEOLOGICOS

Marco geodinámico

La deformación al norte de los Andes está caracterizada por cadenas de montañas asociadas, principalmente, a fallas inversas y rumbo deslizante con direcciones preferenciales N-S a NE-SO (Taboada et al., 2000).

Audemard et al. (2005) mencionan que esta deformación, responden a la interacción de la placa caribe y suramericana, mientras que al oeste la interacción de bloques pequeños o microplacas la hacen más compleja.

Según Soulas (1985b) la parte norte de Venezuela no corresponde a un simple límite de placas rumbo deslizante, sino a un cinturón de deformación de al menos 100 km de ancho, en el cual ocurre acortamiento y movimiento rumbo deslizante. Audemard et al. (2005) señalan que al noroeste de Venezuela el cinturón de deformación alcanza los 600 km de ancho y que está compuesto por un conjunto de bloques relativamente pequeños (Maracaibo, Bonaire, Choco y Nor-andino) con movimiento independientes a las placas principales (Caribe, Sur América y Nazca) (figura 2.1). El bloque de Maracaibo posee perfecta forma triangular y está limitado por las fallas Santa Marta-Bucaramanga (sinestral) al oeste, la falla de Boconó (dextral) al este, y al norte está separado del bloque de Bonaire por la falla Oca-Ancón (dextral). La cinemática de estas fallas hacen que este bloque rote en el sentido de la agujas del reloj. Además de esto, tanto el bloque de Maracaibo como el de Bonaire están siendo expulsados hacia el norte, producto de la colisión del bloque de Panamá, contra la esquina noroeste de la placa de Sur América. (Audemard 1993, 1998), ocasionando un sobrecorrimiento del bloque de Bonaire sobre la placa Caribe, lo que ha producido una subducción de tipo B, amagmática por debajo del noroeste de Sur América (Van der Hilst & Mann, 1994) (figura 2.2).

"El marco geodinámico presente resulta de la evolución transpresiva que ocurre a través del Terciario y Cuaternario, iniciado por una subducción oblicua tipo B (losa de litosfera oceánica adosada a la placa sur americana, bajocorriendo al arco de isla de la placa Caribe).



Figura 2.1.-Situación geodinámica de margen sur de la placa Caribe. La equivalencia de los acrónimos son las siguientes: Bloques de: Bonaire (BB), Chocó (BC), Maracaibo (BTM), Nordandino (BNA); Los Andes de Mérida (AM) e Indentor de Pamplona (IP); Fallas: Algeciras (FA), Boconó (FB), El Pilar (FEP), Guaicaramo (FG), Romeral (SFR), Santa Marta-Bucaramanga (FSMB), San Sebastián (FSS) y Oca Ancón (FOA); Subducción de las antillas de sotavento (SAS), El Cañón de los Roques (CLR), Cinturón de deformación del norte de Panama (CDNP) y Cinturón de deformación Sur Caribe (CDSC) (**Tomado de Audemard et al. 2005**)

Esta zona limítrofe de placa posteriormente evolucionó a una colisión oblicua mas joven (napas caribeñas de vergencias SSE que sobrecorren al margen pasivo no deformado de Suramérica) que a su vez a cambiado a una transpresión particionada cuando y donde la colisión se convierte insostenible" (Audemard et al. 2005).



Figura 2.2.- Bloque diagrama propuesto por Van der Hilst & Mann (1994), para mostrar su modelo de subducción de la placa Caribe por debajo del norte de la placa de Suramérica.

La Falla de Boconó:

Las características geomorfológicas más importantes de la Falla de Boconó se aprecian en una serie de valles alineados, depresiones lineales y otros rasgos alineados en un corredor de 1 a 5 km de ancho, orientado, aproximadamente, en dirección N 45° E y a lo largo de unos 500 km en la parte central de los Andes Venezolanos, entre la depresión del Táchira y el Mar Caribe. Al este de Morón, a lo largo de la costa del Caribe, ella se continúa en las fallas de Morón y El Pilar. Hacia el suroeste, termina en una serie de corrimientos y fallas inversas en la depresión del Táchira, al extremo norte de la Cordillera Oriental de Colombia (**Rod, 1956**). Es la mejor conocida de todas las fallas de Venezuela porque fue una de las primeras en ser estudiada (**Rod, 1956**), posee una fuerte expresión

topográfica y está claramente expuesta en diversos sectores a lo largo de su extensión. La mayoría de los grandes terremotos ocurridos en tiempos históricos en el occidente de Venezuela, han sido asociados con movimientos de este sistema de fallas. Aunque algunos autores han postulado un desplazamiento principal en sentido normal a lo largo de la Zona de Fallas de Boconó (Shagam, 1972, 1975; Giegengack *et al.*, 1976) y sólo movimientos menores rumbo-deslizantes, más recientemente, un detallado estudio de evidencias neotectónicas a lo largo de toda su extensión (Schubert,1980a, 1982, 1984) ha revelado la existencia en esta zona de grandes cuencas cenozóicas (Cenozóico Tardío) en tracción (pullapart basins), en las cuales, sin embargo, se pueden evidenciar grandes desplazamientos locales verticales (normales), separados por estrechos segmentos de fallas, con un claro desplazamiento de rumbo lateral-derecho.

Diversos autores sugieren que la Falla de Boconó puede ser parte de una frontera de placas desde hace aproximadamente 5 millones de años (Dewey, 1972). La oblicuidad de la Falla de Boconó en relación al rumbo de los Andes Venezolanos y el hecho de que ella corta y desplaza provincias geológicas de origen y edad diferentes (Cordillera de los Andes y del Caribe) sugiere que es una estructura externa a esos sistemas, que fue incorporada a la frontera entre las placas del Caribe y Suramérica en un pasado geológico relativamente reciente. El análisis de los mecanismos focales de terremotos recientes es consistente con un desplazamiento predominantemente lateral-derecho, profundidades focales generalmente menores de 35 km e indica una dirección aproximada de compresión este-oeste (Folinsbee, 1972; Dewey, 1972). Sin embargo, actualmente se cuestiona esta hipótesis ya que según Audemard (1993, 1998); Singer y Audemard (1997) y Audemard y Audemard (2002) argumentan que en el occidente de Venezuela el limite de placas corresponde a una zona deformada de 600 km de ancho constituida por un conjunto de microplacas con movimientos independientes limitadas por fallas con movimiento principalmente rumbo-deslizante en las cuales se encuentra la Falla de Boconó que en conjunto con las fallas de Santa Marta - Bucaramanga (en territorio colombiano) y la falla Oca-Ancon delimitan el bloque triangular triangular de Maracaibo(Figura 2.1).

En este contexto, los datos aportados por la sismicidad histórica no habían sido estudiados de manera exhaustiva y, en muchos casos, se operaba sobre la base de datos a nivel de cuentos y leyendas. El registro histórico de la sismicidad en Venezuela comienza,

aproximadamente, en 1530 (con el sismo de Cumaná), después de la llegada de los primeros colonizadores españoles. En la zona andina se puede hablar de que esta historia comienza en el año de 1599, con el reporte de un terremoto que sacudió a La Grita y otros pueblos de Mérida. El siguiente evento de que se tiene noticias ocurrió en 1610, cuando los cronistas reportaron detalles de un terremoto desastroso al cual se le asignó, de acuerdo con estudios recientes de la distribución de daños e intensidades sísmicas de ese sismo, una magnitud de 7.3 (Ferrer y Laffaille 1998) en la escala de Richter. Desde ese entonces hasta la presente fecha han ocurrido en la zona al menos otros 7 eventos sísmicos de características destructoras (por ejemplo los eventos de los años 1644, 1775, 1812, 1834, 1845, 1894, 1932), entre los que destaca el ocurrido en el año de 1812, en plena gesta independentista de Venezuela. Sin embargo, debido a la escasa población existente hasta épocas relativamente recientes, la historia sísmica del país es bastante incompleta, ya que sólo alcanzaron a registrarse los eventos más grandes. Este registro muestra una secuencia de terremotos de moderados a grandes, que ha sido resumida por varios autores (Febres-Cordero, 1931; Centeno-Grau, 1940; Fiedler, 1961; Cluff y Hansen, 1969; Dewey, 1972; Grases, 1980).

El último gran terremoto registrado en los Andes Venezolanos fue el evento de magnitud cercana 7 ocurrido el 26 de Abril de 1894, con un epicentro al suroeste de Mérida. En esta oportunidad murieron unas 350 personas y varias poblaciones y aldeas fueron destruidas dentro de una amplia región comprendida entre Tovar y Mérida por el sureste y la zona sur del Lago de Maracaibo por el noroeste. Para ese momento se consideraba que fueron destruidas las poblaciones de Tovar, Santa Cruz de Mora, Mesa Bolívar, Chiguará y Mérida, por mencionar sólo las más importantes. El área de daños de este evento fue calculada por **Centeno Grau (1940)** en unos siete mil kilómetros cuadrados, abarcando desde Trujillo en Venezuela, donde se derrumbó la torre de la iglesia de San Francisco, hasta cerca de Panplona (en Colombia), siendo especialmente intenso en la región comprendida entre Bailadores y Tabay (en ambas pueblos se derrumbaron las iglesias).

Los registros sismográficos de las diferentes redes de instrumentos que operan en el país confirman que toda la zona de fallas de Boconó, desde la depresión del Táchira en su extremo suroeste hasta el Mar Caribe al noreste, es sismicamente activa. La mayoría de los eventos más grandes se alinean bien con la traza principal de la Falla de Boconó, mientras

que los más pequeños, así como unos pocos grandes, están dispersos dentro de un corredor de varias decenas de kilómetros de ancho, adyacente a esta traza, lo que indica que muchas de sus fallas subsidiarias son igualmente activas. La mayoría de los terremotos registrados a lo largo de la traza principal de la falla son eventos superficiales (profundidad promedio de unos 15 km). Las profundidades tienden a crecer para los eventos más grandes hacia el noroeste (cuenca del Lago de Maracaibo) y hacia el sureste (cuenca de Barinas) de la zona de fallas de Boconó, alcanzando profundidades que llegan a superar los 40 km. (Laffaille 1996) Hacia el extremo suroeste de los Andes Venezolanos, ya en territorio colombiano, existe una zona sísmica de profundidades intermedias (~ 160 km), debajo del extremo norte de la Cordillera Oriental de Colombia y la Sierra de Perijá, cerca de la ciudad de Bucaramanga, que incluye una notable concentración de eventos conocida como el Nido o Foco de Bucaramanga (Schneider, et al. 1987). Muchos de los eventos de esta fuente sísmica son registrados casi a diario en las estaciones sismográficas del Occidente de Venezuela, con tal constancia y precisión que en repetidas oportunidades se ha sugerido utilizar el Nido como una fuente controlable para estudios corticales en ambos países.

El registro de la actividad sísmica mediante redes sismográficas locales durante los últimos 12 años, muestra que la actividad microsísmica ocurre, en muchos casos, a través de tormentas locales que tienden a durar alrededor de 2 ó 3 meses. Durante estas tormentas, decenas de microsismos alcanzan a ser registrados, permitiendo la elaboración de modelos sismotectónicos locales (Laffaille y Estevez, 1986).

El estudio de los mecanismos focales para eventos regionales (Molnar and Sykes, 1969; Isacks and Molnar, 1971; Dewey, 1972; Pennington, 1981, Audemard et al. 2005) sugiere un fallamiento predominantemente lateral derecho a lo largo de la traza principal de la Falla de Boconó y fallamiento de empuje en sus flancos. Estos mismos mecanismos tienden a indicar un esfuerzo compresional promedio orientado aproximadamente en dirección este-oeste (Audemard et al. 2005). Todos estos resultados apoyan la hipótesis de que la tectónica actual de la región está controlada, fundamentalmente, por un movimiento hacia el este de la Placa del Caribe en relación a la Placa Suramericana. Otros mecanismos focales, calculados por Laffaille (1981) y Laffaille y Estevez (1986) para eventos de menor magnitud dentro de la Zona de Fallas de Boconó, muestran soluciones correspondientes a una gran variedad de fallamiento normal e inverso, asociado a fallas

subsidiarias y, particularmente, a cuencas de tracción y zonas de compresión, comunes en esta región.

