

Romero, G; Alvarado, L; Rendón, H (2006). "Metodología de Simulación Numérica de Tsunamis: Aplicación al Mar Caribe". VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Carabobo.

Scheffers, Anja . (2002). "Paleotsunamis in the Caribbean Field Evidences and Datings from Aruba.

Serie Técnica 93, UNESCO.

Sievers, W. (1905). Das Erdbeben in Venezuela vom 29, Oktober 1900.- Festschrift, Geogr. Vereinigung, Bonn, Germany: 35-50.

Suárez, G., Nábělek, J. (1990). The 1967 Caracas Earthquake: Fault Geometry Direction of Rupture, Propagation and Seismotecton Implications. Journal of Geophysical Research, Vol. 95(11): 17.459-17-474.

Vargas, E., Vásquez, R., Leal, A., Colón, S., Rodríguez, J. A. (2017). "Reevaluación del terremoto del 12 de abril de 1878 a partir de intensidades recientes", en Memorias del IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, 526-537. Caracas: IMME/FUNVISIS.

Vásquez, R., Leal, A., Rodríguez, J. A., Audemard, F. (2018). .Reevaluación del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela. Segunda parte: cálculo de los parámetros de la fuente, Geominas, 46(77): 225-237.

Vásquez, R., Leal N, A., Rodríguez, J. A., Colón, S., Audemard, F., Cabas, M. (2020). Magnitude estimation of the 1900 earthquake in Venezuela based on its coseismic effects. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 872 012034 doi:10.1088/1757-899X/872/1/012034.



GEOLOGÍA DE TERREMOTOS





2.1 INTRODUCCIÓN

José A. Rodríguez, André Singer, Franck A. Audemard y Luz M. Rodríguez

El actual Departamento de Geología de Terremotos (DGT), cuyo nombre fue por 45 años consecutivos Departamento de Ciencias de la Tierra, nace de la iniciativa llevada al efecto mediante decreto fundacional de la institución que lo alberga luego del Terremoto Cuatricentenario ocurrido el 29 de julio del año 1967 a las 20:05 horas.

En ese entonces, no había profesionales nacionales preparados para asumir los problemas de la evaluación del riesgo sísmico en Venezuela; la experiencia válida en la determinación de parámetros básicos venía de un Servicio Sismológico que funcionaba en el Observatorio Cagigal, sin hacer estudios de amenaza y riesgo sísmico y siendo su director el checo Günther Fiedler traído a Venezuela por Eduardo Röhl.

La obligada ausencia del primero en misión de estudios en Japón y su necesario retorno al país, ocurrido el sismo, permitió junto a otros profesionales universitarios la conformación de dos comisiones (estructuras y geología) necesarias en aquellos tiempos para “aprender de ese más reciente evento sísmico caraqueño” del cual han transcurrido 55 años, más aún no se iniciaban estudios formales de estudios de amenaza y riesgo sísmico.

Es pues que el diseño y funcionamiento del otrora Departamento de Ciencias de la Tierra surge a finales de la década de los años 70. Previo a ello, sus “funciones” eran desarrolladas por algunos profesionales del entonces Ministerio de Minas e Hidrocarburos sin particular competencia en materia neotectónica y quienes conformaron el embrión de ese Departamento, actual Departamento de Geología de Terremotos en Funvisis, cuyas funciones en firme se inician en 1979.

Larga y prolija ha sido el desempeño del DGT, y quienes lo hemos integrado, liderando importantes proyectos de amenaza sísmica, apoyando a las comunidades organizadas en inspecciones geológicas, formando a un gran número de tesistas y publicando los resultados de sus investigaciones en revistas nacionales e internacionales.

El inicio de esta unidad técnica fue gracias a la participación de profesionales cuyos servicios fueron solicitados por aquellos entes que requerían de información técnica ante las exigencias en salvaguardar instalaciones por las pérdidas materiales, daños en la naturaleza y población afectada, producto de la acción súbita e inesperada acción de los terremotos. Así ha continuado el actual DGT, con una proyección notable de sus servicios en la industria petrolera y eléctrica nacional y con su experticia en diferentes ámbitos del conocimiento, como han sido: La docencia universitaria, la neotectónica, lo asociado o nó a los efectos de la actividad sísmica, la redacción de artículos científicos y asesorías.

Todos estos temas, se suman al conmemorado 50° aniversario de la fundación, cuya actividad queda plasmada en su misión, visión y objetivos estratégicos, tal como se señala, no sin antes destacar la cartografía sinóptica a escala nacional como son: los de fallas activas de J.-P Soulas (1985), Carlos Beltrán (1993-1994) y Franck Audemard (2000) además, del mapa que constituye la expresión cartográfica del Inventario Nacional de Riesgos Geológicos (1983) elaborado por Andre Singer, Carlos Rojas y Miguel Lugo, que han servido como insumo de mayor utilidad en la elaboración del actual Atlas

Misión:

Estudiar los sismos y sus efectos por vía geológica o por fuentes documentales escritas a fin de establecer los niveles de amenaza sísmica a la cual podría estar sujeto el pueblo venezolano y su medio construido.

Visión:

Entender, comprender y mejorar el conocimiento de las geoamenazas de origen sísmico que pudieran desarrollarse en territorio nacional y regiones vecinas.

Objetivos:

- Identificar los accidentes tectónicos capaces de generar sismos.
- Caracterizar el potencial sismogénico de los accidentes tectónicos activos.
- Establecer la historia sísmica de los accidentes tectónicos activos, tanto en tierra como en mar con la ayuda de la sismología instrumental, histórica y prehistórica.
- Inventariar los riesgos geológicos inducidos por la actividad sísmica.
- Establecer relaciones empíricas de los parámetros de la fuente sismogénica a partir de los efectos sismo-geológicos.
- Establecer la determinación de sismos-fuente a partir de los datos geológicos, sismológicos y/o documentales.
- Integración de un banco de datos geológicos, sismológicos y/o archivos documentales por intermedio de una plataforma geo-referenciada.
- Aplicación de herramientas de geomática para la identificación y caracterización de fallas y efectos sismo-geológicos.
- Asesoramiento a comunidades organizadas sobre los aspectos de riesgo geológico-sísmico y/o hidrogeomorfológicos.

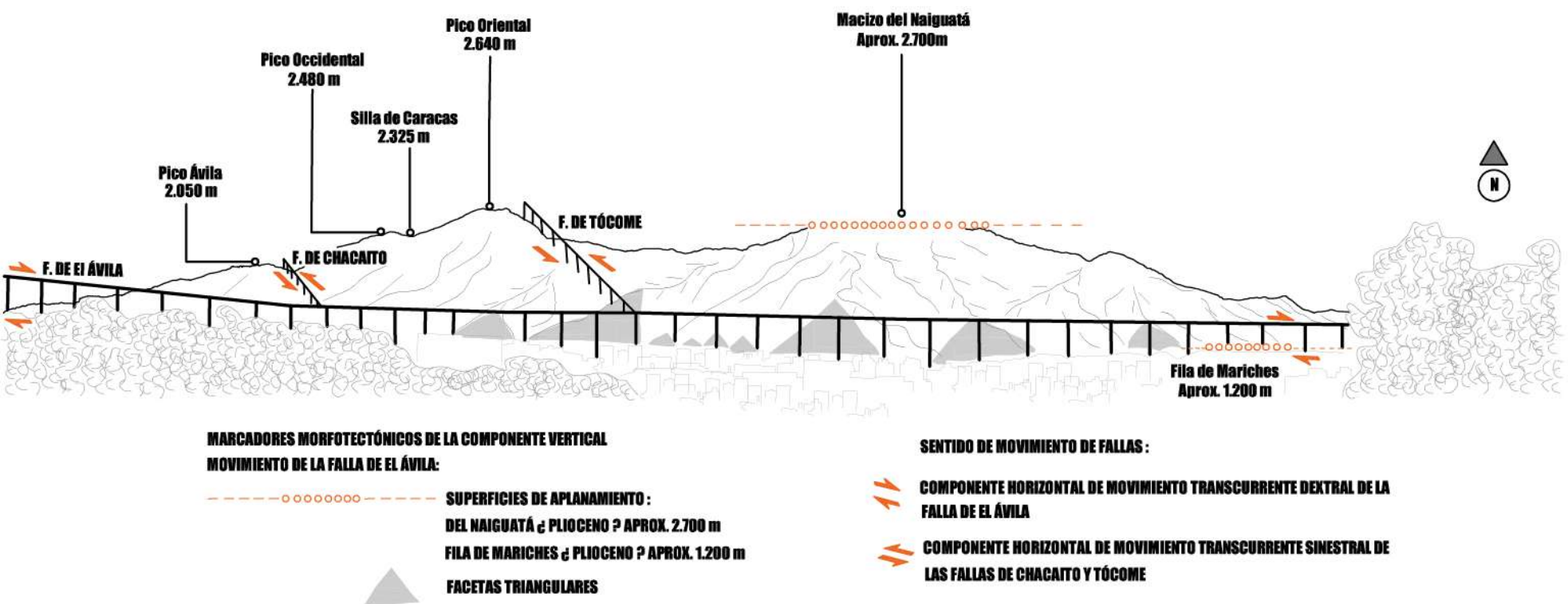


Ilustración de la Serranía del Waraira Repano.
Dibujo: Marina Peña (2018).

Portada: Foto superior: Ubicación del sitio de excavación paleosísmica en el Páramo del Zumbador, estado Táchira. Fuente: Luz Rodríguez (2012). Foto inferior: Excavación paleosísmica El Zumbador, estado Táchira. Fuente: Franck A. Audemard (2012). Foto encabezado: Panorámica de Serranía del Waraira Repano. Fuente: Roberto Betancourt (2018).

