La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis) es el organismo oficial encargado de promover y realizar en forma permanente, investigaciones y estudios sismológicos en Venezuela, según programas elaborados, de acuerdo con las necesidades del país, así como de la divulgación del conocimiento científico de las ciencias respectivas y de la formación del talento humano especializado, de acuerdo con lo establecido en su decreto de creación Nº 1.053, publicado en la Gaceta Oficial N° 29.864, en fecha 27 de julio de 1972, centrándose su misión es investigar la realidad sismológica nacional para orientar las acciones que salvan vidas en caso de terremotos.

Como ente rector en la materia, Funvisis promueve la profundización del conocimiento científico para incrementar el entendimiento sobre el fenómeno sísmico y sus efectos y consecuencias en la sociedad, así como para la extensión de los ámbitos de aplicación e inclusión de los métodos empleados en el conocimiento de amenaza y de la vulnerabilidad en los procesos socio-productivos del país.



Dra. Luz María Rodríguez D., editora
Técnico superior en Minas (1994), Geóloga (2000), especialista en Riesgos Geológicos (2007); magister en Ciencias de la Tierra (2008) y doctora en Ciencias de la Ingeniería con especialidad en Geología de Terremotos (2018). En Funvisis se ha desempeñado como prolija investigadora y ejerció el cargo de jefa del departamento de Ciencias de la Tierra (2009 a 2012) y de Geología de Terremotos desde 2022. Fue presidenta de la Sociedad Venezolana de Espeleología (2016 a 2022). Profesora de la Universidad Simón Bolívar desde 2017.



Dr. Roberto Betancourt A., presidente de Funvisis
Licenciado en Ciencias Navales, mención Mecánica (1985), con estudios avanzados en hidroacústica (1991); magíster en Gerencia Empresarial (2002); magíster en Filosofía y doctor en Investigación de Políticas en Ingeniería, Ciencia y Tecnología (2007). Fue director de tres escuelas de estudios universitarios y fundador de dos centros de investigación y desarrollo. Investigador, escritor y conferencista en escenarios nacionales y allende frontera. Se desempeña como presidente de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis) desde 2017 y del Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Oncti) desde 2022.



Ing. Ana María Pérez Z. directora técnica de Funvisis
Ingeniera Electrónica (2002); especialista en Gerencia en Telecomunicaciones (2011); magister en Ingeniería Electrónica, opción comunicaciones. En Funvisis es investigadora en instrumentación sismológica (IS), desde 2006, con especial interés en redes de sensores inalámbricos en evaluaciones post-sísmicas y sistemas de IS. Se desempeñó como jefa del departamento de IS (2010 a 2017) y desde 2017 es directora técnica. Docente y conferencista en escenarios nacionales e internacionales.



Edgard Alexander Carmona B., diseñador gráfico
Diseñador gráfico con amplia experiencia, nacional e internacional, ejerciendo varias funciones en su especialidad, complementando su formación como community manager. Desde 2022, es el coordinador de imagen de Funvisis donde ha trabajado en varias campañas comunicacionales, supervisando los espacios digitales y relacionándose con la población para construir y difundir contenidos de alfabetización sismológica.

50 AÑOS
27 DE JULIO DE 1972 - 2022
funvisis
Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz

ATLAS SISMOLÓGICO DE VENEZUELA

Colección de mapas y datos de especial interés geológico que proporcionan información sobre los terremotos y la actividad sísmica en el territorio nacional

Gobierno Bolivariano de Venezuela | Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz | Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis)
[2022 - 2030]

50 AÑOS

27 DE JULIO DE
1972 - 2022

funvisis
Fundación Venezolana de
INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

©Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
Octubre, 2023

Atlas Sismológico de Venezuela

Depósito Legal: DC2023001004
ISBN: 978-980-8017-04-5

ISBN: 978-980-8017-04-5

Enlace: http://www.funvisis.gob.ve/index.php
Primera edición.

Teléfonos: +58 212 2575153

Dirección: Av. Guaicaipuro con calle Tiuna,
final de la calle Mara, Funvisis, El Llanito,
Caracas, Venezuela

Publicación digital
Atribución bajo licencia *Creative Commons* 4.0

Autoridades

Remigio Ceballos
Ministro del Poder Popular para las
Relaciones Interiores, Justicia y Paz

Carlos Pérez A.
Viceministro para la Gestión de Riesgo
Y Protección Civil

Roberto Betancourt A., Ph. D.
Presidente de la Fundación Venezolana de
Investigaciones Sismológicas

Julio Araque
Director Administrativo

Ana M. Pérez
Directora Técnica

Créditos de edición

Editora
Luz M. Rodríguez

Apoyo Técnico

Sismología
Gloria Romero
Miguel A. Castro
Juan J. Munares
Alejandra Leal
Herbert Rendón
Leonardo Alvarado
Julio Torres

Geología de Terremotos
Luz M. Rodríguez
Franck A. Audemard
André Singer
José A. Rodríguez
María E. Linares

Geofísica
Keyla Ramírez
Michael Schmitz
Freddy Rondón

Ingeniería Sísmica
Carmen Z. Ginés
Oscar A. López
Jorge González
Mario Rendón
Willian R. Ascanio

Investigación Social y Divulgación
Mayda Durán
Cristobal Grimán
Oswaldo Blanco
Antonio Aguilar
Juan L. Guzmán

Diseño y Diagramación
Edgard A.Carmona

Colaboradores
José Sequeira
Fabiola Ortúzar

Advertencia: El autor permite a otros mezclar, ajustar y construir a partir de su obra con fines no comerciales, siempre y cuando le reconozcan la autoría y sus nuevas creaciones que están bajo una licencia con los mismos

Prólogo

Luz M. Rodríguez

El norte de Venezuela se encuentra ubicado en la zona de deformación de las placas tectónicas Caribe y Suramérica, zona de convergencia donde está la mayor ocupación poblacional con un historial de terremotos que desde 1530 han destruido a las principales ciudades del país.

Cuando ocurre un evento sísmico de considerable magnitud, mayor o igual a 6,5 Mw, se pueden producir daños importantes en las edificaciones y generarse efectos geológicos cosísmicos, como inundaciones, ruptura de superficie, deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y licuación de suelos. Sí el terremoto ocurre en período de lluvias, los daños geológicos se pueden acrecentar.

En marco de los 50 años aniversario de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis), se presenta la primera edición del Atlas Sismológico Venezolano, instrumento que viene a ser clave para la reducción del riesgo geológico y sísmico, al convertir el conocimiento de la amenaza geológica y sísmica en productos técnico-científicos de aplicación y de seguridad ciudadana al servicio de las unidades de gestión de riesgo y ordenamiento territorial del país.

Esta primera edición del Atlas Sismológico Venezolano tiene como objetivo primordial exponer el conocimiento científico del riesgo geológico-sísmico en el país, apoyándose con textos explicativos, imágenes y mapas.

Está estructurado en 6 capítulos:
1. Sismología
2. Geología de Terremotos
3. Geofísica
4. Ingeniería Sísmica
5. Investigación Social y Divulgación
6. Glosario de términos técnicos

Cada uno de estos capítulos comprende áreas temáticas en las que se han tomado en consideración los principales resultados de las investigaciones y proyectos generados a lo largo de los 50 años de labor ininterrumpida de Funvisis.

Esta edición contiene 32 mapas donde se instruye lo que significa la amenaza o el peligro sísmico del país.

La escala para los formatos de los mapas que abarcan todo el territorio nacional y ocupan 2 páginas es 1:4.500.000, para aquellos mapas que cubren una sola hoja, las escalas oscilan entre 1: 1.000.000 y 1:9.000.000, para los mapas donde la información solo se concentra en la zona norte del país, las escalas oscilan entre 1: 2.750.000 y 1:3.000.000 y para el caso particular de los mapas de microzonificación sísmica del área metropolitana de Caracas, las escalas oscilan entre 1: 22.000 y 1:60.000.

Para mejor comprensión del lector, se ha agregado en la sección final del Atlas, el capítulo 6 que contiene el glosario de términos técnicos que ayudarán a aclarar conceptos muy usados en la Sismología, Geología de Terremotos, Geofísica, Ingeniería Sísmica e Investigación Social y Divulgación.

Presentación

Roberto Betancourt A., Ph. D.

La misión de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis) reza “Investigar la realidad sismológica nacional para orientar las acciones que salvan vidas en caso de terremotos”. Es en el ánimo de cumplir las tareas y metas asociadas a esta misión que creamos el Atlas Sismológico Nacional como una colección de mapas y datos de especial interés geológico que proporcionan información sobre los terremotos y la actividad sísmica en el territorio nacional. El objetivo propuesto con esta producción científica es ayudar a las y los investigadores, científicos, ingenieros, organizaciones de primera y segunda respuesta y a la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres, en sus niveles nacional, regional y municipal, a estudiar y comprender mejor los movimientos telúricos y sus efectos.

Este Atlas Sismológico contiene información sobre la ubicación, magnitud y profundidad de los terremotos, así como la distribución de la actividad sísmica a lo largo del tiempo; incluyendo datos sobre fallas, límites de placas tectónicas y otras características geológicas relacionadas con los terremotos. El texto puede ser empleado por sismólogos, geofísicos y otros investigadores e investigadoras para analizar patrones de actividad sísmica, identificar regiones propensas a terremotos y estudiar el comportamiento de estos en nuestro territorio; ayudando a evaluar la amenaza sísmica de un lugar específico y su impacto en la construcción sismorresistente.

Los sismos no se pueden predecir, pero sí se pueden anticipar y es por ello que la medición continua a través del Servicio Sismológico Venezolano es esencial. Los resultados acumulados de este monitoreo y de la investigación sismológica, geológica, geofísica, geotécnica, geomática y sismorresistente está presente en ambicioso texto que sirve como una herramienta valiosa para la preparación y respuesta ante los terremotos, proporcionando información que ayuda a desarrollar códigos de edificación y prácticas de construcción para mitigar el impacto de los terremotos. También ayuda en la planificación y respuesta ante emergencias al identificar las zonas con mayor amenaza sísmica.

A lo largo del Atlas, el lector observará que se utilizan indistintamente los vocablos terremoto, sismo, seísmo, movimiento telúrico y otras acepciones que describen exactamente el mismo fenómeno; un terremoto es la sacudida del suelo causada por el deslizamiento repentino de una falla; las tensiones en la capa exterior de la Tierra empujan los lados de la falla entre sí, la tensión se acumula y las rocas se deslizan repentinamente, liberando energía en ondas que viajan a través de la corteza terrestre y causan las sacudidas que se siente durante un terremoto. Las fallas se deben a que las placas tectónicas chocan y rozan entre sí a medida que se mueven continua y lentamente; los seísmos pueden variar en tamaño desde los que son tan débiles que no se sienten hasta los suficientemente violentos como para afectar a la población y destruir ciudades enteras. La sismicidad o actividad sísmica de una zona se refiere a la frecuencia, el tipo y el tamaño de los terremotos experimentados durante un período de tiempo.

El esfuerzo del especializado equipo de hombres y mujeres de Funvisis en la creación de este primer volumen se ha concentrado en la presentación -en la mejor resolución posible- de imágenes, mapas y otras representaciones visuales de los datos sísmicos creados por la fundación en sus más de 50 años de trabajo formal e ininterrumpido; también, se proporcionan textos explicativos y análisis para ayudar a interpretar los datos. El Atlas está disponible en versiones digitales, con la mayor y más práctica resolución, e impreso, como material de consulta.

Es el ferviente deseo de los múltiples expertos que trabajaron en la producción de los contenidos de este texto, editado brillantemente por la doctora Luz María Rodríguez Dávila, que desempeñe un papel crucial a la hora de proporcionar información valiosa a los órganos de primera respuesta (bomberos y policías, en los niveles nacional, estadal y municipal), a todas las organizaciones de protección civil y administración de desastres, y toda la comunidad de hombres y mujeres que intervienen en el diseño y desarrollo de las ciudades resilientes que

demanda nuestro país. Substancialmente primordial es el valioso impacto del análisis e interpretación de los capítulos que conforman este libro para su aplicación en los cuadrantes de paz, que son áreas geográficas que abarcan entre 2 y 5 km2, demarcadas por sectores en las zonas del territorio venezolano donde factores de perturbación pueden anticiparse, como bien es el caso de terremotos y tsunamis. Un cuadrante de paz no es una parroquia o un municipio; dentro de una misma parroquia puede haber dos o más cuadrantes, pudiendo incorporarse la amenaza sísmica, la vulnerabilidad sísmica de lo construido y la vulnerabilidad social sísmica en la discusión de creación de estos cuadrantes.

Son multifactoriales las razones clave que se emplearon en la redacción y selección de contenidos de este primer Atlas Sismológico de Venezuela, pero destaca la de proporcionar datos sobre la frecuencia, magnitud y localización de los terremotos en el territorio nacional; que es vital para los sistemas de alerta temprana que pueden priorizar y direccionar con especial efectividad a las fuerzas de Seguridad Ciudadana. Es indispensable recordar que los sistemas de alerta temprana proporcionan valiosos segundos o minutos de anticipación, lo que permite a las personas tomar medidas inmediatas para protegerse e iniciar los procedimientos de respuesta de emergencia.

A lo arriba mencionado, se suma a que este Atlas ayuda a evaluar el nivel de riesgo sísmico en una región determinada, al identificar las zonas donde ocurren los terremotos y conocer la actividad sísmica histórica; de esta manera, los órganos de primera respuesta y Protección Civil pueden priorizar los recursos y aplicar las medidas adecuadas para mitigar el impacto de los terremotos, incluyendo la identificación de infraestructuras críticas, como hospitales, escuelas y rutas de transporte clave, que pueden requerir un refuerzo adicional o una ubicación estratégica.

La información que se proporciona es esencial para diseñar y construir infraestructuras que resistan los seísmos. Al conocer la actividad sísmica y las características de una región, los ingenieros pueden (y deben) seguir los códigos y normas de construcción existentes que garanticen la integridad estructural de los edificios y las infraestructuras; así como familiarizarse con el diseño sismorresistente, la selección e incorporación de materiales de construcción flexibles y la aplicación de diseños de cimentación adecuados como lo establece en especial detalle la Norma COVENIN 1756-1:2019 “Construcciones Sismorresistentes. Parte 1: Requisitos (2ª Revisión)”.

El análisis de las buenas prácticas alrededor del mundo sugiere que el uso de datos sísmicos puede anticipar el impacto potencial de un terremoto, como las zonas susceptibles de experimentar las sacudidas más intensas o la probabilidad de que se produzcan corrimientos de tierras e incluso tsunamis, lo que sirve de insumo técnico y científico para la redacción de los planes que permitan el despliegue del personal de emergencia, asistir en las operaciones de búsqueda y rescate y a la distribución de recursos y suministros críticos.

Como se detalla en este Atlas, la zona de mayor amenaza sísmica se extiende a lo largo de la cordillera de Los Andes y de la costa, cruzando el país de este a oeste, especialmente afectando la porción norte del territorio, donde habita más del 90 % de la población. Este Atlas es una herramienta valiosa para educar a esa población sobre los riesgos de terremotos y promover la preparación. Mediante la difusión de información procedente de este Atlas, las organizaciones de Protección Civil y administración de desastres pueden cumplir con generosa facilidad los contenidos de la Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres o aquella de la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos, especialmente en lo correspondiente a la formación de las comunidades en concurrencia con el Sistema de Educación Nacional (en sus subsistemas básico y universitario). Así mismo, se puede concienciar sobre el impacto potencial de los terremotos y tsunamis, proporcionar orientación sobre medidas de seguridad e incentivar a las personas y a las comunidades a desarrollar planes de emergencia. Todo ello contribuye a que la población esté bien informada y preparada para responder eficazmente en caso de terremoto.

Por razones de espacio evito ahondar más en la importancia de esta iniciativa y el positivo impacto que

significará su uso y divulgación. Es posible, sin embargo, añadir que información más detallada y profusa se encuentra en las arcas científicas de Funvisis, donde reposan miles de trabajos científicos arbitrados, indizados e indexados, con conclusiones que han motivado -a suerte de una gran enciclopedia la creación de este grueso volumen.

En resumen, este primer volumen del Atlas Sismológico Nacional proporciona información fundamental al Sistema Nacional de Gestión de Riesgo, a la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres, incluyendo los organismos de primera y segunda respuesta, a las comunidades nacionales, especialmente a las que habitan en las zonas de alta amenaza sísmica, a la comunidad científica nacional e internacional, a los responsables de toma de decisiones en la construcción sismorresistentes a nivel municipal, a los cuadrantes de paz, y -en general- a los investigadores e investigadoras de la sismología, en Venezuela y el mundo. Ratificamos, desde Funvisis, el deseo de proveer datos eminentemente prácticos sobre la sismología que facilite la alerta y respuesta tempranas, que ayude a evaluar la amenaza sísmica, proveer información (de primera mano) para la creación de planes, para el diseño de infraestructuras que ayuden en la respuesta a emergencias y la asignación de recursos, que (incluso) contribuyen a la comunicación de riesgos y a la concienciación pública. Utilizando los datos y conocimientos de este Atlas, las partes interesadas pueden prepararse 6 mejor y mitigar el impacto de los terremotos, salvando vidas y reduciendo los daños causados por los fenómenos sísmicos. Es esta la misión de Funvisis: investigar para salvar vidas en caso de terremotos y -nueva y finalmente- ratificar que esto solo es posible a través de la anticipación y planificación mancomunada de los hombres y mujeres que habitan en el territorio nacional.

Agradecimientos

A todos los organismos e instituciones públicas y privadas, a la dirección técnica y sus departamentos adscritos, las personas y los mejores amigos y amigas de la fundación, que con sus observaciones, asesorías y apoyo acertado contribuyeron a hacer posible elaborar este epítome del conocimiento científico del riesgo geológico-sísmico en Venezuela en conmemoración de los 50 años de Funvisis.

Índice de contenidos

Prólogo 7
Presentación 8
Agradecimiento 11
Parte 1 Sismología 19
Introducción 20
Venezuela Azul 22
Sismicidad Histórica de Venezuela 1530-2018 25
Terremoto del 29 de Octubre de 1900 34
Modelado Numérico, Ejercicio Caribe Wave, Caso Terremoto de 1900 38
Evolución de las Estaciones Sismológicas en Venezuela 39
Sismicidad Instrumental en el Territorio Nacional y sus Adyacencias 44
Referencias Bibliográficas 48

Parte 2 Geología de Terremotos 51
Introducción 52
Mapa Neotectónico de Venezuela Compilado por Carlos Beltrán en 1994 54
Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela, versión 2000 54
Mapa Sinóptico de las Unidades Geocronológicas del Cuaternario Venezolano 62
Registros Históricos de Licuación de Suelos en Venezuela 66
Estudios Paleosísmicos en Venezuela 75
Inventario Cartográfico Nacional de Riesgos Geológicos 82
Referencias Bibliográficas 88

Parte 3 Geofísica 89
Introducción 90
Estudios de Microzonificación Sísmica en Venezuela 92
Estudios de Microzonificación Sísmica en Caracas 98
Mapa de Unidades Geológicas Cuaternarias del Valle de Caracas 104
Peligro de Deslizamientos en Caracas 110
Espesores de Sedimentos en Caracas 116
Investigaciones Geodinámicas 120
Mapa del Espesor de la Corteza en Venezuela 121
Referencias Bibliográficas 126

Parte 4 Ingeniería Sísmica 129
Introducción 130
Mapa de Zonificación Sísmica MOP de 1947 132
Mapa de Zonificación Sísmica MOP de 1955 136
Mapa de Zonificación Sísmica MOP de 1967 140
Mapa de Zonificación Sísmica de la Norma COVENIN 1756-82 146
Mapa de Zonificación Sísmica de la Norma COVENIN 1756-2001 152
Mapas de la Norma Sísmica COVENIN 1756-1: 2019 158
Mapa de la Red Acelerográfica de Venezuela (REDAC) 168
Referencias Bibliográficas 172

Parte 5 Investigación Social y Divulgación 173
Introducción 174
Investigación Social en Funvisis 176
Alcance y Expansión del Programa Educativo Aula Sísmica “Madeleilis Guzmán” de Funvisis 177
Preparación de las Comunidades Costeras Venezolanas Frente a los Tsunamis, en el Marco de los Ejercicios Caribe Wave 182
Referencias Bibliográficas 188

Glosario de términos técnicos 189

Índice de mapas

Mapa 1: Venezuela azul 24
Mapa 2: Sismos históricos con mayor reporte de daños ente 1530 y 2018 32
Mapa 3: Intensidades macrosísmicas del terremoto del 29 de octubre de 1900 36
Mapa 4: Red sismológica venezolana 42
Mapa 5: Sismicidad instrumental período 1910-2021 46
Mapa 6: Mapa neotectónico de Venezuela 56
Mapa 7: Fallas cuaternarias de Venezuela 58
Mapa 8: Unidades geocronológicas del cuaternario venezolano 64
Mapa 9: Casos de licuación de suelos en el occidente de Venezuela 72
Mapa 10: Casos de licuación de suelos en el centro de Venezuela 73
Mapa 11: Casos de licuación de suelos en el oriente de Venezuela 74
Mapa 12: Inventario de estudios paleosísmicos en Venezuela 80
Mapa 13: Inventario cartográfico nacional de riesgos geológicos 86
Mapa 14: Proyecto de microzonificación sísmica en las principales ciudades de Venezuela 96
Mapa 15: Microzonificación sísmica del área metropolitana de Caracas 100
Mapa 16: Microzonificación sísmica del área metropolitana de Caracas 102
Mapa 17: Mapa geológico del cuaternario y de las fallas geológicas de Caracas 108
Mapa 18: Amenaza sísmica como intensidades de Arias en el Área Metropolitana de Caracas para PMR = 700 años 110
Mapa 19: Peligro de deslizamientos por lluvias: calibración con eventos ocurridos a raíz de las lluvias fuertes de noviembre de 2008 en Baruta (comparación de los eventos con la amenaza identificada en el mapa) evidencia para la importancia de las modificaciones antrópicas 111
Mapa 20: Microzonificación sísmica del área metropolitana de Caracas 112
Mapa 21: Microzonificación sísmica del área metropolitana de Caracas 114
Mapa 22: Plano de la profundidad al basamento h (espesor sedimentario) del área metropolitana de Caracas 118
Mapa 23: Mapa de la profundidad de la discontinuidad de Mohorovičić de Venezuela basado en estudios sísmicos de gran ángulo 124
Mapa 24: Mapa de zonificación sísmica de Venezuela norma MOP 1947 134
Mapa 25: Mapa de zonificación sísmica de Venezuela norma MOP 1955 138
Mapa 26: Mapa de zonificación sísmica de Venezuela norma MOP 1967 144
Mapa 27: Mapa de zonificación sísmica de Venezuela norma Covenin 1982 150
Mapa 28: Mapa de zonificación sísmica con fines de ingeniería (2001) norma Covenin 1756 156
Mapa 29: Construcciones sismorresistentes norma venezolana Covenin 1756-1:2019 160
Mapa 30: Construcciones sismorresistentes norma venezolana Covenin 1756-1:2019 162
Mapa 31: Construcciones sismorresistentes norma venezolana Covenin 1756-1:2019 164
Mapa 32: Red Acelerográfica venezolana 170
Mapa 33: Expansión y alcance del programa educativo Aula Sísmica “Madeleilis Guzmán” 180
Mapa 34: Preparación comunitaria e institucional en caso de tsunamis 186

Índice de fotos

Foto 1: Entrada al Servicio Sismológico Venezolano en Funvisis..... 23

Foto 2: Terremoto de Cúcuta 18 de mayo de 1875..... 26

Foto 3: Ruinas de la Iglesia de Cúa, Valles del Tuy, después del Terremoto de 1878..... 27

Foto 4: Iglesia de Belén, ciudad de Mérida, 28 de abril de 1894..... 27

Foto 5: La Guzmania, Macuto, La Guaira..... 28

Foto 6: Terremoto de Cumaná del 17 de enero de 1929..... 28

Foto 7: Casas destruidas en El Tocuyo..... 29

Foto 8: Escombros del edificio Mijagual..... 30

Foto 9: Colapso parcial del edificio del Banco Orinoco, Cariaco..... 30

Foto 10: Alineación de volcanes de arena (Fenómeno de licuación de suelos) en calle residencial del sector Playa Sur de Chichiriviche. Sismo del 12 de septiembre de 2009..... 31

Foto 11: Casa que ocupaba el templo protestante, Caracas..... 34

Foto 12: Demolición de la casa de la esquina de Los Traposos, hacia el suroeste de Caracas..... 34

Foto 13: Casa La Ceiba de los señores Morales Hermanos, Macuto..... 35

Foto 14: Calle Jiménez, Guarenas..... 35

Foto 15: Iglesia Matriz, Guatire..... 35

Foto 16 y 17: Estación sismológica satelital en Belén..... 39

Foto 18 y 19: Sismómetro de medición..... 40

Foto 20, 21, 22 y 23: Antena de transmisión y sistema de energía..... 41

Foto 24: Evento sísmico en tres componentes..... 45

Foto 25: Falla de Boconó, en el Parque Nacional Sierra Nevada, vía nacional trasandina, entre Mucubají y cercanía a la población de Santo Domingo, estado Mérida. Las flechas rojas indican el sentido del desplazamiento, de tipo transcurrente dextral..... 55