Varios autores han estimado períodos de retorno para la ocurrencia de sismos dentro de la Zona de Fallas de Boconó. Comparando el desplazamiento de rasgos geomórficos con el desplazamiento correspondiente a una magnitud Richter dada, Cluff y Hansen (1969) y Schubert (1982) estimaron períodos de retorno de alrededor de 200 años para terremotos de magnitud 8. Por otra parte, basándose en la pendiente de la Curva Frecuencia-Magnitud Gutemberg-Richter (valor b), Cluff y Hansen (1969) obtuvieron intervalos de recurrencia de 200, 34 y 7 años para eventos de magnitudes 8, 7 y 6 respectivamente. Para este mismo rango de magnitudes, Aggarwal (1981) obtuvo valores de 430, 70 y 11 años respectivamente. Finalmente, considerando todo el intervalo de tiempo desde 1600 hasta 1980 y siguiendo un método propuesto por Steep (1972), Rengifo y Estevez (1987) obtuvieron valores de 460, 60 y 8 años para las mismas magnitudes. Estos resultados y consideraciones, más los obtenidos por Larotta (1976), conferían a la Zona de Fallas de Boconó su clasificación como muy activa y potencialmente peligrosa (en términos mundiales). Probablemente el mismo tipo de razonamiento llevó a varios especialistas del Lamont-Doherty Geological Observatory de la Universidad de Columbia, USA (Lynn Sykes, Andrew Murphy, Beth Israel e inclusive su director Manik Talwani) a escribir un informe en Mayo de 1978, donde escribieron que "... La Falla de Boconó define una región donde podría esperarse un gran terremoto en el futuro, y el occidente de Venezuela debe ser considerado como una zona de alto riesgo sísmico" (traducción libre). Sin embargo, al contrastar estos valores de periodos de retorno con lo que efectivamente ha ocurrido históricamente, se observa que no existe correspondencia. Por ejemplo, si estos resultados reflejaran la realidad sísmica regional, deberían haber ocurrido al menos 11 sismos de magnitud 6 entre 1900 y 1999: esto no ocurrió en absoluto. Igualmente, deberían haber reportado al menos tres sismos de magnitud 7 en los últimos doscientos años, lo cual, afortunadamente, tampoco ocurrió. Sin embargo, el mal estaba hecho, la población espera que ocurra un desastre sísmico de tal magnitud para lo cual nada se puede hacer al respecto: "Solo Dios puede salvar a las ciudades andinas, particularmente a Mérida, de ese cataclismo". Quizás el elemento mas perturbador de estos cálculos de periodos de retorno lo constituya la inclusión errónea en las bases de datos usadas de un terremoto de magnitud

8: El terremoto del jueves santo ocurrido en el año de 1812. La energía de un evento de esta naturaleza equivale a la de 10 eventos de magnitud siete o 100 de magnitud seis y, al parecer, tal evento nunca ocurrió, pero este punto se discutirá posteriormente en este mismo trabajo. Estas inconsistencias "aparentes" se resolvieron prácticamente con la llegada de la aplicación de una técnica relativamente novedosa: La Paleosismología. En efecto, los estudios paleosísmico por trincheras no confirmaban la ocurrencia en el pasado de algún evento de magnitud ocho asociado al sistema de fallas de Boconó y ampliaban los períodos de retorno para grandes eventos (magnitud siete) a valores del orden de trescientos años (**por ejemplo Audemard, 2003**).

Geología cuaternaria local

La cuenca La González es una depresión cortical de forma alargada (20-25 km de largo por 6-7 km de ancho), ubicada el suroeste de la cordillera de Mérida, cuyo eje principal es paralelo al valle del río Chama que actualmente corre a lo largo del borde sur de la cuenca. Ella se encuentra parcialmente cubierta de sedimentos que excepcionalmente muestran todo el registro cuaternario que se depositó en la región andina (Schubert y Vivas, 1993).

El basamento está constituido principalmente de rocas paleozoicas, **Guerrero** (1997) señala que la Formación Tostós se encuentra en contacto de falla con la Formación Sabaneta y esta a su vez está en contacto transicional con la Formación Palmarito. Al sur de la cuenca, ya fuera de la sección de la quebrada Caces, observó afloramientos de la Formación Sierra Nevada, los cuales se encuentra en contacto de falla con la Formación Tostós. Esta secuencia fue vista en la mayoría de las quebradas que atraviesan la zona de estudio.

Tricart & Michel (1965) distingue, dentro de la cuenca, cuatro niveles de terrazas en la zona que se encuentra entre La González y Lagunillas. La más antigua T_{IV} se presenta fuertemente tectonizada y escasamente conserva su morfología de terraza, solo preservándose algunos remanentes en forma de colinas al norte de la cuenca, en las inmediaciones de la población de Lagunillas. Los sedimentos que componen este nivel de terraza, provienen principalmente de aportes longitudinales (traídos por un río parecido al

Chama cuyo cauce corría longitudinalmente por el centro de la cuenca) del noreste y constan de rocas cristalinas de la Formación Sierra Nevada, esquistos paleozóicos y rocas de la Formación La Quinta. El escogimiento de dicho material es mejor, se presentan más redondeados y están mejor lavados, que aquellos depositados en conos-terraza, lo que indica que tal terraza fue depositada por un flujo muy regular. Por relaciones estratigráficas, se infirió que esta terraza fue depositado en el limite Plioceno – Pleistoceno. Schubert y Vivas (1993) por su parte definen a este nivel de terraza como N_2 -Q, atribuyendo la misma edad.

El nivel de terraza T_{III}, y los mas jóvenes T_{II} y T_I, se depositaron después de iniciado un período de levantamiento tectónico que originó entallamientos y rellenos cíclicos, ayudados por acciones climáticas. Los sedimentos que rellenaron la cuenca fueron transportados del norte por los tributarios del río Chama (quebradas La Sucia, San Miguel, Murachí, Caces y el río La González). Según Tricart & Michel (1965), la quebrada La Sucia, ubicada al noreste, depositó grandes volúmenes de sedimentos para formar el nivel de terraza T_{III}, cuyos sedimentos se depositaron en forma de conos y ayudaron al desplazamiento del río Chama hacia el borde sur de la cuenca, e inclusive hizo que el cauce de la propia quebrada se modificara y distribuyera los sedimentos en dos conos sucesivos hacia el suroeste de la cuenca, formando terrazas, por encima del río Chama, hasta llegar en donde actualmente se localiza la población de Lagunillas. En esta localidad el espesor de la terraza llega a tener hasta los 200 metros de espesor. Por su parte, las quebradas Murachí y San Miguel ayudaron en parte a la depositación de estos sedimentos y posteriormente al entallamiento de la terraza. Schubert y Vivas (1993) definen a este nivel como Q₁, como contentivos de cantos angulosos y mal escogidos, poco estratificado y de litología principalmente de la formación La Quinta. Tricart & Michel (1965) encuentran que los sedimentos aportados por la quebrada La Sucia están caracterizados por arenas pelíticas oscuras de la formación Colón. También explican que los grandes espesores de sedimentos de T_{III} encontrados en la cuenca, son debido a los movimientos tectónicos, ocurridos al mismo tiempo de la depositación, producidos por fallas normales paralelas a la cuenca que originaron espacios que ocuparon los materiales proveniente de flujos de torrentes.

Los niveles de terraza T_{II} (Q₂ según **Schubert y Vivas 1993**), se depositaron dentro de los entallamientos hechos por los drenajes a T_{III} . A diferencia de valle arriba y valle

abajo de la cuenca, estos depósitos están poco desarrollados, normalmente encontrándose en forma de lenguas estrechas colgadas a las paredes de las quebradas. Los depósitos más desarrollados se observan en las confluencias de las quebradas La Sucia y el río La González al noreste de la cuenca. Schubert y Vivas (1993) los ubica en el Pleistoceno Medio. Además, mide espesores de 80 a 100 m al suroeste de Lagunillas y los describe como abanicos compuestos de cantos provenientes de la Formación La Quinta, que poseen un relativo buen desarrollo de la estratificación.

Los desarrollos de T_I son muy modestos y se encuentran en forma de conos construidos en los torrentes que desembocan al río Chama. El de la quebrada Maruchí es unos de los más importantes y llega a alcanzar unos 30 m de altura, Otros conos de igual característica se pueden conseguir a lo largo de la margen izquierda del Río Chama. Schubert y Vivas (1993) los clasifica como Q₃ y la edad de formación la coloca a partir del Pleistoceno Tardío.

Adicional a los niveles descrito, **Schubert y Vivas (1993)**, definen un quinto nivel Q_4 , de edad reciente, con formas de cono de deyección con espesores de 30 a 40 metros que probablemente son agrupados en los niveles T_I de **Tricart & Michel (1965)**.

CARTOGRAFIA NEOTECTONICA DE LA FALLA DE BOCONÓ ENTRE LOS CASERIOS ESTANQUES LA GONZÁLEZ

En imágenes satelitales se pueden observar algunos aspectos morfotectónicos que, aparentemente, definen la cuenca de tracción La González (tales como drenajes desplazados, alineaciones de quebradas, cambios abruptos en la topografía), lo que ha hecho que en trabajos como el de **Schubert (1984)** la hallan definido e inclusive delimitado (20-25 km de largo por 6-7 km de ancho). Sin embargo, en un sentido estricto, la hipótesis que propone al segmento Estanques-La González como una posible cuenca de tracción no ha sido confirmada estructuralmente. En este trabajo se realiza un análisis morfológico de la zona con el fin de validar y/o proponer un modelo alternativo que explique la génesis y evolución de dicha cuenca.

Como se mencionó en **Alvarado et al. (2006)**, la identificación de la traza de la falla de Boconó y la búsqueda de posibles sitios de trinchera paleosísmica se hicieron de manera sistemática de suroeste a noreste. A la par al reconocimiento de la traza de la falla, se ubicaron los sitios más idóneos para las futuras excavaciones de las trincheras paleosísmicas, basados en criterios geológicos y logísticos descritos en **Audemard (2005)**, generando de esta manera, una tabla con posibles sitios de trincheras los cuales son priorizadas en función de sus características, siendo las descritas por 1º las que reúnen las mejores condiciones (**tabla 2**).

Previo a la campaña de campo, se realizó la búsqueda de las trazas activas mediante el análisis de fotografías aéreas disponibles de la zona estudio. Los anexos 2 y 3 muestran la interpretación hecha sobre las fotografías aéreas. Nótese los distintos rasgos morfológicos que demarcan las trazas activas en la zona de estudio, y también se puede observar demarcados los distintos cuerpos pleistocenos-holocenos que rellenan la cuenca La González. Dichos cuerpos son delimitados tomando en cuenta la nomenclatura usada por **Schubert y Vivas (1993)**. A continuación se hace una descripción de lo rasgos que se pudieron observar en la campaña de campo.