2.2 MAPA NEOTECTÓNICO DE VENEZUELA. COMPILADOR CARLOS BELTRÁN, AÑO 1994

Sirel Colón

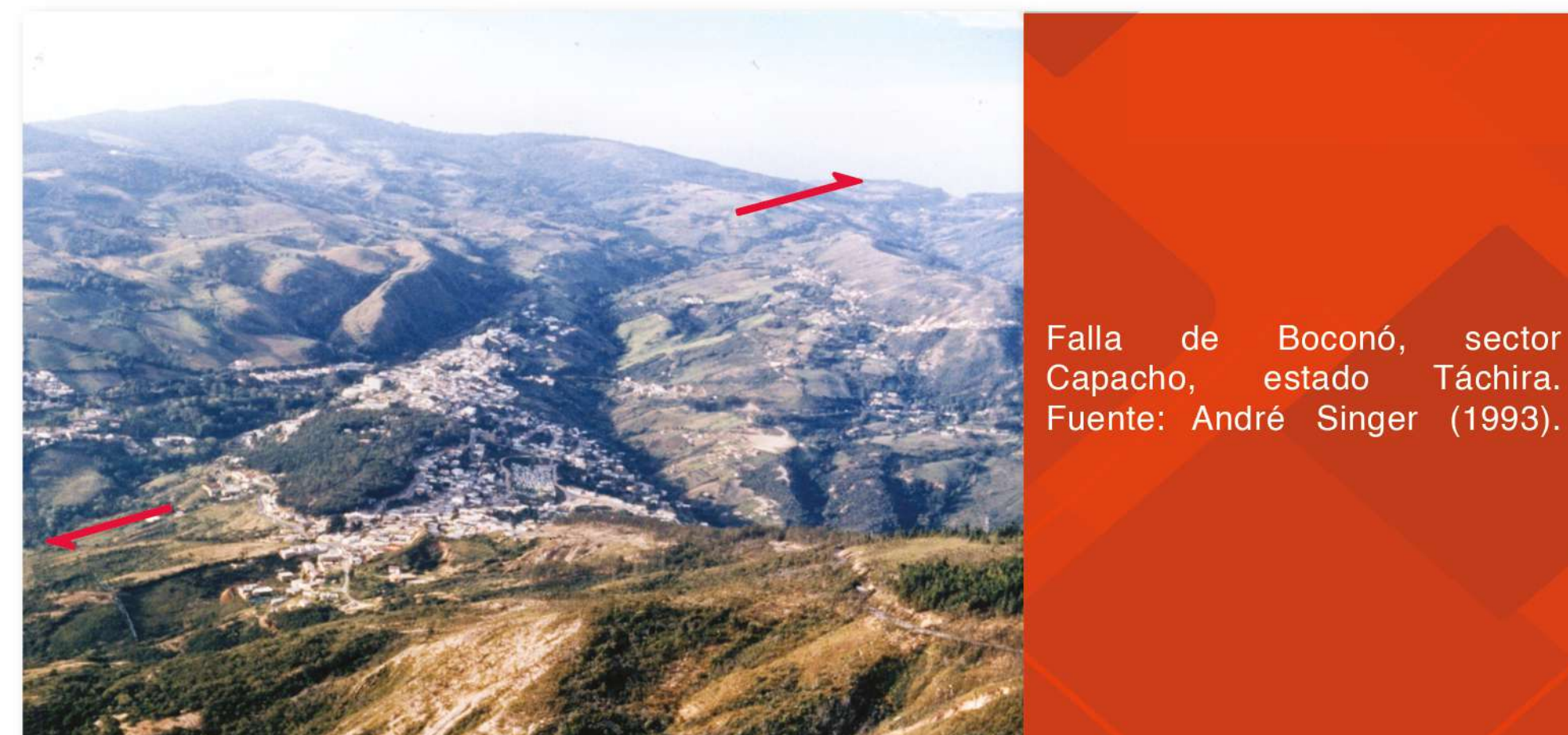
Se presenta como imagen el mapa neotectónico sintetizado por (Beltrán 1994) a escala 1: 2.000.000 a partir de trabajos realizados desde el año 1979 por el grupo del Departamento de Ciencias de la Tierra, ahora Departamento de Geología de Terremotos de Funvisis. El mapa abarca, además, parte de la región nororiental colombiana y la isla de Trinidad. El mapa destaca una franja de deformación principal de unos 40 a 100 km de ancho considerada como parte integrante del límite entre placas Caribe y Suramérica y donde se manifiestan las principales evidencias de actividad cuaternaria. Además, se evidencian dos fajas secundarias que definen parte de los límites del Bloque Maracaibo. En la franja principal, los accidentes mayores se encuentran constituidos por los sistemas interconectados de fallas transcurrentes dextrales Boconó – El Pilar- Los Bajos – El Soldado. En esta franja se observan importantes complicaciones tectónicas: en el extremo occidental, la ramificación de la falla de Boconó contra los sistemas de fallas inversas el Punzón de Pamplona, el cual constituye el enlace con el sistema frontal de la Cordillera Oriental colombiana; y, en el extremo oriental de la franja, la compleja zona de compresión de Trinidad, la cual asegura la transición entre el sistema de fallas transcurrentes y la zona de subducción de las Antillas Menores. Se aprecian además, sistemas de segundo orden en ambos lados de deformación principal de dirección oblicua y que se apoyan en ella sin penetrarla. Los dos grandes accidentes secundarios de Santa Marta-Bucaramanga y Oca-Ancón, junto con la falla de Boconó, definen el Bloque de Maracaibo, donde se observan deformaciones internas particulares (Beltrán, 1994). Siguen realizándose estudios de actualización y mejoramiento de las fallas activas a lo largo del territorio venezolano con fines del cálculo de amenaza sísmica, lo que permitirá a futuro disminuir la vulnerabilidad de la población ubicada a lo largo de las fallas activas venezolanas.

2.3 MAPA DE FALLAS CUATERNARIAS DE VENEZUELA, VERSIÓN 2000

Franck A. Audemard

El mapa de fallas cuaternarias de Venezuela y regiones marinas vecinas es un producto cartográfico, a escala 1:2.000.000, que sintetiza los accidentes tectónicos del territorio nacional con capacidad generadora de terremotos, identificados y estudiados desde la perspectiva de su potencial sismogénico (expresado como el sismo máximo probable por falla y su correspondiente período de retorno), entre 1979 –con el primer estudio de amenaza sísmica encomendado a la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) para la construcción del Complejo Hidroeléctrico Uribante-Caparo (DESURCA)- y 1999, cuando el Dr. Franck A. Audemard M. es comisionado desde FUNVISIS para la integración y compilación del mapa en cuestión, para el proyecto internacional ILP II-2 Major Active Faults of the World; proyecto liderado en el hemisferio occidental por el Dr. Michael Machette del Servicio Geológico norteamericano (USGS). Es el tercero de su tipo, después de una primera versión, generada por el Dr. Jean-Pierre Soulas para el proyecto SISRA en 1985 de escala más regional, de menor detalle y de alcance suramericano; y una segunda versión de escala nacional, a escala 1:2.000.000, compilada por el Ing. Carlos Beltrán en 1993. La versión 2000 del mapa aquí presentada es una versión simplificada de este último, sin perder la esencia de la tectónica activa de Venezuela, a fines de homogeneizar la información venezolana con la de los otros países de la región con menores avances y profusión de información pertinente. Esta tercera versión se diferencia de las 2 anteriores (1985 y 1993) por ser la primera en formato digital, para lo cual se contó con la experticia en aquel entonces del USGS para su construcción en plataforma ArcInfo®, su estilizado en Adobe Illustrator® y su difusión en formato pdf. Igualmente, se diferencia por estar acompañado por un folleto de 78 páginas que ofrece información de cada una de las 16 fallas más significativas, referente a la extensión y estilo estructural de la falla (actitud del accidente, tipo de fallamiento, tasa de movimiento de la falla, entre otros) así como su capacidad generadora de sismos, sismos históricos asociados por comprobación geológica, su subdivisión en secciones y edad del último movimiento. Cabe señalar que esta información se compila a partir de más de 20 grandes proyectos de amenaza sísmica realizados por FUNVISIS en las 2 últimas décadas del siglo XX, para la construcción de grandes obras de infraestructura en el territorio

nacional a solicitud de entes nacionales públicos, tales como: oleoductos, gasoductos, poliductos, refinerías y otras instalaciones petroleras como los diques de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo-COLM (razón por la cual FUNVISIS está ampliamente agradecida a PDVSA y sus filiales por su interés y financiamiento a lo largo de varios lustros), así como presas y embalses de agua para fines de suministro del preciado líquido o generación de flujo eléctrico. Dado que la información base de este producto proviene de los estudios de amenaza sísmica antes mencionados, los resultados, conclusiones y recomendaciones han sido ya incorporados en el diseño y construcción de dichas obras de infraestructura esenciales o vitales para el país, persiguiendo hacerlas más resistentes ante potenciales sismos severos futuros, pero igualmente han alimentado desde entonces las normas de construcción sismo-resistentes nacionales, COVENIN 1756-2001 y actualizaciones sucesivas, las cuales persiguen la reducción del riesgo sísmico a la escala nacional del medio construido formal y la preservación de la vida humana del ciudadano venezolano. El impacto social de este producto sólo podrá determinarse en ocasión de un futuro sismo con capacidad destructora.









Vista aérea de la misión 172 del año 1961, donde se muestra el sistema de lagunas costeras de la región de Cumaná. Se señala la ubicación de las albuferas colmatadas (Caigüire, San Luis y El Peñón) y de las albuferas activas o en vías de colmatación azul oscuro (Laguna de Los Patos y Punta Delgada). En el recuadro en color rojo se ubica la zona de ruptura del sismo del 17 de enero de 1929. Imagen tomada de Viete, H. et al. (2012).

Vista aérea oblicua de la zona aproximada de la ruptura cosísmica del terremoto de 1929 en la parte este de Cumaná. (albufera de Punta Delgada previamente a la construcción de la Urb. Gran Mariscal de Ayacucho). Foto interpretada: André Singer en Viete et al. (2012).



Vista en tierra de las rupturas de superficie cosísmicas generadas por el terremoto del 17 de enero de 1929 al noreste de Sabana de Campeche. Se señalan con las flechas rojas las rupturas de superficie. Entre las rupturas, bloque deprimido anegado. En el fondo de la vista, la extremidad oriental del Cerro Caigüire. Fuente: Paige, (1930).



Ruptura de superficie del sismo de Cariaco del 9/07/1997. Las flechas rojas indican el sentido del desplazamiento de la falla de tipo transcurrente dextral. Fuente: André Singer (1997).

Detalle del desplazamiento de la carpeta asfáltica de la troncal 10 en proximidad a Casanay, (ver foto anterior) por la ruptura superficial del sismo de Cariaco del 9/07/1997. Las flechas rojas indican el sentido del desplazamiento de tipo transcurrente dextral. Fuente: Franck A. Audemard (1997).



2.4 MAPA SINÓPTICO DE LAS UNIDADES GEOCRONOLÓGICAS DEL CUATERNARIO VENEZOLANO

André Singer, Carlos Rojas y Luz M. Rodríguez

Con el propósito de suministrar una base geocronológica como marco referencial en la elaboración de documentos donde es indispensable una orientación preliminar concerniente a la edad máxima de las deformaciones neotectónicas asociadas con la traza de fallas cuaternarias potencialmente activas, por ejemplo para fines de regionalización sismotectónica del país o en proyectos de evaluación de la amenaza y riesgo sísmico, se preparó un mapa en escala gran visión de las unidades geológicas cuaternarias que afloran al oeste y al norte del río Orinoco. El referido documento resulta por lo esencial de un esfuerzo de integración cartográfica de la información básica proveniente del Inventario geopedológico producido en escala nacional por el Proyecto interministerial COPLANARH y por los levantamientos geopedológicos regionales acometidos por la División de Edafología de los ex- Ministerios de Obras Públicas(MOP) y del Ambiente(MARNR) desde la década de los años 1960 y concernientes a la discriminación cartográfica e identificación de las generaciones sucesivas de depósitos aluviales cuaternarios en el país. En aquellas fuentes de información, la definición de las unidades geocronológicas está basada en la utilización de criterios de datación relativa de índole morfo-estratigráfico para la separación de las formaciones superficiales, que integran las diversas secuencias regionales de unidades depositacionales de origen climato-sedimentario, y por medio de la correlación tentativa de las mismas con base a criterios de índole pedo-estratigráfico, correspondientes al establecimiento de secuencias regionales de paleosuelos edáficos.

Para la síntesis de la referida información básica, se adoptó una división cronológica tripartita del Pleistoceno en Pleistoceno superior, medio e inferior, que permite reagrupar las diversas unidades formacionales discriminadas dentro de aquella época geológica, de acuerdo con los criterios anteriormente señalados. También se consideró el caso de las unidades formacionales policrónicas, como resultado de la acumulación progresiva de varias generaciones de depósitos en sectores de subsidencia, de sedimentación coluvial piemontina o por razones particulares de anomalías climato-sedimentarias. Adicionalmente, se realizaron ajustes crono-estratigráficos con base a datos modernos en lo concerniente a formaciones consideradas como pertenecientes al Mio-Plioceno y atribuidas actualmente al Pleistoceno.

Escarpe de flexura del frente inverso surandino hundándose bajo la llanura actual de los llanos occidentales entre Barinas y Guanare.
Fuente: Franck A. Audemard (1997).