Foto 26: Falla de Boconó, sector Capacho, estado Táchira..... 55

Foto 27: Vista aérea de la misión 172 de 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)..... 60

Foto 28: 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)..... 60

Foto 29: 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..... 60

Foto 30: Ruptura de superficie del terremoto de Cariaco del 9/07/1997..... 61

Foto 31: Detalle del desplazamiento de la carpeta asfáltica de la troncal 10 en proximidad a Casanay, por la ruptura superficial del terremoto de Cariaco del 9/07/1997..... 61

Foto 32: Escarpe de flexura del frente inverso surandino hundiéndose bajo la llanura actual de los llanos occidentales entre Barinas y Guanare..... 62

Foto 33: Formación Mesa (Pleistoceno inferior Q4 o Q5 en la Mesa de la Leona), deformado por falla..... 63

Foto 34: Eolianitas del Pleistoceno Q2, deformadas por falla en la cercanía del Cabo San Román..... 63

Foto 35: 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 Tocuyo estado Falcón. Observe que la casa y los muros perimetrales perdieron la horizontalidad..... 66

Foto 36: Grieta en el terreno por relajamiento lateral en Boca de Tocuyo en el sismo de Morón del 12 de septiembre 2009..... 67

Foto 37: 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..... 67

Foto 38: Volcanes de arena en Boca de Tocuyo, producidos por la excitación sísmica a consecuencia del terremoto del 12 de septiembre de 2009..... 68

Foto 39: Relajamiento lateral y evidencias de licuación de suelos en Boca de Tocuyo del sismo del 12 de septiembre de 2009..... 68

Foto 40: Vista oblicua del relajamiento lateral de Güigüe, en la costa sur del Lago de Valencia, a consecuencia del sismo de Caracas del 29 de julio de 1967..... 69

Foto 41: 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..... 69

Foto 42: Relajamiento lateral del muro de contención de las piscinas de la Camaronera Aguacán, estado Sucre, a consecuencia de la excitación sísmica del terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997. 70

Foto 43: Detalle de las grietas abiertas del relajamiento lateral que afectó la Camaronera Aguacán..... 70

Foto 44: 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..... 71

Foto 45: 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..... 75

Foto 46: 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..... 75

Foto 47 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..... 76

Foto 48: 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..... 76

Foto 49: 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..... 77

Foto 50: 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. 77

Foto 51: 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..... 77

Foto 52: Excavación paleosísmica Santa Rosa, en la traza de la falla El Ávila..... 78

Foto 53: Vista lateral de la pared este de la excavación paleosísmica Santa Rosa, ubicada al noreste de la Universidad Metropolitana..... 78

Foto 54: Vista longitudinal de la ruptura del terremoto 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..... 79

Foto 55: 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..... 79

Foto 56: 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..... 82

Foto 57: 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..... 83

Foto 58: Deslizamiento de tipo flujo causado por la saturación de suelos en período de lluvias torrenciales, estas causas afectaciones en las vialidades que conecta a varias poblaciones. La foto superior pertenece a la vialidad que conecta las ciudades de Maracay-Choroní, estado Aragua, evento ocurrido en el período de lluvias agosto-octubre de 2017. La foto inferior 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 83

Foto 59: 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 84

Foto 60 y 61: 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 85

Foto 62: Perforación geotécnica en Barquisimeto 92

Foto 63: Perforación geotécnica en Barquisimeto 93

Foto 64 y 65: Mediciones sísmicas en Cabudare 93

Foto 66: Mediciones sísmicas en Cumaná 94

Foto 67: Mediciones sísmicas en Cumaná 94

Foto 68: Mediciones sísmicas someras en Guarenas 95

Foto 69: Curso SIG con funcionarios de las alcaldías 98

Foto 70: Perforación para instalación de observatorio acelerográfico en Caracas 99

Foto 71: Depósitos lacustres Q1 interestratificados con plumas de laterita coluvionada Q1 del esquisto Las Mercedes en la Zona Rental de Plaza Venezuela 104

Foto 72: Pleistoceno medio Q2 (El Marqués, parte baja) con los latosuelos sobreimpuestos marrón pardo sobre ocre anaranjado-rosado 106

Foto 73: Pleistoceno medio Q2 (El Rosal) con laterita rosada descabezada por los deslaves Q0a 106

Foto 74: Vista al este de una brecha de falla arcillosa (gouge de falla) con buzamiento sur encontrada durante la construcción de la Av. Boyacá (Cota Mil) sobre la traza activa de la falla del Ávila en la salida hacia San Bernardino 107

Foto 75: Vista al este de una brecha de falla N45°W 70N) encontrada en excavación en la urbanización Ávila al pie de la Cota Mil cortando gneises milonitizados a la izquierda y esquistos anfibolíticos a la derecha 107

Foto 76 y 77: Recepción de equipos de medición sísmica (“Texan”) del IRIS Instrument Centre 116

Foto 78 y 79: Perforación para mediciones sísmicas (izquierda) y búsqueda de puntos de medición (derecha) en Caracas 117

Foto 80 y 81: Preparación y revisión de equipos Texan para ser usados en el estado Guárico en el marco del proyecto GEODINOS 121

Foto 82: Proyecto GEODINOS, perforación de pozos para una voladura, estado Falcón, (2003) 122

Foto 83: Proyecto GEODINOS, carga de explosivos, estado Falcón, (2003) 122

Foto 84 y 85: Proyecto GEODINOS, preparación y observación de las voladuras del Cerro Bolívar, estado Bolívar, (2004) 123

Foto 86: Edificio Sede de la Cruz Roja, 1947, Av. Andrés Bello, municipio Libertador, Distrito Capital .. 132

Foto 87: Hotel Nacional, 1947, en el cruce de la Av. Este 6 con la Av. Sur, al oeste del Pasaje Zingg, municipio Libertador, Distrito Capital 133

Foto 88: Edificio Residencia Cerro Grande, Av. Intercomunal, parroquia El Valle, municipio Libertador, Distrito Capital. Construido en la década de los 50 136

Foto 89: Edificio Residencia Cerro Grande, Av. Intercomunal, parroquia El Valle, municipio Libertador, Distrito Capital. Construido en la década de los 50 137

Foto 90 y 91: Marca dejada posterior al desprendimiento de la cruz de la Catedral de Caracas 140

Foto 92: Planta baja débil, edificio Obel, Altamira, municipio Chacao, Caracas 141

Foto 93: Vigas en una sola dirección, edificio Obel, Altamira, municipio Chacao, Caracas 141

Foto 94: Edificio Petunia II. 21 pisos. Altamira, municipio Chacao, Distrito Capital. Reforzamiento de columnas mediante muros de concreto 142

Foto 95: Edificio Petunia II. 21 pisos 142

Foto 96: Edificio Bamoral, Altamira. Chacao, Distrito Capital, más de diez pisos. Irregularidad en planta, refuerzo con vigas metálicas para suministrar mayor rigidez a la estructura 143

Foto 97: Edificio Bamoral, Altamira. Chacao, Distrito Capital, más de diez pisos 143

Foto 98: Parque Residencial Juan Pablo II, Montalbán, parroquia La Vega, municipio Libertador, Distrito Capital, 1988 146

Foto 99 y 100: Parque Residencial Juan Pablo II, Montalbán, Parroquia La Vega, municipio Libertador, Distrito Capital. Construido en 1988 147

Foto 101: Residencia La Yerbera, San Agustín del Norte, Distrito Capital 148

Foto 102: Residencias Yaracuy, Plaza Venezuela, El Recreo, Distrito Capital 148

Foto 103: Estación de Bomberos El Valle, Av. Intercomunal del Valle, Distrito Capital 149

Foto 104 y 105: Estación de Bomberos El Valle, Av. Intercomunal del Valle, Distrito Capital 149

Foto 106 y 107: Residencias Joral, Av. Páez, parroquia El Paraíso, municipio Libertador, Distrito Capital 153

Foto 108: Edificio Torre Digitel, La Castellana, Chacao, Distrito Capital 154

Foto 109: Edificación en construcción. Av. Francisco de Miranda, Chacao, Distrito Capital 154

Foto 110: Edificios Misión Vivienda, Puente de los Leones, sector La Paz, El Paraíso, municipio Libertador, Distrito Capital 154

Foto 111: Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico 155

Foto 112: Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico 155

Foto 113: Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico 155

Foto 114: Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico 155

Foto 115: Vista centro oeste de Caracas, desde la Torre La Previsora 166

Foto 116: Zona Populares, Barrio Sector El Cementerio, parroquia Santa Rosalía, Distrito Capital 167

Foto 117: Vista centro este de Caracas, desde la Torre La Previsora 167

Fotos 118 y 119: Acelerógrafo SMA1 169

Fotos 120 y 121: Acelerógrafo Etna, escuela Valentín Valiente. Cariaco, estado Sucre 169

Fotos 122 y 123: Aula sísmica en Lagunillas, estado Mérida 177

Foto 124: Jornadas en escuelas 178

Foto 125: Aula sísmica en Cariaco, estado Sucre 179

Foto 126: Desalojo de estudiantes de básica y media en el sector Picure, estado Vargas, ejercicio Caribe Wave 2017 179

Foto 127: Simulacro de desalojo por tsunami en el Gran Roque, Territorio Insular Francisco de Miranda 183

Foto 128: Simulacro de desalojo y tsunami en el Gran Roque, Territorio Insular Francisco de Miranda. 183

Foto 129: Capacitación a funcionarios de PC y bomberos como entes multiplicadores 184

Foto 130: Sitio de concentración de la población escolar del Gran Roque 185

Foto 131: Desalojos de escuelas en el marco del ejercicio Caribe Wave 2018, estado Vargas 185

Índice de figuras y tablas

Figuras

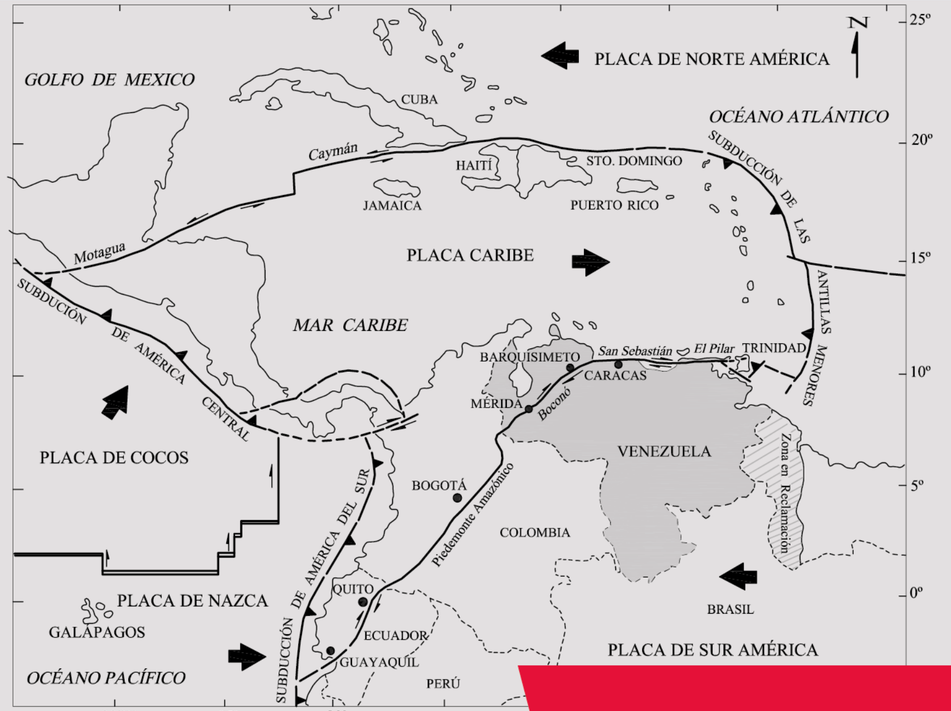
Figura 1: Modelo numérico elaborado por Funvisis..... 38
Figura 2: Ilustración de la Serranía del Waraira Repano..... 53
Figura 3: Extracto del mapa de espesores sedimentarios de Caracas..... 91
Figura 4: Modelo esquemático de la litósfera al norte de los Andes de Mérida..... 122
Figura 5: Aceleración pico del terreno (Ao), Barquisimeto..... 159
Figura 6: Respuesta estructural de sistemas elásticos de periodo 1 segundo (A1), Barquisimeto..... 159
Figura 7: Período de transición al rango espectral de respuestas de deformación constante (TL), Barquisimeto..... 159

Tablas

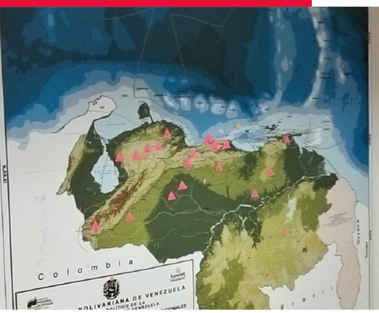
Tabla 1: Fuentes de Información Base en el Mapa Cuaternario de Caracas..... 105
Tabla 2: Zonas de amenaza sísmica vs. Aceleraciones..... 152
Tabla 3: Evolución y aportes principales de las normas sísmicas..... 166



PARTE 1
Sismología



SISMOLOGÍA







Portada: **Foto superior:** Antena y equpios de registro Estacion El Baúl estado Cojedes. **Fuente: Miguel Castro (2019).** **Foto inferior:** Mapa de placas tectónicas. **Dibujo: Marina Peña (2018).** **Encabezado:** Servicio Sismológico Venezolano de Funvisis. **Fuente: Edgard Carmona (2023).**

Introducción

Gloria Romero, Leonardo Alvarado, Herbert Rendón, Alejandra Leal y Julio Torres

El departamento de Sismología, 50 años de avances tecnológicos al servicio de la comunidad, nace desde la creación de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis) con la finalidad de abordar problemas de investigación científica, técnica, experimental y aplicada, orientando los esfuerzos de estas actividades a generar conocimiento científico, transferencia de conocimientos y generación de tecnología para contribuir a la solución de problemas regionales y nacionales cuidando siempre la alta calidad dentro de un marco de responsabilidad y un alto sentido ético, así como la formación de recursos humanos de alto nivel en Sismología. Todos los avances, se suman al 50° aniversario de la fundación, cuya actividad queda plasmada en su misión, visión, valores y metas, tal como se señala a continuación.

Con la misión de la vigilancia sísmica para documentar, analizar e interpretar los sismos y divulgar el conocimiento para contribuir a la gestión del Peligro Sísmico, el Departamento de Sismología ha desarrollado en los últimos 50 años, programas, actividades y proyectos de investigación y extensión de calidad, acordes con su misión y con un enfoque interdisciplinario que permite mejorar y profundizar el conocimiento en su campo. Genera y divulga información oportuna y precisa, así como, productos de valor científico para apoyar procesos de educación orientados a la comprensión de los procesos sísmicos.

Desde 1999 se inicia el proyecto modernización de Redes Sismológicas permitiendo implementar tecnologías y metodologías actualizadas y consolidar un equipo de investigadores e investigadoras de nivel internacional, altamente competente y comprometido con la institución y el país, entre los avances técnicos podemos mencionar la interpretación de señales sísmicas provenientes de 40 estaciones sismológicas banda ancha transmitidas vía satélite, trabajo realizado por operadores especializados 24 horas durante todo el año, garantizando la información preliminar en el menor tiempo posible, modernización y creación del Servicio Sismológico Venezolano (SSV) con miras a la implantación del Centro de Alerta de Tsunami para el Caribe.

La visión es ser un departamento de excelencia en todas sus áreas, reconocido nacional e internacionalmente por la calidad de sus investigadores e investigadoras y la formación de recursos humanos, así como por su capacidad de generar conocimiento de frontera, asimilar y transferir tecnología que apoye el desarrollo regional y nacional.

El valor se representa con la ética y excelencia profesional, liderazgo, respeto, responsabilidad, trabajo en equipo, eficiencia y prontitud. Los resultados obtenidos en cada investigación, han sido publicados en informes, congresos y revistas especializadas nacionales e internacionales.

Las disciplinas de investigación giran en torno a:

Análisis y procesamiento de sismogramas, propagación de ondas, peligro sísmico, estudios de estructura cortical, el ciclo sísmico y propiedades elásticas de las ondas, fuente sísmica y su mecanismo focal, atenuación sísmica y efecto de sitio, sismología histórica, métodos de inversión, sismología de movimientos fuertes, peligro sísmico, estructura de la litosfera, anisotropía del manto y funciones receptoras, estructura del interior profundo de la Tierra, tomografía sísmica, riesgo sísmico, tsunami, mareas y cambio global, sismología aplicada a la ingeniería y sismología forense.

Las metas:

Evaluar y documentar el peligro sísmico mediante el análisis sismológico en tiempo real emitiendo reportes y boletines sismológicos al instante de la ocurrencia de un sismo, mediante la operatividad de programas de alta tecnología y personal 24 horas en el Servicio Sismológico Venezolano para orientar las acciones que salvan vida en caso de terremotos y tsunamis.

Participar activamente en las Secciones del Grupo de Coordinación Intergubernamental para la Implantación de un Sistema de Alerta de Tsunami y Otras Amenazas Costeras para el Caribe y Regiones Adyacentes de UNESCO (ICG/CARIBE EWS).

Apoyar a la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (OTPCE o en inglés CTBTO, "Comprehensive Test-Ban-Treaty Organization") con la incorporación de 2 estaciones sismológicas de su monitoreo internacional a la red sismológica venezolana para el cálculo hipocentral en la región suramericana y el Caribe como apoyo a la discriminación de los sismos tectónicos de ensayos o artefactos explosivos.

Preparar Inspectores de Sitio (*OSI*, por sus siglas en inglés) por Venezuela, altamente calificados en Fundamentos Radiológicos, límites y efectos biológicos, protección y detección de Radiación y Control de Contaminación, accidentes y riesgo dentro del tratado para explosiones nucleares del CTBTO.

Realizar simulacros de tsunami en conjunto con todos los países caribeños manteniendo la cooperación y el liderazgo en el apoyo regional para los estudios de amenazas costeras, los apoyos técnicos complementan las acciones de los entes operativos responsables de Protección Civil y Administración de Desastres venezolanos.

Realizar intercambio de datos de la Red Sismológica Venezolana con la Red Mundial, permitiendo la optimización y efectividad de los tiempos y umbrales de magnitud de un evento sísmico para una alerta temprana en todo el Caribe.

Realizar el programa de Redes Neuronales para la determinación de las llegadas de ondas primarias y la adaptación del esquema de inferencia de probabilidad bayesiana para estudio en fallas activas de Venezuela.

Compilar, elaborar código y generación de mapa de sismicidad y mecanismos focales asociados para la región noroeste del Caribe, con la finalidad de identificar el carácter activo y la cinemática de las fallas geológicas.

Actualización de paquetes informáticos de tecnología y programación para el mejoramiento del análisis y procesamiento de la señal sísmica, permitiendo optimizar los tiempos de respuesta del Servicio Sismológico Venezolano.

Realizar modelos matemáticos de simulación de tsunami para las costas venezolanas tomando en cuenta la vulnerabilidad tectónica e histórica de tsunami en el Caribe, generando cartas de arribo de olas, altura estimada y mapas de inundación.

Venezuela azul

Gloria Romero

Algunas características físico–naturales en el Caribe Venezolano

La cuenca venezolana del Caribe se encuentra en el sector oriental de la placa tectónica del Caribe y la placa tectónica norte de Suramérica. Se destacan, entre otros:

1) Su alta sismicidad y potencial tsunamigénico, la presencia de la Prominencia de Isla de Aves, numerosas islas y archipiélagos, la Fosa de Cariaco y, en el sureste, el volcán submarino Kick´Em Jenny, a unos 8 km al noroeste de la isla de Granada, en aguas que colindan con las aguas de la Zona Económica Exclusiva.

2) Mayor influencia de las corrientes marinas Norecuatorial y de las Guayanas.

3) Sobre las costas caribeñas venezolanas predominan los vientos alisios del noreste.

4) Importantes surgencias de aguas ricas en nutrientes en la plataforma continental nororiental de Venezuela (alta productividad).

5) El mar venezolano corresponde a uno de los sectores marinos más megadiversos del continente americano. La biodiversidad marina se incrementa de sur a norte y de este a oeste.

El mundo está lleno de historias impregnadas de culturas, que reflejan al mar como fuente de beneficio, es por esto, que al poseer la República Bolivariana de Venezuela una posición geográfica privilegiada en la región centro-norte del continente sudamericano y en el sector sudoriental del Mar Caribe, surge la necesidad de desarrollar una cultura integral de gestión del riesgo marino costero, la cual se ha denominado Venezuela Azul.

La publicación de los mapas político y físico de la República Bolivariana de Venezuela de formato vertical (IGNSB-MPPPA-2000) y con la representación de los límites marítimos negociados con países a veces considerados muy lejanos, como Francia, Holanda (Países Bajos), Estados Unidos y República Dominicana permite mostrar que las áreas marinas y submarinas de Venezuela ocupan una superficie equiparable a la de sus territorios emergidos, aunque Venezuela todavía no ha terminado de definir sus límites con algunos países del Caribe, el área por delimitar es relativamente reducida, que asciende a unos 916.445 km² (cifra en revisión por el Servicio de Hidrografía y Navegación de la Armada Bolivariana SHN); sus costas tienen una longitud aproximada de 4.000 km, de los cuales 1.000 corresponden a la fachada Atlántica y 3.000 a la caribeña y hasta principio del presente siglo, era frecuente la expresión “Venezuela es un país que vive de espaldas al mar”, siendo Venezuela el único país continental sudamericano simultáneamente atlántico y caribeño. Por otra parte, la actual geopolítica y geoestrategia de integración múltiple condujo a resultados que no solo le han permitido a la República Bolivariana de Venezuela cumplir la mayoría de las Metas del Milenio mucho antes de la fecha fijada, sino que ha hecho que los países apoyen la creación y seguimiento de organizaciones y programas como Petrocaribe, Unasur, Mercosur Y Celac (Pérez, 2013).

La importancia de los espacios geográficos marinos y submarinos, insulares y marino-costeros, así como la de los recursos naturales -renovables y no renovables- quedó establecida en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), específicamente en los artículos 10 al 17, relativos a los espacios y recursos naturales marinos y submarinos, así como en los artículos 127 al 130, este último en lo referente a los deberes y derechos ambientales. La geopolítica y la geoestrategias marinas constituyeron buena parte de las Líneas Generales de la Nueva Geopolítica Nacional y la Nueva Geopolítica Internacional del Proyecto Nacional Simón Bolívar (2006-2012), permitiendo la constitución de los Cinco Objetivos Históricos del Plan de la Patria 2013-2019 y revisados 2019-2025.

La vocación marítima de Venezuela data de muchos años atrás. Los antepasados Kariñas o Caribes y de otras etnias que habitaron las costas venezolanas, dejaron restos de alfarería fabricada con material que solo existe en lo que es la actual Venezuela, inclusive en localidades muy alejadas, por ejemplo en la isla de Dominica, donde se reporta con frecuencia la existencia de una población que actualmente es del orden de las 3.000 personas y serían de ascendencia Caribe o Kariña, cuyos antepasados habrían llegado hasta allí navegando en sus piraguas de isla en isla y guiándose de noche por las estrellas.

El nombre de Venezuela es de origen marítimo. Tal cual quedó referido cuando los palafitos observados por Alonso de Ojeda y sus acompañantes al llegar a la entrada del Lago de Maracaibo desde el Golfo de Venezuela, trajeron a la mente de los europeos la imagen de una “pequeña Venecia”. Así nació el nombre del nuevo país.