El trabajo comenzó al sureste del caserío Estanques, vía Santa Cruz de Mora, en el sector Santo Domingo, donde la falla fue identificada en fotografías aéreas como una traza única, sin ningún tipo de complicación estructural aparente (**anexo 2**). En esta zona, la traza de la falla es demarcada principalmente por pequeños escarpes, drenajes desplazados y lomos de obturación (**figura 3.1**). En el sector existen dos sitios que reúnen condiciones para la realización de trinchera. El primero se encuentra en un lomo de obturación que represó parcialmente el agua de escorrentía de los cerros, creando una especie de trinchera natural de falla (**figura 3.1**)(**S1 en anexo 2**), donde se observan sedimentos finos que muestran buena preservación de materia orgánica. También se observó que el sector se encuentra parcialmente intervenido por el hombre ya que por el construyeron la carretera de acceso principal a las fincas y casas de la zona

El segundo sitio seleccionado (**S2 en anexo 2**) corresponde a otra trinchera natural de falla que presenta condiciones muy similares al anterior. Este sitio posee una ladera con una pendiente muy pronunciada que funciona de rampa para el acarreo de materiales gruesos. Además de esto, el lugar se encuentra dentro de una hacienda y se usa con fines agrícolas, lo cual hace presagiar que parte del registro sedimentario se ha removido (**figura 3.2**). Ambos localidades están catalogados como prioridad 3° (**sitio 1 y 2, tabla 1**), por estar fuera del área de trabajo, aunque deben ser tomados en cuenta para futuros estudios paleosísmicos.

En la zona de Santo Domingo, conocido también como Cerro Sabaneta, la traza de la falla se proyecta hacia el noreste, en donde se pueden observar una serie de bermas que se alinean en el paisaje, drenajes desplazados y escarpes de fallas (**Anexo 2**) (**figura 3.3**). En proximidad al Distribuidor de Estanques (entrada de los túneles), es un punto donde la traza norte intercepta los afloramientos cuaternarios expuestos en el río Chama. En esta localidad, los sedimentos presentan "lentes" de coloraciones distintas, los cuales se interpretaron como grietas que se produjeron por el movimiento de la falla, las cuales fueron posteriormente colmatadas por sedimentos más jóvenes. También es evidente la presencia de una cárcava originada por un drenaje que se instaló en la zona de debilidad de la falla. Los sedimentos observados corresponden a conglomerados muy mal escogidos, cuyos clastos pueden tener hasta un metro de diámetro, que pudieron ser transportados por flujos torrenciales y posteriormente depositados en el fondo del valle (**figura 3.4**).
Tabla 1.- Información detallada de los sitios de trinchera recolectada en el reconocimiento de campo de la traza activa de la falla de Boconó en la zona de estudio. Para ubicación relativa de cada uno de los sitios referirse al anexo 2

Sitio	Localización	Tipo de propiedad	Ventajas del sito	Desventajas del sitio
1 Prioridad 3°	Sector Santo Domingo, municipio Sucre (Cerro Sabaneta). Sobre la traza única de la falla de Boconó, antes de entrar a la cuenca La González.	Privada. Justo al lado de un tanque de agua de HIDROANDES. Propietario: Ramón Peña, vive al lado del lugar seleccionado.	1) Sedimentación fina, 2) bastante materia orgánica, 3) traza de falla sencilla sin complicaciones estructural, 4)Muy buen acceso con vehiculo.	1) se encuentra afuera de la Cuenca de tracción La González, 2) está parcialmente intervenida, 3) presenta una ladera de pendiente alta.
2 Prioridad: 3°	Sector santo Domingo, municipio Sucre (Cerro Sabaneta). Sobre la traza única de la falla de Boconó, antes de entrar a la cuenca La González.	Privada. Siembra de Parchitas. Propietario: Rafael Peña, vive en frente de la iglesia del caserío de Estanques.	1) Lomo de obturación que represa material, 2) bastante materia Orgánica 3)Muy fácil acceso.	1) Presenta laderas de pendientes muy pronunciadas, 2) se encuentra afuera de la Cuenca La González, 3) sedimentación gruesa.
3 Prioridad: 2°	Finca Los Corrales Municipio Sucre, al oeste de la quebrada El Barro, sobre el cierre oeste de la Cuenca Lagunillas.	Privada. Potrero sin ningún tipo de cultivo. Dueño: Carlos, vive en la finca, el teléfono de contacto es 04161692295.	1) El sito es una laguna de falla, 2) se encuentra en el lugar de intersección de las dos trazas.	1) Presenta sedimentos gruesos 2) El acceso al lugar es difícil.
4 Prioridad: 1°	Sector Quinanoque, carretera vía Caces, Lagunillas, Municipio Sucre. Sobre la traza sur.	Privada. Terreno sin ningún tipo de uso. Dueño: José Luís Gómez, Vive en Mérida, Urbanización Carrizal A.	1) Sitio de Laguna de falla, 2) Hay materia orgánica, 3) el drenaje es muy bueno (si hay lluvias), muy accesible.	1) El registro sedimentológico puede estar parcialmente erosionado, 2) El terreno presentó muchas complicaciones para permisología.
5 Prioridad: 1°	Sector vía la trampa (curva la Pantaleta o el muro), Lagunillas, Municipio Sucre, Sobre la traza norte.	Privada. Terreno sin ningún tipo de uso. Dueño: José Izarra, vive dos cuadras mas abajo de la plaza Bolívar, por la calle Bolívar.	1) Sitio de laguna de falla, 2) suficiente sedimentos finos, 3) buena cantidad de materia orgánica 4) registro geológico completo, 5) carretera asfaltada muy cercana al lugar.	1) El terreno presentó muchas complicaciones para la permisología.
6 Prioridad:2°	Casa Rural cerca de la escuela Granja, San Juan de Lagunillas, Municipio Sucre, sobre traza única del Pull-apart Lagunillas.	Privada. Justo al lado de un galpón abandonado que usaban para criar cochinos. Dueño: Thonpsson Peña, el teléfono contacto es 04164742425.	1) Posee Bastante cantidad de materia orgánica, 2) se observan materiales finos, 3) no se ve casi erosionado el lugar.	1) Puede estar un poco antropizado, 2) El acceso a la zona es un poco difícil.



Figura 3.1.- Lomo de obturación represando sedimentos. Nótese también, en línea roja, la tendencia del rumbo de la falla y el grado de antropización de la zona.



Figura 3.2.-Segundo sitio de trinchera. En esta imagen se puede observar como el terreno ha sido antropizado, al igual que se ve la diferencia de altura entre la ladera (de donde se tomó la foto) y el lugar de trinchera.



Figura 3.3.- Tendencia de la "traza norte" de la falla de Boconó en la cuenca de tracción La González.



Figura 3.4.- Afloramiento sobre el cauce del río Chama, a la altura del Distribuidor Estanques que muestra evidencia de la traza norte de la falla de Boconó.

Al igual que en la localidad de Santo Domingo, se hicieron algunas observaciones geomorfológicas, pero esta vez en dirección suroeste. La **figura 3.5** muestra una vista del cerro Sabaneta, el cual es cortado por la traza activa de la falla de Boconó, formando bermas y desplazamiento de quebradas. En la parte baja de la foto, se observa el Distribuidor Estanques.



Figura 3.5.- Tendencia de la Falla de Boconó en el cerro Sabaneta

La traza norte de la cuenca de tracción la González de **Schubert (1982)** de se pudo observar nuevamente en afloramientos cuaternarios en la quebrada El Anís, tal como lo muestra la **figura 3.6.**



Figura 3.6.- Afloramiento que expone la traza norte activa de la falla de Boconó en la quebrada El Anís.

En el sector Los Corrales, la traza norte de la falla de Boconó se bifurca, formando una pequeña cuenca de tracción nombrada, en este trabajo, "Cuenca de tracción Lagunillas" ya que encierran las poblaciones de Lagunillas y de San Juan de Lagunillas (Anexos 2 y 3). El sector Los Corrales está situado sobre una terraza cuaternaria Q₃ que se encuentra al margen derecho del río Chama, entre las quebradas El Barro y El Anís. Hacia el norte de esta terraza, la traza norte de la cuenca La González pierde su linealidad, cambiando de rumbo y orientándose casi en sentido este-oeste, originando así una curvatura de alivio que es responsable de la formación de la cuenca en tracción Lagunillas (**anexo 1**). Por consiguiente, es justo en esta zona done la traza norte de la cuenca de La González se subdivide en dos, provocando el emplazamiento de una paleolaguna, posiblemente parecida

a la de Urao, y otros rasgos morfológicos tales como valles lineales y cuellos de fallas. Según cuentos de los moradores de la zona, la paleolaguna observada estuvo llena de agua hasta hace unos cientos de años atrás. El lugar se seleccionó como posible sitio de excavación de trinchera paleosísmica (**S3 en Anexo 2**). Por ser laguna de falla, la sedimentación encontrada debería ser muy fina, sin embargo se encontró que los sedimentos tenían muchos materiales gruesos debido a su proximidad a una ladera fuertemente inclinada. Otro aspecto negativo del sitio es la complicación tectónica ya que como se mencionó la laguna es el lugar donde se forma la cuenca de tracción Lagunillas. También se observó una buena cantidad de materia orgánica y un registro sedimentario posiblemente completo. Para llegar al lugar (Finca Los Corrales), existe una carretera que se le accede por dentro del cauce de la quebrada El Barro.

Esto hace que la finca no sea de fácil acceso y podría complicar las actividades de logística en caso de ser tomado como sitio de trinchera (**sitio 3 tabla 1 y S3 en anexo 2**).

Al este de esta finca Los Corrales, se encuentra la quebrada El Barro, de la cual se extraen las siguientes observaciones:

a) La quebrada el Barro cruza de forma casi perpendicular toda la zona de estudio, constituyendo una muy buena sección transversal de afloramientos de unos cien metros de alto, que expone los sedimentos de las cuencas de tracción La González y Lagunillas.

Haciendo un recorrido a esta sección de sur a norte y justo en el tramo de la cuenca Lagunillas, se puede observar como el basamento (Formación Sabaneta del Paleozoico), se va perdiendo hacia el centro de la cuenca permitiendo la depositación de sedimentos cuaternarios. Al acercarse hacia la traza norte de esta cuenca, las rocas paleozoicas comienzan a aflorar de nuevo pero con menor espesor. Esto hace pensar que la forma de la cuenca Lagunillas es de graben asimétrico, que posiblemente tenga, dentro de él, pequeños altos estructurales.

b) Expone de manera espectacular las trazas norte y sur de la cuenca Lagunillas, e inclusive, en el caso de la traza sur, deja ver el plano de falla que está parcialmente enmascarado con gouge de falla (**figura 3.7**). En la traza sur se midió una estría de falla en un plano de rumbo N80°O y buzamiento 88° S, con un pitch de 46° O. con movimiento normal dextral.

42



Figura 3.7.- Vista frontal del plano de falla de la traza sur de la cuenca Lagunillas en la quebrada El Barro. El gouge, de color negro, realza el plano de falla.

De la traza norte, lo único que se pudo observar fue el gouge de falla que presenta características muy similares con lo visto en la traza sur (**figura 3.8**). A lo largo del tramo de la sección de la quebrada que comprende la cuenca Lagunillas, se pueden observar fallas de menor categoría, con respecto a la traza principal, dispuesta "en echelon" que le dan a la cuenca Lagunillas la geometría aparente de graben asimétrico.



Figura 3.8.- Traza norte de la cuenca Lagunillas en la sección de la quebrada El Barro; al igual que la traza sur, ésta presenta gouge en el plano de falla (de color negro).

c) El cauce de la quebrada El Barro está controlada por fallas con disposición oblicua (de rumbo aproximados N60E) a la cuenca La González

La quebrada Casés, al oeste de la población de Lagunillas, también cruza transversalmente la cuenca La González, formando otra gran sección. Al igual que en la sección de la quebrada El Barro, en la quebrada Casés se pudieron observar varias trazas activas dentro de la cuenca de tracción Lagunillas, dos de ellas, las trazas límites, corresponde a las traza sur y norte de la falla de Boconó (**figura 3.9**).