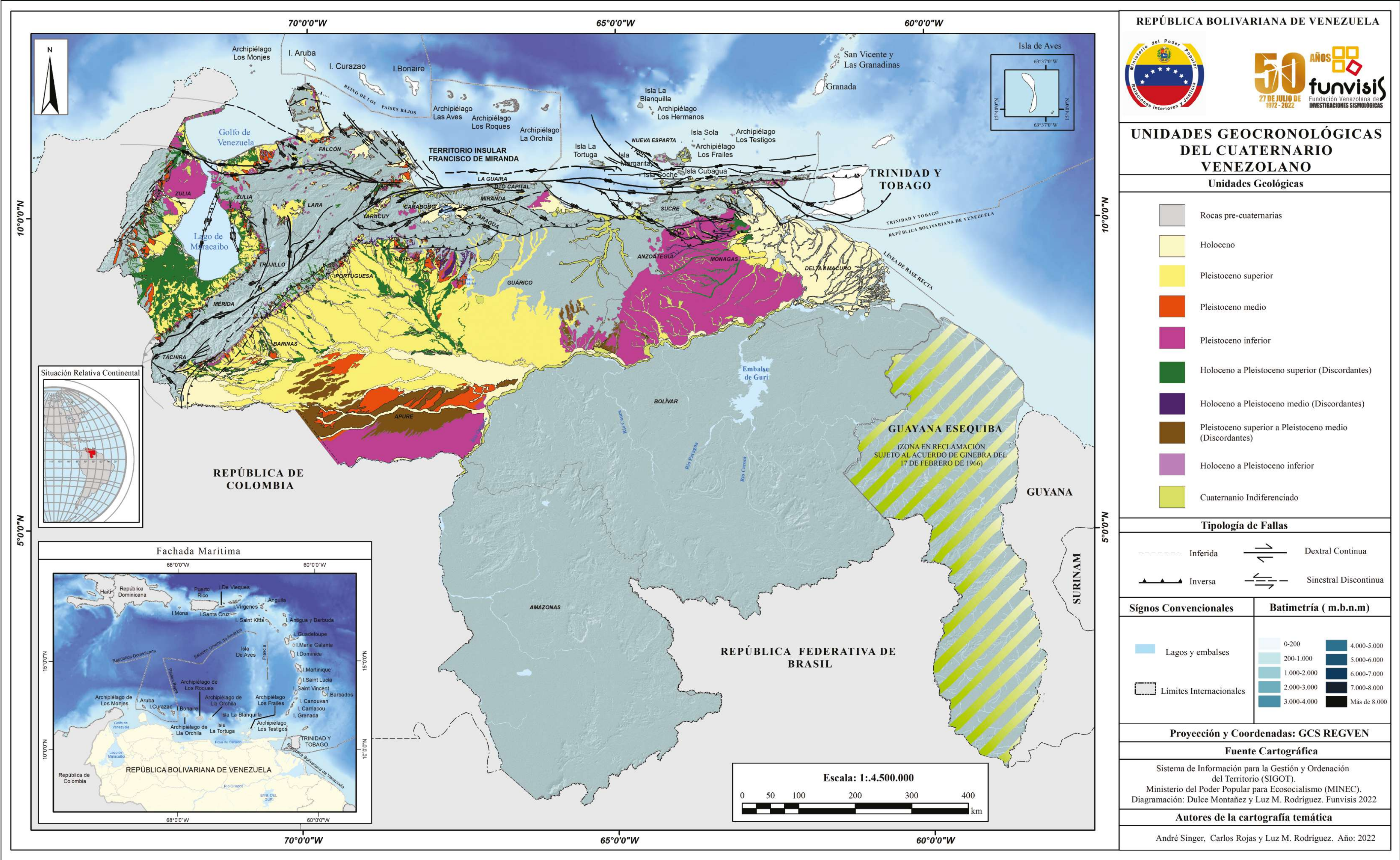
El mapa obtenido de unidades geocronológicas cuaternarias destaca la extensión predominante de las formaciones de mayor edad y lapso depositacional pertenecientes al Pleistoceno inferior, así como a las del Pleistoceno superior y del Holoceno, por ocupar aquellas las zonas tectónicamente deprimidas de los llanos occidentales, de la planicie del Lago de Maracaibo, del delta del Orinoco, y de depresiones intramontañosas (cuencas del Lago de Valencia, Quibor, Monay, etc.). El mayor desarrollo de los afloramientos de las unidades del Pleistoceno inferior coincide además con la presencia de: a) altos estructurales regionales, como es el caso de la formación geológica conocida como El Milagro en la dorsal de Maracaibo, o como la formación Mesa en la altiplanicie oriental de los Estados Anzoátegui y Monagas, o en la altiplanicie del interfluvio de los ríos Cinaruco y Meta hacia el vecino país colombiano; b) piedemontes estructurales cordilleranos controlados por deformaciones tectónicas vigentes en toda la extensión del Cuaternario en la vertical de escarpes de flexura originados por fallamiento inverso ciego o eventualmente por gradas de fallas normales, responsables de la extensión lateral creciente y piedemonte afuera, de las sucesivas unidades depositacionales pleistocenas cruzadas en tijera, como sucede en particular en ambos flancos de los Andes, en Perijá, o en Barlovento.



Formación Mesa (Pleistoceno inferior Q4 o Q5 en la Mesa de la Leona), deformado por falla.
Fuente: André Singer (1993).

Eolianitas del Pleistoceno Q2, deformadas por falla en la cercanía del Cabo San Román.
Fuente: André Singer (1992).





2.5 REGISTROS HISTÓRICOS DE LICUACIÓN DE SUELOS EN VENEZUELA

Luz M. Rodríguez, Franck A. Audemard y José A. Rodríguez

La ocurrencia de un terremoto suele estar acompañada de una variedad de efectos geológicos como son: la aparición de grietas, surgencia de manantiales, deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, así como también la manifestación del fenómeno de licuación de suelos con relajación lateral. Este último efecto geológico es el causante de importantes daños, cuando las ciudades se encuentran asentadas en ambientes sedimentarios propicios a licuar, como son los valles, las planicies de inundación, la desembocadura de ríos ó a lo largo de las zonas costeras, como suele ocurrir en el norte del país.

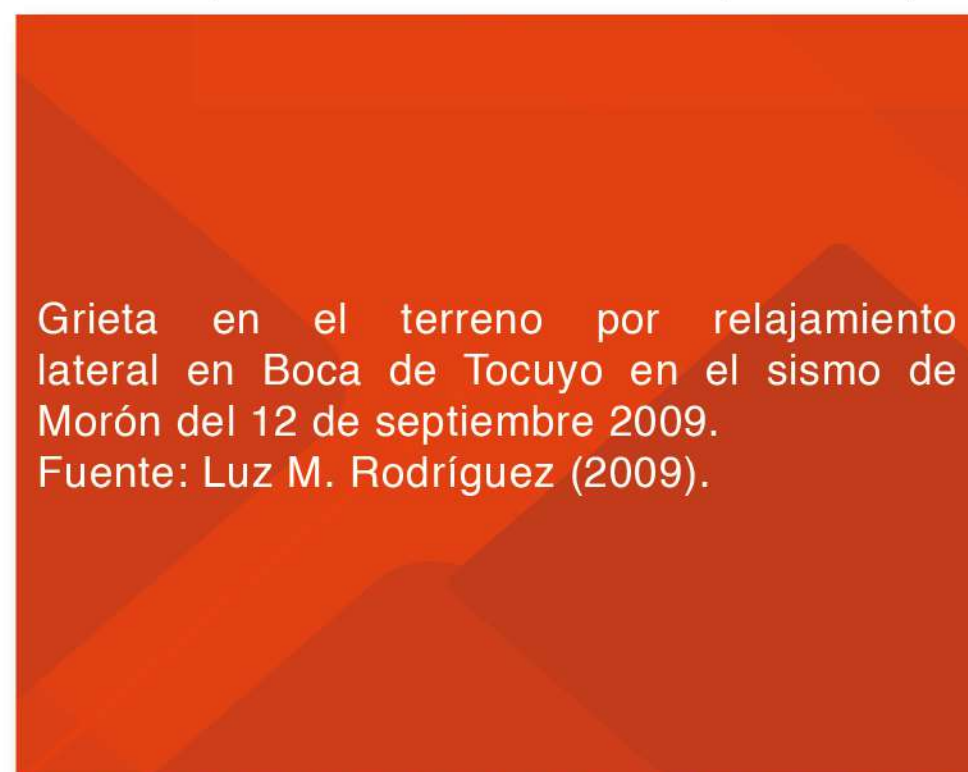
En Venezuela, se tienen registros históricos de daños por este fenómeno tanto en el occidente, como en el centro y oriente del país, por encontrarse los principales poblados y ciudades asentados en los tipos de ambientes mencionados previamente, que es a su vez, la zona de convergencia de las placas del Caribe al norte y Suramérica al sur.

La licuación de suelos, suele ocurrir con sismos de magnitud $\geq M_w 5$ y consiste en la transformación temporal a estado líquido de materiales granulares saturados, como consecuencia del incremento de la presión de poros durante un evento sísmico. Este fenómeno ocurre cuando el terreno reúne ciertas condiciones como son por ejemplo: (1) suelos jóvenes y de baja compacidad; (2) que exista la presencia de capas de arenas saturadas y confinadas entre capas de arcillas adyacentes y (3) en ambientes sedimentarios de formación geológica reciente o jóvenes.



Volcanes de arena gris alineados, así como agua expulsada por licuación de suelos durante los sismos de abril y mayo de 1989 en Boca de Tucuyo estado Falcón. Observe que la casa y los muros perimetrales perdieron la horizontalidad. Fuente: Carlos Beltrán (1989).

La licuación en el terreno es fácil de identificar por su expresión morfológica más frecuente, bajo la forma de “volcancitos de arena”; y en el caso de la relajación lateral, por su expresión en superficie de grietas sub-parallelas en dirección a un borde libre donde la arena licuada algunas veces se observa a lo largo de la grieta. Los terremotos históricos con la distribución geográfica de sus evidencias de licuación, se presentan en tres mapas subdivididos por regiones (Occidente, Centro y Oriente), por razones de escala y densidad de información. Se reportan un total de 8 casos reconocidos en la región occidental, 4 en el centro y 13 en el oriente; datos de gran utilidad para ser considerados en los planes de prevención, gestión del riesgo y ordenación de territorio.



Grieta en el terreno por relajamiento lateral en Boca de Tucuyo en el sismo de Morón del 12 de septiembre 2009. Fuente: Luz M. Rodríguez (2009).



Detalle en pared de calicata, evidenciando la zona licuada de la grieta abierta por relajamiento lateral (ver foto anterior) en el sismo de Morón del 12 de septiembre 2009. Fuente: Luz M. Rodríguez (2009).