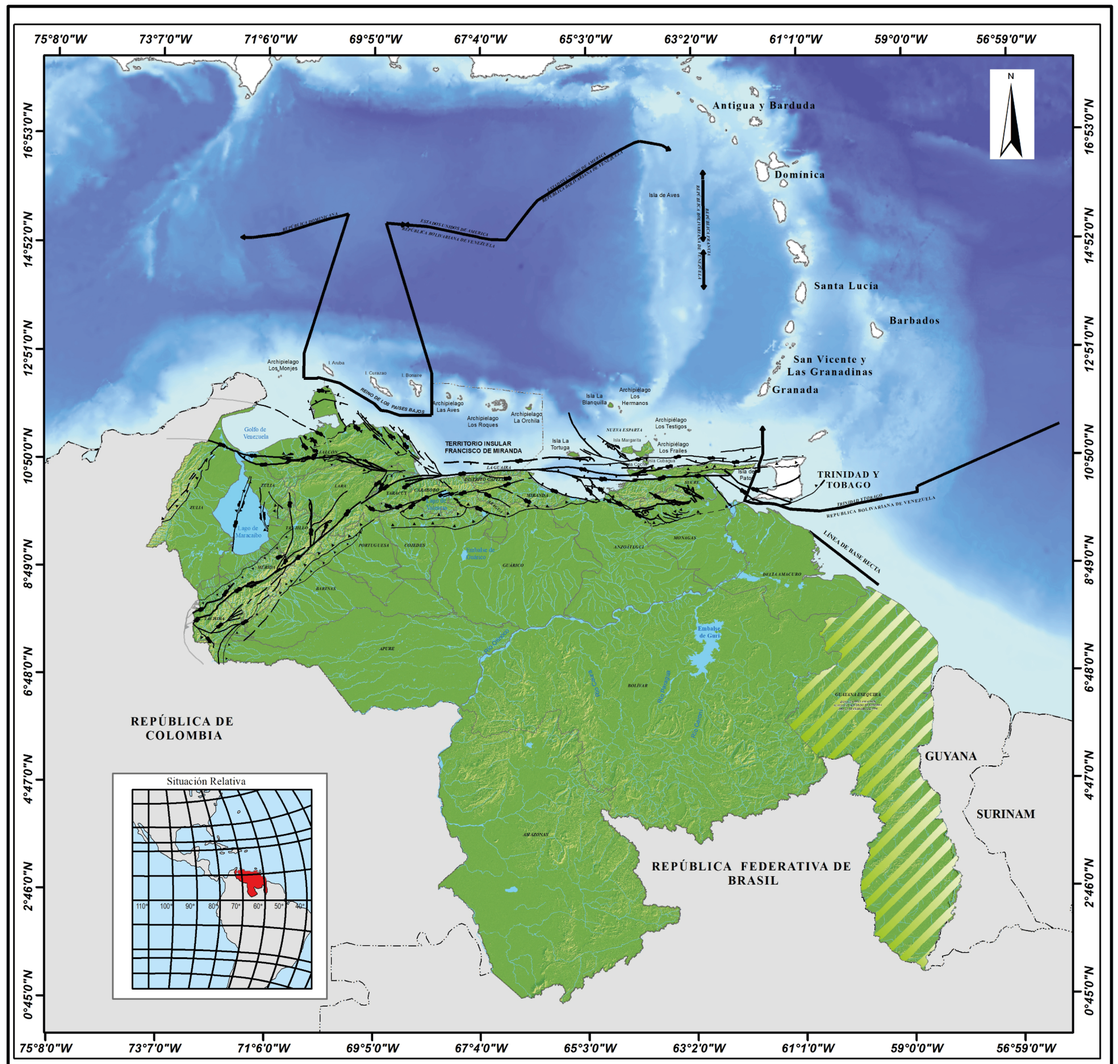
La única vía de comunicación durante más de cinco siglos ha sido la marítima. Es decir, desde la conquista hasta el inicio de los vuelos aéreos, a principios del siglo XX.

La Comisión Oceanográfica Intergubernamental COI para el **Caribe.**

El programa sobre tsunami de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) tiene por objeto reducir la pérdida de vidas humanas y medios de subsistencia que pudiera sobrevenir a causa de un tsunami. Para ello, la Unidad de Coordinación sobre Tsunamis presta apoyo a los Estados Miembros de la COI con el fin de evaluar los riesgos de tsunami, implantar sistemas de alerta temprana y educar a las comunidades amenazadas acerca de las medidas de preparación. El Grupo Intergubernamental de Coordinación del Sistema de Alerta contra los Tsunamis y otras Amenazas Costeras en el Caribe y Regiones Adyacentes (ICG/CARIBE-EWS) se creó en el 2005 en calidad de órgano subsidiario de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental COI a fin de prestar una asistencia eficaz en la reducción de riesgos de tsunami a los Estados Miembros de la región del Caribe tras la experiencia del tsunami del océano Índico de 2004.



Foto 1: Entrada al Servicio Sismológico Venezolano en Funvisis.
Fuente: Edgard Carmona (2023).



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
Mapa 1: VENEZUELA AZUL

Tipología de Fallas

- Inferida
- Dextral Continua
- Inversa
- Sinestral Discontinua

Signos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Batimetría (m.b.n.m)

Hipsometría (m.s.n.m)

Máx : 4.978 m (Pico Bolívar)

Min: 18 (Lagunillas)

Escala: 1: 9.000.000

0 225 450 900 km

Proyección y Coordenadas

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. Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, y Elio Suárez

Autores de la cartografía temática

Gloria Romero

Sismicidad histórica de Venezuela, 1530-2018

Alejandra Leal Guzmán y José A. Rodríguez

La expresión sismicidad histórica se refiere específicamente a la ocurrencia, distribución y frecuencia de eventos sísmicos en un espacio y tiempo determinados. En este sentido, el propósito fundamental de este texto, consiste en presentar las características de los sismos destructores más importantes que han ocurrido en territorio venezolano entre 1530 y 2018, un lapso que cubre tanto terremotos históricos como instrumentales.

Los terremotos históricos son aquellos sismos ocurridos antes de 1900, fecha que está marcada por la aparición de los instrumentos de medición sísmica (Guidobonni y Stucchi, 1993), por lo tanto, para estos terremotos no se dispone de registros instrumentales que permitan elaborar una interpretación, sino que esta última debe extraerse de las descripciones de los efectos de los terremotos contenidas en los documentos históricos.

En el caso de Venezuela, la ventana de la sismicidad histórica se abre con el terremoto tsunamigénico que afectó el núcleo primigenio de la ciudad de Cumaná, el 1 de septiembre de 1530 experimenta un hito importante con el sismo que sacudió el territorio venezolano, el 29 de octubre de 1900, evento que está considerado como el último sismo histórico y el primero instrumental, ya que fue registrado por la red sismológica mundial y reseñado en el Catálogo Mundial de Edimburgo, junto a otros terremotos destructores. A partir de 1900, la sismicidad histórica venezolana corre en paralelo con la sismicidad instrumental, aproximadamente hasta la década de 1950, que estuvo definida por el proceso de modernización del Observatorio Cagigal (Fiedler, 1988); momento a partir del cual se abre la ventana de la sismicidad instrumental en nuestro país.

El primer terremoto registrado en las fuentes históricas venezolanas ocurrió el 1 de septiembre de 1530, aproximadamente a las 10:00 hora local de Venezuela (HLV), en la región oriental del país, afectando a la primigenia ciudad de Cumaná y a la pujante y hoy desaparecida población de Cubagua. Audemard (2007) ha estimado la magnitud de dicho evento en 7,1-7,3 Ms; en tanto que Rodríguez *et al.,* (2006) han ubicado un probable epicentro en las coordenadas 10,44 N -64,5 O. Debido a la baja densidad poblacional y escaso desarrollo urbano de la zona afectada, existen pocos registros referidos a los efectos del sismo de 1530, en los cuales destaca la información sobre los efectos geológicos cosísmicos (tsunami, grietas en el terreno, licuación).

Durante el siglo XVII, una época difícil, marcada por la pobreza, pestes y plagas recurrentes y la amenaza de los piratas, ocurrieron diversos terremotos destructores en varias regiones del país. El 3 de febrero de 1610, a las 15:00 HLV, un sismo de magnitud 7, con probable epicentro ubicado en las coordenadas 8,15 N -71,65 O sacudió las poblaciones de Bailadores, Mérida, La Grita y San Cristóbal registrándose intensidades entre VIII-X (Palme *et al.,* 2012). A mediado del siglo, el 11 de junio de 1641, a las 8:15 HLV, ocurre el primer terremoto histórico registrado para Caracas y La Guaira, provocando daños consistente con intensidad VIII en ambas poblaciones (Leal Guzmán y Vásquez, 2018). La magnitud de este evento ha sido estimada entre 6-6,3 mC (Fiedler, 1972) y su epicentro se ha ubicado en las coordenadas 10,9 N -66,7 O (Fiedler, 1961; Grases, 1990). Volviendo a la región andina, es necesario mencionar el sismo del 16 de enero de 1674; 15:00 HLV, afectó gravemente a las poblaciones de Mérida (VIII), Gibraltar (VIII), Trujillo (VII-VIII), Barinas (VII-VIII) y El Tocuyo (VI) (Palme y Altez, 2002). Según Palme *et al.,* (2005) el sismo de 1674 tuvo una magnitud estimada de 7,4, y el probable epicentro se ubicó en 8,95 N -70,8 O.

El terremoto más importante de todo el siglo XVIII, afectó el nororiente venezolano el 21 de octubre de 1766, 4:30 HLV. Se trató de un sismo profundo, ampliamente sentido en la región, cuyos efectos se registraron en 73 poblaciones con intensidades que oscilan entre III-X (Mocquet, 2007). Este mismo autor propone un rango de magnitud 6,5-7, y ubica su epicentro en 11 N -62,5 O.

Por otra parte, el siglo XIX, es el período durante el cual se ha registrado la mayor cantidad de terremotos

destructores con magnitudes iguales o superiores a 7. De todos estos eventos destacan claramente los terremotosocurridos el 26 de marzo de 1812, alrededor de las 16:00 HLV, que remecieron las ciudades de Barquisimeto, San Felipe, Caracas, La Guaira y Mérida, dejando tras de sí un trágico saldo de víctimas, el cual es imposible determinar con exactitud, enormes pérdidas materiales y graves daños a la infraestructura urbana de las poblaciones afectadas. El proceso de reconstrucción tras estos eventos se dilató a lo largo de las seis décadas siguientes a los terremotos, ya que sus efectos se sumaron a los de la Guerra de Independencia y contiendas posteriores. Choy *et al.,* (2010) establecen tres eventos bien diferenciados ocurridos aquel lejano Jueves Santo, a saber: el evento que sacude Barquisimeto-San Felipe 7,4±0,35, con epicentro en 10,2 N -68,95 O; el sismo que afecta Caracas-La Guaira 7,1±0,33, con epicentro en 10,60 N -67,10 O; y finalmente, el evento local que ocurre en la ciudad de Mérida 6, con epicentro en 8,65 N -71,05 O. Estos eventos considerados en su conjunto, configuran sin duda alguna, el desastre nacional por excelencia.

El sismo que sacudió Lobatera y otras poblaciones situadas en el actual estado Táchira, la mañana del 26 de febrero de 1849 a las 5:30 HLV, tuvo una magnitud estimada en 6,35±0,63 y se ha señalado un probable epicentro en las coordenadas 8,05 N -72,25 O (Palme *et al.,* 2005). Este evento arruinó la población de Lobatera y causó daños en diversos grados en Táriba, La Grita, San Cristóbal y Maracaibo. El saldo fatal del terremoto osciló entre 40 y 50 fallecidos y muchos heridos.

El terremoto tsunamigénico que sacudió Cumaná a las 14:25 HLV, del 15 de julio de 1853, tuvo una magnitud estimada en 7,2-7,4 (Audemard, 1999) y su epicentro se ubicó en las coordenadas 10,5 N -64,58 O (Rodríguez *et al.,* 2006). Las consecuencias del sismo de 1853 resultaron dramáticas para la ciudad de Cumaná que atravesaba un período de florecimiento económico y urbano que finalizó abruptamente a causa de dicho evento: la violencia del terremoto prácticamente arruinó la ciudad, provocando daños graves en templos, casas, fábricas y cuarteles.

El sismo transfronterizo de Cúcuta ocurrido el 18 de mayo de 1875; a las 11:30 HLV, magnitud 6,75±0,15 y probable epicentro en las coordenadas 7,844 N -72,464 O (Galán *et al.,* 2016) Este sismo, afectó a varias poblaciones venezolanas ubicadas en la región andina, particularmente a San Antonio, Ureña, San Juan de Colón, Lobatera y Michelena, así como a La Mulata, San Cristóbal, La Grita y otros pueblos de los estados Táchira y Mérida, causando grandes pérdidas materiales y humanas.



Foto 2: Terremoto de Cúcuta 18 de mayo de 1875.
Fuente: Servicio Geológico de Colombia.

El terremoto del 12 de abril de 1878; 20:41 HLV, con una magnitud estimada en 5,7±0,4 y probable epicentro en las coordenadas 10,12 N -66,81 O (Vargas *et al.,* 2017), sacudió un total de 16 poblaciones ubicadas a los largo de la región centro-norte de Venezuela, siendo la región de Los Valles del Tuy las más afectada por el terremoto. Los efectos más graves se registraron en la ciudad de Cúa, donde la mayor parte de las construcciones sufrió daños de moderados a sustanciales, presentándose el colapso de gran parte de los edificios de esta población. Con respecto a los fallecidos, se reportaron al menos 300 víctimas fatales y muchos heridos graves. Así mismo, se registraron efectos geológicos como el crecimiento considerable de quebradas, licuación, grietas, eventos de desestabilización de taludes y lateral *spread*.

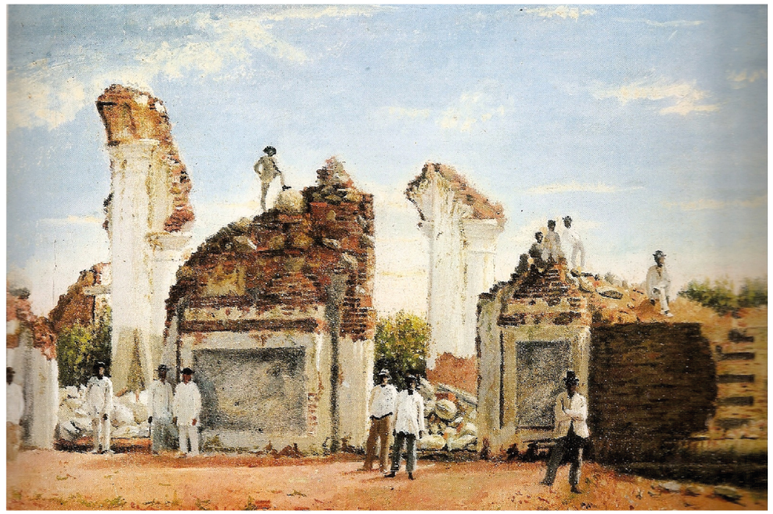


Foto 3: Ruinas de la Iglesia de Cúa, Valles del Tuy, después del Terremoto de 1878. Obra de Cristóbal Rojas (1882).

El gran terremoto de Los Andes, uno de los eventos sísmicos más importantes y destructores en la historia de esta región, ocurrió el 28 de abril de 1894; 22:15 HLV, tuvo una magnitud estimada en 7,56±0.33 y un probable epicentro ubicado en 8,7 N -71,7 O (Palme *et al.,* 2005). El evento ocasionó movimientos de remoción en masa y perturbaciones a los cuerpos y cursos de agua de la zona, fenómenos que profundizaron los daños en carreteras, puentes y vías férreas. La destrucción provocada por el sismo en las poblaciones andinas fue muy extendida. El saldo fatal del sismo fue de 319 víctimas mortales y un número indeterminado de heridos.



Foto 4: Iglesia de Belén, ciudad de Mérida, 28 de abril de 1894.

El sismo tsunamigénico del 29 de octubre de 1900; 4:41 HLV, afectó principalmente a las poblaciones ubicadas en el centro norte costero de Venezuela, es quizás uno de los terremotos más grandes ocurridos en el país. La magnitud del sismo de 1900, ha sido estimada en 7,6 y su epicentro se ha ubicado en las coordenadas 10,8 N -66,25 O (Vásquez *et al.,* 2018). Este terremoto fue ampliamente sentido en el territorio nacional, desde Táchira hasta Carúpano y sus efectos (víctimas, daños y efectos cosísmicos) se reportaron en 83 poblaciones venezolanas, registrándose las intensidades más altas en las regiones capital y oriental.



Foto 5: La Guzmania, Macuto, La Guaira. Fuente: El Cojo Ilustrado, Caracas (1900).

Iniciado el siglo XX, el terremoto ocurrido el día 17 de enero de 1929 a las 7:23 HLV, sacudió la ciudad de Cumaná y otras poblaciones del oriente del país. Este evento con una magnitud estimada en 6,9 y un epicentro ubicado en las coordenadas 10,5 N -64,5 O (CERESIS, 1985) dejó a Cumaná prácticamente en ruinas; sus principales edificios quedaron destruidos o sumamente deteriorados. El sismo dejó un saldo fatal de unos 50 fallecidos y alrededor de 800 heridos. Los efectos de este terremoto resultaron particularmente trágicos ya que Cumaná atravesaba un período de prosperidad y esplendor urbano que terminó abruptamente a causa del evento sísmico del 17 de enero.



Foto 6: Terremoto de Cumaná del 17 de enero de 1929.
Fuente: Diario La Esfera, Caracas (1929).

El sismo del 14 de marzo de 1932, ocurrió a las 15:40 HLV, con una magnitud estimada en 6,5±0,31 y un epicentro localizado en 8,3 N -72,0 O (Palme *et al.,* 2005). Afectó varias poblaciones a lo largo de los andes venezolanos, fue sentido con fuerza en algunas localidades colombianas. Este evento ocasionó diversos daños en viviendas y otros edificios, así como derrumbes y agrietamientos en el área epicentral.

El terremoto de El Tocuyo del 3 de agosto de 1950, ocurrió a las 17:50 HLV CON magnitud estimada en 6,93±0,32, y epicentro en las coordenadas 9,41 N -69,92 O (Vásquez *et al.,* 2020), ocasionó severos daños en la ciudad de El Tocuyo así como en varias poblaciones de los estados Lara y Portuguesa, afectando alrededor de 55 poblaciones en el centro y occidente del país. Adicionalmente, se registraron diversos efectos geológicos como derrumbes, deslizamientos, grietas y alteraciones en los cursos de agua de la región. Este sismo no solo fue el evento más destructor ocurrido en el occidente venezolano durante el siglo XX, sino también, el desastre sísmico más significativo padecido por El Tocuyo en toda su historia.



Foto 7: Casas destruidas en El Tocuyo. Fuente: Archivo Audiovisual Diario El Impulso, Barquisimeto (1950).

El sismo del 29 de julio de 1967, 20:05 HLV; sacudió la ciudad de Caracas en plena celebración de su cuatricentenario. El evento tuvo una magnitud 6,6 y epicentro localizado en 10,77 N -67,1 O (Suárez y Nábělek, 1990). El terremoto ocasionó daños en diversos grados en la región capital, siendo ampliamente sentido en el centro norte del país. Se registraron pérdidas materiales por un valor de 100 millones de dólares, al valor de la época 274 fallecidos y más de 2.000 heridos (Grases, 1990). Debido al sismo, se presentaron efectos geológicos locales en el valle de Caracas y sus inmediaciones, en Güigüe, al sur del lago de Valencia y deslizamientos en la Cordillera de la Costa. Este evento fue el primer terremoto destructor que afectó a la ciudad de Caracas cuando esta se encontraba en pleno proceso de verticalización, y de expansión urbana y demográfica. Debido al contexto histórico, el sismo de 1967 ha sido el primer evento en tener importantes consecuencias científicas e institucionales; por una parte, el estudio de la distribución de daños dio un impulso determinante a los estudios de microzonificación sísmica; y por la otra, se produjo la creación de Funvisis, en 1972, a fin de monitorear y estudiar la amenaza sísmica en Venezuela.



Foto 8: Escombros del edificio Mijagual.
Fuente: Comisión Investigadora del Sismo (1967).

El último sismo destructor del siglo XX en Venezuela, fue el evento que afectó a la población de Cariaco y otras localidades del oriente venezolano, el 9 de julio de 1997; 15:23 HLV, con una magnitud 6,9 y epicentro en 10,54 N -63,51 O (Audemard, 1999). El terremoto causó el derrumbe total o parcial de algunas edificaciones incluyendo el liceo “Raimundo Martínez Centeno” y la escuela “Valentín Valiente”, ambas ubicadas en Cariaco; cinco edificios de concreto armado colapsaron, y alrededor de 2.000 viviendas se vieron gravemente afectadas. Los daños materiales se estimaron en 53 millones de bolívares de la época aproximadamente. El saldo del terremoto fue de 73 víctimas fatales, 531 heridos y cerca de 7.000 damnificados. A raíz del sismo de Cariaco, Funvisis creó el programa Aula Sísmica Madeleilis Guzmán, para llevar a cabo la formación preventiva de aquellas comunidades que son particularmente vulnerables ante la amenaza símica.



Foto 9: Colapso parcial del edificio del Banco Orinoco, Cariaco.

El 12 de septiembre de 2009, a las 15:36 HLV, ocurrió un terremoto al Este de Tucacas de magnitud 6,4 con epicentro en 10,831 N -67,911 O (Funvisis, 2009), a una profundidad de 5,8 km. El sismo fue sentido en los estados Carabobo, Falcón, Aragua, Miranda, Zulia y en el Distrito Capital. En Caracas, el sismo se presentó acompañado de lluvias torrenciales, tormenta eléctrica y granizo. Se reportaron daños de moderados a graves en la zona epicentral. No se registraron pérdidas humanas pero sí alrededor de 14 personas con heridas leves.



Foto 10: Alineación de volcanes de arena (Fenómeno de licuación de suelos) en calle residencial del sector Playa Sur de Chichiriviche. Sismo del 12 de septiembre de 2009.Fuente: Javier Oropeza (2009).

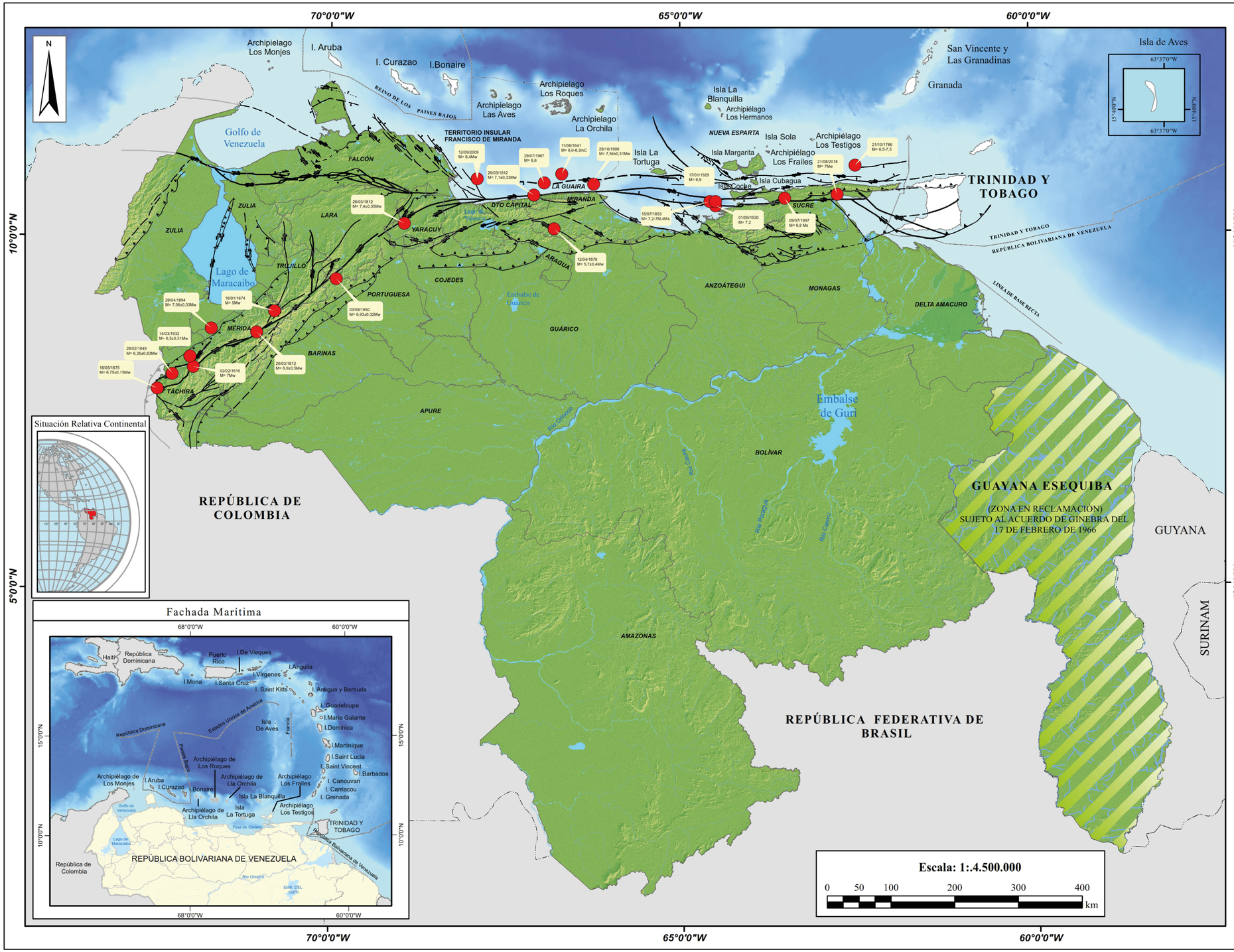
Uno de los sismos más importantes de los últimos cien años, en Venezuela, ocurrió el 21 de agosto de 2018, a las 17:31 HLV, con una magnitud 7 y epicentro en 10,593 N -62,764 O (Funvisis, 2018). El sismo fue sentido en Venezuela, Antillas Menores, Trinidad y Tobago, Colombia, Brasil, Guyana y Surinam. En Venezuela se reportaron daños de leves a moderados, mientras que en Trinidad y Tobago, ocurrió un corte del servicio eléctrico y de comunicaciones, y se reportó daños en diversas infraestructuras. Por otra parte, el sismo del 21 de agosto de 2018 presentó características similares en cuanto a localización, magnitud, profundidad y área de percepción a las del terremoto del 21 de octubre de 1766.