Como se puede observar en la **figura 3.9**, existe una carretera que comunica al caserío de Casés con la población de Lagunillas, donde la carretera baja por el talud de la





terraza Q1 en la margen izquierda de la quebrada, justo donde se encuentra la traza sur. En este camino se pudieron observar fallas menores que pueden estar asociadas a la traza sur principal de la cuenca de tracción Lagunillas (**figura 3.9**), Igualmente, se pudo observar en la quebrada Casés como los sedimentos cuaternarios se encuentran altamente tectonizados (**figura 3.10**).



Figura 3.10.- Afloramiento de la carretera Lagunillas-Casés. En esta foto se puede observar la presencia de tres fallas menores

Siguiendo con el recorrido hacia el noreste de las trazas norte y sur de la cuenca de tracción Lagunillas, se llega al pueblo de Lagunillas, que se encuentra asentado dentro de esta cuenca. Al oeste del pueblo, existe una localidad llamada Quinanoque, donde se pueden observar algunos rasgos originados por la traza sur de la Cuenca Lagunillas. Estos consisten en escarpes, cuellos de falla, líneas de árboles, lomos de presión originado por riedeles, y una gran laguna de falla, donde se dice que existe un cementerio indígena (figura 3.11) (Anexo 1). En esta laguna se encontró abierta una calicata, excavada por la Universidad de Los Andes con fines arqueológicos. Dicha excavación se localizó en la zona central de la laguna, la cual expuso el registro sedimentológico, determinando así, que la laguna contenía materiales finos, bandeados, y rica en materia orgánica (figura 3.12). Dicha laguna se originó por un lomo de obturación (figura 3.13). Este sitio se escogió para hacer una excavación de trinchera de exploración paleosísmica (S4 en Anexo 2), debido a que reunía todas las condiciones necesarias, e inclusive condiciones de logística óptimas (sitio 4 en tabla 2 y figura 3.13).

La traza norte de la cuenca Lagunillas también muestra rasgos de actividad reciente, presentes en los cerros que se encuentran al norte de la población de Lagunillas, entre los que se pueden mencionar: drenajes desplazados, bermas y trincheras naturales de fallas. En la carretera vía La Trampa, específicamente en un sitio conocido como "la curva La Pantaleta", la traza está marcada por un lomo de obturación que represa las aguas de escorrentía, formando una pequeña laguna de falla. El sitio se seleccionó para hacer una segunda excavación de trinchera paleosísmica (**Anexo 2 S5**). Aquí se observó bastante material fino con materia orgánica y el lugar se encuentra a sólo unos 60 m de la carretera que conduce al pueblo de La Trampa, lo cual asegura un acceso fácil (**sitio 5 tabla 2**. **figura 3.14**).

Por su parte, la traza sur también prosigue hacia el este. Se alinea perfectamente con la orilla sur de la laguna de Urao (Figura 3.15), y sigue hacia el casco urbano de Lagunillas, en donde se puede observar un escarpe con exposición norte que atraviesa el pueblo. Sobre este escarpe actualmente se encuentran construidas casas que son parte del pueblo. Inmediatamente hacia el norte del pueblo, la traza presenta una pequeña estructura en forma de lomo de presión originada por un pequeño cambio de rumbo en la falla. Otro rasgo importante es el desplazamiento de un abanico aluvial creado por la quebrada San Miguel el cual se encuentra cortado y desplazado por lo menos 80 metros por la traza sur (Anexo 1). Del mismo modo, el cauce de la quebrada San Miguel al este de la población de Lagunillas, ha sido movido por esta misma traza de forma dextral, haciendo que el cauce de otro drenaje lo capture , dando la apariencia de un movimiento sinestral. Más hacia el este en la quebrada Murachí, existen unas terrazas las cuales evidencian el paso de la traza sur de la cuenca Lagunillas (figura 3.16)

Al norte de la población de San Juan, ambas trazas limítrofes de la cuenca de tracción Lagunillas se unen, formando una gran trinchera de falla (**figura 3.17**).

En esta zona, ocurre el cierre de la cuenca de tracción Lagunillas e inmediatamente sigue una sola traza activa de la falla de Boconó, como se muestra en una cárcava que se encuentra inmediatamente al este del surco de falla ya mencionado (**figura 3.18**).

46



Figura 3.11.- Fotografía del sector Quinanoque, donde se muestran dos lomos de presión y la laguna de falla



Figura 3.13.- Sitio seleccionado para la excavación de trinchera paleosímica. La línea roja demarca la tendencia de la traza de Falla



Figura 3.12.- Calicata hecha para estudios arqueológicos en la laguna de falla del sector Quinanoque, la cual tiene aproximadamente dos metros de altura por un metro de ancho



Figura 3.14.- Sitio seleccionado para excavación de trinchera sobre la traza norte, sector vía La Trampa.

Entre las poblaciones de Lagunillas y San Juan de Lagunillas (**anexo 4**), la traza norte de la falla se visualiza en afloramientos cuaternarios expuestos en la quebrada Murachí, es aquí donde la falla origina el basculamiento local de las terrazas y grietas que posteriormente son rellenas con sedimentos (**figura 3.16**)

Al noreste del pueblo de San Juan de Lagunillas, la traza de la falla desplaza a varios drenajes, siendo el más evidente un valle que actualmente está siendo usado por una quebrada cuyo cauce es muy pequeño e incapaz de haberlo generado. Observando la zona con un poco más de detalle, se comprobó que existían varios drenajes con las mismas características, confirmando que el

valle más grande había sido desplazado dextralmente por la falla. En el sector también se observan facetas triangulares y escarpes que corresponden con una traza de falla secundaria, ubicada al sur de la traza de la falla de Boconó. En el mismo sector, un poco más al este del pueblo de San Juan, la falla produce una pequeña laguna de falla que se encuentra en los terrenos de una finca (**figura 3.19**). Esta pequeña laguna se analizó y se encontró que tenía sedimentos finos con buena cantidad de materia orgánica. Por su parte, la traza en la zona no se veía con complicaciones estructurales Por ultimo, el lugar es de muy fácil acceso, y está construido un galpón para criar cochinos (actualmente abandonado). Este lugar se seleccionó como potencial sitio de trinchera (**sitio 6 tabla 1**) (**Anexo 3 S6**).



Figura 3.15.- Panorámica del pueblo de Lagunillas. En línea roja, se delinea la traza sur de la falla de Boconó.



Figura 3.16.- Sito por donde pasa la traza norte de la cuenca en tracción de Lagunillas en la quebrada Murachí. Nótese el basculamiento de la terrazas.



Figura 3.17.- Surco natural formado por la unión de las trazas de la cuenca de tracción Lagunillas, al norte de la población de San Juan de Lagunillas.



Figura 3.18.- Pared de cárcava que muestra la traza activa de la falla de Boconó, al norte de la población de San Juan de Lagunillas



Figura 3.19.- Lugar seleccionado como potencial sitio de trinchera. Las flechas azules muestra el sitio aproximado v la disposición de la misma.

Llegando a la población de La González, se observó de nuevo que los cursos de quebradas y ríos importantes están desplazados dextralmente, e inclusive, la quebrada La Sucia representaba otro caso de captura de drenaje.

Una de las características más repetitivas observadas en el paisaje, a lo largo de toda la zona de estudio, son los deslizamientos de tierra, cuyas coronas se han apreciado de forma muy clara, siendo uno de los más espectaculares el deslizamiento que se encuentra en la cercanías de la población de La González, en la margen derecha del río Chama. La corona de este deslizamiento tiene aproximadamente 2 km de largo y sobre su masa deslizada está construida la autopista que comunica Mérida con El Vigía (**figura 3.20**) (Anexo 3).

La traza de la falla de Boconó sigue al este, donde los mismos deslizamientos hacen que la traza activa no se aprecie con la misma claridad. Solamente algunos cuellos de fallas y drenajes lineales ayudan a inferir el paso de la falla. Se pudo observar que la traza antes de ingresar al valle del río Chama, para cerrar la cuenca de La González, tiene que pasar por la población de Ejido y probablemente cruzar, aunque localmente, la terraza de Mérida. Aparentemente la falla de Boconó continúa hacia la ciudad de Mérida con el mismo patrón que trae de la zona La González – Estanques.



Figura 3.20.- Vista panorámica del deslizamiento La González.

ANALISIS PALEOSISMOLÓGICO DE LA FALLA DE BOCONÓ EN LA ZONA DE ESTUDIO

Los sitios seleccionados para el estudio paleosísmico fueron el sector vía La Trampa (curva la Pantaleta o el muro), Lagunillas, Municipio Sucre, sobre la traza norte de la cuenca en tracción Lagunillas (sitio 5 tabla 2) y Sector Quinanoque, carretera vía Cacés, Lagunillas, Municipio Sucre, sobre la traza sur de la cuenca en tracción Lagunillas (sitio 4 tabla 1) (figura 4.1 y anexo 1).(Colocar trincheras en anexo 1)



Figura 4.1.- Ubicación de las Trincheras Pantaleta y Quinanoque, sobre un esquema del mapa neotectónico del área en estudio. DD: Drenajes desplazados; CF: Cuello de falla; BE: bermas; FT: Faceta triangular; BE: bermas

Las muestras de materia orgánica de este trabajo fueron procesadas y datadas en los laboratorios de Beta Analytic, Miami, U.S.A. Además de reportar los resultados en edades convencionales de radiocarbono, dicho laboratorio realiza una validación de los resultados con curvas de edades calendarios calibradas con base en árboles que fueron datados con ¹⁴C y con dendrocronología, obteniendo edades calendario mas precisas. La **figura 4.2** muestra la planilla que el laboratorio publica donde explica cada uno de los parámetros de la curva. En este estudio se trabaja con una certidumbre en las dataciones obtenidas del 95 % (2

sigma de desviación), es decir, hay 95% de la probabilidad que la edad asignada al material datado estè dentro del rango obtenido.

Trinchera La Pantaleta

En el sector vía La Trampa, se excavó la primera trinchera de 10 metros de largo, 2 metros de alto y un metro de ancho, la cual se denominó Trinchera La Pantaleta. Esta trinchera se situó perpendicular a la traza de falla, cubriendo al menos tres metros del lomo de obturación que originó la pequeña paleolaguna (**figura 4.3**).

En el sitio escogido para esta excavación, el rasgo morfotectónico que manifiesta el paso de la traza activa, es un lomo de obturación que originó un pequeño escarpe contrario a la escorrentía natural de la ladera de la montaña (un contra-escarpe), el cual originó el represamiento de los sedimentos transportados sobre la ladera, creando una pequeña laguna de falla. Estas condiciones fueron ideales para la sedimentación de materiales finos y orgánicos en un ambiente de relativa tranquilidad (**Figura 4.4**).

Descripción de la trinchera

La secuencia estratigráfica expuesta en la trinchera de base a tope comienza con una capa conglomerática mal escogída, con clastos cuyo tamaño promedio es de 4 cm y tamaños máximos de 33 cm. Los clastos se presentan angulosos a subangulosos, con una matriz arenosa de color rojizo. Esta primera capa representa la base de la paleolaguna. Por encima de esta capa, se observó un coluvión de unos 10 cm de espesor con tamaños de granos que variaron entre 3 y 4 cm, observándose clastos que alcanzan hasta los 16 centímetros de diámetro, y se encuentran soportados por una matriz de color gris oscura. Se estima que el primer sismo encontrado en esta trinchera originó dicho coluvionamiento (**figura 4.5, tabla 2**). Por último, existe una capa de material orgánico de espesor máximo de 80 cm que corresponde a los sedimentos represados en la laguna de falla. Esta secuencia

EXPLANATION OF THE BETA ANALYTIC DENDRO-CALIBRATION PRINTOUT



Beta Analytic, Inc., 4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155

Reporting results (recommended):

1. List the conventional radiocarbon age with its associated 1 sigma standard deviation in a table and designate it as such.