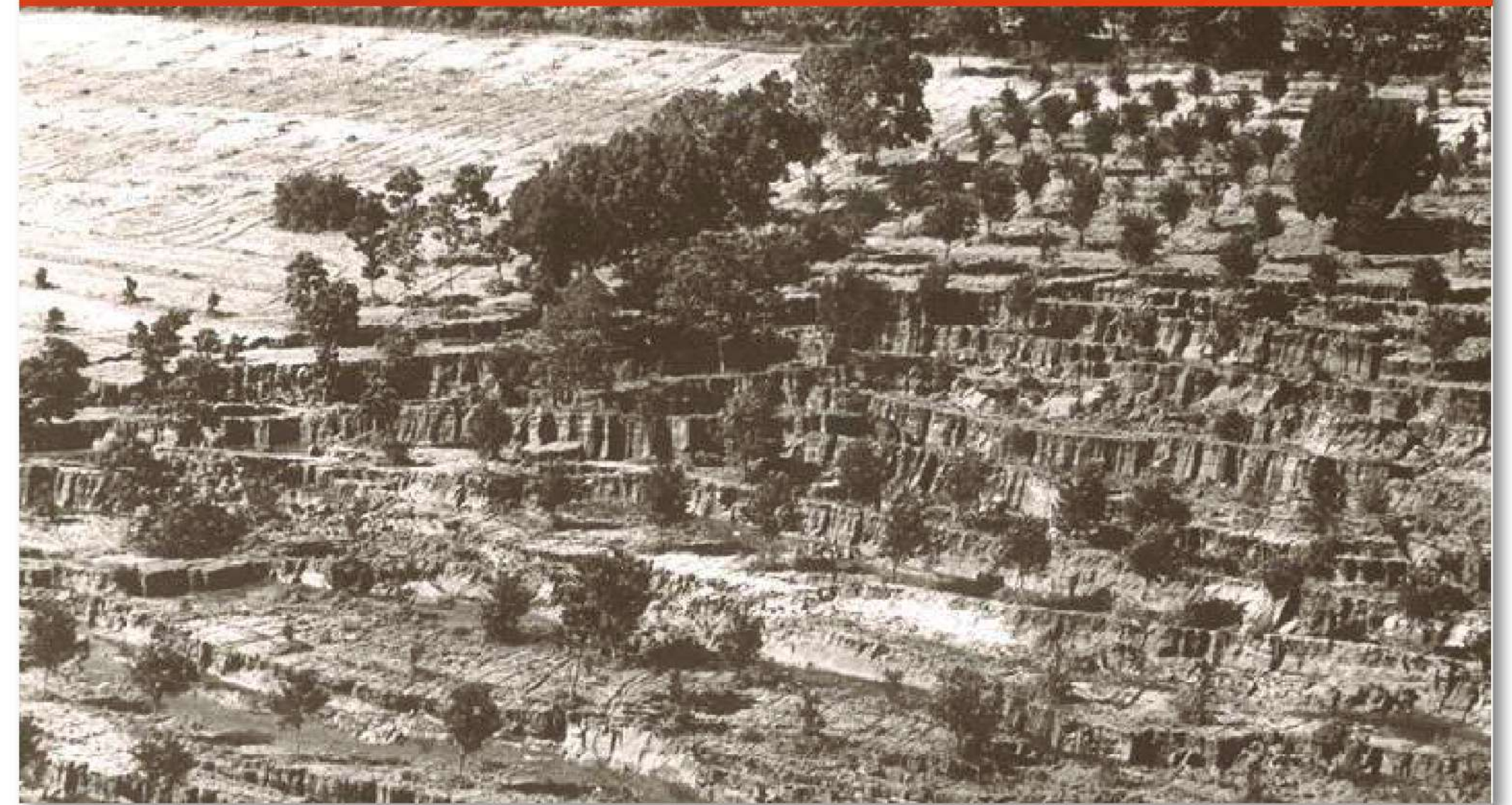


Volcanes de arena en Boca de Tocuyo, producidos por la excitación sísmica a consecuencia del terremoto del 12 de septiembre de 2009.
Fuente: Luz M. Rodríguez (2009).

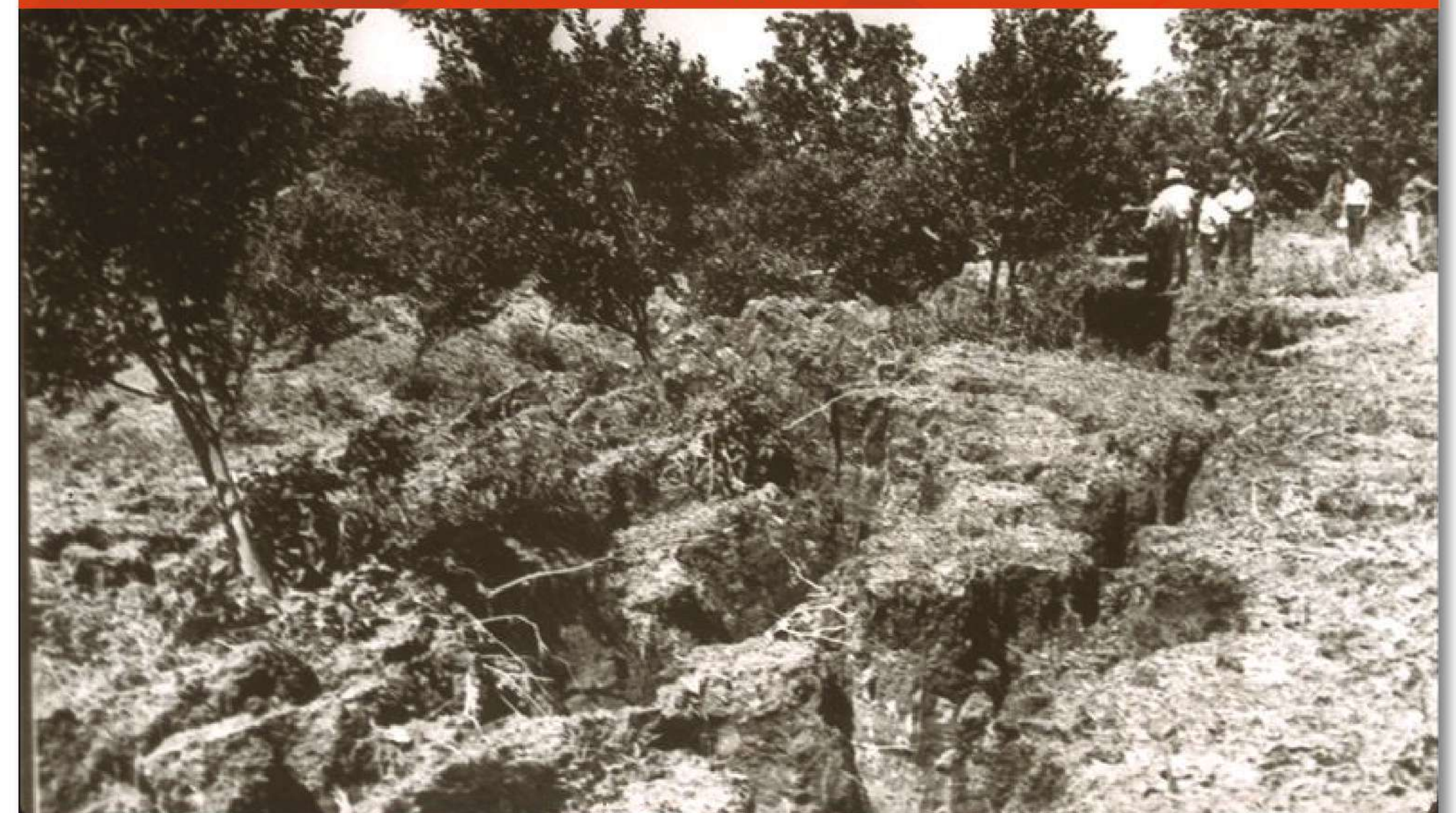


Relajamiento lateral y evidencias de licuación de suelos en Boca de Tocuyo del sismo del 12 de septiembre de 2009. Fuente: Luz M. Rodríguez.

Vista oblicua del relajamiento lateral de Guigue, en la costa sur del Lago de Valencia, a consecuencia del sismo de Caracas del 29 de julio de 1967. Fuente: González Silva (1969).



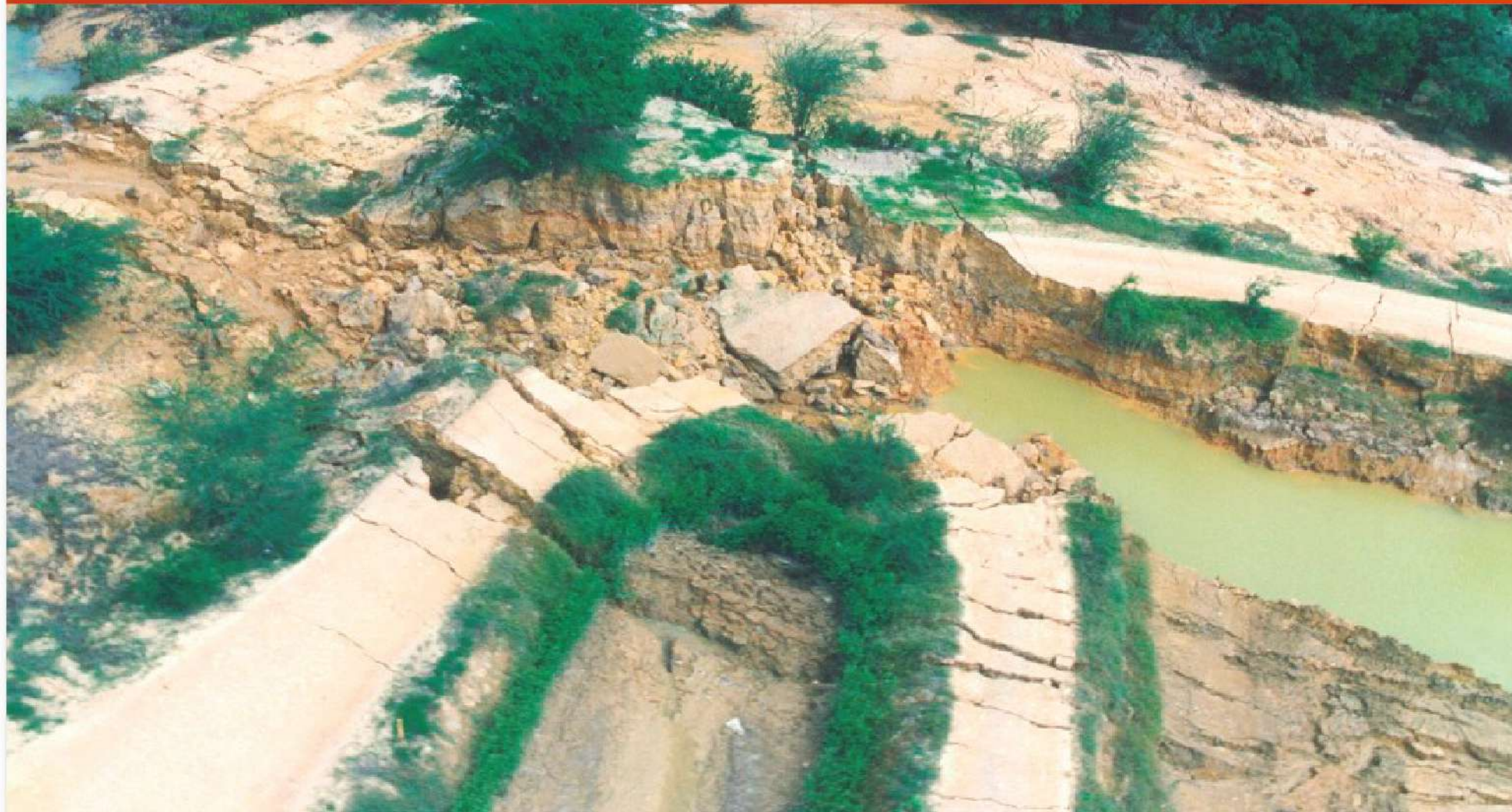
Detalle de la corona parte alta del relajamiento lateral de la costa sur del lago de Valencia, a consecuencia del terremoto de Caracas de 1967. Fotografía tomada de Hanson y Degenkolb en: Tomos Comisión Presidencial para el estudio del sismo.



Relajamiento lateral del muro de contención de las piscinas de la Camaronera Aguacan, estado Sucre a consecuencia de la excitación sísmica del terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997. Fuente: Franck A. Audemard (1997).