A modo de reflexiones finales, cabe destacar que algunos de los eventos aquí descritos, conservan muchas características que un frío guarismo como la magnitud, no revela. Los primeros eventos correspondientes al siglo XVI esencialmente han sido recogidos por cronistas, sacerdotes que llevaban escritas la vida de su orden religiosa desde lo que compraban, hasta los fenómenos naturales que los afectaban. Clásico es el fenómeno de La Playa y el "desvolcanamiento del valentísimo cerro" asociados al sismo de 1610. Estos terremotos resultan de difícil interpretación, pues van desde la lectura paleográfica hasta la interpretación simbólica, que en la época colonial y un poco más allá eran fenómenos atribuidos a la ira divina.

Es a partir de sismos como 1853, 1875 y 1894 en la que intervienen figuras de las letras como José Ignacio Lares, trujillano y su "Óbolo para los Andes", preparado en muy corto tiempo para el sismo de 1894 y las fotografías de los destrozos en el estado Mérida, obra de Romero González (Pilonieta, 2003). Entre este grupo figura el no menos conocido, Don Tulio Febres Cordero, que hábilmente combinaba literatura, con catalogación de sismos andinos, enumerados en su Cronicon Sísmico, hasta la publicación de recetas de gastronomía emeritense. Ya para finales del siglo XIX y a principios del XX, será el alemán W. Sievers, geógrafo y geólogo que escribirá su informe sobre el mismo con información enviada a la Universidad de Giessen, Alemania, por nombrar alguno, y el amplísimo material hemerográfico existente en prensa de la época, como la Opinión Nacional.

Estos tres ejemplos conducen a sostener que el uso de la sismología histórica, como disciplina abocada a estimar los parámetros sísmicos básicos de los terremotos preinstrumentales, requiere una paciente labor de estudiar e incorporar información con la que determinar: parámetros sísmicos, tener idea de la respuesta del suelo a la solicitación sísmica y el efecto sobre la naturaleza y sobre la población.

SISMOLOGÍA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

Mapa 2: SISMOS HISTÓRICOS CON MAYOR REPORTE DE DAÑOS ENTE 1530 Y 2018

Características del evento

Ubicación Epicentral

21/08/2018 M= 7Mw — Fecha de Ocurrencia y Magnitud

Tipología de Fallas

Inferida

Inversa

Dextral Continua

Sinestral Discontinua

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 7.000

Proyección y Coordenadas: 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. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática

Alejandra Leal Guzmán y José A. Rodríguez

Terremoto del 29 de octubre de 1900

Alejandra Leal Guzmán

El terremoto del 29 de octubre de 1900, es uno de los eventos sísmicos más importantes ocurridos en Venezuela. Este sismo ocurrió a las 4:41 HLV (Fiedler, 1988) y su área de percepción abarcó todo el norte del territorio venezolano, fue sentido desde San Cristóbal, en el occidente del país, hasta Cumaná, en el oriente, siendo reseñados sus efectos en Trinidad. Los daños generados por el terremoto se concentraron en la región central, donde se registraron las intensidades más altas, y se propagaron hacia la región oriental. Los daños más graves se observaron en las poblaciones de Macuto (Vargas), Guarenas y Guatire (Miranda) y en Los Roques, localidades para las cuales se estimó una intensidad de IX en la escala de Mercalli Modificada. En la subregión de Barlovento, Edo. Miranda, se documentaron daños graves y la ocurrencia de diversos efectos geológicos, estimándose intensidades VIII-IX en Higuerote y Paparo, e intensidad VIII en las poblaciones de Caucagua, Capaya, Curiepe, San José de Barlovento, Carenero y Puerto Tuy. Según las fuentes de información disponibles, el saldo general del terremoto fue aproximadamente de 57 muertos y 264 heridos (Leal Guzmán *et al.,* 2018).

Los efectos del terremoto de 1900 sobre las construcciones fueron muy diversos, desde las grietas de “pocas significación” y la caída de frisos y elementos no estructurales, pasando por las grietas extensas o “rajas” a todo lo largo del muro; los frecuentes reportes de techos hundidos, caídos, movidos o con las tejas desprendidas; las incontables paredes desplomadas o “abiertas”, las fallas de los muros, hasta el colapso parcial o total de las construcciones.



Foto 11: Casa que ocupaba el templo protestante, Caracas. Fuente: Funvisis.



Foto 12: Demolición de la casa de la esquina de Los Traposos, hacia el suroeste de Caracas. Fuente: Funvisis.

Foto 13: Casa La Ceiba de los señores Morales Hermanos, Macuto.



Foto 14: Calle Jiménez, Guarenas.



Foto 15: Iglesia Matriz, Guatire.

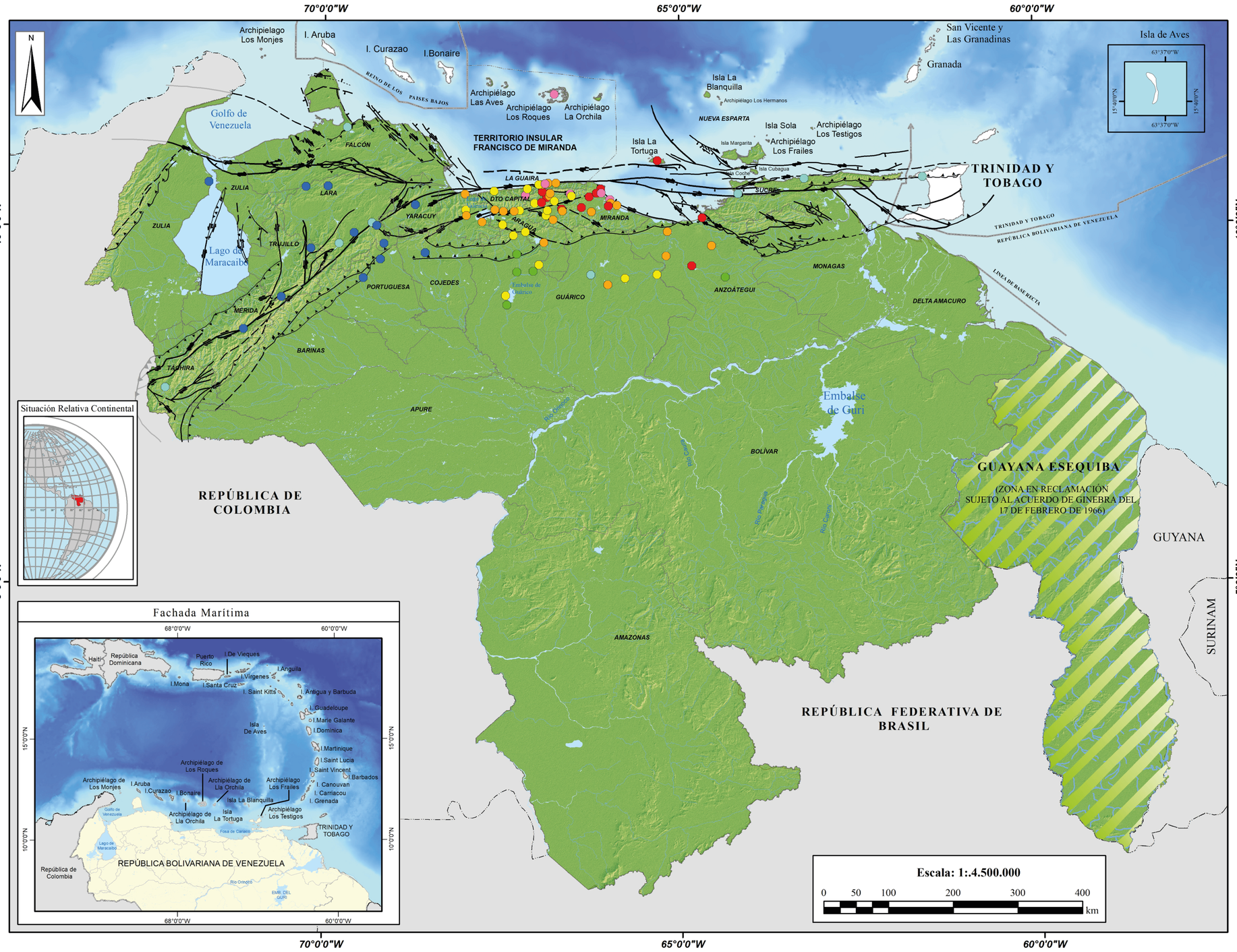


Respecto a los efectos en la naturaleza, el terremoto de 1900, provocó un tsunami que inundó las áreas bajas costeras del litoral de Barlovento y que afectó las costas del estado Anzoátegui, circunstancia que lo convierte en uno de los pocos sismos locales venezolanos con olas tsunami asociadas. Este fenómeno está documentado en Barcelona, Macuto, Paparo, Puerto Tuy, San José de Río Chico (actualmente San José de Barlovento), Río Chico y Los Roques, y ha sido objeto de estudios específicos (Audemard *et al.,* 2012; Audemard *et al.,* 2014 y Audemard & Leal, 2015). Adicionalmente, se identificaron los siguientes efectos cosísmicos: movimientos de remoción en masa, agrietamientos del terreno, lateral *spread*, licuación, subsidencia y anomalías hidrológico-geotérmicas (Rodríguez *et al.,* 2006; Colón *et al.,* 2019; Vásquez *et al.,* 2020).

Recientemente, Vásquez *et al.,* (2018) estimaron la magnitud del terremoto de 1900 en 7,67 La distribución espacial de los efectos del terremoto, sumado a la ocurrencia del tsunami, sugieren que el epicentro es marino, tal como señalan la mayoría de los autores que han estudiado este sismo (Fiedler, 1961, 1968, 1988; Centeno Graü, 1969; Jakubowicz & Larotta, 1974; Lugo, 1984; Palme *et al.,* 2005; Rodríguez *et al.,* 2006; Vásquez *et al.,* 2018) con la excepción de Sievers (1905) que lo coloca en tierra firme, en Barlovento (véase también Palme *et al.,* 2009). En este sentido, Vásquez *et al.* (2018), utilizando diversos métodos proponen un epicentro ubicado en las coordenadas 10,80 N 66,25 O.

Según lo anterior, el origen del terremoto de 1900, se ha atribuido a una ruptura de la falla de San Sebastián (Lugo, 1984; Audemard, 2002), en consecuencia, se considera que este es un evento fundamental para evaluar la amenaza sísmica en la región central del país, esta circunstancia implica la necesidad de una revisión profunda de los aspectos sismológicos del evento, particularmente los parámetros básicos y los efectos de sitio en las diversas poblaciones que resultaron afectadas por este evento sísmico.

SISMOLOGÍA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 3: INTENSIDADES MACROSÍSMICAS DEL TERREMOTO DEL 29 DE OCTUBRE DE 1900

Intensidades

- Debil
- Sentido Ampliamente
- Fuerte
- Daños Leves
- Daños Moderados
- Daños Severos
- Destructivo

Tipología de Fallas

- Inferida
- Inversa
- Dextral Continua
- Sinestral Discontinua

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Proyección y Coordenadas: 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. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática

Alejandra Leal Guzmán

Modelado Numérico, Ejercicio Caribe Wave, Caso Terremoto de 1900

Gloria Romero

En la Octava Sesión del Grupo de Coordinación Intergubernamental de Alerta del Tsunami y Otras Amenazas Costeras para el Caribe y Regiones Adyacentes (ICG/CARIBE EWS VIII) se decidió realizar un ejercicio regional de tsunami cada año en el mes de marzo. Para el CARIBE WAVE 2016 se propuso el escenario de Venezuela simulando el terremoto y un tsunami que ocurrió el 29 de octubre de 1900 y según la base de datos de tsunamis de los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI, anteriormente conocido como NGDC) la altura máxima de ola fue 10 metros.

Este ejercicio de alerta de tsunami siguió el patrón de los ejercicios CARIBE WAVE anteriores. (2011, 2013, 2014 y 2015) y se llevó a cabo para ayudar a la preparación para tsunamis en el Caribe y para validar la comprensión y el uso de los nuevos productos mejorados del PTWC.

Desde Funvisis se llevó a cabo la modelación numérica del tsunami, utilizando la metodología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México y luego comparar con los modelos del Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico (PTWC, por sus siglas en inglés).

Fecha: 17 de marzo de 2016
hora: 14:00 UTC (9:30 HLV)
Magnitud: 8,4
Hipocentro: Latitud= 10.750° y Longitud= -66.000°
Prof= 15 km
Largo de la Falla: 250 km
Ancho de la falla: 60 km
Rumbo= Strike: 97
Buzamiento= Dip: 50
Deslizamiento= Rake: 90

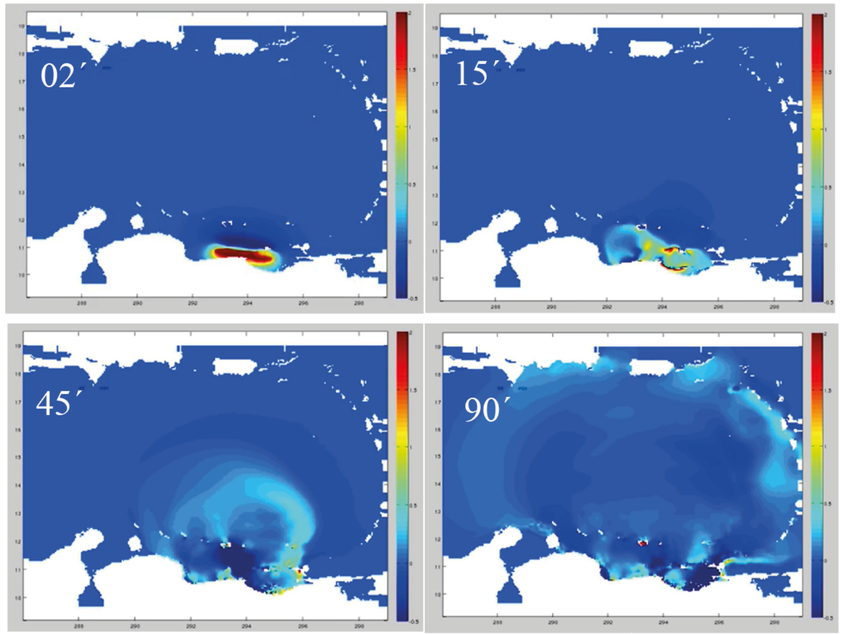


Figura 1: Modelo numérico elaborado por Funvisis.

Evolución de las estaciones sismológicas en Venezuela

Cristóbal Grimán y Juan Munares

Desde 1955, en las instalaciones del Instituto Seismológico y de Mareas Terrestres del Observatorio Juan Manuel Cagigal, funcionaron equipos que captaron movimientos sísmicos dentro y fuera de Venezuela. El análisis de sus registros aportó información fundamental para sustentar los boletines sismológicos que se publicaron y distribuyeron a nivel nacional e internacional, al final de esta década.

El terremoto de Caracas de 29 de julio de 1967, sorprendió a nuestro país, en el cual se contaba con esta sola estación sismológica que presentó desperfectos en algunos de sus equipos y que apenas logró registros en aparatos rudimentarios, que fueron construidos en sus espacios, entre ellos: unos sismoscopios y un sismógrafo para movimientos fuertes.

En el transcurso de 1969 para ampliar la cobertura sísmica en el territorio nacional se instalaron estaciones sismológicas convencionales en Cumaná (estado Sucre), Lagunillas (estado Zulia) y Mérida (estado Mérida), luego se incorporaron Santo Domingo (estado Mérida) y El Tocuyo (estado Lara), a mediados de los años setenta se instaló la primera estación telemétrica en Venezuela en la hacienda La Siria (estado Miranda).

La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis), luego de su creación en 1972, tomó gradualmente las riendas en la materia y en el Plan Básico para las Investigaciones Sísmicas en Venezuela, que publicó en octubre de 1974, estableció: “La ampliación y operación de la Red Sismológica Nacional, con miras a la creación de un Servicio Sismológico Nacional”.

El acta de transferencia de la edificación y equipos del Instituto Seismológico y de Mareas Terrestres a Funvisis, se firmó en 1982, en esta misma década se instalaron estaciones telemétricas para integrar la Red Nacional de Estaciones Sismológicas en: El Observatorio Juan Manuel Cagigal (Distrito Capital), El Volcán y El Bautismo (estado Miranda), Los Roques (Archipiélago Los Roques), Las Ollas, Guacamaya y Maracay (estado Aragua), Platillón (estado Guárico), cerro El Oso (estado Cojedes), Fila de Sacuragua y Morrocoy (estado Falcón) y Valle de Guanape (estado Anzoátegui).



Foto 16 y 17: Estación sismológica satelital en Belén.
Fuente: Funvisis.

Asimismo, se instalaron estaciones repetidoras en: Cerro Antonio (estado Falcón), Altos de Irapa, El Ávila (Distrito Capital) y en Altos de Pipe (estado Miranda). Además de estaciones sismológicas convencionales en: Laguneta (estado Lara) y El Llanito (estado Miranda), en donde también funcionó desde 1986 la estación central telemétrica. La generalidad del instrumental que se utilizó en Venezuela se fabricó en los Estados Unidos.

El terremoto de Cariaco de 1997, sorprendió la Red Sismológica Nacional en una situación desfavorable debido a que muchos de los equipos se encontraban en el límite de su vida útil. El sismo se registró en todas las estaciones sismológicas, pero las señales fueron saturadas por la magnitud del evento.

Luego de este movimiento sísmico fuerte, se inició la gestión, ante los diferentes ámbitos gubernamentales, de los fondos que se requerían para la modernización de la red sismológica y en el 2000 hasta 2014, se construyeron 34 estaciones satelitales de banda ancha que formaron parte de la Red Sismológica Nacional.

El Servicio Sismológico Venezolano (SSV) representa hoy en día una herramienta de seguridad ciudadana, considerando que más del 90 % de la población venezolana se asienta sobre zonas de alta amenaza sísmica.

La operación de este importante sistema se basa en el correcto funcionamiento de un conjunto de equipos y sistemas especializados, que permiten mantener un monitoreo continuo y permanente las 24 horas del día, todos los días del año sobre la actividad sísmica del país y de la región Caribe, así como el almacenamiento, procesamiento y distribución de la información a través de un robusto y confiable centro de datos, este conjunto, instrumentación y cómputo, permiten ofrecer un servicio sismológico de calidad a la colectividad en general y al personal científico de Funvisis, lo cual satisface las necesidades de información inmediatas a la ocurrencia de un evento sísmico y posteriores a este para su estudio en detalle, constituyendo un aspecto clave para la atención de un estado de emergencia o de alarma, que pueda afectar la totalidad de los sectores que integran la estructura socio-productiva del país.

Sin embargo, en los últimos años muchas estaciones han sido objeto de hurtos de los equipos instalados en el arreglo satelital, aunado a las restricciones impuestas a la adquisición de instrumentos y compra de repuestos lo cual han influido en la disminución del número de estaciones sismológicas y su adecuado funcionamiento.

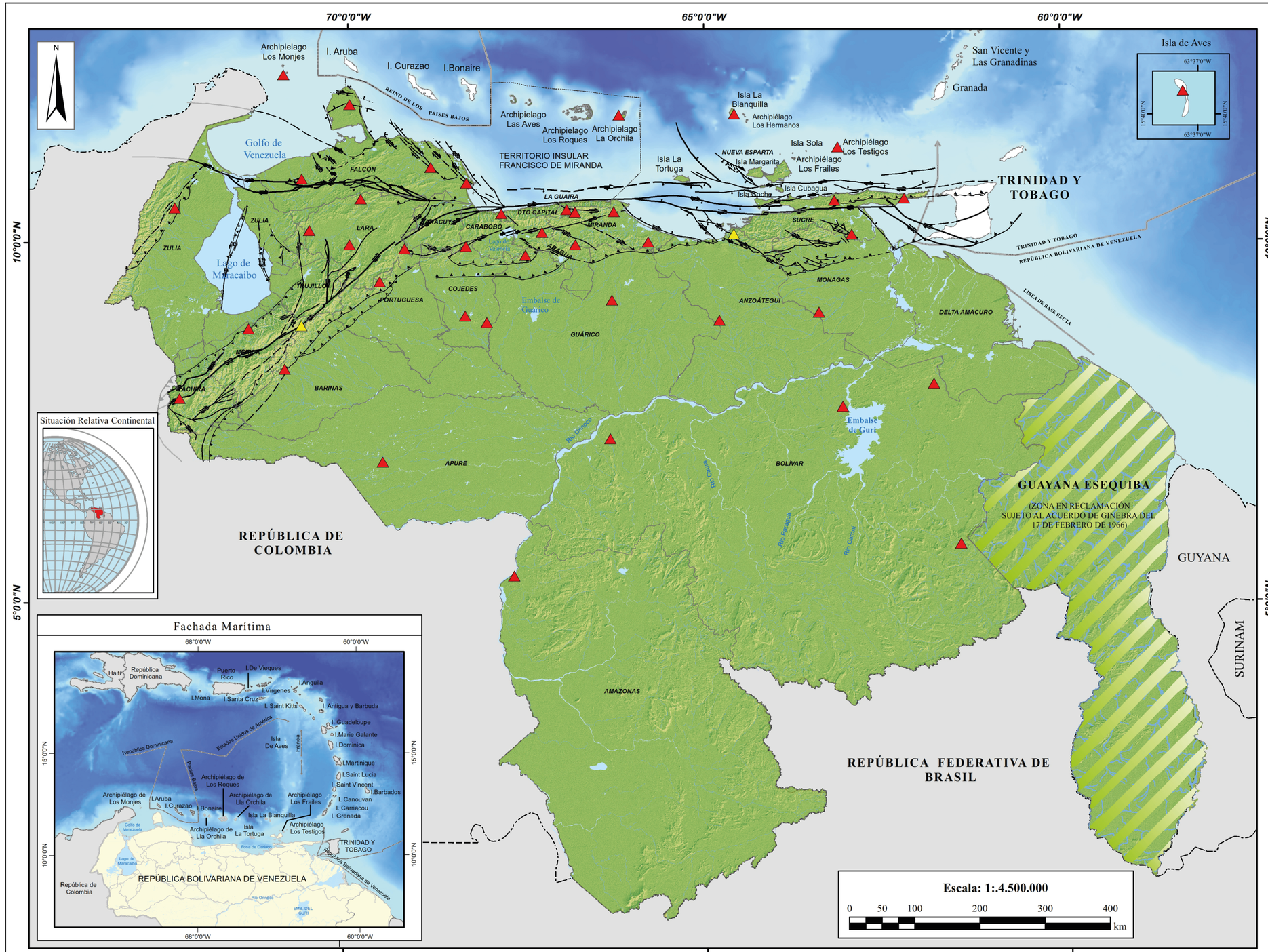


Foto 18 y 19: Sismómetro de medición. Fuente: Miguel Castro (2019).

Foto 20, 21, 22 y 23: Antena de transmisión y sistema de energía (abajo a la derecha). Fuente: Miguel Castro (2019) .



SISMOLOGÍA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 4: RED SISMOLÓGICA VENEZOLANA

Estaciones Sismológicas Satélitales

- CTBTO
- FUNVISIS

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

- 0-200
- 200-1.000
- 1.000-2.000
- 2.000-3.000
- 3.000-4.000
- 4.000-5.000
- 5.000-6.000
- 6.000-7.000
- 7.000-8.000
- Más de 7.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: 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 z. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza y Elio Suárez

Autores de la cartografía temática

Departamentos Técnicos de FUNVISIS

Sismicidad instrumental en el territorio nacional y sus adyacencias

Herbert Rendón, Leonardo Alvarado y Gloria Romero

La sismicidad, asociada a una región geográfica o territorio determinado, caracteriza la ocurrencia de los sismos según su distribución espacio-temporal, en conjunción con la magnitud o energía liberada por estos. El término sismo lo referimos acá, independientemente de su tamaño, a cualquier evento de ruptura o dislocación en el medio terrestre y a lo largo de cierto plano de falla. Por su parte, el término terremoto connota a los sismos de mayor magnitud, que potencialmente son capaces de producir daños en las obras de ingeniería cercanas al epicentro.

La sismicidad es una característica propia del medio terrestre, y es la expresión activa de los ambientes tectónicos preponderantes en la región. No obstante, la sismicidad observada estará siempre modulada por las estaciones y redes sismológicas destinadas a captar y medir el movimiento del terreno.

La primera cuantificación del tamaño de los sismos, magnitud, fue dada por Charles Richter en 1935, a partir de la lectura de la máxima amplitud en el movimiento del terreno, registrado en un sismógrafo de torsión Wood-Anderson. La llamada magnitud según la escala de Richter, m_L, hace la lectura de la amplitud alrededor del período de los 0,8 segundos, y aplica a los sismos locales. En la medida que el tamaño de la dislocación crece, el mayor contenido de energía liberado por el sismo se desplaza hacia las frecuencias más bajas, de modo que el nivel de amplitud a los 0,8 segundos no crece, y con ello la magnitud, esto produce el fenómeno de la saturación o agotamiento de la escala, más allá de m_L=6,0. Los períodos cortos acá referidos solo ven una porción del área de falla.

Posteriormente, H. Kanamori en 1977, y en atención al problema de saturación de la escala, hace uso del modelo de dislocación de la falla en términos de un doble par de fuerzas (*double couple*) sin momento neto en el origen. En tal sentido, Kanamori define la magnitud momento M_W, a partir del momento (mecánico) sísmico M_0 asociado a cada par de fuerzas. En términos prácticos, la magnitud momento lleva la medición del nivel de amplitud hacia los períodos más largos (ω→0), logrando estos períodos medir la ruptura total y con ello dar una magnitud con el escalamiento apropiado para darle continuidad a la ya definida escala de Richter.