2. Discussion of ages in the text should focus on the 2 sigma calibrated range.

Figura 4.2.- Explicación de la calibración dendrocronológica de edades de radiocarbono a edades de calendario, publicada por Beta Analityc en http://www.radiocarbon.com/sample1.htm



Figura 4.3.- Croquis de fotografía aérea a escala 1:8000 donde se muestra a detalle el sitio de la trinchera Pantaleta. LF: Laguna de Falla; LO: Lomo de Obturación; DD: Drenaje desplazado; BE: Berma



Figura 4.4.- Lugar seleccionado para la excavación de la trinchera sobre la traza norte de la cuenca de tracción Lagunillas.

desaparece al extremo sur de la trinchera, donde fue cortado el lomo de obturación, convirtiéndose solamente en una capa de conglomerado basal.

Al sur de la trinchera, la falla está representada por una zona de 2 grietas abiertas ("open crack") que cortan toda la sección, las cuales se encuentran rellenas de materia orgánica y están separadas 1 m entre si, denominadas en este texto como grietas **A** y **B**. (**Figuras 4.5 y 4.6**). La grieta **A** no es continua del todo; ella se abre y se cierra en varios lugares, lo que puede representar eventos sísmicos separados, por consiguiente se procedió a la extracción de muestras en cada una de ellas cuyos resultados son expresados en la **figura 4.5**. La grieta **B** a diferencia de la anterior, se presenta muy homogénea con un material altamente orgánico. Cabe señalar que al momento de la excavación, en este sitio, se originó una emanación de gas lo cual evidencia claramente el carácter orgánico del material que le rellena. De este material se tomó una muestra la cual fue datada y su resultado se expresa en la **figura 4.6**. En el tope de la capa basal de conglomerados se observaron grietas de tamaño menor que se encuentran rellenas de los coluviones que la suprayace. Estas forman parte del mismo evento sísmico que originó el coluvionamiento del material que

lacustrina existen algunos cantos alineados ("stone line"), los cuales se observaron mejor en la pared este de la trinchera, donde existe una alineación que contiene un clasto de aproximadamente un metro de diámetro (**Figura 4.5**). Justamente por debajo de este clasto se tomó otra muestra orgánica para su datación radiocarbónica. En el tope de la secuencia lacustrina, existe otra línea de clastos de menor extensión lateral, la cual presenta mayor continuidad en la pared este, la cual, al igual que las anteriores fue datada con ¹⁴C, dando edades recientes, sin tener claro la edad del sismo que la formó. Esta edad anómala tan reciente del material pudo haberse originado por contacto o contaminación de las raíces materia orgánica de las raíces de plantas que actualmente viven es esos terrenos.

Análisis Paleosísmico de la Trinchera.

Como se mencionó en el aparatado anterior, la historia sísmica de la traza norte de la cuenca en tracción Lagunillas expuesta en esta trinchera, comienza con el sismo que originó el coluvionamiento del material que se encuentra por encima de la capa basal conglomerática por encima del punto de muestra 5 (**figura 4.6**). La base de esta capa coluvial fue analizada dando una edad de 2470-2200 AC

Por encima de esta cuña coluvial se observa una línea de cantos. En análisis previos a los resultados de ¹⁴C se pensó que el canto de gran tamaño que se encuentra sobre el punto de muestreo 6 (**figura 4.5**) correspondía a la misma línea de cantos que aparece justo sobre el punto de muestreo 8. Luego del análisis con ¹⁴C se obtuvo intervalos de edades de 1750-1600 AC y 1570-1540 AC para los cantos de menor tamaño y un intervalo de edad de 930-800 AC para el canto de mayor tamaño. Estos resultados sugieren la presencia de dos eventos sísmicos, el mas joven (de 930-800 AC), puedo haber sido el de mas intensidad ya que fue capaz de movilizar el canto de un metro de diámetro hasta el fondo de la paleolaguna.

Continuando con el orden cronológico de los eventos, en el punto de muestra 4 de la **figura 4.5**, se observa la apertura de una pequeña grieta por el movimiento de la falla durante el sismo ocurrido en los años 980-1060 DC o 1080-1150 DC Al fondo de la grieta A en el punto de muestra 2 (**figura 4.5**), se obtuvieron los intervalos de edades 1430-1520 DC y 1590-1620 DC Según los sismos históricos publicados en Sismología Histórica de Venezuela (<u>http://sismicidad.hacer.ula.ve/cgi-win/be_alex.exe?nombrebd=psh</u>), el

59



Figura 4.5.- Dibujo de la pared este Trinchera Pantaleta. Las edades representadas aquí contienen el 95 % de probabilidad (2 sigma). Los números en color azul corresponden a fechas de sismos históricos. (Cortesía del Ingeniero Reinaldo Ollarves, FUNVISIS)



Figura 4.6.- Dibujo de la pared oeste Trinchera Pantaleta. Las edades representadas aquí contienen el 95 % de probabilidad (2 sigma). Los números en color azul corresponden a fechas de sismos históricos.

Tabla 2.- Resultados de análisis radiocarbónicos de la trinchera Pantaleta , en años calendario calibrado. 1 sigma representa el 68 % de probabilidad y 2 sigma el 95 % de probabilidad. Los puntos de muestras de los dibujos referidos en el texto corresponden a la numeración de la nomeclatura de muestras FUNVISIS que se encuentra resaltada en negrita.

Muastra	Muestra	2 sigma AÑOS	Años calendario calibrados	
	BETA	CALIBRADOS		
F UN V 1515 Nº	ANALYTIC	AP	1 sigma	2 sigma
	N°	(años)		
VEN 02 06	218689	520-430	•	1430-1520 DC
V LIN-02-00		360-330	1440-1470 DC	1590-1620 DC
		430-360		1520-1590 DC
VEN 03 06	218600	330-280	1640-1660 DC	1620-1670 DC
VEIN-03-00	218090	180-150		1770-1800 DC
		10-0		1940-1950 DC
		970-900 870-800	1010-1040 DC	980-1060 DC
VEN- 04 -06	218691			1080-1150
				DC.
VEN- 05 -06	218692	4420-4150	2450-2280 AC	2470-2200 AC
VEN-03-00			2240-2240 AC	
VEN- 06 -06	218693	2880-2750	910-820 AC	930-800 D.C.
VEN- 08 -06	218694	3700-3550	1740-1620 AC	1750-1600 DC
V L11-00-00	210074	3520-3490		1570-1540 DC
VEN- 09 -06 [*]	218605	103.5 +/- 0.4		
VLIV-09-00	210075	рМС		
VEN- 10 -06 [*]	218696	107.6 +/- 0.4		
VLIV-10-00		рМС		
	218697	290-0	.1670-1700	
			D.C.	
			1720-1780 DC	1660-1960 DC
VEN-12-06			1800-1820 DC	
			1840-1880 DC	
			1920-1950 DC	
			1950-1950 DC	

*Muestras cuyo resultado es expresado en porcentaje de carbono moderno (pMC), el cual produce una fecha mas joven que 1950 DC (moderna)

único sismo registrado en la región en los intervalos de tiempo dados, sucedió en el 03 de febrero 1610. **Soulas et al. (1987)**, estimó isosistas de intensidad VIII cerca de la cuenca de Lagunillas (**figura 4.7**). Integrando estos datos, se concluye que el sismo de 1610 con epicentro macrosísmico en la población de La Grita fue uno de los responsables en el

origen de la grieta **A** en esta trinchera. En el punto de muestra 3 se logró obtener varios intervalos de edades 1520-1590 DC ; 1620-1670 DC; 1770-1800 DC y 1940-1950 DC Para este punto se escoge el sismo de 1894 ya que según datos históricos es uno de los sismos más importantes que ha afectado la zona y del cual se hablará en la discusión de los resultados.

Por último se tiene el punto de muestra 12 ubicado en la grieta B (figura 4.5). Como ya se mencionó, esta grieta se presenta muy homogénea en su contenido de relleno lo que hace pensar que fue originada por un gran sismo que ocurrió en la región. Las edades obtenidas para el relleno de esta grieta abarcan un intervalo de 1660-1960 DC Como se puede apreciar el intervalo de edad es muy amplio y en el pueden entrar 12 sismos registrados cerca de la zona. No obstante, al observar que el rasgo cosísmico encontrado tuvo que haber sido producido por un gran evento y tomando en cuenta que el sismo 1894, ya se interpretó en esta trinchera, nuevamente el autor concluye que este sismo es encontrado, pero esta vez con un rasgo mayor. El epicentro macrosísmico de este evento fue calculado por Rengifo y Laffaille (2000), en la serranía de Onia cerca de la población de Santa Cruz de Mora al suroeste de la ciudad de Mérida. Rasgos de este mismo evento se observó en otra trinchera, al suroeste del área de estudio, hecha sobre la falla de Boconó, en las cercanías de la población de La Grita, Estado Táchira, al que se le atribuyó una magnitud entre M=7.1 y 7.3. (Audemard 1997) Tomando en cuenta las dos localizaciones donde se encontraran rasgos hechos por este mismo sismo, se puede establecer una ruptura cosísmica de al menos 70 km de longitud

La recurrencia sísmica para los primeros eventos datados en la traza norte de la cuenca de tracción de Lagunillas, no es muy clara. Para los sismos con fechas anteriores a las conseguida en el catalogo de simología histórica de Venezuela (sismos prehistórico) se observa una recurrencia de aproximadamente 850 a 650 años. Para los dos últimos sismos cuyas edades coinciden con fechas encontradas en el catálogo histórico de Venezuela (sismos históricos), se obtuvo un período de retorno aproximado de 300 años; muy similar al reportado por **Audemard (1997)** para el segmento de la traza de la falla de Boconó VE-06A denominado por **Audemard et al.(2000)**



Figura 4.7.- Principales sismos históricos asociados con el segmento sur de la falla de Bocono, por Soulas et al. (1987 en Audemard 1997). Leyenda: 1) área mesosísmica; 2) Isosista VIII; 3) Simplificación de la traza activa del sistema de falla Bocono; 4) Epicentro macrosismico

Trinchera Quinanoque

Esta excavación, al igual que la trinchera anterior, se realizó perpendicular a la traza de la falla, cubriendo parte del lomo de obturación que represó la paleolaguna encontrada en la zona. En este caso, el sitio seleccionado estaba contiguo a un pequeño drenaje que servia como desagüe natural de la paleolguna, por tanto se aprovechó el talud del pequeño canal para hacerlo parte de la pared este de la trinchera (**figura 4.8**). Más aun, tal canal se comporta como un drenaje lineal, capturado por la traza de la falla.



Figura 4.8.- Lugar seleccionado para la excavación de la trinchera sobre la traza sur de la cuenca de tracción Lagunillas.

En la trinchera Quinanoque, la excavación se ubicó sobre la margen sur de una gran paleo-laguna. Entre los rasgos geomórficos que identifican la traza de falla en el sector, se encuentran unos lomos de presión ubicados en los solapes de unas pequeñas fallas tipo riedeles sintéticos a la traza sur. También, la traza está marcada por una línea de grandes árboles hacia el oeste; mientras hacia el este, se alinea perfectamente con un pequeño drenaje que se encuentra junto al sitio de trinchera, donde se puede ver claramente un contacto anómalo entre un conglomerado (ocasionado por flujo de detritos) y el material fino (limos blanquecinos de la laguna) (**Figura 4.9**).



Figura 4.9.- Croquis de fotografía aérea a escala 1:8000 donde se muestra a detalle el sitio de la trinchera Quinanoque. LF: Laguna de Falla; LO: Lomo de Obturación; LP: Lomos de Presión.