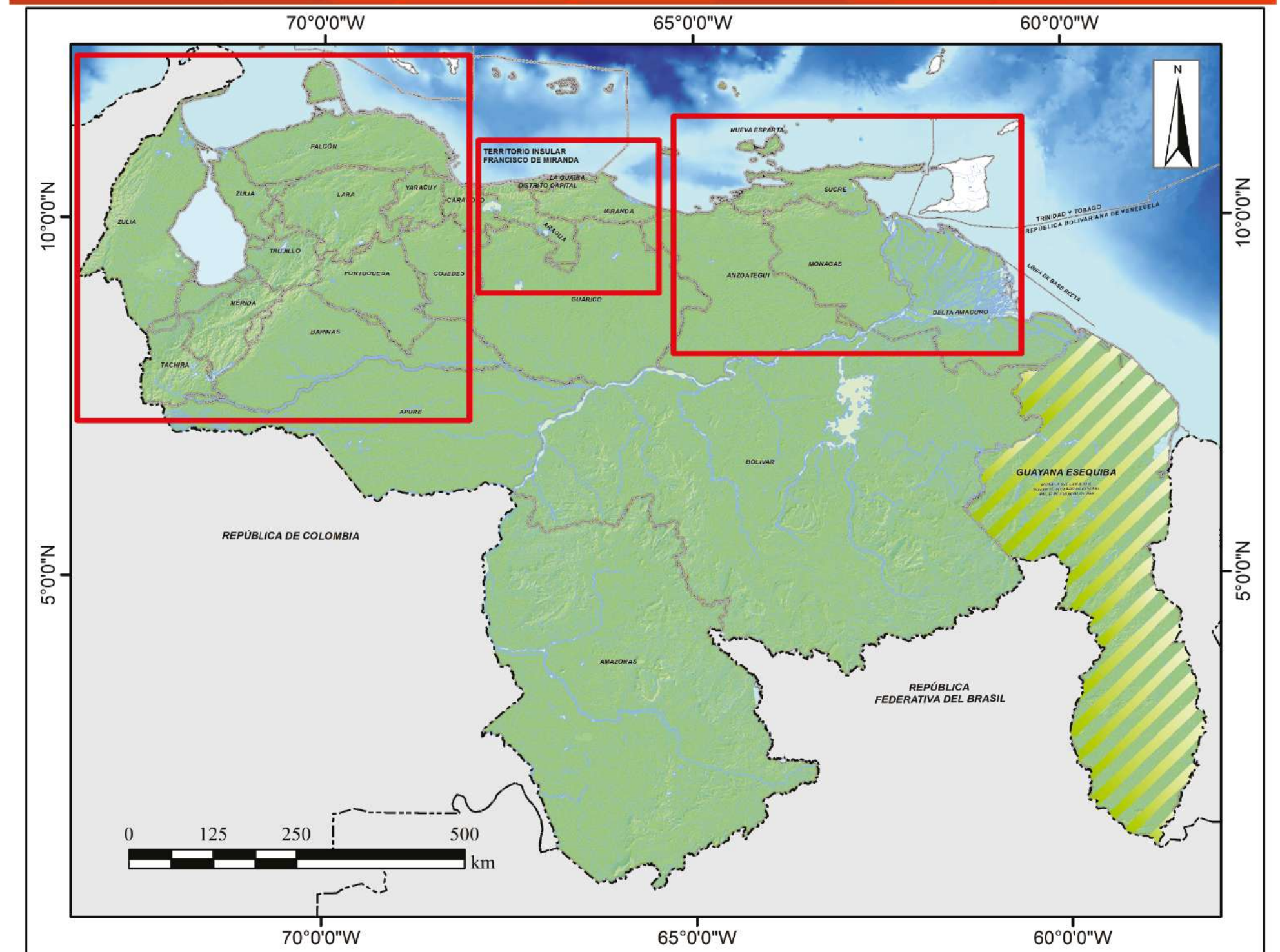
Detalle de las grietas abiertas del relajamiento lateral que afectó la Camaronera Aguacan (Ver foto anterior). Fuente: Franck A. Audemard (1997).

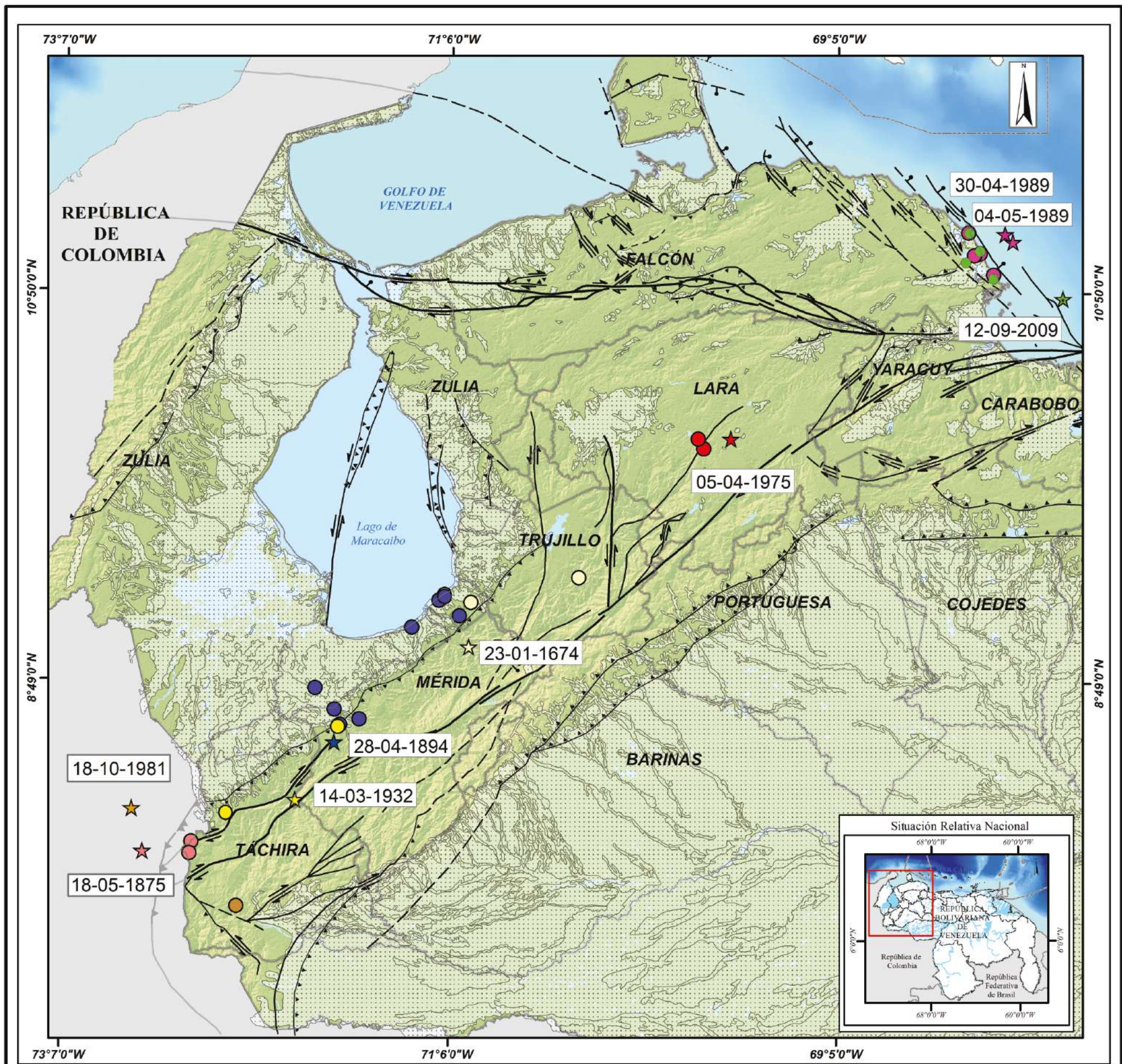


Volcanes de arena alineados, en playa de Cumaná producidos por la excitación sísmica a consecuencia del terremoto de Cariaco ocurrido el 9 de julio de 1997. Fuente: Franck A. Audemard (1997).



UBICACIÓN NACIONAL DE LAS ZONAS AFECTADAS POR LICUACIÓN DE SUELOS





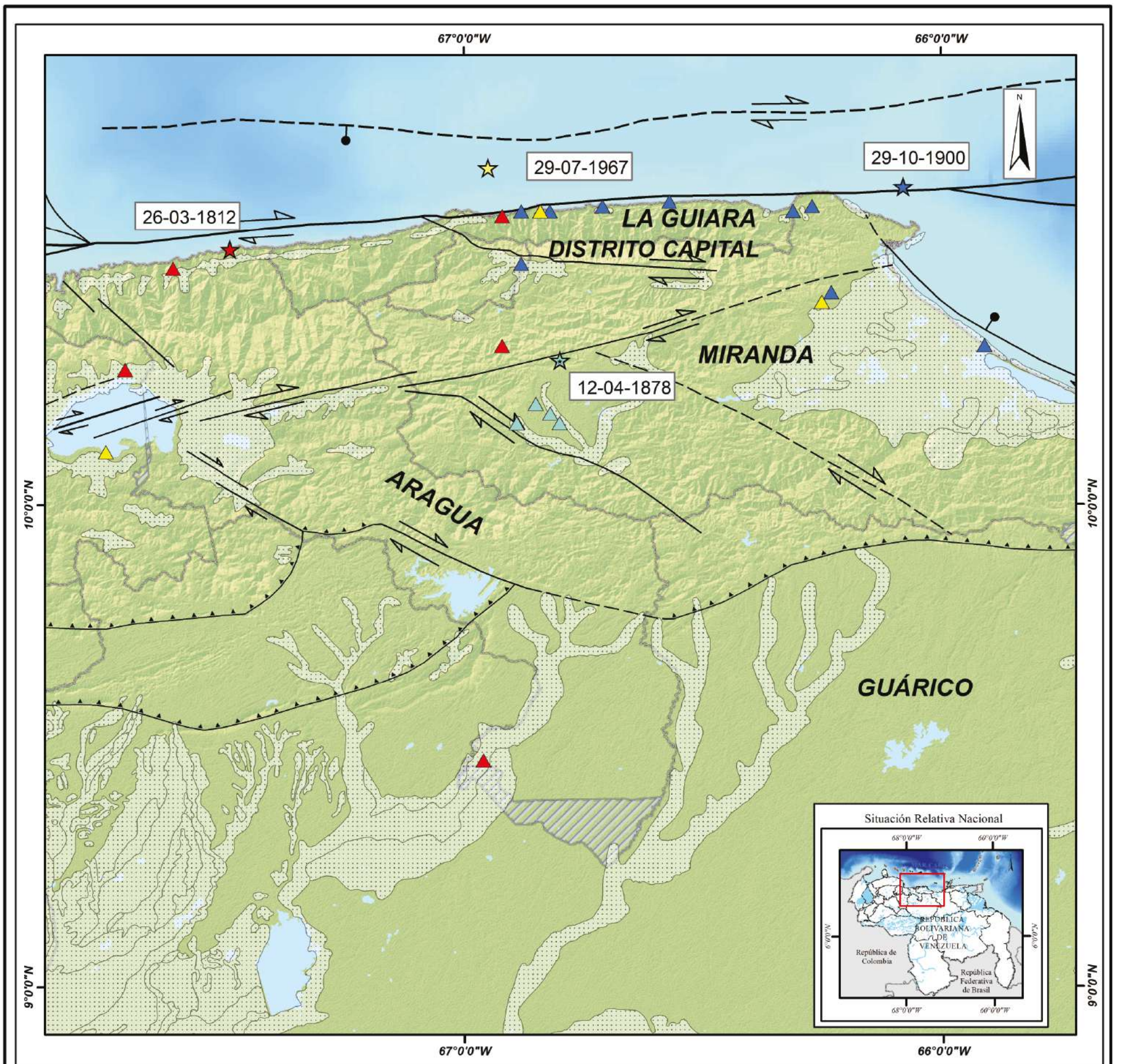


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

CASOS DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL OCCIDENTE DE VENEZUELA



Eventos Occidente	Tipología de Fallas	Signos Convencionales	Proyección y Coordenadas
23-01-1674 18-05-1875 28-04-1894 14-3-1932	- Inferida - Inversa - Dextral Continua - Sinistral Discontinua - Cuaternario	- Capital de Estado - Lagos, ríos y embalses - División estatal - Límites internacionales - Batimetría (m.b.n.m) - Hipsometría (m.s.n.m) - Máx : 4.978 m (Pico Bolívar) - Min: 18 (Lagunillas)	GCS REGVEN Fuente Cartográfica Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT). Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC). Diagramación: Dulce Montañez y Luz M.Rodríguez Funvisis 2022 Autores de la cartografía temática Luz M. Rodríguez, Franck A. Audemard y José A. Rodríguez. Año: 2022