A nivel global podemos observar cinturones de sismicidad, dados por los epicentros de los sismos asociados, los cuales definen los límites de lo que hoy conocemos como placas tectónicas. La interacción entre estas placas crea un campo de deformación y esfuerzos; eventualmente, dicha deformación vencerá las fuerzas de fricción interna, dando lugar a la liberación de esa energía de deformación en términos de un episodio sísmico. La totalidad de estos episodios sísmicos, generados en un tiempo determinado, define la sismicidad.

La sismicidad instrumental medida a partir de los sismos ocurridos en el territorio venezolano y zonas adyacentes, expresada en el catálogo sísmico nacional, la podemos dividir en cinco etapas según la instrumentación disponible en el país, a saber:

1. 1889 – 1954: período NO instrumental para Venezuela. La era de la instrumentación sismológica a nivel global nace con la detección y registro de un primer terremoto, el cual tuvo lugar en Japón a las 2h y 7m del 18 de abril de 1889. Este terremoto fue registrado telesísmicamente en las estaciones de Postdam y Wilhemshaven de Alemania. De tal modo que, los sismos de mayor magnitud que venían ocurriendo en el territorio nacional ya podían ser detectados en la escala global. En este período se tienen contabilizados 81 eventos sísmicos. Debemos acotar que para Venezuela en 1900 hubo un primer sismo registrado en el observatorio Kew de Inglaterra pero no aportó localización y magnitud alguna.

2. 1955 – 1979: en 1955 se instala en Venezuela el primer sismómetro en las instalaciones del Observatorio Juan Manuel Cagigal. El primer sismo reportado por esta estación tuvo lugar el 19 de marzo de 1959, con el

llamado sismómetro de Wichert, con una masa de una tonelada. Esta estación sirvió para captar el terremoto de Caracas de 1967, M=6,5. Para 1979 se tienen en operación 9 estaciones sismológicas con operadores en el sitio. Para este período se tienen contabilizados 1.342 eventos sísmicos. Durante este tiempo, el Observatorio Cagigal pone en práctica el cómputo de la magnitud MC (C por Caracas) equivalente a la magnitud m_b (Fiedler, 1978), según la siguiente expresión: MC=mb=0.82(Q_V+〖log〗_10 (2πA/GT)), donde A y T, Amplitud y Período y G, Ganancia Instrumental y Q_V, Corrección por distancia.

3. 1980 – 2000: posteriormente, a comienzos de la década de los 80, y a partir de la creación de Funvisis, se inicia el desarrollo del proyecto de la "Red Sismológica Venezolana con Apertura Continental (Resvac)", con la instalación de un número importante de estaciones de corto período de una sola componente (vertical). En esa misma década, también tuvo su desarrollo la Red Sismológica de Petroleos de Venezuela, S. A. en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (Rescolm). Entre ambas redes totalizaron 35 estaciones en el territorio nacional. Para el presente período se tienen contabilizados 6.018 sismos. Durante este lapso se desarrollaron e implementaron relaciones regionales para el cálculo de la magnitud, apoyado en la duración de la coda, en segundos (Ramos, 1986), a saber: m_d=1,95 log(d)-0,68 en la región central y m_d=2,46 log(d)-2,22 en la región occidental.

4. 2001-presente: la ocurrencia del terremoto de Cariaco en 1997 (M_W=6,7), propició la consiguiente inversión para la incorporación de hasta 34 estaciones de banda ancha (*Broad-Band*), de tres componentes de última tecnología y a nivel nacional, basadas en la transmisión de datos a partir de enlaces satelitales. Del mismo modo, dicha modernización contempló cuatro redes locales con estaciones de corto período y la incorporación de dos estaciones pertenecientes a la red internacional para el monitoreo y la no proliferación de ensayos nucleares (CTBTO) ubicadas estas en la represa de Santo Domingo (SDV-AS117) del estado Mérida y la de Puerto La Cruz (PCRV-AS118) en el estado Anzoátegui. Este período contempló la identificación y localización de más 13.700 sismos (Rendón *et al;* 2014).

Para caracterizar una cierta sismicidad dada, bien sea: global, regional o asociada a una falla determinada, debemos acudir a modelos probabilísticos. Después de la remoción de los eventos secundarios (*aftershocks*) tras un evento principal, los sismos remanentes se consideran independientes uno del otro (Bender; 1983). Se acepta que la serie espacio-temporal-magnitud que representa esta sismicidad sigue una ley tipo exponencial, sin memoria para la ocurrencia espacio-temporal, expresada según la Ley de Gutenberg-Richter, a saber: 〖log〗_10 (N_> (m))=a-bm, donde N_> representa la tasa de ocurrencia anual de los sismos con magnitud mayor a m; por su parte, a y b representan los parámetros estadísticos derivables y ajustados a la población de sismos observados (catálogo sísmico). El valor b está relacionado a las asperezas en el plano de falla y a las condiciones de esfuerzos presentes en el medio terrestre, lo que lo hace un parámetro de importancia en los estudios de la Amenaza Sísmica. Posteriormente, estos valores ya obtenidos de a y b servirán para determinar la magnitud de completitud del catálogo m_MIN y el valor de magnitud máxima m_MAX, esperado para el objeto bajo estudio: globo terráqueo, región o falla.

El análisis de la sismicidad cortical a nivel nacional reportó para la Ley de Gutenberg-Richter el siguiente resultado 〖log〗_10 (N_> (m))=6,1-0,74m, y a nivel del sector de subducción de la losa litosférica en el oriente venezolano 〖log〗_10 (N_> (m))=6,8-0,91m.

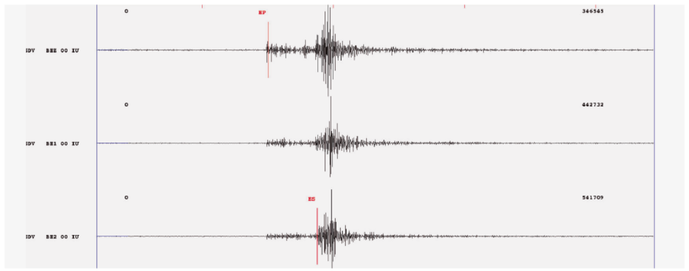
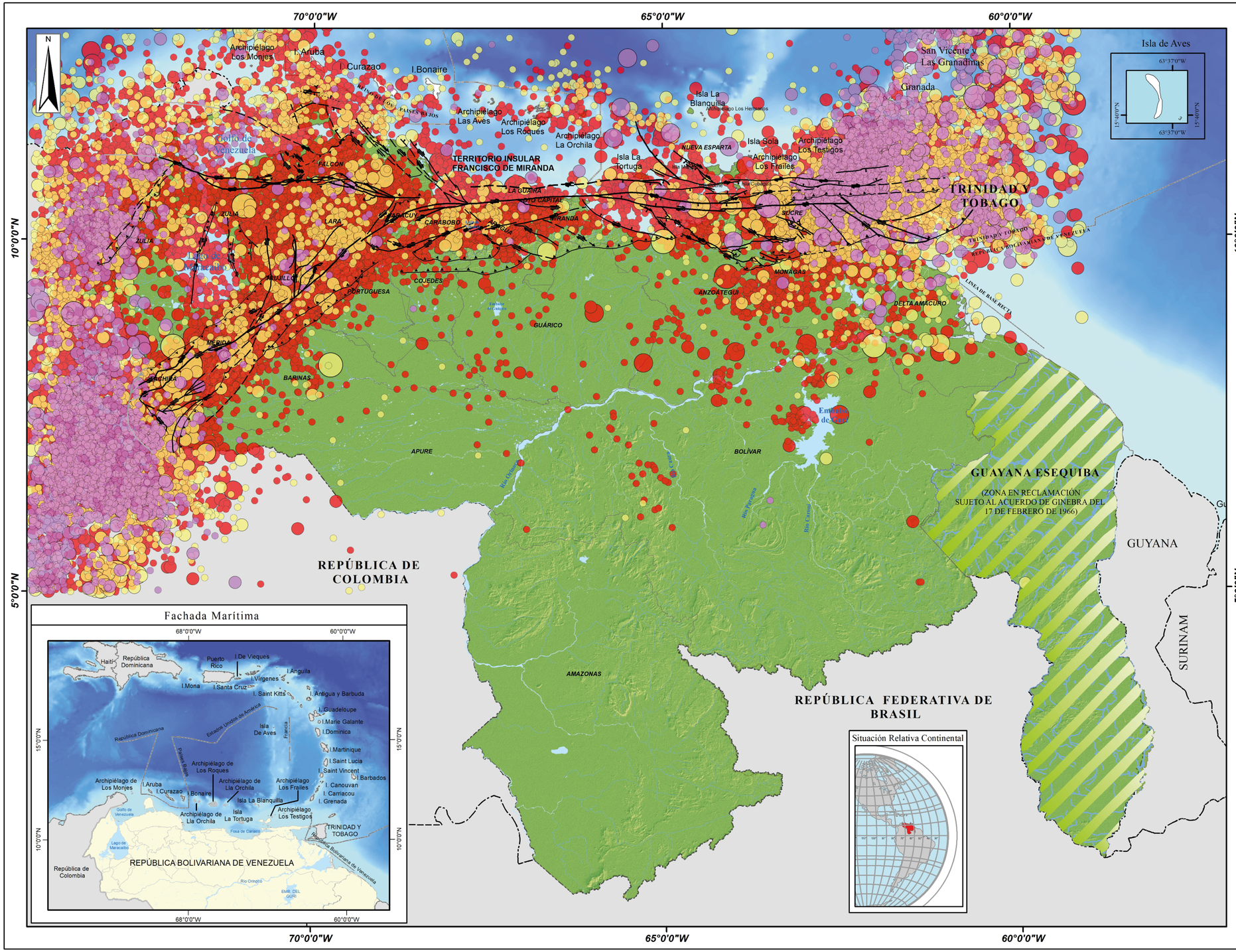


Foto 24: Evento sísmico en tres componentes.
Fuente: Servicio Sismológico Venezolano.

SISMOLOGÍA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 funvisis Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 5: SISMICIDAD INSTRUMENTAL PERÍODO 1910 -2021

Escala: 1:4.500.000

0 50 100 200 300 400 Km

LEYENDA

Prof. < 30 Km	Prof. ≥ 30 y < 80 Km	Prof. ≥ 80 Km
Magnitud (Mw)	Magnitud (Mw)	Magnitud (Mw)
< 4	< 4	< 4
4 - <5	4 - <5	4 - <5
5 - <6	5 - <6	5 - <6
≥ 6	≥ 6	≥ 6

Geología: Fallas activas según tipo

- Inferida
- Inversa
- Dextral Continua
- Sinestral Discontinua

SÍGNOS CONVENCIONALES

- Capital de Estado
- Ríos
- Lagos y embalses
- División estadal
- Límites Internacionales

Hipsometría (m.s.n.m)

Valor

Máx : 4.978 m (Pico Bolívar)

Min: 18 (Lagunillas)

Batimetrría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 7.000

Proyección y Coordenadas: 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. Funvisis 2022

Autores de la Cartografía Temática

Herbert Rendón, Leonardo Alvarado y Gloria Romero, Año 2022

Referencias

Audemard, F. (1999). “Nueva percepción de la sismicidad histórica del segmento en tierra de la falla El Pilar, Venezuela nororiental, a partir de primeros resultados paleosísmicos”, VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Mérida, Venezuela.

Audemard, F. (2007). "Revised seismic history of the El Pilar fault, Northeastern Venezuela, from the Cariaco 1997 earthquake and recent preliminary paleoseismic results" Journal of seismology, 11: 3-26.

Audemard, F. (2002). Ruptura de los grandes sismos venezolanos del siglo XIX y XX revelados por la sismicidad instrumental contemporánea.- Mem. XI Congreso Venezolano de Geofísica, 17 -20 nov. 1985, Caracas: 1-8.

Audemard, F. y Leal, A. (2015). Reliability of first-hand accounts for studyof past tsunami events in northeastern Venezuela (southeasterm Caribbean Sea), since 1530 AD.- 6th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archaeoseismology, 19-24 April. 2015, Fucino.

Audemard, f., Leal, a. y Palme C. (2012). Testimonios históricos de terremotos locales tsunamigénicos en el oriente venezolano.- Mem. VI Jornadas Venezolanas de Sismología Histórica, 26-28 marzo. 2012, Caracas: 66-67.

Audemard, F., Glimsdal, S. y Leal, A. (2014). Local historical tsunamis along northeastern Venezuela, southern Caribbean: tectonic and/or mass wasting induction? First modeling results of strike-slip generation.- International workshop “Mega Earthquakes and Tsunamis in Subduction Zones-Forecasting” Approaches and Implications for Hazards Assessment, 6-8 8 Oct. 2014, Rhodes Isl., Greece.

Bender, B. (1983). Maximum likelihood estimation of b values for magnitude grouped data. Bull Seism Soc Am. 73, No 3, pp 831 -851.

Centeno, M. (1969). Estudios Sismológicos. Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Caracas.

CERESIS (1985). “Catálogo de terremotos para América del Sur. Datos de hipocentros e intensidades. Venezuela”, Vol. 8, Centro Regional de Sismología para América del Sur, Lima, Perú.

Choy, J.; Palme, C., Guada, C., Morandi, M.; KLarica, S. (2010). “Macroseismic interpretation of the 1812 earthquakes in Venezuela using intensity uncertainties and a priori fault-strike information”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 100: 241-255.

Colón, S., Leal, A., Vásquez, R., Rodríguez, J. A., Audemard F. (2019). Análisis macrosísmico del sismo mw~7,6 de San Narciso del 29 de octubre de 1900, aplicando la escala medio–ambiental de intensidad sísmica ESI 2007. Revista de la Facultad de Ingeniería, 34(1): 1-17.

Fiedler, G. (1961). Áreas afectadas por terremotos en Venezuela.- Mem. III Congr. Geol. Venezolano, 22-29 nov. 1959, Caracas, Vol. 4: 1791-1810.

Fiedler, G. (1968). Estudio Sismológico de la Región de Caracas con Relación al terremoto del 29 de Julio de 1967.- Bol. Inst. Material. Model. Estructural, 23-24: 127-222.

Fiedler, G. (1972). “La liberación de energía sísmica en Venezuela, volúmenes sísmicos y mapas de Isosistas”, III Congreso Geológico Venezolano 3, 2441-2462, Caracas, Venezuela.

Fiedler, G. (1978). World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Survey of practice in determining magnitudes of near earthquakes, Part1: North, Central and South America, 91-93 (1978).

Fiedler, G. (1988). “Historical seismograms recorded in Venezuela”. En: Historical seismograms and earthquakes of the world, eds. W. Lee, H. Meyers and K. Shimazaki, 462-466. San Diego: Academic Press.

Fiedler, G. (1988). Preliminary evaluation of the large Caracas earthquake of october 29, 1900, In: Lee, W., Meyers, H & Shimazaki, K. (Eds.) Historical seismograms and earthquakes of the world, San Diego, Academic Press: 201-207.

Galán, R., Gómez, A., Sarabia, A. M., Sánchez, A., Rodríguez, L., Santulin, M. (2016) Cálculo de parámetros físicos del terremoto de Cúcuta de 1875 a partir de intensidades macrosísmicas actualizadas. II General Assembly of LASC-IASPEI-IUGG, San José, Costa Rica, June 20-22, 2016.

Grases, J. (1990) Terremotos destructores del Caribe. 1502-1990. Montevideo: Unesco/Relacis.

Guidoboni, E. y Stucchi, M. (1993). “The contribution of historical records of earthquakes to the evaluation of seismic hazard”. Annali di geofisica, 36(4-3): 201-215.

Jakubowicz, E. y Larotta, J. (1974). Terremoto del 29 de octubre de 1900. Bol. Téc. del IMME, 11: 23-47.

Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. Journal of Geophysical Research, 82: 2981 – 2987.

Lander, J; Lockridge, P (1989) “Catálogo de Tsunamis en el Caribe” National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado, August, 265 pp.

Leal, A., Vásquez, R. Stanescu, Rodríguez, J. A. y Audemard, F. (2018). “Reevaluación del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela. Primera parte: estimación de intensidades”, Geominas, 46(77): 139-154. ISSN: 016-7975

Leal, A.; Vásquez, R. (2018). “El terremoto de 1641 en la ciudad de Caracas. Una aproximación desde la Historia Urbana y la Sismología”, en Memorias de las XXXVI Jornadas de Investigación del IDEC, 166-178. Caracas: IDEC/FAU-UCV.

Lugo, M. (1984). Metodología para la reevaluación macrosísmica de sismos históricos: el caso del terremoto de Caracas del 29 de octubre de 1900. Mem. IV Congr. Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Nov. 1984, Barquisimeto, Vol. I: 187-192.

Mocquet, A. (2007). “Analysis and interpretation of the October 21, 1766 earthquake in the Southeastern Caribbean”. Journal of Seismology, 11(4): 381-403.

O’Loughlin, K. F. y J. F. Lander (2003). Caribbean Tsunamis, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Palme, C., Morandi, M., Choy, J. (2005). Re-evaluación de las intensidades de los grandes sismos históricos de la región de la cordillera de Mérida utilizando el método de Bakun & Wentworth. Revista Geográfica Venezolana, Número especial 2005: 233-253.

Palme, C.; Araguren, R., Leal, A., Choy, J., Guada, C. (2012). “Comentarios acerca del terremoto de La Grita 03-02-1610, estado de las investigaciones”. En Memorias de las VI Jornadas Venezolanas de Sismología Histórica, 22-25. Caracas: Funvisis.

Pérez N, H. (2013). “Plan de la Patria y la Venezuela Azul” aportes para la Comisión de Ciencias Naturales de la Asamblea Nacional 25 de octubre 2013.

Rendón, H. et. al (2014), Depuración y actualización del catálogo sísmico instrumental de Venezuela, BASEVEN, como producto previo al catálogo necesario en los estudios de la Amenaza Sísmica, Informe Técnico Funvisis, FUN-056.

Richter, C. F. (1935) An instrumental earthquake magnitude scale. Bulletin of the Seismological Society of America, 25: 1 – 32.

Rodríguez, L. M., Audemard, F. & Rodríguez J. A. (2006). Casos históricos de licuación de sedimentos inducidos por sismos en Venezuela desde 1530.- Rev. de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., 21(3): 5-33.

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. Fesischrif, 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.

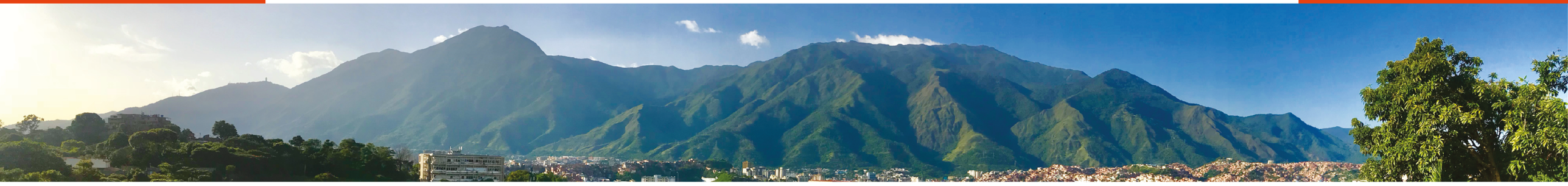
Vásquez, R., Leal N, A., Rodríguez, J. A., Colón, S., Audemard, F., Cabas, M. (2020). Magnitude estimation of the 1900 earthquake in Venezuela based on its coseismic effects. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 872 012034.



PARTE 2

Geología de terremotos





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).

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 de 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 invitado 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, mas 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 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 (DTG) 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 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 no 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.

GEOLOGÍA DE TERREMOTOS

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 georeferenciada.
- 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.

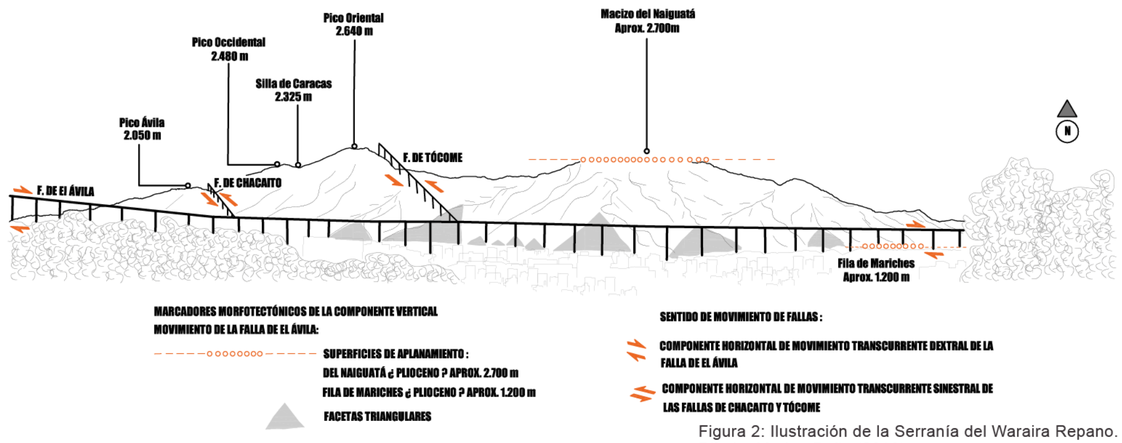


Figura 2: Ilustración de la Serranía del Waraira Repano. Dibujo: Marina Peña (2018).

Mapa neotectónico de Venezuela. Compilador Carlos Beltrán, 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 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 oblícua 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.

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 dos 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 dos 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, Norma Venezolana Covenin 1756-2001 Edificaciones Sismorresistentes (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.

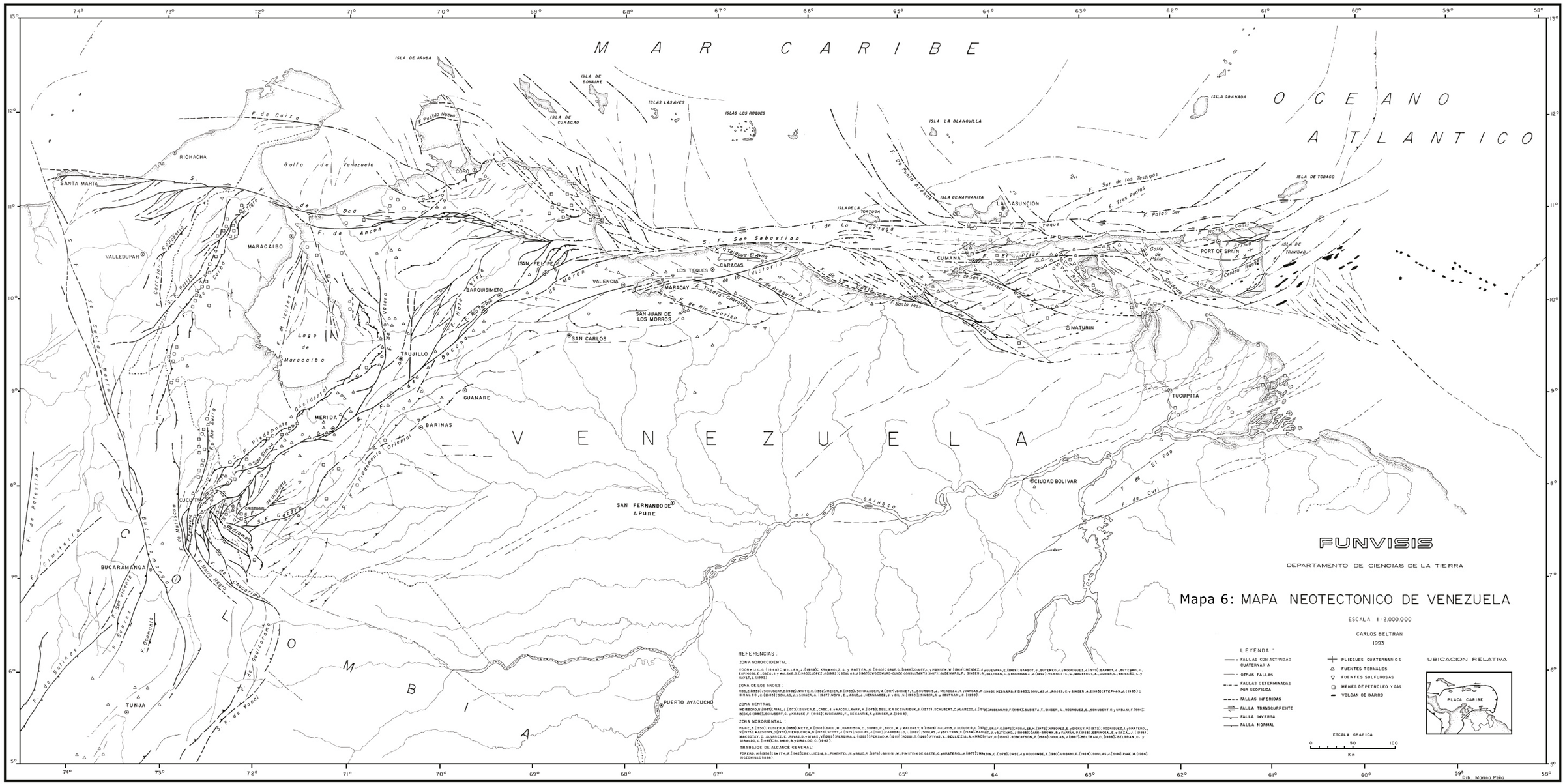


Foto 25: Falla de Boconó, en el Parque Nacional Sierra Nevada, vía nacional trasandina, entre Mucubají y cercanía a la población de Santo Domingo, estado Mérida. Las flechas rojas indican el sentido del desplazamiento, de tipo transcurrente dextral.
Fuente: Luz M. Rodríguez (2012).