Descripción de la trinchera

De base a tope, la secuencia sedimentaria expuesta (Figuras 4.10 y 4.11): en la trinchera consiste en

- Conglomerado basal muy consolidado mal escogido, con tamaños de clastos que van desde 1 a 25 cm, con matriz arenosa muy cementada de color rojizo.
- Capa de conglomerados moderadamente escogido con tamaño promedio de clastos de 3 cm. Esta capa presenta 10 cm de espesor en el norte, tiende a acuñarse y aparece de nuevo a medida que se avanza al sur.
- Fina capa vegetal con abundante raíces y hojas.
- Sedimentos limo-arcillosos de color marrón claro con estratificaciones internas de diferentes tonalidades que se disponen en "onlap" contra el

margen sur de la laguna. Se presentan deformadas y algunas de ellas tienen forma lenticular. Contienen nódulos arcillosos que llegan a tener 10 cm de diámetro, que ocasionalmente se confunden con clastos. Tal diferencia puede deberse a distintos niveles de cementación o grados de cohesión.

• Capa de 5 cm de espesor de materia orgánica reciente.

La falla no fue claramente vista a través de los sedimentos lacustres más jóvenes, contrariamente al caso de la trinchera Pantaleta. No obstante, haciendo un estudio detallado se observó como en la pared oeste se encontraba una grieta abierta, que llegaba a 25 cm que reposan discordantemente sobre la secuencia conglomerática en la parte más alta y se cerraba a medida que se profundizaba en nivel conglomerático. Al estudiar la pared este se confirmó la presencia de la grieta, e incluso se observó que estaba rellena de material orgánico (**figura 4.10**). Lo más resaltante de la pared oeste corresponde al grado de distorsión de las capas areno-limosas de la secuencia de la laguna, ricas en materia orgánica y de color blanquecino, a la vertical de donde se interpretó la grieta (**Figura 4.11**).

Por último, se debe resaltar que en esta trinchera se ubicaron fragmentos de cerámica, supuestamente indígena, en dos niveles estratigráficos distintos. En un caso, se ubicó a una profundidad que supera 1,5 m. Su aparición parece corresponder con la ocurrencia de dos sismos, puesto que se ubican al tope de paleosuelos orgánicos soterrados por episodios de granulometría un poco más gruesa.

Análisis paleosísmico de la Trinchera

Para el análisis paleosísmico de esta trinchera se realizaron ensayos para datación radiocarbónica a 19 muestras (**Tabla 3**). Las edades de **a**lgunas de ellas permitieron acotar temporalmente 4 sismos, mientras que otras arrojan una edad moderna (implicando que "respiraron" carbono en los últimos 50 años) o edades que discrepan con en el orden estratigráfico (**figuras 4.10 y 4.11**). Varios fragmentos de recipientes de arcillas fueron hallados en el sitio de excavación, lo que hace pensar que algunos puntos de esta paleolaguna fue intervenida en algún tiempo de su historia por indígenas que moraban en la zona. Esto explica, quizás, el desorden de edades en la estratigrafía de la paleolaguna.

Trinchera Quinanoque pared Este





Figura 4.10.- Dibujo de la pared este Trinchera Quinanoque. Las edades representadas aquí contienen el 95 % de probabilidad (2 sigma). Los números en color azul corresponden a fechas de sismos históricos. (Cortesía de la Ingeniera Luz María Rodiguez FUNVISIS)



Figura 4.11.- Dibujo de la pared oeste Trinchera Quinanoque. Las edades representadas aquí contienen el 95 % de probabilidad (2 sigma). Los números en color azul corresponden a fechas de sismos históricos.(Cortesía del Franck Audemard, FUNVISIS).

Analizando la trinchera de base a tope, se tiene que el primer sismo interpretado se encuentra sobre el tope de un lente deformado, específicamente en el punto de muestra 24 (**figura 4.11**). En esta localidad la edad estimada con el método ¹⁴C fue de 30-230 años DC Por debajo de este punto la pared de la trinchera muestra un límite entre los sedimentos de la laguna y basamento. En el punto de muestra 23, justo por encima de este limite y por debajo del punto de muestra 23, se obtuvo una edad moderna (**tabla 4**), sugiriendo una contaminación con ¹⁴C muy reciente (en los últimos 50 años). Se interpreta que dicho contacto abrupto es una superficie de despegue entre los dos tipos de materiales, y se presume que a cada sismo, la misma permite el movimiento libre de la unidad superior de los depósitos de la laguna sobre la unidad inferior de los conglomerados.

El segundo sismo reconocido se ubica en un lente de arena que se encuentra dentro de los sedimentos lacustrinos, justamente por encima del punto de muestra numero 26 y por debajo del punto de muestra numero 27. La granulometría relativamente más gruesa corresponde a una especie de cuña coluvial que se depositó en el momento del sacudón del sismo (**figura 4.11**). Con respecto a las edades para el punto 26, se obtuvo 640 a 710 años d.C. y 750 a 760 años DC Para la muestra 27 las edades encontradas son más joven que las halladas en el punto de muestra 26, con rangos de edades de 260-280 años DC; 330-450 años DC.; 450-460 años DC y 480-530 años DC Ambos resultados aproximan al sismo a una edad de 700 años DC.

Sobre el lente de arena antes descrito, se encuentra otro lente de similares característica que el primero. Aquí, los puntos de muestras 28 y 29 que se encuentran por encima del cuerpo lenticular dieron edades modernas, lo cual no sirvió para estimar la edad de este evento símico, Al sur de la trinchera, justo en el punto de muestra 19 existe el límite entre otro cuerpo lenticular y el sedimento lacustrino predominante. Este límite parece tener continuidad con aquel entre el lente de arena de los puntos de muestra 28 y 29. Como se puede observar en la **figura 4.11**, estos tres puntos de muestras dieron como edad "Moderno", por lo que se interpreta que éste puede ser un segundo límite de respiro de ¹⁴C actual y por consiguiente otro límite de despegue donde los sedimentos de la parte alta de la laguna se mueven independientemente de los de la parte baja en el momento de la ocurrencia del sismo.

Tabla 3.- Resultados de análisis radiocarbónicos de la trinchera Quinanoque , en años de calendario calibrado. 1 sigma representa el 68 % de probabilidad y 1 sigma el 95 % de probabilidad. Los puntos de muestras de los dibujos referidos en el texto corresponden a la numeración de la nomeclatura de muestras FUNVISIS que se encuentra resaltada en negrita.

	Muestra	2 sigma AÑOS	Años Calendario Calibrados	
Muestra FUNVISIS N°	BETA ANALYTIC N°	CALIBRADOS AP (años)	1 sigma	2 sigma
VEN-13-06*	218698	101.6+/- 0.4 pMC		
VEN-14-06	218699	510-310	1460-1530 DC 1560-1630 DC	1440-1640 DC
VEN-15-06*	218700	100.6 +/- 0.4 pMC		
VEN-16-06*	218701	107.3 +/- 0.4 pMC		
VEN-17-06*	218702	129.7 +/- 0.4 pMC		
VEN-18-06*	218703	132.2 +/- 0.4 pMC		
VEN-19-06*	218704	108.6 +/- 0.4 pMC		
VEN-20-06	218705	1340-1260	640-670 DC	610-690 DC
VEN-21-06	218706	3220-2960	1210-1050 AC	1270-1010 AC
VEN-23-06*	218707	133.5 +/- 0.4 pMC		
VEN-24-06	218708	1920-1720	70-140 DC	30-230 DC
VEN-25-06	218709	3400-3250	1420-1380 AC 1330-1330 AC	1450-1300 AC
VEN-26-06	218710	1320-1240 1200-1190	650-680 DC	640-710 DC 750-760 DC
VEN-27-06	218711	1680-1670 1620-1500 1500-1490 1470-1420	380-420 DC	260-280 DC 330-450 DC 450-460 DC 480-530 DC
VEN-28-06*	218712	102.8+/- 0.4 pMC		
VEN-29-06*	218713	103.0 +/- 0.4 pMC		
VEN-30-06	218714	1170-1280	1220-1270 DC	1170-1280 DC
VEN-31-06	218715	1470-1660	1520-1590 DC 1620-1650 DC	1470-1660 DC
VEN-32-06	218716	1420-1500 1600-1610	1440-1460 DC	1420-1500 DC 1600-1610 DC

* Muestras cuyo resultado es expresado en porcentaje de carbono moderno (pMC), el cual produce una fecha calendario más joven 1950 DC (Moderna).

El punto de muestra 30 se encuentra sobre una capa fina en forma lenticular que aparece y desaparece en el norte de la trinchera. Se tomó esta capa como nivel de referencia para otro evento sísmico, siendo las edades obtenidas para esta muestra de 1170-1280 años DC

Por último, por debajo del límite entre dos cuerpos estratificados de la laguna donde el fenómeno de deformación de cuerpos lenticulares se siguen observando se tomó una muestra marcada como 31, de edad 1470-1660 años DC Por estar este rango de edad dentro de la ventana temporal del catalogo sísmico venezolano, se ubicaron los posibles sismos que afectaron la zona para esta época, como se aprecia en la **figura 4.12**. De la observación de este mapa se deduce la presencia de dos sismos en la zona de gran importancia: 1610 y el de 1674. Por estar este punto de muestra por debajo del lente pre-data el sismo; es decir, el sismo que aquí se encuentra puede ser mas joven al rango obtenido. Por lo tanto nos inclinamos como posible sismo candidato por el de 1674. En la pared este, dentro de la grieta encontrada en basamento (punto de muestra 14), este mismo sismo aparece, reafirmando la interpretación aquí hecha.



Figura 4.12.- Sismicidad histórica de la falla de Boconó y fallas secundarias en los Andes Centrales de Venezuela. (Modificado Soulas el al., 1987). El sismo de 1674 fue tomado de Palme y Altez 2002, donde la escala de intensidad usada para este sismo fue la MKS
CAPITULO IV

Un patrón de recurrencia puede ser identificado al interpretar las edades de los sismos encontrados (**figura 4.11**). Partiendo del sismo que se encuentra en la base de la paleolaguna (punto de muestra 24) de aproximadamente 200 años DC y tomando en cuenta que el siguiente evento que concuerda con un orden lógico en la estratigrafía (entre los puntos de muestras 26 y 27) es de edad aproximada de 700 años DC determina entonces un intervalo entre eventos de 500 años. A su vez, se observa, de nuevo, el mismo intervalo entre el sismo delimitado por los puntos de muestras 26 y 27 y el siguiente evento sísmico, de edad aproximada 1200 años DC.,(punto de muestra 30). Por ultimo, se tiene en la secuencia cronoestratigráfica, la presencia del sismo de 1674, el cual ocurre aproximadamente 474 años después. En conclusión se observa una recurrencia sísmica para la traza sur de la Falla de Boconó de aproximadamente 450- 500 años.

CAPITULO V

Discusión de los resultados

Modelo estructural

Como ya se mencionó, **Schubert (1982)** basándose en un análisis fotogeológico, estableció un modelo de cuenca de tracción para la zona de la González – Estanques. Propuso que unas de las traza principales de la cuenca se ubica a lo largo del río Chama (traza sur) y la otra al norte de este río (traza norte) (**figura 1.3**). Luego de haber hecho el análisis fotogeológico y de campo correspondiente a la traza activa en la zona de estudio, se observó que la traza sur propuesta por **Schubert (1982)** no presenta ningún rasgo diagnóstico de movimiento reciente.

Por otro lado, se constató que la traza norte presenta suficientes elementos diagnostico de movimiento con un gran componente de movimiento dextral (evidenciado por la deformación del abanico depositado por la quebrada San Miguel y por la presencia de drenajes desplazados) y una componente normal que se observa en los escarpes de fallas encontrados (**Anexo 1**). Dicha observaciones fueron apoyadas por las mediciones de estrías encontradas sobre el plano de falla que se expuso en la quebrada El Barro (plano de falla de rumbo N80°O y buzamiento 88° S, con un pitch de 46° O y un movimiento normal dextral). Además de esto, se observó que dicha traza en su recorrido presenta discontinuidades y algunas complicaciones estructurales. El rasgo estructural más importante observado es la cuenca en tracción Lagunillas que se produce por una curvatura de alivio que comienza en el sector Los Corrales (al oeste de la quebrada El Barro) donde la traza cambia su rumbo de SO- NE a E-O originando dos trazas de falla que delimitan la cuenca y termina en el norte de la población de San Juan de Lagunillas donde las dos trazas se vuelven a unir. A partir de este punto, la traza norte está enmascarada por una serie de deslizamientos activos que impiden el seguimiento preciso en el sector de La González.