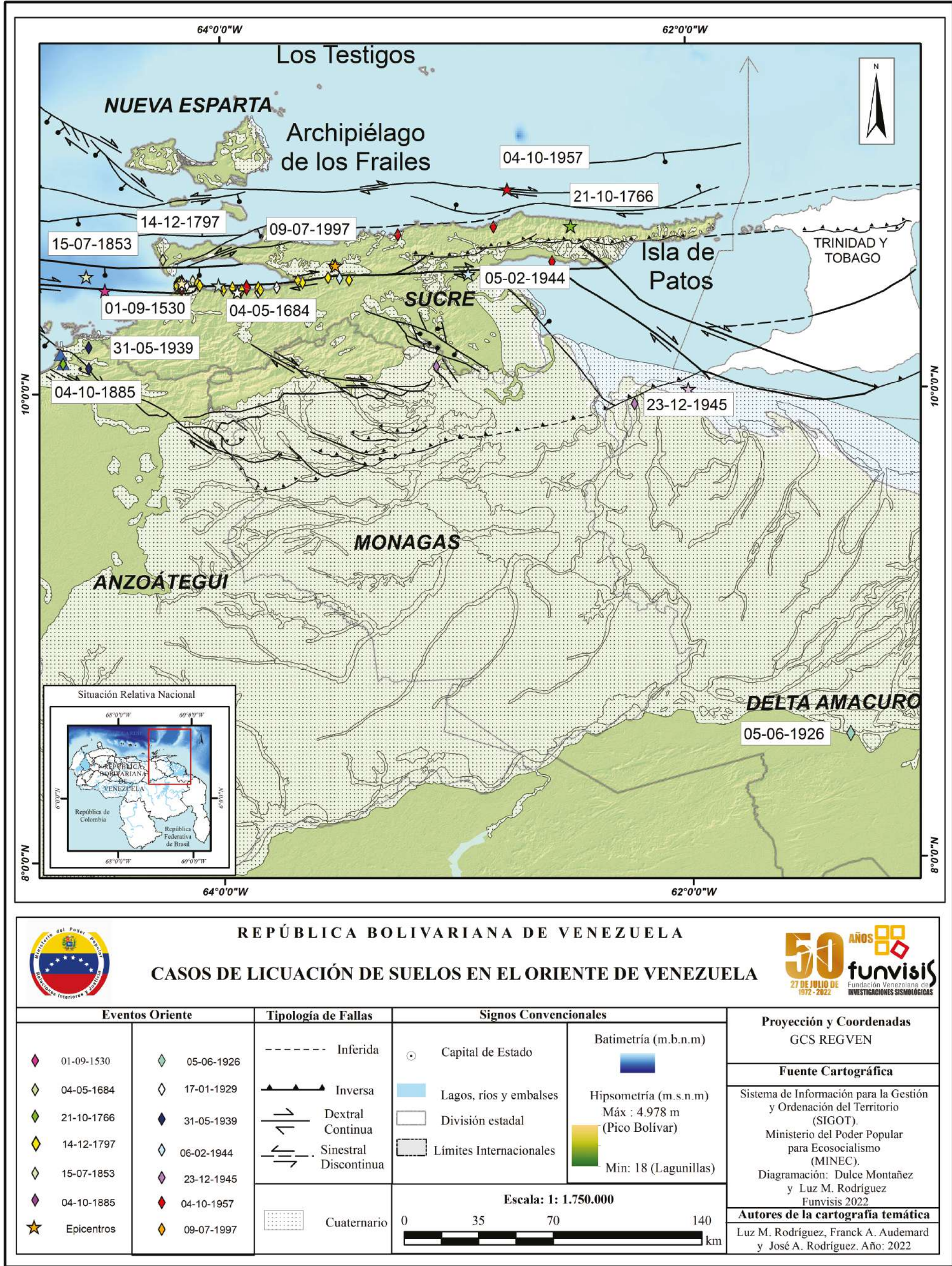


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

CASOS DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL CENTRO DE VENEZUELA



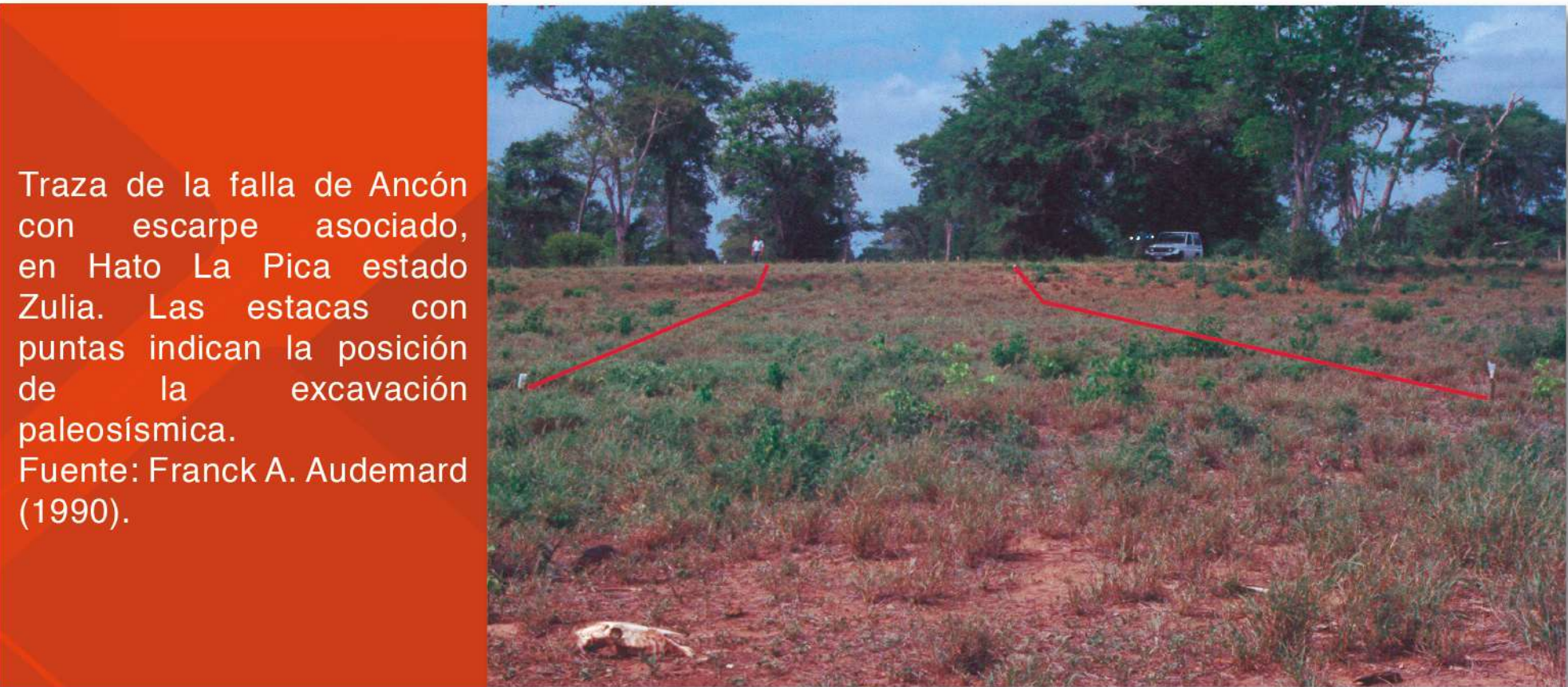
Eventos Centro	Tipología de Fallas	Signos Convencionales	Proyección y Coordenadas
12-04-1878 26-03-1812 29-10-1900 29-7-1967	- Inferida - Inversa - Dextral Continua - Sinistral Discontinua - Cuaternario	- Capital de Estado - Lagos ríos y embalses - División estatal - Límites Internacionales - Zonas de Litigios - Batimetría (m.b.n.m) - Hipsometría (m.s.n.m) - Máx : 4.978 m (Pico Bolívar) - Min: 18 (Lagunillas)	GCS REGVEN Fuente Cartográfica Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT). Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC). Diagramación: Dulce Montañez y Luz M. Rodríguez Funvisis 2022 Autores de la cartografía temática Luz M. Rodríguez, Franck A. Audemard y José A. Rodríguez. Año: 2022



2.6 ESTUDIOS PALEOSÍSMICOS EN VENEZUELA

Franck A. Audemard y Luz M. Rodríguez

Las evaluaciones paleosísmicas por trinchera se han convertido en una práctica regular en los estudios de amenaza sísmica en Venezuela, con más de 50 años de tradición, ya que la primera se ejecuta en el noroccidente, a través de la falla de Oca en el sector de la laguna de Sinamaica (al norte de Maracaibo), por la empresa norteamericana Woodward-Clyde & Associates con 2 trincheras en 1968 (Cluff & Hansen, 1969). Ésta resulta ser pionera en su tipo en toda América Latina; y coetánea con otra similar aplicada a la falla Coyote Creek del sistema de fallas de San Jacinto (California, EEUU), siendo ambas pioneras en su tipo para Las Américas y el mundo, ambas practicadas por americanos sobre fallas rumbo-deslizante dextrales, y cuyos resultados solo han sido presentados en informes técnicos. De igual manera es pionero en su estilo el estudio realizado por el intermedio de calicatas en la costa noreste del estado Falcón, de la manifestación del fenómeno de licuación de sedimentos no consolidados, a raíz de los eventos sísmicos de mayor magnitud (mb 5,4 y 5,0) de la tormenta sísmica de abril-mayo de 1989.



Traza de la falla de Ancón con escarpe asociado, en Hato La Pica estado Zulia. Las estacas con puntas indican la posición de la excavación paleosísmica. Fuente: Franck A. Audemard (1990).

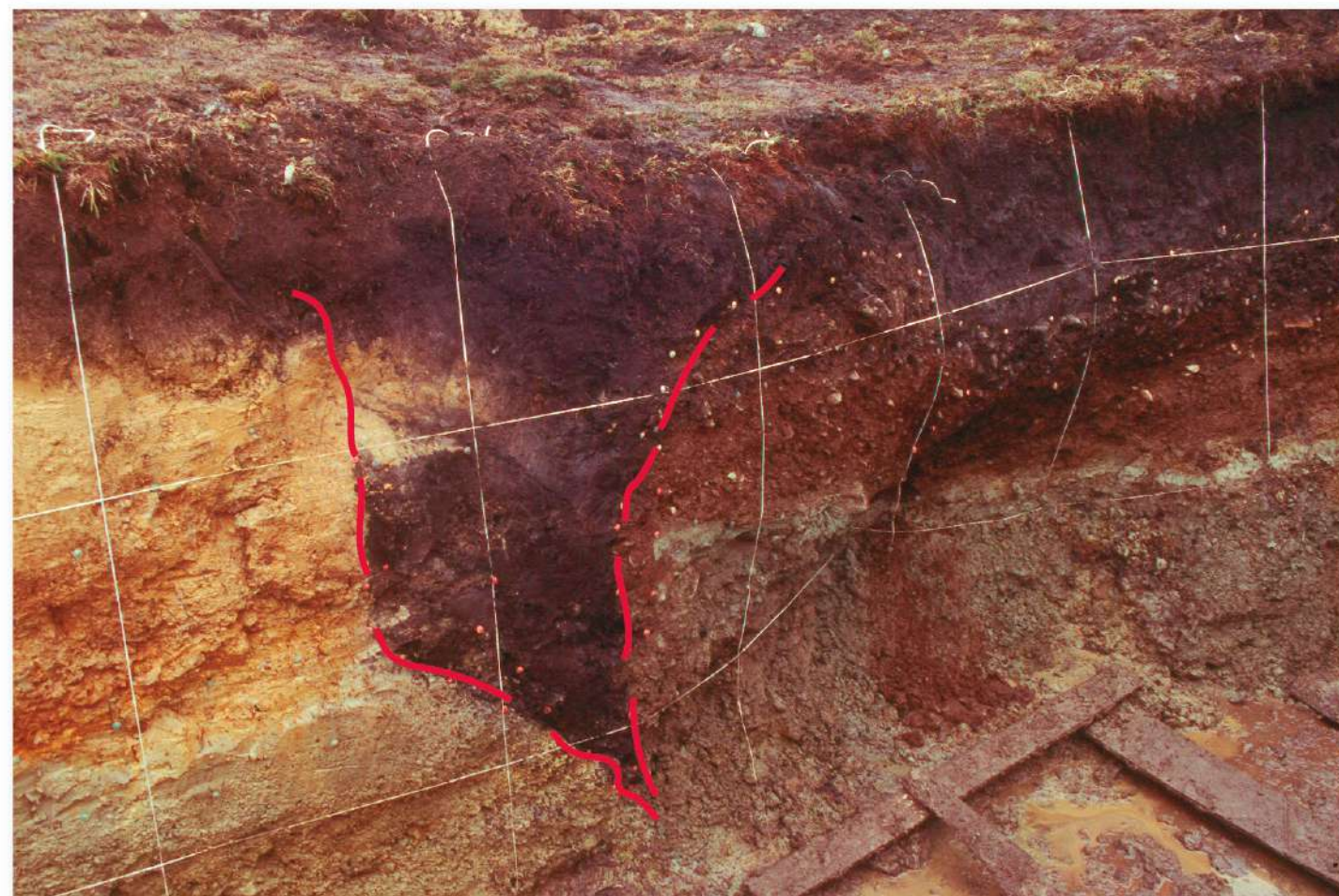


Trinchera paleosísmica en el Hato La Pica, el área blanca corresponde a la zona de falla que contrapone dos secuencias sedimentológicas aluviales. A su vez, tiene en correspondencia un escarpe de aproximadamente un metro de engrosamiento del suelo orgánico actual en el bloque ubicado hacia el observador. Fuente: Franck A. Audemard, (1990).