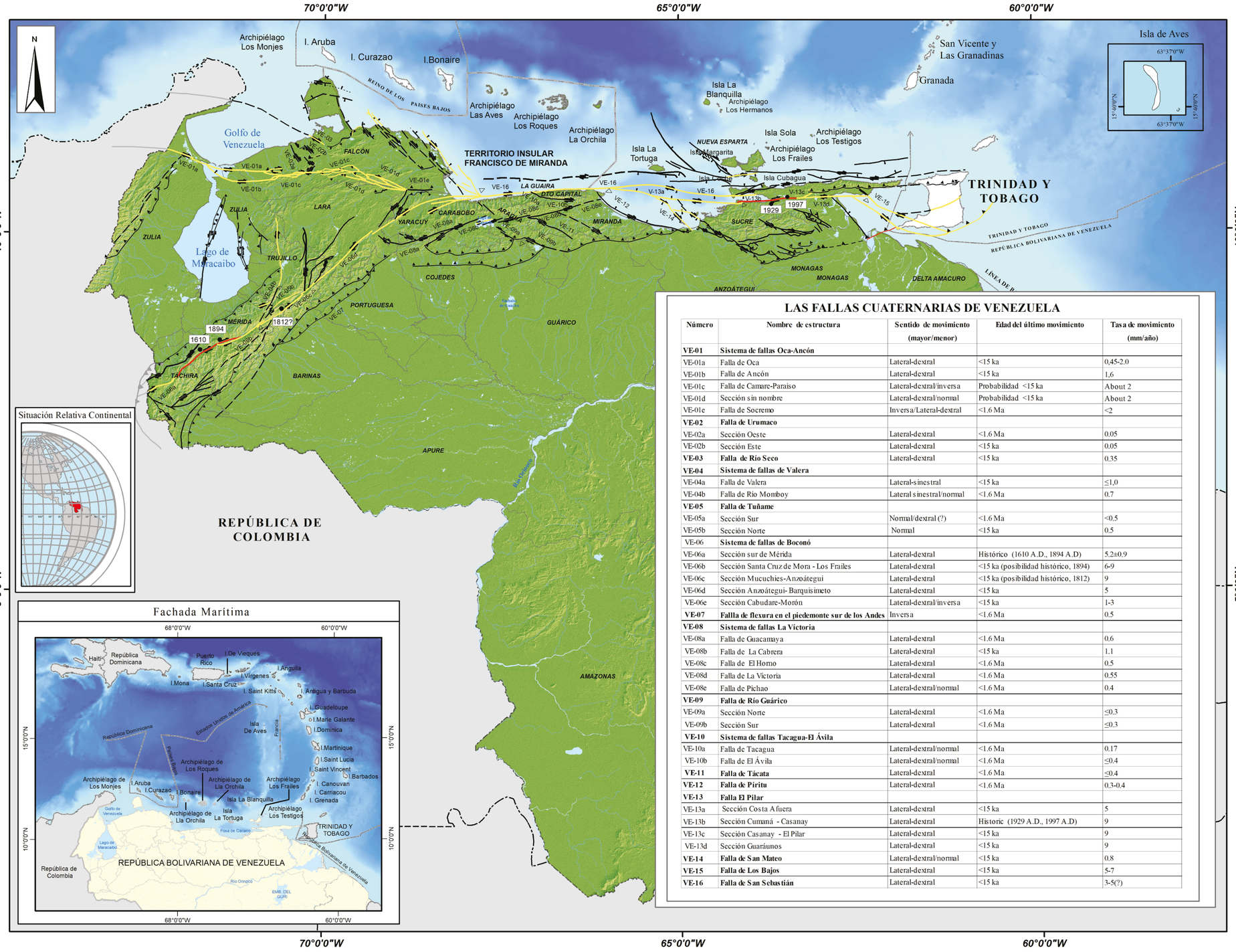


Foto 26: Falla de Boconó, sector Capacho, estado Táchira.
Fuente: André Singer (1993).

GEOLOGÍA DE TERREMOTOS


M A R C A R I B E
O C E A N O
A T L A N T I C O
V E N E Z U E L A
C O L O M B I A
ISLA DE ARUBA
ISLA DE BONAIRE
ISLA DE CURAÇAO
ISLAS LAS AVES
ISLAS LOS ROQUES
ISLA LA BLANQUILLA
ISLA GRANADA
ISLA DE TOBAGO
ISLA DE MARGARITA
ISLA DE TORTUGA
LA ASUNCION
CUMANA
PORT OF SPAIN
MATURIN
TUCUPITA
CIUDAD BOLIVAR
SAN FERNANDO DE APURE
PUERTO AYACUCHO
RIO ORINOCO
RIOHACHA
SANTA MARTA
VALLEDUPAR
MARACAIBO
CORO
VALENCIA
LOS TEQUES
CARACAS
MARACAY
SAN FELIPE
BARQUISIMETO
SAN JUAN DE LOS MORROS
SAN CARLOS
TRUJILLO
GUANARE
BARINAS
MERIDA
CUCUTA
CRISTOBAL
BUCARAMANGA
TUNJA
Golfo de Venezuela
Lago de Maracaibo
F. de Cuisa
F. Pueblo Nuevo
F. de Oca
F. de Ancon
F. Carichuano
F. Pilar
F. Casa
F. de Icotea
F. de Valera
F. Occidental
F. Piedemonte
F. San Simon
F. Boconó
F. Piedemonte Oriental
F. de Palestino
F. Chamita
F. San Vicente
F. Salazar
F. Ocaña
F. de Salinas
F. de Chinácota
F. de Bucaramanga
F. de Santa Marta - Bucaramanga
F. de Boconó
F. de Morón
F. de Victoria
F. de Tacagua - El Avila
S. F. San Sebastian
F. de La Tortuga
F. de Los Bajos
F. de Araguita
F. de Urica
F. de Pirital
F. Santa Inés
F. de Río Guárico
F. Tres Puntas
F. Sur de los Testigos
F. Patao Sur
F. Yaque
F. El Pilar
F. de San Francisco
F. Río San Juan
F. Los Bajos
F. Central Range
F. North Coast
F. de El Pao
F. de Curi
F. de Tenite Arenas
Golfo Paria
Boca del Dragon
Boca de Serpiente
Boca de Huevos
Boca de Capuchino
Boca de Navios
Boca de Pedernales
Boca de Vagre
Boca de Jacuraco
Boca de Tocoma
Boca de Tocuyo
Boca de Yaque
Boca de Ocumare
Boca de Cata
Boca de Guanape
Boca de Uchire
Boca de Unare
Boca de Pao
Boca de Guarapiche
Boca de Manamo
Boca de Macareo
Boca de Tucupita
Boca de Pedernales

GEOLOGÍA DE TERREMOTOS



LAS FALLAS CUATERNARIAS DE VENEZUELA

Número	Nombre de estructura	Sentido de movimiento (mayor/menor)	Edad del último movimiento	Tasa de movimiento (mm/año)
VE-01	**Sistema de fallas Oca-Ancón**			
VE-01a	Falla de Oca	Lateral-dextral	<15 ka	0,45-2.0
VE-01b	Falla de Ancón	Lateral-dextral	<15 ka	1,6
VE-01c	Falla de Camare-Paraiso	Lateral-dextral/inversa	Probabilidad <15 ka	About 2
VE-01d	Sección sin nombre	Lateral-dextral/normal	Probabilidad <15 ka	About 2
VE-01e	Falla de Socremo	Inversa/Lateral-dextral	<1.6 Ma	<2
VE-02	**Falla de Urumaco**			
VE-02a	Sección Oeste	Lateral-dextral	<1.6 Ma	0.05
VE-02b	Sección Este	Lateral-dextral	<15 ka	0.05
VE-03	**Falla de Río Seco**	Lateral-dextral	<15 ka	0.35
VE-04	**Sistema de fallas de Valera**			
VE-04a	Falla de Valera	Lateral-sinestral	<15 ka	≤1,0
VE-04b	Falla de Río Momboy	Lateral sinestral/normal	<1.6 Ma	0.7
VE-05	**Falla de Tuñame**			
VE-05a	Sección Sur	Normal/dextral (?)	<1.6 Ma	<0.5
VE-05b	Sección Norte	Normal	<15 ka	0.5
VE-06	**Sistema de fallas de Boconó**			
VE-06a	Sección sur de Mérida	Lateral-dextral	Histórico (1610 A.D., 1894 A.D)	5.2±0.9
VE-06b	Sección Santa Cruz de Mora - Los Frailes	Lateral-dextral	<15 ka (posibilidad histórico, 1894)	6-9
VE-06c	Sección Mucuchies-Anzoátegui	Lateral-dextral	<15 ka (posibilidad histórico, 1812)	9
VE-06d	Sección Anzoátegui- Barquisimeto	Lateral-dextral	<15 ka	5
VE-06e	Sección Cabudare-Morón	Lateral-dextral/inversa	<15 ka	1-3
VE-07	**Fallla de flexura en el piedemonte sur de los Andes**	Inversa	<1.6 Ma	0.5
VE-08	**Sistema de fallas La Victoria**			
VE-08a	Falla de Guacamaya	Lateral-dextral	<1.6 Ma	0,6
VE-08b	Falla de La Cabrera	Lateral-dextral	<15 ka	1.1
VE-08c	Falla de El Horno	Lateral-dextral	<1.6 Ma	0.5
VE-08d	Falla de La Victoria	Lateral-dextral	<1.6 Ma	0.55
VE-08e	Falla de Pichao	Lateral-dextral/normal	<1.6 Ma	0.4
VE-09	**Falla de Río Guárico**			
VE-09a	Sección Norte	Lateral-dextral	<1.6 Ma	≤0.3
VE-09b	Sección Sur	Lateral-dextral	<1.6 Ma	≤0.3
VE-10	**Sistema de fallas Tacagua-El Ávila**			
VE-10a	Falla de Tacagua	Lateral-dextral/normal	<1.6 Ma	0.17
VE-10b	Falla de El Ávila	Lateral-dextral/normal	<1.6 Ma	≤0.4
VE-11	**Falla de Tácata**	Lateral-dextral	<1.6 Ma	≤0.4
VE-12	**Falla de Piritu**	Lateral-dextral	<1.6 Ma	0.3-0.4
VE-13	**Falla El Pilar**			
VE-13a	Sección Costa Afuera	Lateral-dextral	<15 ka	5
VE-13b	Sección Cumaná - Casanay	Lateral-dextral	Historic (1929 A.D., 1997 A.D)	9
VE-13c	Sección Casanay - El Pilar	Lateral-dextral	<15 ka	9
VE-13d	Sección Guaráunos	Lateral-dextral	<15 ka	9
VE-14	**Falla de San Mateo**	Lateral-dextral/normal	<15 ka	0.8
VE-15	**Falla de Los Bajos**	Lateral-dextral	<15 ka	5-7
VE-16	**Falla de San Sebastián**	Lateral-dextral	<15 ka	3-5(?)

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 funvisis Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 7: FALLAS CUATERNARIAS DE VENEZUELA

Simbología de las fallas activas

Edad de la última ruptura superficial

- 1997 — Histórica (año)
- Holocena (<10.000 años) o post glacial (<15.000 años)
- Cuaternaria, sin diferenciar (<1.600.000 años)

Tasa de desplazamiento

- > 5 mm/año
- 1-5mm/año
- <1mm/año (o desconocida)

Calidad

- Continua a la escala del mapa
- Pobre o disontinua a la escala del mapa
- Inferida u oculta

Tipo de estructura

- Falla inversa o corrimiento (tríangulos en bloque superior)
- Falla de rumbo dextral
- Falla de rumbo sinestral discontinua
- Falla normal (círculo en bloque hundido)

Otros símbolos

- Extremidad de sección de falla

Signos Convencionales

- Lagos, ríos y embalses
- Límites Internacionales
- Batimetría

Hipsometría (m.s.n.m)
Máx : 4.978 m (Pico Bolívar)
Min: 18 (Lagunillas)

Escala: 1: 4.500.000

0 50 100 200 300 400 km

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Restitución del mapa original elaborado en el proyecto de cooperación entre el U.S. Geological Survey (USGS) y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) con el apoyo de Instituto Tecnológico Venezolano de Petróleo (INTEVEP) y Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA)
Diagramación: Dulce Montañez y Luz M. Rodríguez. Funvisis 2022

Autores de la cartografía temática

Franck Audemard, Michael Machette, Jonathan Cox, Richard Dart y K. Haller



Foto 27: Vista aérea de la misión 172 de 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).

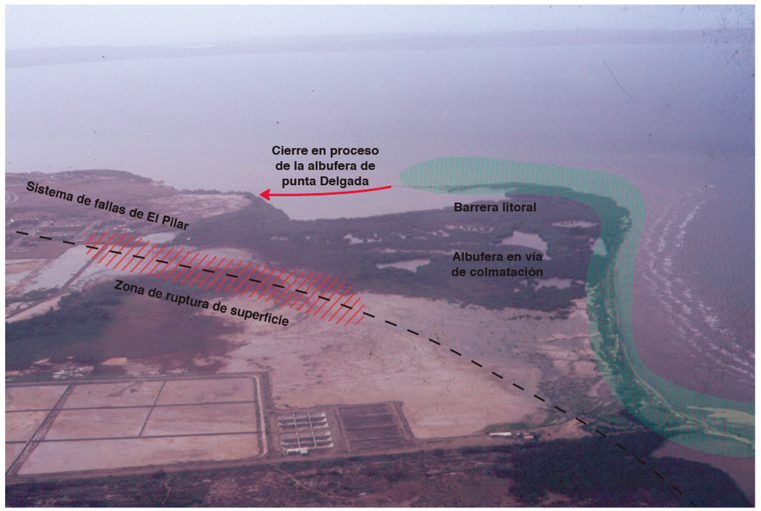


Foto 28: Vista aérea oblicua de la zona aproximada de la ruptura cosísmica del terremoto de 1929 en la parte este de Cumaná (albufera de Punta Delgada previamente a la construcción de la Urb. Gran Mariscal de Ayacucho). Foto interpretada: André Singer en Viete *et al,* (2012).



Foto 29: 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).



Foto 30: Ruptura de superficie del terremoto 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).

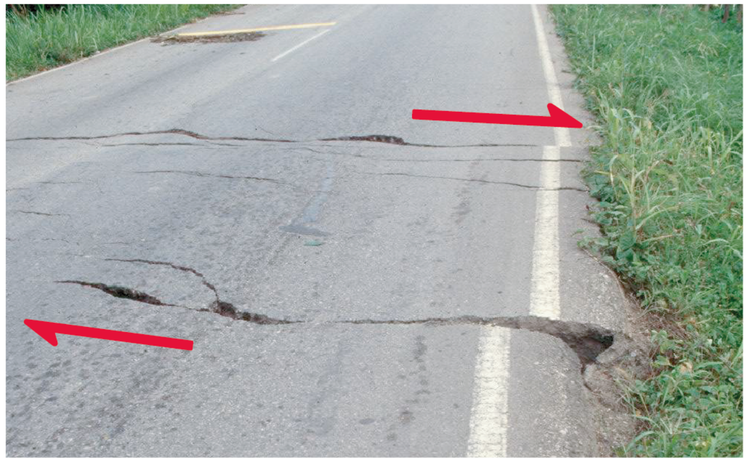


Foto 31: Detalle del desplazamiento de la carpeta asfáltica de la troncal 10 en proximidad a Casanay, (ver foto anterior) por la ruptura superficial del terremoto de Cariaco del 9/07/1997. Las flechas rojas indican el sentido del desplazamiento de tipo transcurrente dextral.
Fuente: Franck A. Audemard (1997).

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 del anterior Ministerio de Obras Públicas (MOP) y del Ambiente (MARNR) desde la década de los 60 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 cronoestratigráficos con base a datos modernos en lo concerniente a formaciones consideradas como



Foto 32: Escarpe de flexura del frente inverso surandino hundiéndose 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 vigente 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.

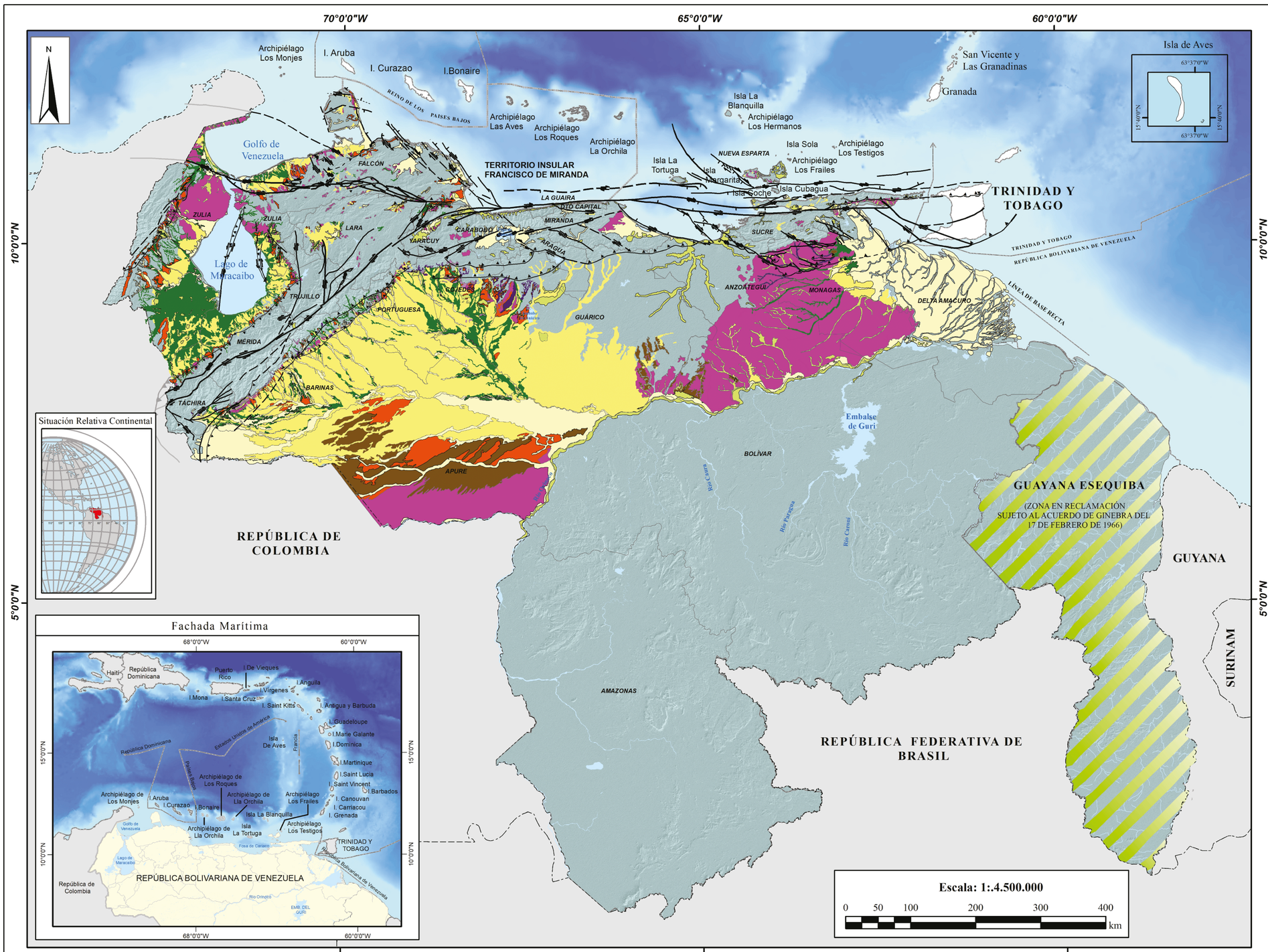


Foto 33: Formación Mesa (Pleistoceno inferior Q4 o Q5 en la Mesa de la Leona), deformado por falla.

Foto 34: Eolianitas del Pleistoceno Q2, deformadas por falla en la cercanía del Cabo San Román.
Fuente: André Singer (1992).



GEOLOGÍA DE TERREMOTOS



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS funvisis 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 8: UNIDADES GEOCRONOLÓGICAS DEL CUATERNARIO VENEZOLANO

Unidades Geológicas

- Rocas pre-cuaternarias
- Holoceno
- Pleistoceno superior
- Pleistoceno medio
- Pleistoceno inferior
- Holoceno a Pleistoceno superior (Discordantes)
- Holoceno a Pleistoceno medio (Discordantes)
- Pleistoceno superior a Pleistoceno medio (Discordantes)
- Holoceno a Pleistoceno inferior
- Cuaternanio Indiferenciado

Tipología de Fallas

- Inferida
- Inversa
- Dextral Continua
- Sinestral Discontinua

Sígnos Convencionales

- Lagos y embalses
- Límites Internacionales

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Proyección y Coordenadas: 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

André Singer, Carlos Rojas y Luz M. Rodríguez. Año: 2022

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 acompañado 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 o 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 ≥ Mw 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.



Foto 35: 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 Tocuyo 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 subparalelas 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 ocho casos reconocidos en la región occidental, cuatro en el centro y trece en el oriente; datos de gran utilidad para ser considerados en los planes de prevención, gestión del riesgo y ordenación de territorio.

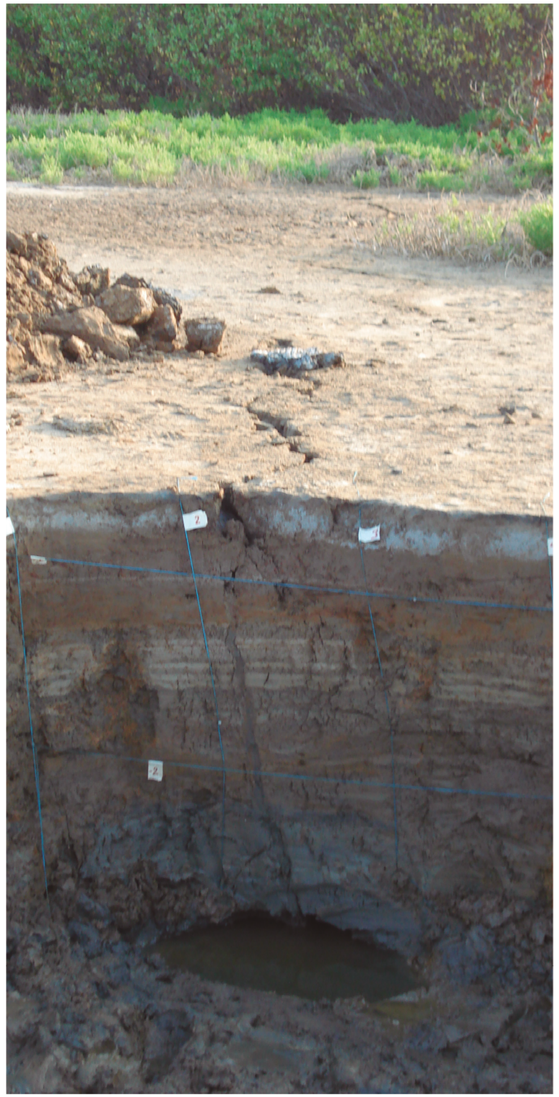


Foto 36: Grieta en el terreno por relajamiento lateral en Boca de Tocuyo en el sismo de Morón del 12 de septiembre 2009.
Fuente: Luz M. Rodríguez (2009).

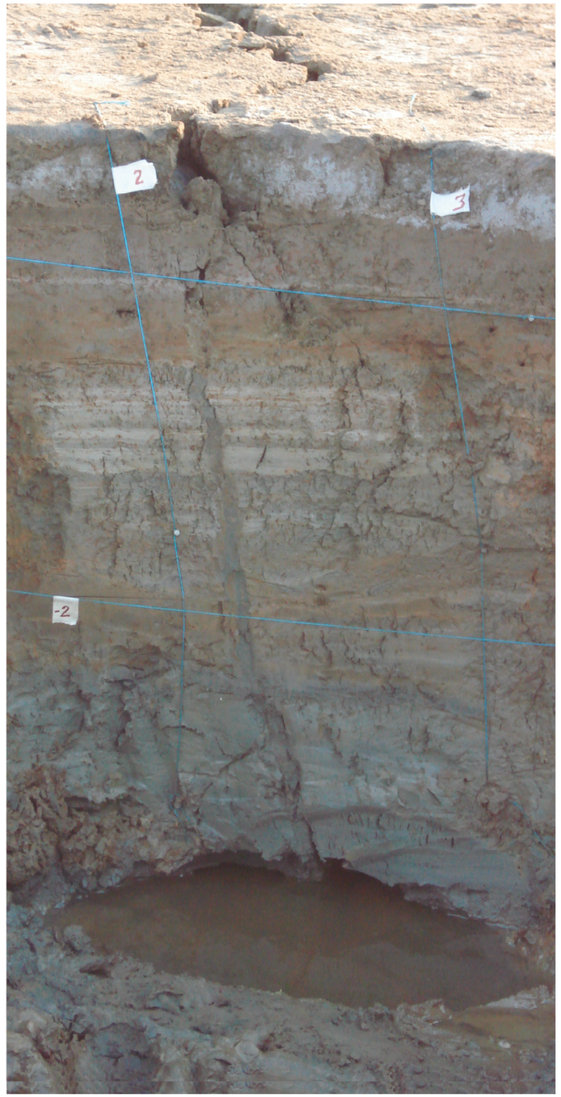


Foto 37: Detalle en pared de calicata, evidenciando la zona licuada de la grieta abierta por relajamiento lateral (ver foto anterior) en el sismo de Morón del 12 de septiembre 2009.
Fuente: Luz M. Rodríguez (2009).