Otros rasgos estructurales de gran importancia observados en el sector La González-Estanques, corresponden a tres fallas paralelas entre si (en echelon) que se disponen de manera oblicua a la cuenca (con rumbo aproximado N 45° E) las cuales dejan algunos indicios de su paso en algunas lomas que según **Tricart & Michel (1965)** corresponden a remanentes de los niveles de terrazas mas antiguos encontrados en la zona (T_{IV}). Sin embargo, estas fallas, en algunos sectores, son cubiertas por depósitos cuaternarios más jóvenes a T_{IV} , lo que hace suponer que al igual que la traza sur de **Schubert** (1982), no presenta actividad reciente.

De este análisis, se propone para la zona de la cuenca La González dos períodos importantes en su evolución estructural. El primero corresponde a una segmentación de la falla de Boconó en trazas orientadas N 45 E y dispuestas en forma de "echelon" las cuales originaron el colapso cortical en la zona, luego un periodo en el cual la zona de falla evoluciona a una traza ubicada al norte de la cuenca y que actualmente se encuentra activa, originando una cuenca de tracción pequeña denominada en este trabajo "Cuenca de Tracción Lagunillas", cuyas trazas norte y sur fueron cartografiadas a partir de la interpretación de fotografías aéreas y ubicadas en el campo mediante evidencias estratigráficas y geomorfológicas, como por ejemplo las encontradas en las quebradas El Barro y Casés.

Análisis Paleosimológico

Con el análisis paleosismológico hecho en las trincheras excavadas sobre la traza norte y la sur (Trincheras Pantaleta y Quinanoque respectivamente) de la cuenca en tracción Lagunillas, se reconstruyó la recurrencia sísmica de la falla de Boconó en la zona de estudio. Para la traza norte (trinchera Pantaleta), se comprobó dos posibles patrones de recurrencia. El primer patrón, encontrado con los sismos pre-históricos de 850 a 650 años. El segundo patrón, para los últimos dos sismos (sismos históricos), el periodo de retorno es de unos 280 años similar al reportado por **Audemard (1997)** en la trinchera La Grita excavada sobre el segmento VE-06A de la traza de la falla de Boconó de **Audemard et al.** (2000) (Figura 5.1); segmento que coincide con la traza norte de la cuenca en tracción Lagunillas. El hecho de existir dos patrones de recurrencia puede ser atribuido a la imposibilidad de diagnosticar sismos prehistóricos dentro de la trinchera, que eventualmente podría haber ocurrido en otras trazas subparalelas activas con menor expresión morfológica. Los dos sismos históricos encontrados en esta trinchera fueron el de 1610 y 1894. Por su parte, el sismo de 1610 tuvo su epicentro entre las poblaciones de La Grita y Tovar (**Soulas et al., 1987**). Los registros históricos señalan que las poblaciones de Bailadores y la Grita quedaron totalmente destruidas **Ferrer y Laffaille (1998)**, basados en los relatos del padre Franciscano Fray Pedro Simón estudian un deslizamiento de tierra originado por este sismo y además calculan una magnitud de 7,5 (ML) y una intensidad de XI.

El sismo de 1894 presenta epicentro macrosísmico en la serranía de Onia al suroeste de la ciudad de Mérida (**Rengifo y Laffaille, 2000**). De este sismo hay que hacer especial mención ya que **se**gún el registro histórico, las poblaciones cercanas al epicentro macrosísmico tales como Zea, Santa Cruz de Mora, Chiguará y Mesa Bolívar resultaron completamente destruidas. A su vez, grandes deslizamientos tierras y posible agrietamientos de terrenos fueron reportados por **Febres Cordero (19931**). En el caso particular de Lagunillas el evento de 1894 produjo el desplome de 92 viviendas y por lo menos 21 muertos de una población de 4280 habitantes. También se habla de inundaciones en la zona producto del desbordamiento de la laguna de Urao (**Rengifo y Laffaille, 2000**), que posiblemente se produjo cuando la traza norte de la cuenca en tracción Lagunillas se activò.



Figura 5.1.- Segmentación de la falla de Boconó en la región de Los Andes. Los cuadros verdes indican la posición de las trincheras hechas sobre la falla de Boconó. T1: Mis Delirios; T2: La Grita; T3: Pantaleta; T4: Quinanoque; T5:Morro de Los Hoyos; T6:Mesa del Caballo(**Tomado de Audemard 2000**)

En cuanto el sismo de 1674 encontrado en la trinchera de Quinanoque, **Palme y Altez** (2002), afirman que en realidad sucedieron 2 eventos, el primero el 8 de diciembre de 1673 y luego otro evento de gran importancia los primeros días del mes de enero de 1674. **Audemard et al. (2008)** en una trinchera cavada en la traza sur de la cuenca de tracción de Apartaderos (**segmento VE06C de la Figura 5.1**) encuentran vestigios de la ruptura de la falla para un sismo de esta misma fecha. Si se toma en cuenta que la trinchera Quinanoque se encuentra sobre el segmento VE06B (**Figura 5.1**), una posible explicación a estos dos eventos sísmicos es que al suceder la ruptura de una de los dos segmentos precipitó la ruptura del segundo segmento, lo que explicaría el hecho de haber sentido el sismo con gran intensidad en regiones distantes. **Palme y Altez (2002)**, proponen para las ciudades de Trujillo Mérida y el Tocuyo intensidades de entre VII y VIII. Para el caso de Mérida reportaron destrucción total en casas de tejas y paredes de tapias. En Barinas reportaron el desplome "de Cuajo" de la Iglesia y para el piedemonte Andino (zona de Torondoy) se mencionaron efectos secundarios a gran escala como la licuación de arenas que destruyeron grandes plantaciones de cacao.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con base en el análisis fotogeológico y las observaciones de campo hechas entre los caseríos Estanques-La González se concluye:

- Se propone un modelo alternativo al de cuenca de tracción La González propuesto por Schubert (1982), donde se descarta la traza sur por no presentar evidencias de movimientos recientes. Y se propone que la traza activa de la Falla de Boconó pasa al norte y casi de forma paralela, al río Chama, con una orientación general N60°E, donde puede ser seguida por evidencias geomorfológicas tales como valles lineales, drenajes desplazados, bermas, trincheras naturales de fallas, escarpes. Además es corroborada por evidencias estratigráficas, encontradas en los afloramientos de las quebradas que cortan casi perpendicular a las traza activa de la falla. Además se propone, en el tramo comprendido entre quebrada El Barro y la población San Juan de Lagunillas, que la traza activa de la falla de Boconó se divide en dos formando una cuenca de tracción, denominada en este trabajo "Cuenca de tracción Lagunillas"
- Las observaciones geomorfológicas y los análisis de las estrías encontrada sobre el plano de falla de la traza activa, confirman un movimiento dextral normal para la falla de Boconó.
- Otros rasgos de menor importancia asociados a la traza principal encontrados en la zona de estudios son: lomos de presión, fallas Riedel y fallas pequeñas de ajuste.
- 4) Fallas sin evidencias de actividad recientes, como las fallas en echelon con una tendencia aproximada de N45°E, también fueron visualizadas mediante rasgos morfológicos en el campo y fotografía aéreas.
- 5) Se propone dos etapas en la evolución para la zona de estudio. Una etapa temprana donde la falla de Boconó se presenta en la zona como un conjunto de fallas dispuestas en echelon con un rumbo aproximado de N60°E las cuales poseían movimientos dextrales y originaron un pequeño colapso cortical que creó la cuenca La González. Y una segunda etapa posterior donde la traza principal migra al norte donde toma la configuración actual.

- 6) La traza norte de la cuenca en tracción de Lagunillas presenta dos modos de recurrencia para producir sismos. La primera de 850 a 650 años inferida a partir de los sismos pre-históricos encontrados en la trinchera. Y la segunda de, aproximadamente 300 años, inferida con los sismos históricos encontrados en la trinchera.
- Para la traza sur se observan recurrencias de 450-500 años, definidas con todos los sismos encontrados en la trinchera.
- 8) Según los datos obtenidos en las trincheras y la información conseguida en el catálogo de sismicidad histórica, se le pudo atribuir a la falla de Boconó 3 grandes sismos sentidos en la zona: a) El de 1610 con epicentro macrosismico en la población de Bailadores (sur de la zona de estudio) Soulas et al., (1987); b) Los eventos diciembre 1673-enero1674 sentidos en casi toda la cordillera de Mérida cuyos epicentros no están claramente definido, sin embargo, Palme y Altez (2002) proponen una región epicentral entre las poblaciones de Gilbraltar, Mérida y Trujillo; y el terremoto de 1894 con epicentro macrosismico en las cercanías de la población de Santa Cruz de Mora (Rengifo y Laffaille, 2000).
- 9) Para los sismos de diciembre 1673 enero 1674 se propone la ruptura de los tramos de fallas VE06b y VE06c de Audemard et al. 2000, basados en la información de los estudios paleosimológico de las trincheras Quinanóque (realizado en este trabajo) y Morro de los Hoyos (Audemard et al. 1999) y Mesa del Caballo (Audemard et al. 2008)

RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio a detalle de todas las quebradas de la zona con el fin de establecer una estratigrafía a detalle que ayude a mejorar el modelo evolutivo de la cuenca de La Gonzalez.
- Realizar más estudios paleosismológicos por trincheras en la zona, para obtener mejores datos sobre la historia sísmica de la falla de Boconó en el área de estudio.
- Continuar con este tipo de trabajo hacia el noreste de la zona estudiada ya que aquí se encuentra poblaciones muy importantes como es el caso de la Ciudad de Mérida y Ejido.

BIBLIOGRAFIA

- Aggarwal Y. P., 1981, Investigaciones sismológicas en el occidente de Venezuela: implicaciones para las consideraciones sísmicas en el proyecto Uribante-Caparo. Reporte no publicado, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Caracas.
- Alvarado M., Audemard F.A, Laffaille J., Ferrer C. 2006. Cartografía neotectónica de la falla de Boconó entre las poblaciones de La González y Estanques, Estado Mérida, para fines de identificación de sitios propicios para excavaciones paleosísmicas. *Informe Interno de FUNVISIS*, 36 p.p.
- Audemard, F.A., 1989. Néotectonique du Languedoc Mediterranéen: examen critique et synthèse des données existantes. D.E.A. Memoir, Université Montpellier II (U.S.T.L.), 60pp+26 tabl6s+mapa.
- Audemard F.A 1993 Néotectonique, Sismotectonique el Aléa Sismique du Nord-Ouest du Vénézuéla (Système de failles d'Oca-Ancón). *Tesis PhD. Universidad de Montpellier II, Francia 369 pp + anexo*
- Audemard F.A. 1997. Holocene and historical earthquakes on the Boconó Fault System, southern Venezuelan andes: Trench Confirmation. *Geodynamics* 24, 1-4, 155-167.
- Audemard F.A. 1998. Evolution Géodynamique de la Façade Nord Sud-américane: Nouveux apports de l'Historie Géologique du Bassin de Falcón, Venezuela. Procceding XIV Caribbean Geological Conference, Trinidad 1995, vol 2, pp 327-340.
- Audemard F.A., Pantosti D., Machette M., Costa C., Okumura K. Cowan H., Diederix H., Ferrer C., 1999. Trench investigation along Mérida section of the Boconó Fault (central Venezuela Andes), Venezuela. *Tectonophysic 308, 1-21*
- Audemard F. A.,Cox J., Dart L. y Machette M. 2000. Mapa de fallas Cuaternarias de Venezuela. Escala 1:2.000.000
- Audemard F. E. & Audemard F.A. 2002. Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America–Caribbean geodynamic interaction *Tectonophysics 345: 299-327.*.
- Audemard, F.A. 2003a. Estudios paleosísmicos por trincheras en Venezuela: métodos, alcances, aplicaciones, limitaciones y perspectivas. *Revista Geográfica Venezolana* 44(1), 11-46.