De manera global, 57 trincheras –40 en el pasado siglo XX y 17 en el XXI- serán excavadas y estudiadas en Venezuela, así como 29 calicatas, de las cuales 19 calicatas fueron excavadas en la costa noreste del estado Falcón exclusivamente para comprender el proceso de licuación precitado. Posteriormente, seis nuevas calicatas serán abiertas tanto con los mismos fines como en la misma región, pero a consecuencia del sismo de 12 de septiembre de 2009. Las cuatro restantes serán necesarias para estudiar la falla de La Colorada, en el páramo andino homónimo. Adicionalmente, 10 afloramientos naturales serán preparados como trincheras para su estudio, ocho en la región de Mucubají-Los Zerpa entre 2001 y 2002 y los 2 restantes en la región central. De la totalidad de las excavaciones paleosísmicas estudiadas hasta el presente, sólo ocho no serán ejecutadas por FUNVISIS: las 2 primeras estudiadas por los americanos en 1968-1969, 2 excavadas por la ULA en el piedemonte norte de los Andes de Mérida, 2 en la Zona industrial de Valencia y 2 más en el Complejo Industrial Petroquímico José Antonio Anzoátegui (Jose, estado Anzoátegui); estas 4 últimas en consultoría privada nacional.



Traza norte de la falla de Boconó en la cuenca en tracción de Apartaderos en la localidad de Morro de los Hoyos. Las flechas señalan la orientación de la falla.
Fuente: Franck A. Audemard (1997).



Excavación paleosísmica Morro de los Hoyos, con evidencia de grieta abierta rellena por materiales turbosos, que evidencia uno de los sismos ocurridos sobre la traza norte de la falla de Boconó en la cuenca en tracción de Apartaderos, estado Mérida.
Fuente: Franck A. Audemard (1997).



Sitio de ubicación de la trinchera en el Páramo del Zumbador, estado Táchira, la misma fue excavada donde se ubica la persona. Las flechas señalan la dirección de la falla de Boconó.
Fuente: Luz M. Rodríguez (2012).



Excavación paleosísmica en el Páramo de El Zumbador, estado Táchira. Con presencia de pliegue en propagación de falla, que evidencia la deformación cuaternaria que deja la falla de Boconó (ver foto anterior). Fuente: Luz M. Rodríguez (2012).

Traza de la falla El Ávila al noreste de la Universidad Metropolitana, Caracas. El recuadro señala la ubicación del sitio de la excavación paleosísmica de Santa Rosa y las flechas señalan la orientación de la falla.
Fuente: Reinaldo Ollarves (2007).





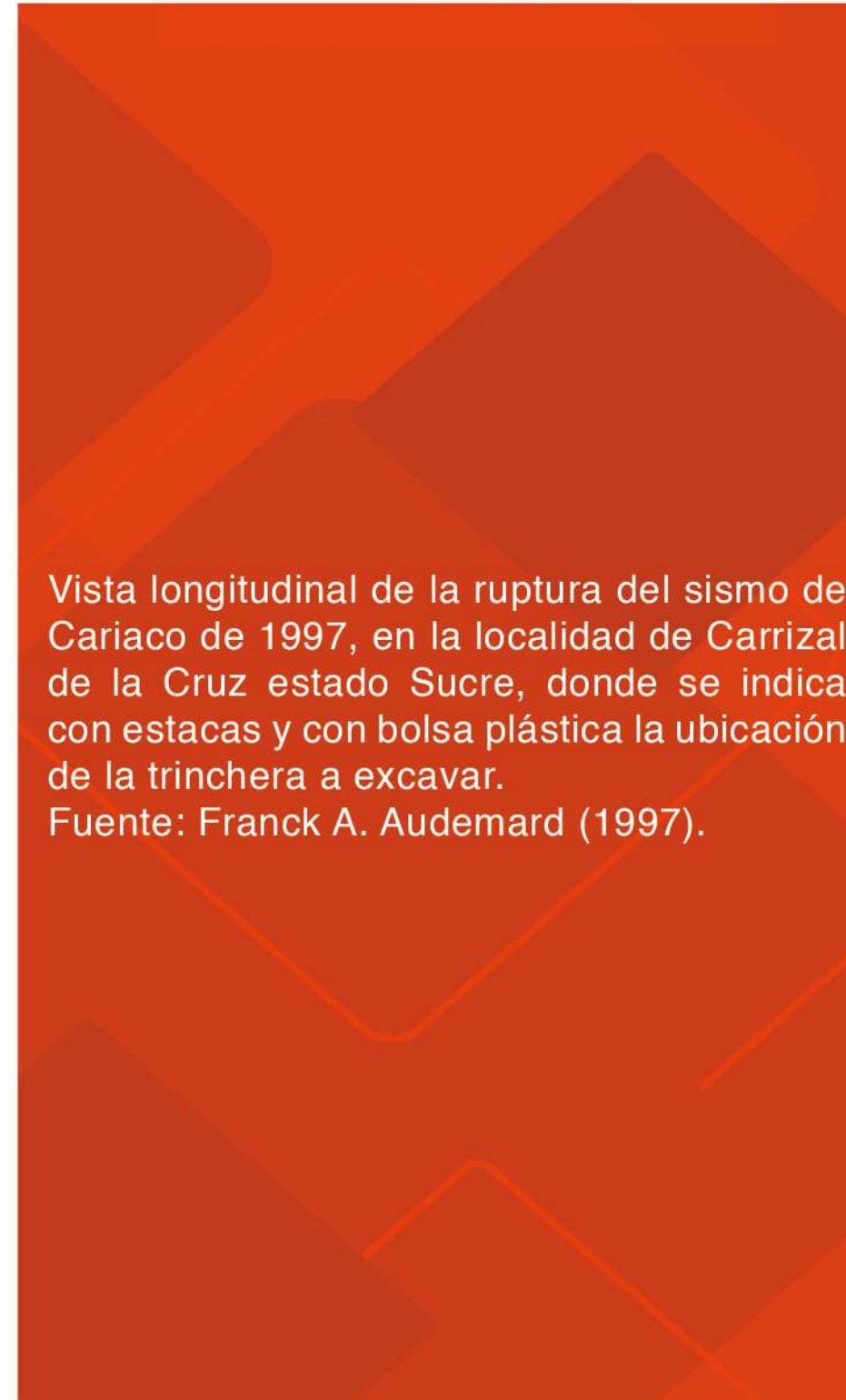
Excavación paleosísmica Santa Rosa, en la traza de la falla El Ávila.
Fuente: Luz M. Rodríguez (2008).

De la lectura del mapa compilado aquí presentado es claro que la región más estudiada por intermedio de trincheras es el occidente, ya que sólo 7 excavaciones han sido ejecutadas en oriente, de las cuales cinco a través de la falla El Pilar y las otras 2 en Jose, mientras que sólo 3 en la región central del país –dos en la región del Lago de Valencia y una en el Área Metropolitana de Caracas a través de la falla El Ávila-. Las fallas más estudiadas son Boconó con 15 trincheras (sólo contaba con 4 en el siglo XX) y le sigue Caparo con 12, siendo éstas ejecutadas en el marco del proyecto DESURCA (Desarrollo Eléctrico Uribante-Caparo) –el primero de todos los proyectos acometidos por FUNVISIS-, que contó con 22 excavaciones, lo cual lo convierte en el proyecto nacional con más excavaciones. Por su parte, la falla El Pilar cuenta con 5 excavaciones estudiadas y el sistema de fallas de Oca-Ancón con 4. En cuanto a calicatas excavadas, la totalidad de ellas (29) residen en occidente. De éstas, salvo cuatro que fueron excavadas a través de la falla La Colorada en el páramo andino homónimo, las 25 restantes han sido ejecutadas para estudiar fenómenos de licuación en suelos no consolidados, en dos fases distintas en 1990 y 2009.

Por último, más recientemente, posterior al sismo de Cariaco de 1997, FUNVISIS ha comenzado una búsqueda sistemática de evidencias geológicas de tsunamis –tsunamitas- vinculados a terremotos locales y regionales, tanto históricos como pre-históricos, por intermedio de calicatas, particularmente en el oriente del país, centrando esfuerzos en lagunas costeras, tales como: Unare (estado Anzoátegui), y Laguna de Los Patos (Cumaná) y Chacopata en el estado Sucre.



Vista lateral de la pared este de la excavación paleosísmica Santa Rosa, ubicada al noreste de la Universidad Metropolitana. Fuente: Luz M. Rodríguez (2008).