Foto 38: 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).



Foto 39: Relajamiento lateral y evidencias de licuación de suelos en Boca de Tocuyo del sismo del 12 de septiembre de 2009.
Fuente: Luz M. Rodríguez.

Foto 40: Vista oblicua del relajamiento lateral de Güigüe, en la costa sur del Lago de Valencia, a consecuencia del sismo de Caracas del 29 de julio de 1967. Fuente: González Silva (1969).



Foto 41: 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.



Foto 42: Relajamiento lateral del muro de contención de las piscinas de la Camaronera Aguacán, estado Sucre, a consecuencia de la excitación sísmica del terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997. Fuente: Franck A. Audemard (1997).



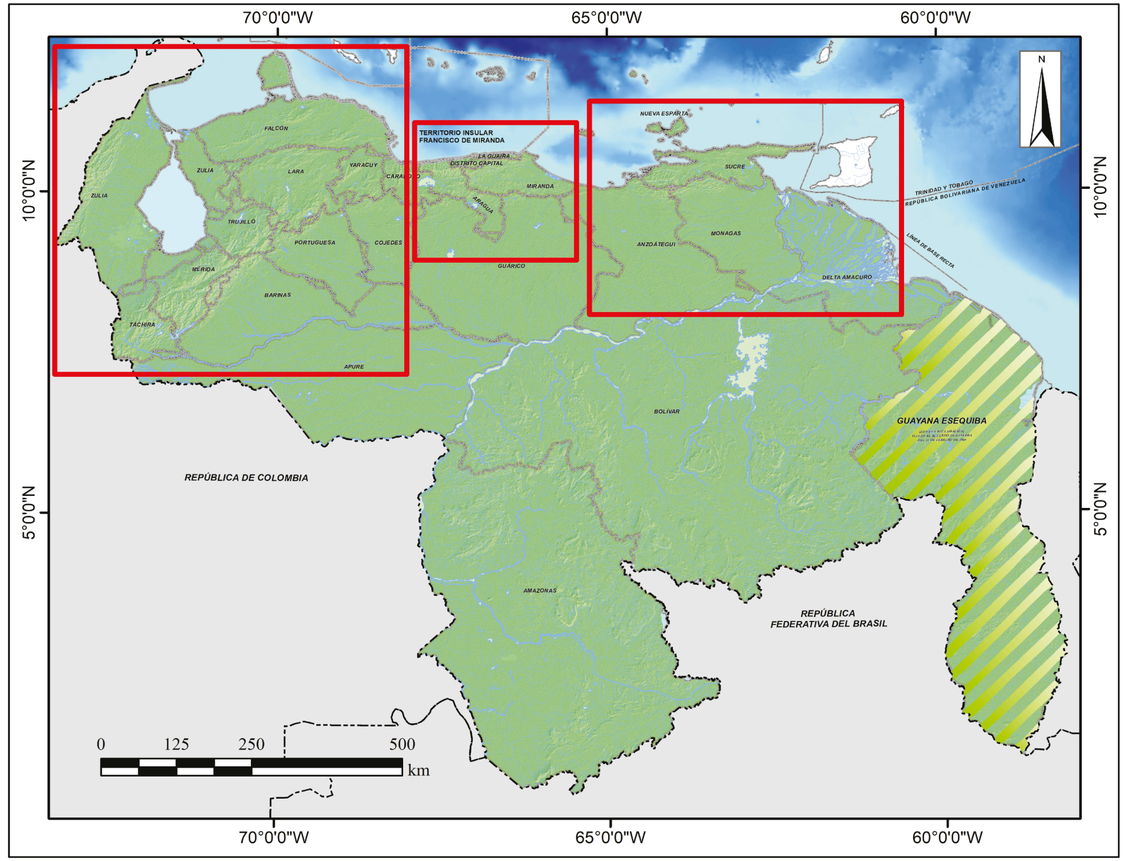
Foto 43: Detalle de las grietas abiertas del relajamiento lateral que afectó la Camaronera Aguacan (ver foto anterior). Fuente: Franck A. Audemard (1997).

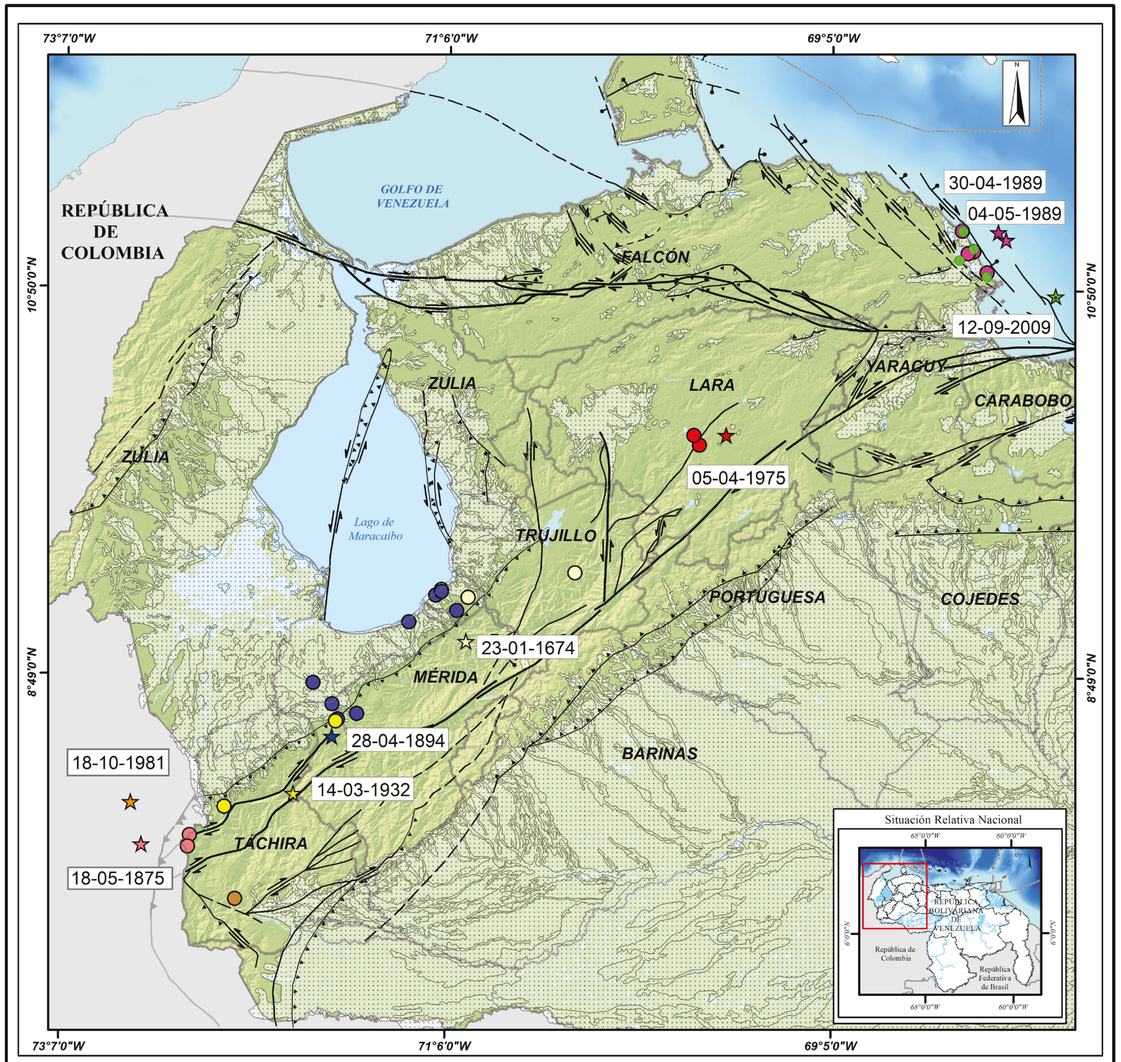


Foto 44: Volcanes de arena alineados, en playa de Cumaná producidos por la excitación sísmica a consecuencia del terremoto de Cariaco ocurrido el 9 de julio de 1997. Fuente: Franck A. Audemard (1997).



UBICACIÓN NACIONAL DE LAS ZONAS AFECTADAS POR LICUACIÓN DE SUELOS

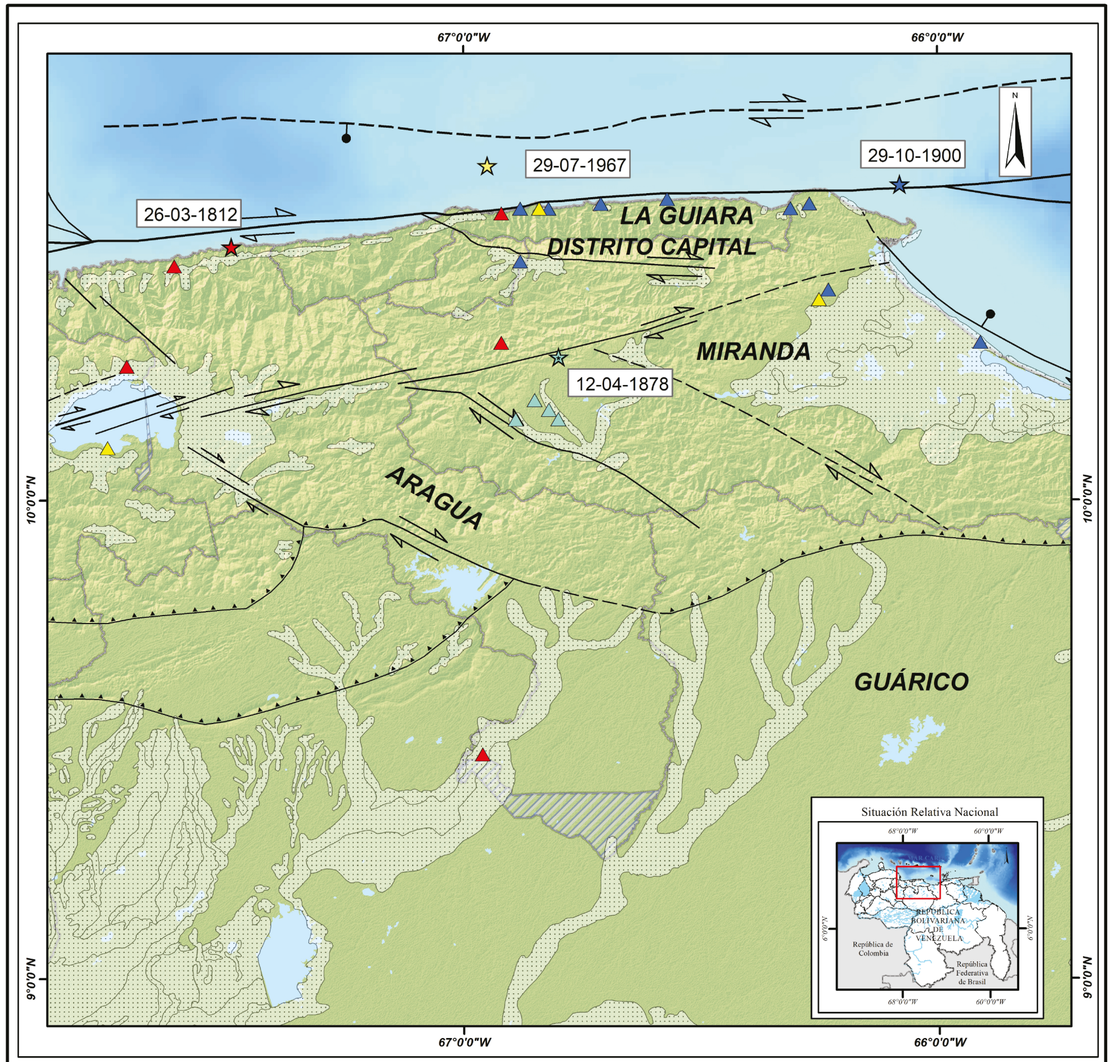




REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 9: CASOS DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL OCCIDENTE DE VENEZUELA.

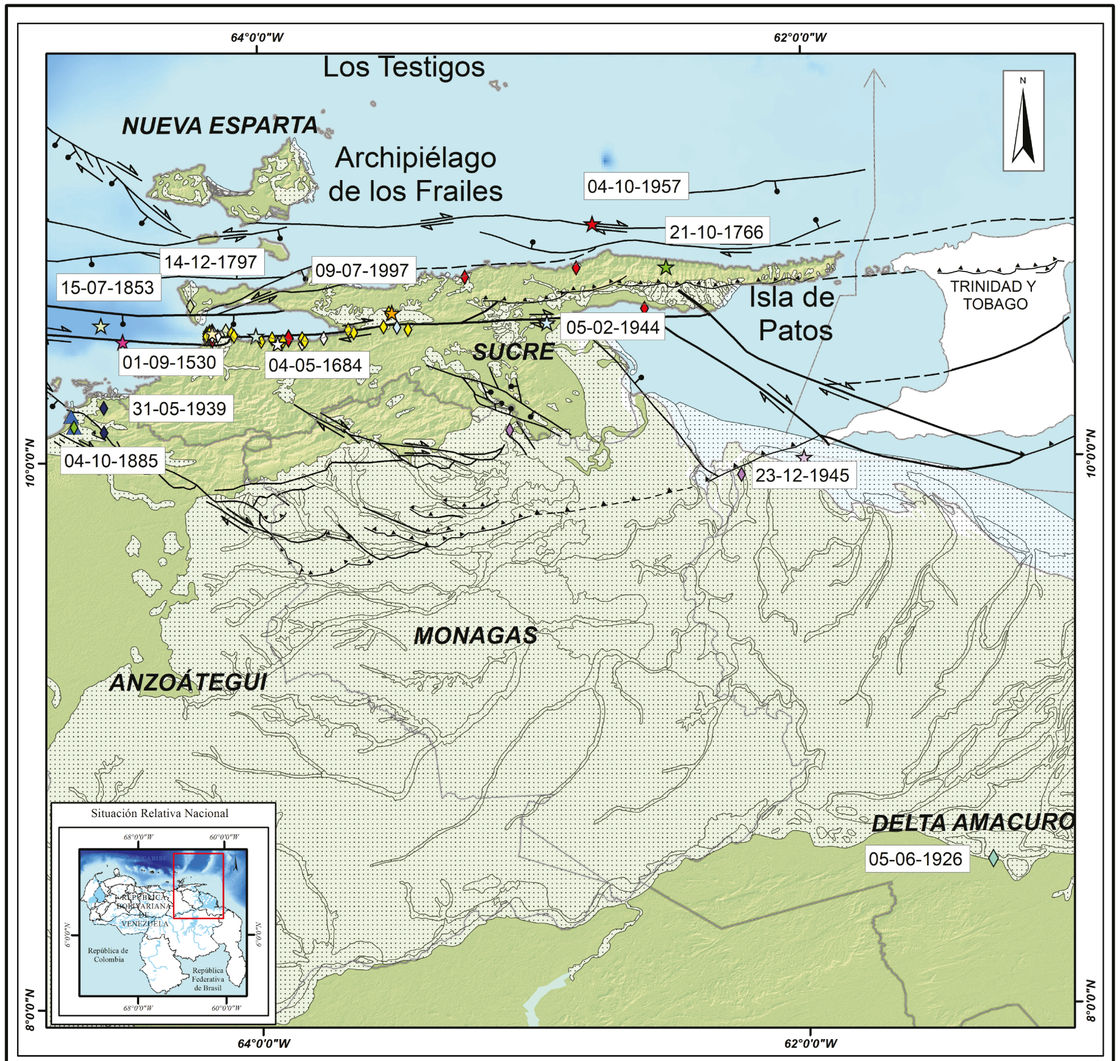
Eventos Occidente	Tipología de Fallas	Signos Convencionales	Proyección y Coordenadas
23-01-1674 · 18-10-1981 18-05-1875 · 5-4-1975 28-04-1894 · 30-4 al 4-4 -1989 14-3-1932 · 12-09-2012 Epicentro	Inferida Inversa Dextral Continua Sinestral Discontinua Cuaternario	Capital de Estado Lagos, ríos y embalses División estadal Límites internacionales Batimetría (m.b.n.m) Hipsometría (m.s.n.m) Máx : 4.978 m (Pico Bolívar) Min: 18 (Lagunillas) **Escala: 1: 2.500.000** 0 45 90 180 km	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

Mapa 10: 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 Epicentro	Inferida Inversa Dextral Continua Sinestral Discontinua Cuaternario	Capital de Estado Lagos ríos y embalses División estadal Límites Internacionales Zonas de Litigios Batimetría (m.b.n.m) Hipsometría (m.s.n.m) Máx : 4.978 m (Pico Bolívar) Min: 18 (Lagunillas) **Escala: 1: 1.000.000** 0 15 30 60 km	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

Mapa 11: CASOS DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL ORIENTE DE VENEZUELA.

Eventos Oriente		Tipología de Fallas	Signos Convencionales	
01-09-1530	05-06-1926	Inferida	Capital de Estado	Batimetría (m.b.n.m)
04-05-1684	17-01-1929	Inversa	Lagos, ríos y embalses	Hipsometría (m.s.n.m) Máx : 4.978 m (Pico Bolívar)
21-10-1766	31-05-1939	Dextral Continua	División estadal	
14-12-1797	06-02-1944	Sinestral Discontinua	Límites Internacionales	Min: 18 (Lagunillas)
15-07-1853	23-12-1945			
04-10-1885	04-10-1957	Cuaternario	Escala: 1: 1.750.000	
Epicentros	09-07-1997		0 35 70 140 km	

Proyección y Coordenadas
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

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 do trincheras en 1968 (Cluff & Hansen, 1969). Esta 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, EE. UU.), siendo ambas pioneras en su tipo para América 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.



Foto 45: 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).



Foto 46: 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, diez afloramientos naturales serán preparados como trincheras para su estudio, ocho en la región de Mucubají-Los Zerpa entre 2001 y 2002 y los dos restantes en la región central. De la totalidad de las excavaciones paleosísmicas estudiadas hasta el presente, solo ocho no serán ejecutadas por Funvisis: las dos primeras estudiadas por los americanos en 1968-1969, 2 excavadas por la ULA en el piedemonte norte de los Andes de Mérida, dos en la Zona industrial de Valencia y 2 más en el Complejo Industrial Petroquímico José Antonio Anzoátegui (Jose, estado Anzoátegui); estas cuatro últimas en consultoría privada nacional.

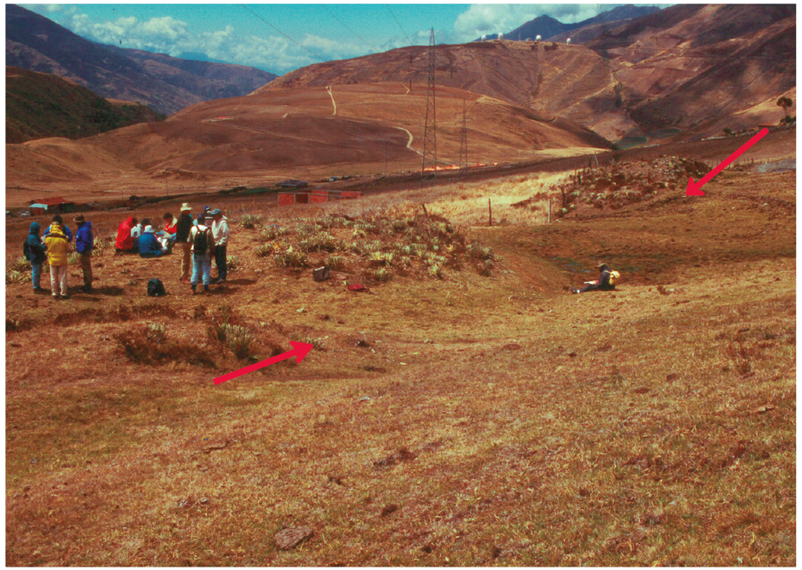


Foto 47: Traza norte de la falla de Boconó en la cuenca en tracción de Apartaderos en la localidad de Morro de los Hoyos. Las flechas señalan la orientación de la falla. Fuente: Franck A. Audemard (1997).

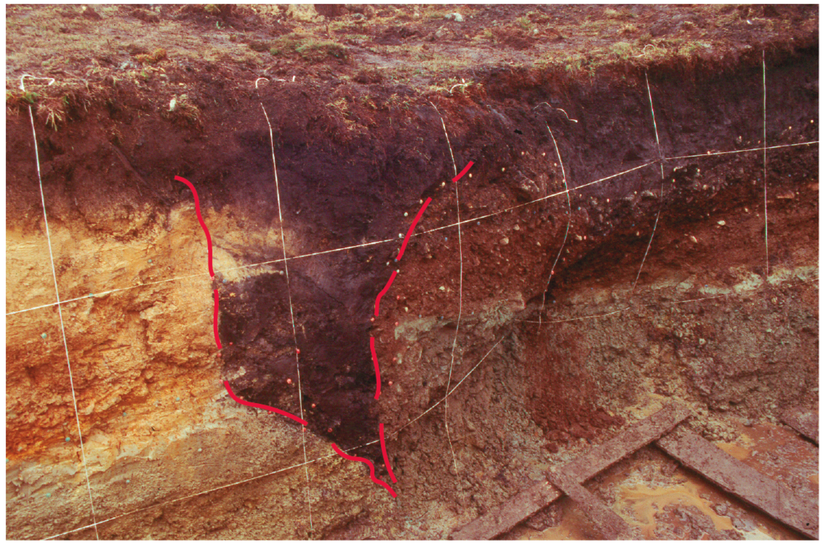


Foto 48: Excavación paleosísmica Morro de los Hoyos, con evidencia de grieta abierta rellena por materiales turbosos, que evidencia uno de los sismos ocurridos sobre la traza norte de la falla de Boconó en la cuenca en tracción de Apartaderos, estado Mérida.
Fuente: Franck A.



Foto 49: 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).

Foto 50: 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).





Foto 51: 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.



Foto 52: 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 solo siete excavaciones han sido ejecutadas en oriente, de las cuales cinco a través de la falla El Pilar y las otras dos en Jose, mientras que solo 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 (solo contaba con cuatro en el siglo XX) y le sigue Caparo con 12, siendo estas 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 cinco excavaciones estudiadas y el sistema de fallas de Oca-Ancón con cuatro. En cuanto a calicatas excavadas, la totalidad de ellas (29) residen en occidente. De estas, 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 terremoto 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 prehistóricos, 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.

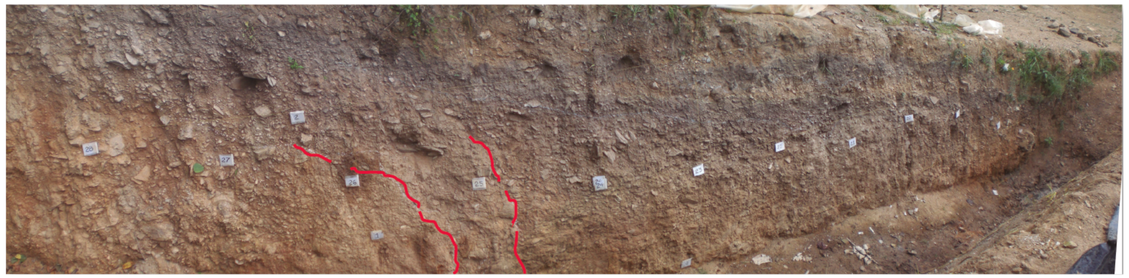


Foto 53: Vista lateral de la pared este de la excavación paleosísmica Santa Rosa, ubicada al noreste de la Universidad Metropolitana. Fuente: Luz M. Rodríguez (2008).