- Audemard, F.A. 2003b. Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Mérida Andes, Venezuela. *Quaternary International 101-102*, 43-65.
- Audemard, F.A., Romero G., Rendon H. & Cano V. 2005. Quaternary fault Kinematic and stress tensor along the south Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solution. *Earth-Science Reviews* 69, 3-4
- Audemard, F.A. 2005. Paleoseismology in Venezuela: Objectives, methods, applications, limitations and perspectives. *Tectonophysics* 408: 29-61.
- Audemard M., F.A., Ollarves R. Bechtol M., Diaz G., Beck C., Carrillo E., Pantosti D., Diederix H., (2008) Trench investigation on the main strand of the Boconó fault in its central section, at Mesa del Caballo, Mérida Andes, Venezuela, *Tectonophysics* 459, 38-53.
- Aydin , A & Nur, A. 1982. Evolution of pull apart basins and their scale independence. *Tectonics*, *1*, 91-105
- Centeno-Grau M., 1940, Estudios Sismológicos. Litografía de Comercio, Caracas.
- Cluff L.S., Hansen W.R., 1969, Seismicity and Seismic Geology of Northwestern Venezuela. *Reporte no publicado, Compañía Shell de Venezuela, Caracas.*
- Dewey J. W., 1972, Seismicity and Tectonics of Western Venezuela. Bull. Seism. Soc. America, 62, 1711-1751
- Dooley T. & McClay K. 1997. Analog Modelling of Pull-apart Basins. American Association of Petroleum Geologogists bulletin 81, 1804-1826.
- Febres Cordero T., 1931, Archivo de Historia y Variedades. Parra León Hermanos, Caracas.
- Ferrer, C. 1988. Una revisión sobre las características geológicas de un segmento de la zona de fallas de Boconó: Sector Tabay-Estanques, Estado Mérida. Mérida, Venezuela. Tesis para optar al Titulo de Master, Universidad de Los Andes, Facultad de ciencias Forestales, Mérida, Venezuela.
- Ferrer C. y Laffaille J., 1998, El Alud sísmico de la playa: causas y efectos el terremoto de Bailadores (1610). *Revista Geográfica Venezolana 39, 23-86*
- Fiedler G., 1961, Areas afectadas por terremotos en Venezuela. Boletín de Geología (Venezuela), 4, 1791-1810.
- Folinsbee R. A., 1972, The gravity field and plate boundaries in Venezuela. *Tesis* doctoral (no publicada), Mass. Inst. Techn. and Wodds Hole Oceanog. Inst., USA.

- Giengengack, R. & Grauch R. 1975. Quaternary Geology of central Andes, Venezuela: a preliminary assessment. En *Memorias del II Congreso Latinoamericano de Geología*, Caracas, Tomo I, p. 241-283.
- Giengengack, R., Grauch R.I. & Shagam R. 1976. Geometry of Late-Cenozoic displacement along the Bocono Fault, Venezuelan Andes. En Memorias del II Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas, Tomo II, p. 1201-1225.
- Giengengack, R. 1977. Late-Cenozoic tectonics of Tabay-Etanques graben, Venezuelan Andes. En Memorias del V congreso Geológico Venezolano (Editado por Espejo A.) Ministerio de Energía y Minas Caracas 2, 721-737.
- Gölke M. & Cloetingh S., Fuchs K. 1994. Finite-element modelling of pull-apart basin formation. *Tectonophysisc 240, 45-57.*
- Google Earth versión 4.0.1693 [Programa de Computación en línea]. Disponible en: <u>http://earth.google.com/</u> [consulta: 2007, Marzo 21].
- Guerrero O. 1997. Estudio estratigráfico y paleoambiental de las formaciones Palmarito y Sabaneta (Paleozoico Tardío estado Mérida), *Tesis para optar el título de Master en Ciencias Geológicas, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Caracas, Venezuela*
- Grases J., 1980, Investigaciones sobre sismos destructores que han afectado el centro y occidente de Venezuela. Reporte no publicado, *Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo (INTEVEP), Caracas.*
- Isacks B., Molnar P., 1971, Distribution of stresses in the decending lithosphere from a global survey of Focal Mechanism solution of mantle earthquake. *Rev. Geophys. Space phys.*, *103-174*
- Kunding, 1938., The Precretaceous rocks of the Central Venezuelan Andes with some remarks about the tectonics, *Boletín de Geología y Mineria 2 (1938)*, pp. 21–43.
- Laffaille J., 1981, Mecanismos focales de algunos eventos sísmicos en el occidente de Venezuela. *Tesis de grado, Universidad de los Andes (ULA), Mérida*.
- Laffaille J., 1996. Escenario sísmico de Mérida. Tesis de maestría instituto de Estadística aplicada y computación ULA, Mérida
- Laffaille J., Estevez R., 1986, Modelo sismotectónico para la serranía de El Escorial. *Acta Científica Venezolana, 37, 121-125.*
- Larotta (1976) Riesgos sismico de la región de Mérida. Microsonificación sísmica de la meseta de Mérida, *Tomo II, Ministerio de obras publica, secretaría técnica. Caracas*

McCalpin, J.P. (Ed.), 1996. Paleoseismology. Academic Press, London 583 pp..

- Michetti A., Audemard F.& Marco S. 2005. Future trends in paleoseismology: Integrated study of the seismic landscape as a vital tool in seismic hazard analyses. *Tectonophysisc* 408, 3-21
- Molnar P., Sykes L. R., 1969, Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. *Geol. Soc. of America Bull.*, 60, 1639-1684.
- Murphy, D. & Graubard, C. 1977. Structural relations of the northeastern termination of the Tabay-Estanquez Graben, Central Venezuelan Andes. En *Memorias del V Congreso Geológico Venezolano* (Editado por Espejo A.) Ministerio de Energía y Minas, Caracas 2, 715-720.
- Página Oficial de la Gobernación del Estado Mérida (2007). [Página Web en línea].Disponible: <u>http://www.merida.gob.ve/</u> [Consulta:2006 Junio 22]
- Palme C. & Altez R. 2002. Los terremotos de 1673 y 1674 en los Andes venezolanos. *Interciencia 27, 5.*
- Pennington W. D., 1981, Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. J. Geophys. Res., 86, 10,753-10,770.
- Rahe B., Ferril D. & Morris P. 1998. Physical analog modeling of pull-apart basin evolution. *Tectonophysics 285, 21-40*.
- Rengifo M., Estevez R., 1987, Sismicidad en los alrededores de Mérida. Acta Científica Venezolana, 38, 148-156.
- Rengifo, M.; Laffaille, J. 2000 *Reevaluación* del Sismo del 28 de Abril de 1.894. *Acta Científica Venezolana, # 51: pp 160-175.*
- Rod, E., 1956. Strike-slip fault of Northern Venezuela. American Association of Petroleum Geologogists 40, 457-476.
- Schneider J. F., Pennington W. D., Meyer R. P., 1987, Microseismicity and focal mechanisms of the intermediatedepth Bucaramanga Nest, Colombia. J. *Geophys. Res.*, 92, 13,913-13,926.
- Schubert, C., 1980a. Morfología neotectónica de una falla rumbo-deslizante e informe preliminar sobre la falla de Boconó, Andes merideños. Acta científica venezolana 3, 98-111.
- Schubert, C., 1980b. Late Cenozoic pull-apart basins, Boconó Fault Zone, Venezuela Andes. *Journal of Structural Geology 2, 463-468*.

- Schubert, C., 1981. Neotectónics of Boconó Fault, Western Venezuela. *Tectonophisics* 85, 205-220.
- Schubert, C., 1982. Cuencas de tracción en los Andes merideños y en las montañas del Caribe, Venezuela. *Acata científica venezolana 33, 389-395*.
- Schubert, C., Singer A. & Soulas J. 1983 Guía de excursión de La falla de Boconó entre Santo Domingo y San Cristóbal, *Simposio de Neotectónica, Sismicidad, y Riesgo Geológico en Venezuela y el Caribe. Caracas, octubre 1983.*
- Schubert, C.,1984. Basin formation along the Boconó-Morón-El Pilar fault system, Venezuela. *Journal of Geophysical Research* 89, 5711-5718.
- Schubert, C. y Vivas L. 1993. El Cuaternario de la Cordillera de Mérida. Andes venezolanos. Publicación Universidad de Los Andes, talleres Gráficos Universidad de Los Andes, II edición 344 p.p.
- Shagam, R., 1972. Evolución tectónica de Los Andes venezolanos. *Boletín Geológico, Caracas Publicación Especial 2, 5, 1201-126.*
- Shagam R., 1975. *The* northern termination of the Andes. *In Nairn, A. & Stelhi, F. G.* (*Eds.*), *The Ocean basins and margins 3. The gulf of Mexico and the Caribbean. Plenum Press, New York, 235-420.*
- Sismología Histórica de Venezuela (2007). [Página Web en línea].Disponible: http://sismicidad.hacer.ula.ve/cgi-win/be_alex.exe?Nombrebd=psh&TiposDoc=V [Consulta:2007 Abril 29]
- Soulas, J. 1985^a Neotectonica y del flanco occidental de de los andes de Venezuela, entre 70°30′ y 71°00′W (fallas de Boconó, Valera, Tuñame, Piñango y del Piedemonte). Memorias del VI congreso Geológico Venezolano. Ministerio de Geología y Minas, 2687-2711.

Soulas, J. 1985b. Neotectonica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. *Memorias del VI congreso Geológico Venezolano. Ministerio de Geología y Minas*, 6640-6656.

- Soulas, J., Rojas C. y Schubert C 1985. Excursión N°4. Neotectónica de las Fallas de Boconó, Valera, Tuñame y Mene Grande Memorias del VI congreso Geológico Venezolano. Ministerio de Geología y Minas, 6963-6999
- Soulas, J.-P., Singer, A., 1987. Mapa 'Evidencias de actividad cuaternaria en las fallas'.
 In: Soulas, J.-P., Singer, A., Lugo, M. (Eds.), Tectónica cuaternaria, características sismogénicas de las fallas de Boconó, San Simón y del piedemonte occidental andino y efectos geológicos asociados a la sismicidad histórica (Proyecto Sumandes). *Funvisis-Maraven, S.A. Unpubl. Co. Rep., 90 pp.*

- Steep J. C., 1972, Analysis of completness of the earthquake sample in the Pugent Area and its effect on statistical estimates of earthquake hazard. *Proc. Int. Conf. on Microzonat. for Safer Const. Res. and App.*, 2, 897-909.
- Taboada A. Rivera L., Fuenzalida A., Cisternas A., Philip H., Bijwaard H., Olaya J., y Rivera C. 2000 Geodynamics of the northern Andes: Sunductions and Intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19, 5, 787-813.
- Tchalenko, J.S., 1970, Similaries between shear zones of different magnitudes. *Geol.* Soc. Am. Bull., 81, 1625-1640
- Tricart, J. y Michel, M. 1965. Monographie el carte geomorphologique de la region de la Lagunillas (Andes venezueliennes). *Rev. Geomorph. Dynam., XV Ann., N° 1-2-3,* p. 1-33.
- Van der Hilst R. & Mann P. 1994. Tectonic implications of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. Geology 22, 451-454.

[ANEXO 1]

[ANEXO 2]

[ANEXO 3]