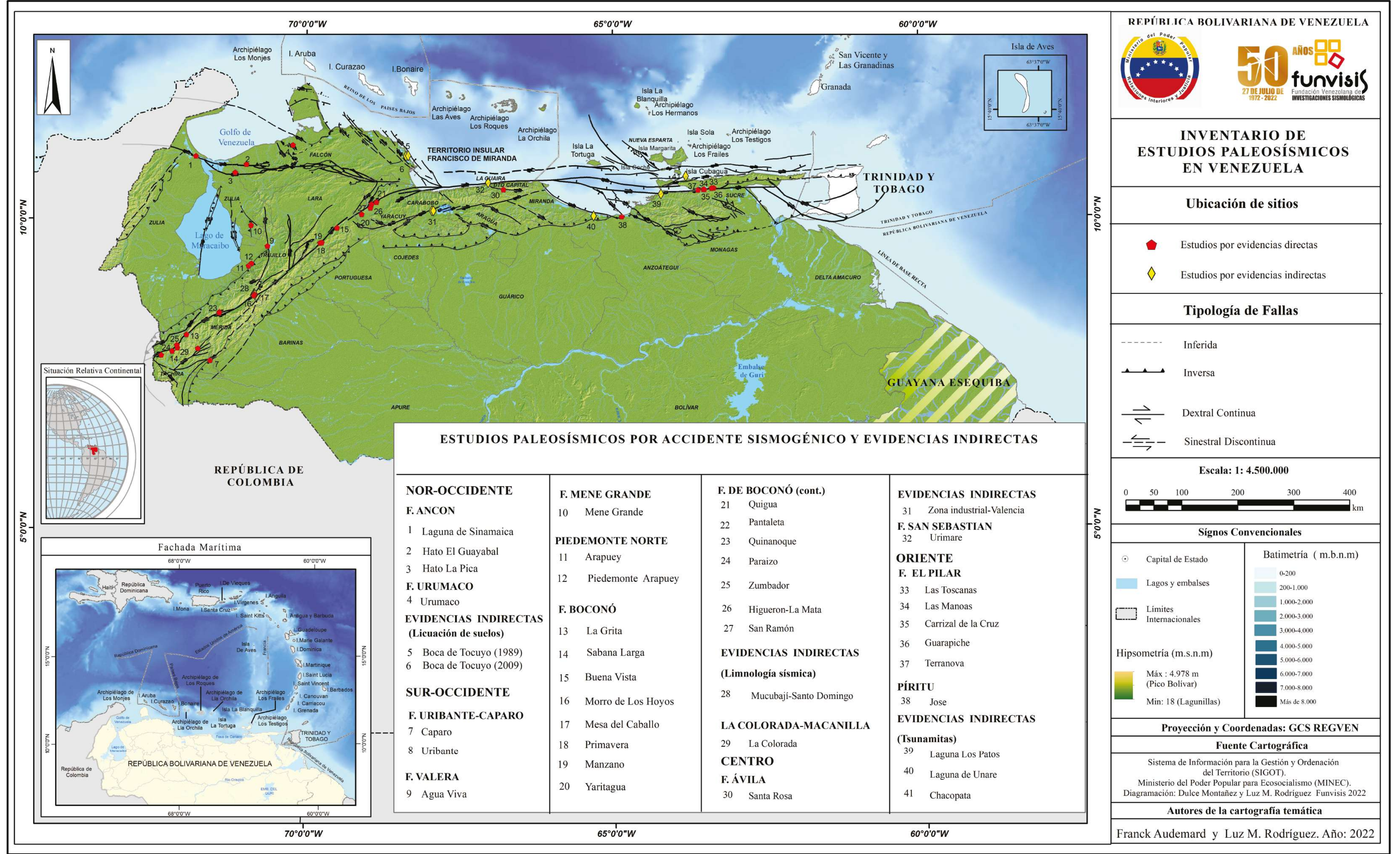


Vista longitudinal de la ruptura del sismo de Cariaco de 1997, en la localidad de Carrizal de la Cruz estado Sucre, donde se indica con estacas y con bolsa plástica la ubicación de la trinchera a excavar.
Fuente: Franck A. Audemard (1997).



Vista longitudinal de la trinchera a través de la ruptura del sismo de Cariaco (ver foto anterior), estando la falla en el salto de la topografía (indicado por flechas) y en el cambio de material grueso a fino. Fuente: Franck A. Audemard (1997).





2.7 INVENTARIO CARTOGRÁFICO NACIONAL DE RIESGOS GEOLÓGICOS

André Singer, Carlos Rojas, Miguel Lugo, Francisco Contreras y María E. Linares

Como parte de un programa de prevención de riesgos geológicos desarrollado por Funvisis desde la década de los años 1980 para la zonificación sísmica regional y urbana del territorio nacional y para fines de protección civil, se elaboró un mapa sinóptico y en escala gran visión, de las diversas manifestaciones de inestabilidad geológica de los terrenos por concepto de deslizamientos gravitacionales de tierra, de relajamiento gravitacional profundo de laderas montañosas ("gravitacional spreading"), de aludes torrenciales, licuación de suelos, suelos expansivos, rupturas de superficie cosísmicas asociadas con la actividad de fallas tectónicamente activas, maremotos y seiches sísmicas, erosión costera, sectores de subsidencia, etc. en su condición de fenómenos potencialmente peligrosos, susceptibles de provocar daños materiales considerables e incluso pérdidas de vidas humanas.

El objeto del referido documento es reseñar el mayor número posible de casos ocurridos en el territorio nacional por los conceptos mencionados, de manera de señalar los sitios donde aquellos fenómenos dañinos son susceptibles de volver a impactar y comprometer la seguridad de los bienes y personas, con la finalidad de permitir la toma de medidas normativas destinadas a prevenirlos o de asegurar una vigilancia geotécnica instrumental para anticipar un incremento peligroso de su actividad, cuando la magnitud de aquellos excede las posibilidades de corregirlos o de mitigar su amenaza por medio de obras de ingeniería, o inclusive para evitarlos por medio de medidas de zonificación "non aedificandi", justificadas por concepto de servidumbre de seguridad geotécnica en las ordenanzas de urbanismo. La orientación preventiva del Inventario Nacional de Riesgos Geológicos se evidencia además por la importancia que adquiere la búsqueda retrospectiva en la base institucional de datos que lo alimenta, de referencias de casos históricos y hasta de manifestaciones de inestabilidad del suelo o subsuelo de edad geológica reciente, lo cual confiere al referido inventario de riesgos una cierta analogía con las series de observaciones continuas utilizadas en ingeniería hidrológica o con las exigencias de completitud que deben cumplir los catálogos de sismicidad histórica requeridos en las evaluaciones ingenieriles de amenaza y riesgo sísmico.



Deslizamiento de tipo trasnacional sobre la troncal 007 en la vialidad que conecta los poblados del Vigía y Mérida. La Flecha indica el progreso que puede tener del deslizamiento hacia la cima de la montaña.
Fuente: Vuelo en helicóptero CIGIR-INPRADEM (2013).

Vista panorámica del sitio de planta de tratamiento de agua potable de San Rafael de Cordero en el estado Táchira. Con huellas frescas del deslizamiento cosísmico ocurrido el 04/02/1989.9 en el terraplén de la planta.

Fuente: André Singer (1989).



Deslizamiento de tipo flujo causado por la saturación de suelos un periodo de lluvias torrenciales, estas causas afectaciones en la vialidades que conecta a varias poblaciones. La A pertenece a la vialidad que conecta las ciudades de Maracay-Choroní, estado Aragua, evento ocurrido en el periodo de lluvias agosto-octubre de 2017. La B pertenece a la vialidad que conecta Chabasquén con el Tocuyo, estado Lara, evento que ocurrió en 2016 con lluvias intensas de septiembre-octubre de 2016.

Fuente: María Linares (2016).



El presente inventario de riesgos geológicos elaborado en toda la extensión documentada del territorio nacional, resulta de la compilación cartográfica de aproximadamente 1000 referencias de casos de inestabilidad geológica sobre un total disponible actual cercano a 5000 entradas de datos, concernientes a riesgos de origen natural vinculados o no con la actividad sísmica, con las vicisitudes anuales, crónicas o excepcionales del clima como ocurre con los sectores devastados a lo largo de la trayectoria del huracán que afectó el Oriente del país en 1933, o relacionados con causas artificiales como vicios ocultos de subsuelo producidos por modificaciones indiscriminadas de topografía realizadas para fines de urbanismo, o por medio de explotaciones mineras, o como resultado de manifestaciones de torrencialidad provocadas por la concentración de la escorrentía en cárcavas de erosión agrícola, o a lo largo de taludes cortados imprudentemente por obras de vialidad en formaciones geológicas conflictivas. El conjunto de la información puntual extraída de la base de datos reunida en Funvisis y plasmada en el Inventario Nacional de Riesgos Geológicos, serie 1983, se encuentra discriminada estado por estado en cinco grandes categorías genéricas de riesgos: 1) riesgos asociados con fenómenos gravitacionales (deslizamientos de tierra, colapsos rocosos de laderas y acantilados; diversas manifestaciones de flujos y de arrastres torrenciales; represamientos laterales de ríos y flujos de descarga; manifestaciones de "gravitacional spreading" por relajamiento de laderas montañosas); 2) riesgos inherentes a vicios naturales u ocultos del suelo y subsuelo (manifestaciones de licuación de suelos; suelos expansivos; asentamientos y hundimientos del suelo; cavidades subterráneas de origen natural o artificial); 3) riesgos asociados con desplazamientos bruscos de espejos de agua (por ocurrencia de tsunamis, seiches, etc. o por derrames cosísmicos de ríos o de embalses); 4) deformaciones del suelo y cambios fisiográficos por movimientos de ascenso o de subsidencia de los terrenos; por rupturas de superficie cosísmicas a lo largo de fallas activas; por modificaciones de líneas de costas o de drenajes naturales; 5) otras manifestaciones de riesgo de origen natural y/o artificial (trayectoria de huracanes; zonas anegadizas; sitios con combustión subterránea de materiales inflamables, o con proyecciones de líquidos, sólidos o de gases).

En el mapa-inventario sinóptico producido, la apreciación del riesgo representado por las fuentes puntuales de amenazas cartografiadas, se expresa visualmente de manera global y en forma comparativa estado por estado, por medio de la densidad de los símbolos representativos de las mismas y por el tamaño de los círculos de color de diámetro proporcional a la importancia numérica de las víctimas fatales ocasionadas por las referidas amenazas locales. Al respecto, la información excesivamente densa que caracteriza al nivel de riesgo concentrado en el área metropolitana de Caracas, conllevó a la necesidad de colocar a aquella cuenca de riesgo en un recuadro de mayor escala ubicado fuera de contexto geográfico, en el margen inferior del mapa. Por otra parte, y en virtud del papel que cumple la actividad sísmica como generadora y catalizadora de diversas manifestaciones de riesgo geológico, se expresa visualmente la existencia de un vínculo eventual entre aquella y las respectivas fuentes de amenaza inventariadas en cada punto del mapa.

De una manera general, y por medio de una simple ojeada al mapa, se aprecia que las áreas señaladas por una mayor concentración de riesgo geológico coinciden con las regiones montañosas del país de mayor potencial sismogénico y morfogenético ubicadas en la espina dorsal cordillerana andina, del centro y oriental, y a lo largo de aquella, con los polos de mayor nivel de aglomeración urbana, conforme a lo evocado con el caso del área metropolitana de Caracas, lo cual expresa de manera ilustrativa la conocida relación que se establece entre la importancia del riesgo de pérdidas definida en términos de probabilidad de ocurrencia y el nivel de concentración urbana en términos de densidad/hectárea y de flujos de tráfico, así como con la vulnerabilidad de las edificaciones residenciales. Al respecto, y en el caso particular de Caracas, la mayoría de las víctimas ocasionadas se deben a siniestros geotécnicos de viviendas precarias ubicadas en zonas de barrios marginales y a lo largo de ejes viales de comunicación expuestos al colapso de taludes de corte subverticales inscritos en materiales metaestables. El mismo documento destaca además, la localización de un significado potencial de inestabilidad geológica en los suelos de las regiones aluviales del país topográficamente más deprimidas y de edad reciente, como es el caso de las vegas inundables contiguas a los drenajes naturales, de las extensas albuferas de sedimentación fluvio-marina y condiciones anfibias, a menudo rellenadas artificialmente para fines de urbanismo, así como de las planicies fluvio-deltaicas, tanto las del litoral caribe como las del interior del país identificadas con el término vernacular de “desparramaderos”, en ríos como el Apure, el Uribante, el Catatumbo, y los ríos Aragua entre La Victoria y Cagua, Cabrales al sur de Valencia, y Tigre al este de Maturín. El común denominador de aquellas regiones consiste en la presencia de suelos con altos potenciales de expansividad, colapsabilidad y de licuación.



Colapso cosísmico del terraplén de San Josesito durante el sismo del 18/10/1981, con destrucción del barrio marginal ubicado al pie del talud por un flujo de barro. Fuente: Roberto Centeno (1981).



Deslizamientos en zonas populares de Caracas, activados por lluvias torrenciales y por efectos antrópicos (cargas normales por edificaciones e inyección de aguas residuales). La foto superior pertenece a un conjunto residencial de Petare, en la cual la pared perimetral que rodeaba la urbanización colapsó por la saturación del suelo en temporada de lluvias, la foto inferior pertenece a un deslizamiento en ladera del barrio Fenix, Petare, originado por la conjugación de efectos antrópicos y saturación de suelos. En los dos casos se observa el gran espesor de suelo residual en la cual están asentadas las viviendas o urbanismos. Fuente: Informe técnico de Funvisis (2016).