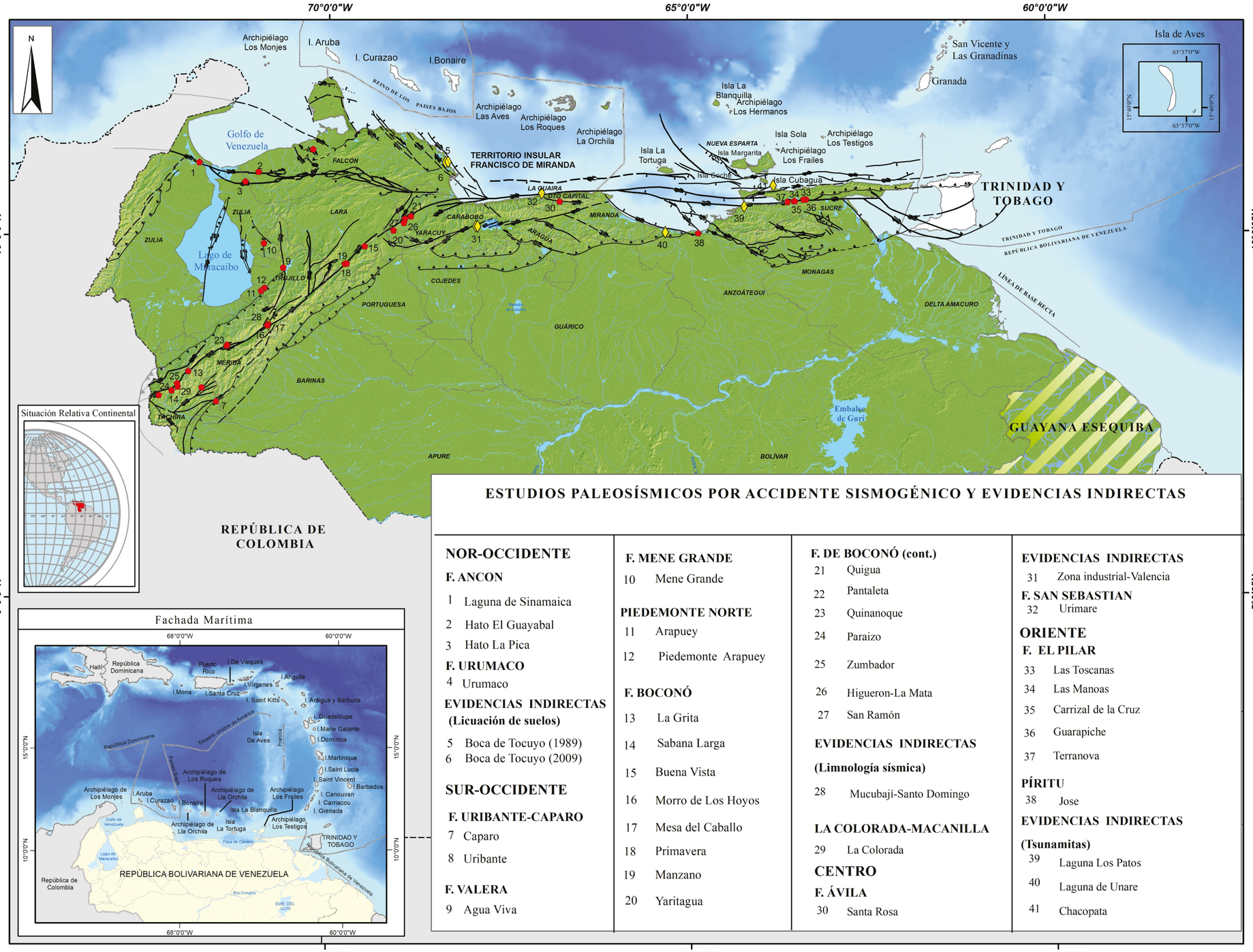


Foto 54: Vista longitudinal de la ruptura del terremoto de Cariaco de 1997, en la localidad de Carrizal de la Cruz estado Sucre, donde se indica con estacas y con bolsa plástica la ubicación de la trinchera a excavar.
Fuente: Franck A. Audemard (1997).

Foto 55: 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).



GEOLOGÍA DE TERREMOTOS



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 funvisis Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 12: INVENTARIO DE ESTUDIOS PALEOSÍSMICOS EN VENEZUELA

Ubicación de sitios

- Estudios por evidencias directas
- Estudios por evidencias indirectas

Tipología de Fallas

- Inferida
- Inversa
- Dextral Continua
- Sinestral Discontinua

Escala: 1: 4.500.000

0 50 100 200 300 400 km

Sígnos Convencionales

- Capital de Estado
- Lagos y embalses
- Límites Internacionales

Hipsometría (m.s.n.m)

Máx : 4.978 m (Pico Bolivar)

Min: 18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

- 0-200
- 200-1.000
- 1.000-2.000
- 2.000-3.000
- 3.000-4.000
- 4.000-5.000
- 5.000-6.000
- 6.000-7.000
- 7.000-8.000
- Más de 8.000

Proyección y Coordenadas: 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

Franck Audemard y Luz M. Rodríguez. Año: 2022

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 80 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 continúas 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.



Foto 56: 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).



Foto 57: 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 en el terraplén de la planta.
Fuente: André Singer (1989).



Foto 58: Deslizamiento de tipo flujo causado por la saturación de suelos en período de lluvias torrenciales, estas causas afectaciones en las vialidades que conecta a varias poblaciones. La foto superior pertenece a la vialidad que conecta las ciudades de Maracay-Choroní, estado Aragua, evento ocurrido en el período de lluvias agosto-octubre de 2017. La foto inferior 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 1.000 referencias de casos de inestabilidad geológica sobre un total disponible actual cercano a 5.000 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 tsunami, *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-deltaícas, 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, Cabriales 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, colapsibilidad y de licuación.



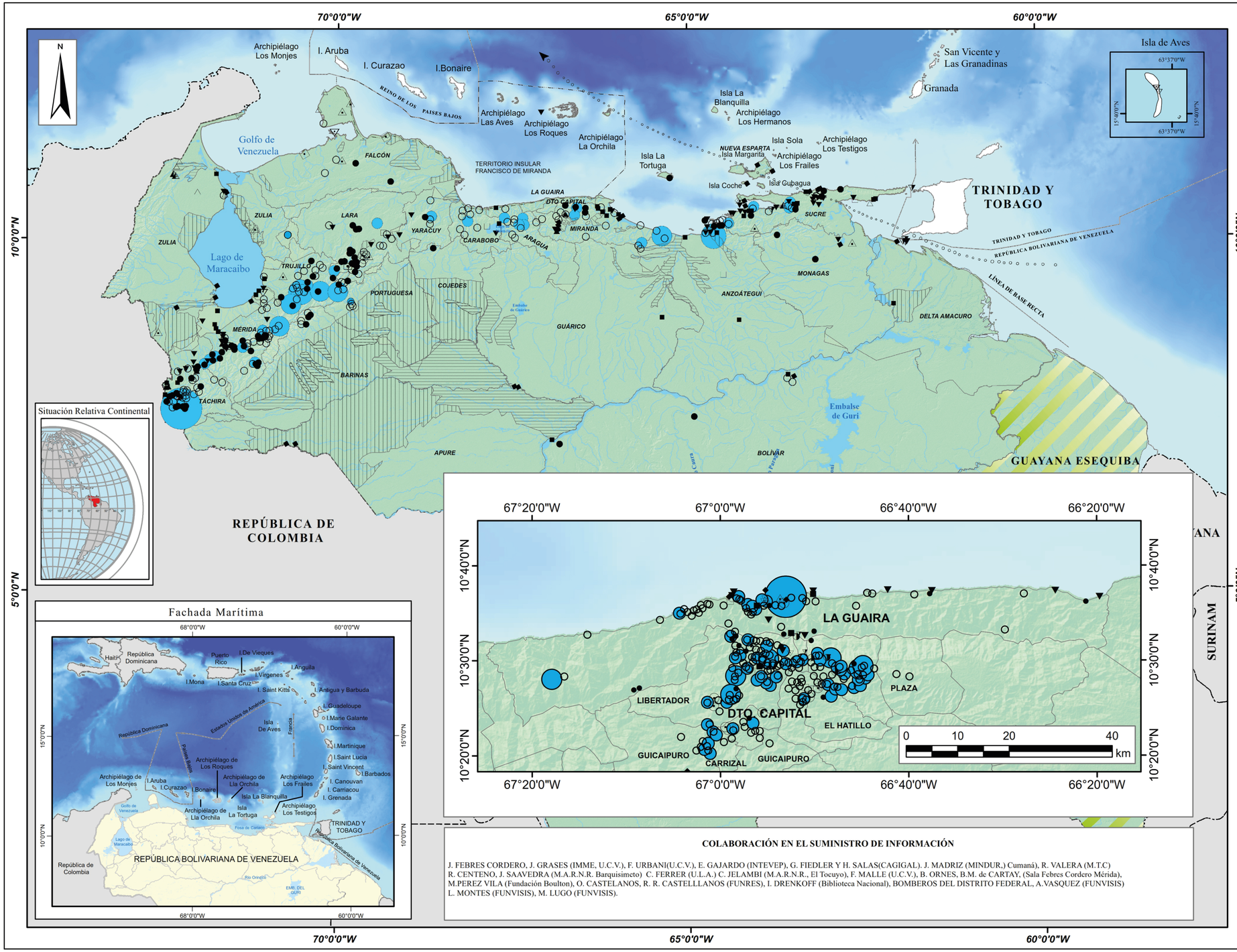
Foto 59: Colapso cosísmico del terraplén de San Josesito durante el sismo del 18/10/1981, con destrucción del barrio marginal ubicado al pie del talud por un flujo de barro.
Fuente: Roberto Centeno (1981).



Foto 60 y 61: 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: Funvisis (2016).



GEOLOGÍA DE TERREMOTOS



COLABORACIÓN EN EL SUMINISTRO DE INFORMACIÓN

J. FEBRES CORDERO, J. GRASES (IMME, U.C.V.), F. URBANI(U.C.V.), E. GAJARDO (INTEVEP), G. FIEDLER Y H. SALAS(CAGIGAL). J. MADRIZ (MINDUR,) Cumaná), R. VALERA (M.T.C) R. CENTENO, J. SAAVEDRA (M.A.R.N.R. Barquisimeto) C. FERRER (U.L.A.) C. JELAMBI (M.A.R.N.R., El Tocuyo), F. MALLE (U.C.V.), B. ORNES, B.M. de CARTAY, (Sala Febres Cordero Mérida), M.PEREZ VILA (Fundación Boulton), O. CASTELANOS, R. R. CASTELLLANOS (FUNRES), I. DRENKOFF (Biblioteca Nacional), BOMBEROS DEL DISTRITO FEDERAL, A.VASQUEZ (FUNVISIS) L. MONTES (FUNVISIS), M. LUGO (FUNVISIS).

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 13: INVENTARIO CARTOGRÁFICO NACIONAL DE RIESGOS GEOLÓGICOS

LEYENDA

VÍNCULO CON LA SISMICIDAD / CATEGORÍA DE RIESGOS GEOLÓGICOS	COMPROBADO	PROBABLE	DUDOSO O INDETERMINADO	SIN VÍNCULO
FENÓMENOS GRAVITACIONALES VICIOS DE SUELO Y/O SUBSUELO	● ■	◕ ◪	⊙ ⊡	○ □
DESPLAZAMIENTOS BRUSCOS DE ESPEJOS DE AGUA	◆	◑	◇	◇
DEFORMACIONES DEL TERRENO Y CAMBIOS FISIOGRÁFICOS	▼	▽	▽	▽
OTROS RIESGOS	▲	◭	△	△

NÚMERO DE VÍCTIMAS OCASIONADAS

1-5 5-10 10-25 25-50 >50

INFORMACIÓN AREAL SOBRE POTENCIAL DE RIESGO GEOLÓGICO

- DISTRIBUCIÓN DE SUELOS CON ARCILLAS EXPANSIVAS (HASTA 2 METROS DE PROF. SEGUN J.A. COMERCA Y L.F. ARIAS 1971): >60%; >25% < 60%
- OTRAS AREAS DE SUELOS EXPANSIVOS (SEGUN U.S.B)
- AREA DE SUBSIDENCIA
- TRAYECTORIA DEL HURACAN DE 1933

Signos Convencionales

- Lagos, ríos y embalses
- Zona de Litigios
- Límites Internacionales
- Batimetría

Hipsometría (m.s.n.m)
Máx : 4.978 m (Pico Bolívar)
Min: 18 (Lagunillas)

Escala: 1: 4.500.000

0 50 100 200 300 400 km

Proyección y Coordenadas: 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
Digitalización: Luz M. Rodríguez, 2023

Autores de la Cartografía Temática

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

Referencias

Audemard, F. A. (2003). Estudios paleosísmicos por trincheras en Venezuela: métodos, alcances, aplicaciones, limitaciones y perspectivas. Revista Geográfica Venezolana. 44 (1): 2003 11-46.

Audemard, F. A. (2005). Paleoseismology in Venezuela: Objetives, methods, applications, limitations and perspectives. Tectonophysics 408, 29-61.

Audemard, F.A., Machette, M., Cox, J., Dart, R. & Haller, k. (2000). Map and Database of Quaternary faults and folds in Venezuela and its Offshore Regions; USGS Open-File report 00-0018. 78p (accessible from USGS webpage).

Beltrán, C. (1993). Mapa Neotectónico de Venezuela. Departamento de Ciencias de la Tierra, Funvisis.

Beltrán (1994) Trazas activas y síntesis neotectónica de Venezuela a Escala 1:2.000.000. Recursos y Oportunidades. VII Congreso Venezolano de Geofísica.

Cluff, L. y Hansen, W. (1969). Seismicity and seismic geology of Northwestern Venezuela. Woodward Clyde Asociate. 2 vol. Shell de Venezuela. 78p Inédito.

Mapas de: Comisión del Plan Nacional de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, (COPLANARH) (1968-1973). Ministerio de Agricultura y Cría, Centro de Investigaciones agronómicas, sección de suelos.

Singer, A., Rojas, C., y Lugo, M. (1983). Inventario Nacional de Riesgos Geológicos. (estado preliminar) Departamento de Ciencias de la Tierra. Funvisis, serie técnica 03-83. 126 pp.

Soulas, J.P. (1985). Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. En: VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas. 10: 6639-6656.

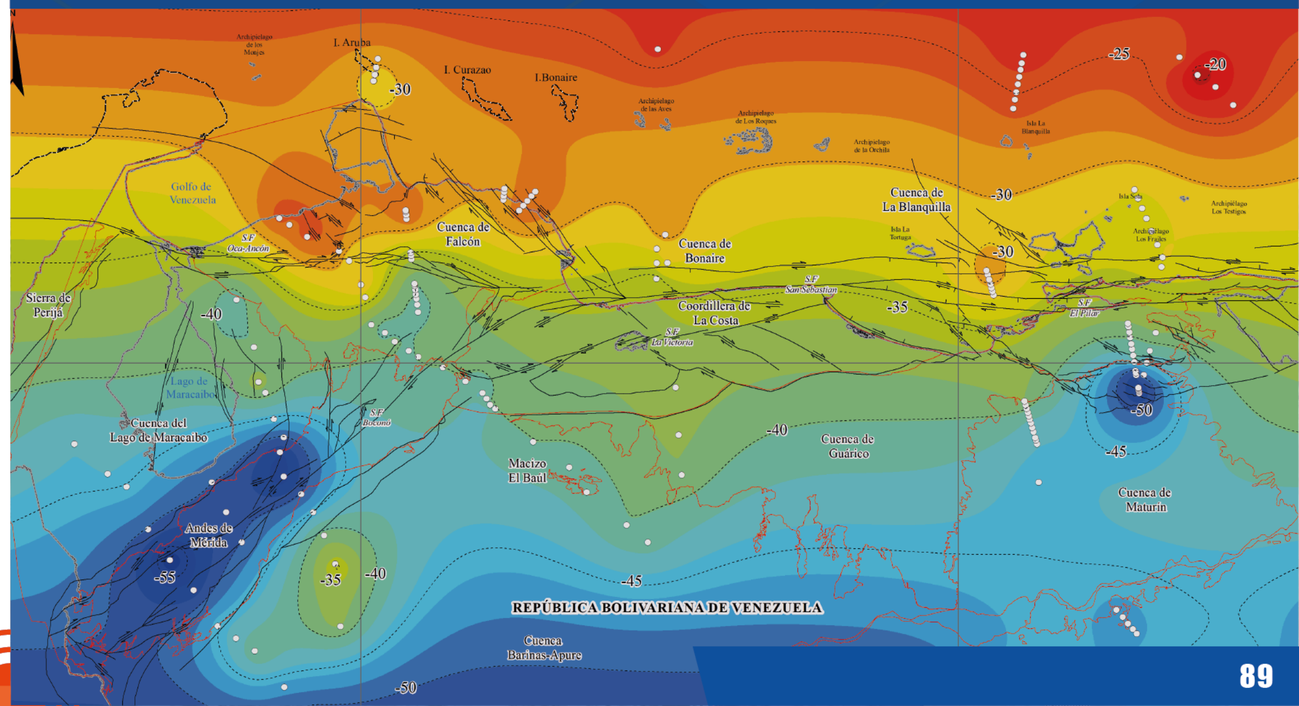
Rodríguez, L M., Audemard, F.A. y Rodríguez, J. A. (2006). Casos históricos de licuación de sedimentos inducidos por sismos en Venezuela desde 1530. Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., Vol. 21, N°3, pp. 5–32, 2006.

Viete H. (2012). Evaluación geológica con fines de microzonificación sísmica de la región de Cumaná, estado Sucre . Proyecto LOCTI. Informe Interno Funvisis, pp. 110.

Woodward-Clyde and Associates con 2 trincheras en 1968 (Cluff and Hansen, 1969). Informe interno.



PARTE 3
Geofísica



GEOFÍSICA



Portada: **Foto superior:** Mediciones sísmicas de reflexión en Los Andes de Mérida. **Fuente: Proyecto GIAME (2015).** **Foto inferior:** Extracto del mapa de espesores corticales. **Fuente: Schmitz et al. (2020).**

Encabezado: Recepción del Premio Nacional de Ciencia Tecnologia e Innovacion por mejor Grupo de Investigación (2016).

Introducción

Michael Schmitz, Javier Sánchez Rojas, Freddy Rondón y Keyla Ramírez

A raíz de los proyectos de microzonificación sísmica que se impulsaron después del simposio en conmemoración del Terremoto de Caracas de 1967 y del Terremoto en Cariaco de 1997, se constituyó en 2009 el departamento de Geofísica en Funvisis. Esto permitió coordinar las actividades de los proyectos liderados por la fundación, en los cuales se aplicaron diferentes métodos sísmicos como refracción, ReMi, mediciones de ruido ambiental para caracterizar tanto la forma de las cuencas sedimentarias (junto con la integración en modelos gravimétricos; Schmitz *et al.,* 2019), como la calidad de los suelos en los primeros 30 m, o Vs30 (García *et al.,* 2006; Morales *et al.,* 2011; Parra *et al.,* 2016). Mediante la aplicación de métodos geofísicos se puede caracterizar el subsuelo a diferentes escalas, lo que permite entender las modificaciones que sufren las ondas sísmicas al pasar por la tierra. En primera instancia están los métodos sísmicos; a escala de la corteza terrestre se ha utilizado fuentes activas como los son las explosiones para investigar la corteza terrestre y la variación de su espesor en territorio nacional (Schmitz *et al.,* 2021). Sus resultados se pueden combinar con los resultados de los registros de terremotos o también del ruido contenido en los registros, mediante las metodologías de tomografía y funciones receptoras, o también integrar la información en modelos de métodos potenciales como gravimetría y magnetometría (Sánchez *et al.,* 2010). Dicha información puede ser utilizada para la caracterización de las fuentes sísmicas y la geodinámica de la región. Para la determinación de la configuración del subsuelo somero en las ciudades, un factor importante en la determinación de los efectos de sitio como los efectos de cuenca o de sedimentos blandos, se pueden aplicar diversos métodos geofísicos junto con la evaluación de la geología en la región.

Misión:

El departamento de Geofísica de Funvisis es un grupo técnico y científico dedicado a ejecutar y promover estudios geofísicos destinados al conocimiento de la estructura y propiedades físicas del subsuelo a diferentes escalas, y así poder atender la demanda de seguridad en la población ante la amenaza sísmica en el territorio nacional.

Visión:

Ser un departamento con un alto reconocimiento nacional e internacional y una estrecha interacción con investigadores en un contexto interdisciplinario, con el fin de aportar la información requerida para los análisis de la amenaza sísmica y de la configuración geodinámica de Venezuela.

Objetivos:

- Aportar al conocimiento de la estructura del subsuelo.
- Aplicación y desarrollo de metodologías geofísicas novedosas.
- Desarrollar estudios de la respuesta sísmica.
- Coordinar estudios de microzonificación sísmica.
- Investigar procesos geodinámicos.

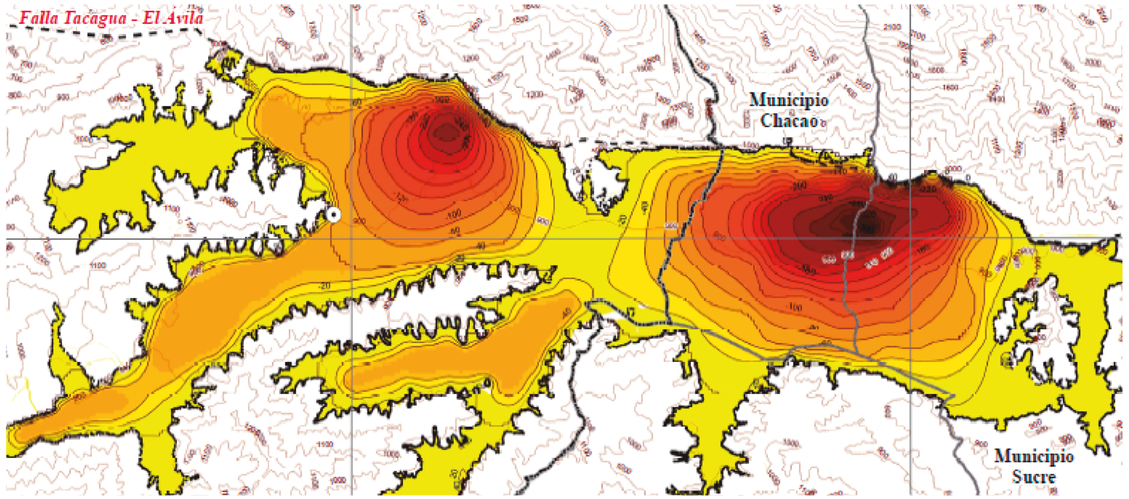


Figura 3: Extracto del mapa de espesores sedimentarios de Caracas. Fuente: Schmitz *et al.* (2021).

Estudios de microzonificación sísmica en Venezuela

Michael Schmitz, Julio J. Hernández, Freddy Rondón, Cecilio Morales, Víctor Rocabado, Javier Sánchez Rojas, Kenny García, Mónica Paolini, Jélime Aray, Pedro Medina, Luz Rodríguez, Fernando Mazuera, Luis Yegres, Jesús Ávila, Carlos Reinoza, Jesús Moncada, Eduin Amarís y Keyla Ramírez

Un alto porcentaje de la población venezolana se encuentra asentada en zonas de alto riesgo sísmico, como se evidenció en los terremotos de Caracas de 1967 y Cariaco 1997, donde se observaron daños por efectos de sitio (amplificación de las ondas sísmicas) y efectos inducidos (efectos geológicos como licuación del suelo, deslizamientos o ruptura de falla en superficie). Con el fin de identificar zonas de respuesta similar al movimiento sísmico y poder ajustar el diseño sísmico de los edificios a los diferentes escenarios dentro de las ciudades, se realizaron estudios de microzonificación sísmica en diferentes ciudades del país. Estos estudios se encuentran en diferentes fases de avance y sus resultados complementarán las indicaciones de la norma Construcciones Sismorresistentes Covenin 1756-1 (2019).

En los años 2005-2010 se realizó el “Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto” (Fonacit - BID II 2004000738), cuyos resultados finales han sido implementados en ordenanzas municipales (Rodríguez *et al.,* 2005; Reinoza *et al.,* 2011; Schmitz y Singer, 2015; Schmitz y Morales, 2016; Schmitz *et al.,* 2009a, 2009b, 2020a; 2020b). Se desarrollaron actividades que requirieron la participación de diferentes disciplinas científicas y técnicas de forma integrada, así como el manejo coordinado de la información en un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permite la utilización y actualización futura de la información elaborada. La definición de las microzonas se basó en la incorporación de la información de carácter geológico, sismológico, geofísico y geotécnico, adecuadamente procesada e integrada (Hernández *et al.,* 2006).

En la región centroccidental se adelantaron, además, estudios en Carora, El Tocuyo, Quíbor y Duaca en el marco del proyecto de microzonificación sísmica en el estado Lara (Ávila *et al.,* 2014).



Foto 62: Perforación geotécnica en Barquisimeto (2006).



Foto 63: Perforación geotécnica en Barquisimeto (2006).

Foto 64 y 65: Mediciones sísmicas en Cabudare (2007).



Foto 66: Mediciones sísmicas en Cumaná (2001).





Foto 67: Mediciones sísmicas en Cumaná (2001).

En 2006 se inició el proyecto “Investigación Aplicada a la Gestión del Riesgo en Espacios Urbanos” (Fonacit 2007000939) en las áreas metropolitanas de Mérida, Valencia, Maracay y Barcelona, así como en Valle de La Pascua. Los resultados parciales han sido utilizados en la planificación urbana y se espera terminar el desarrollo de los espectros en superficie refinados en comparación con los normativos, que conducen a una más precisa estimación de los efectos esperados, y por tanto una confiable herramienta para la mitigación del riesgo sísmico (Schmitz et al., 2015).

En Cumaná se realizaron desde 2008 estudios en el marco del “Proyecto de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Cumaná” (Aray *et al.,* 2015) y en Guarenas-Guatire desde el mismo año en el marco de los proyectos de microzonificación sísmica de la Cooperación Cuba-Venezuela.

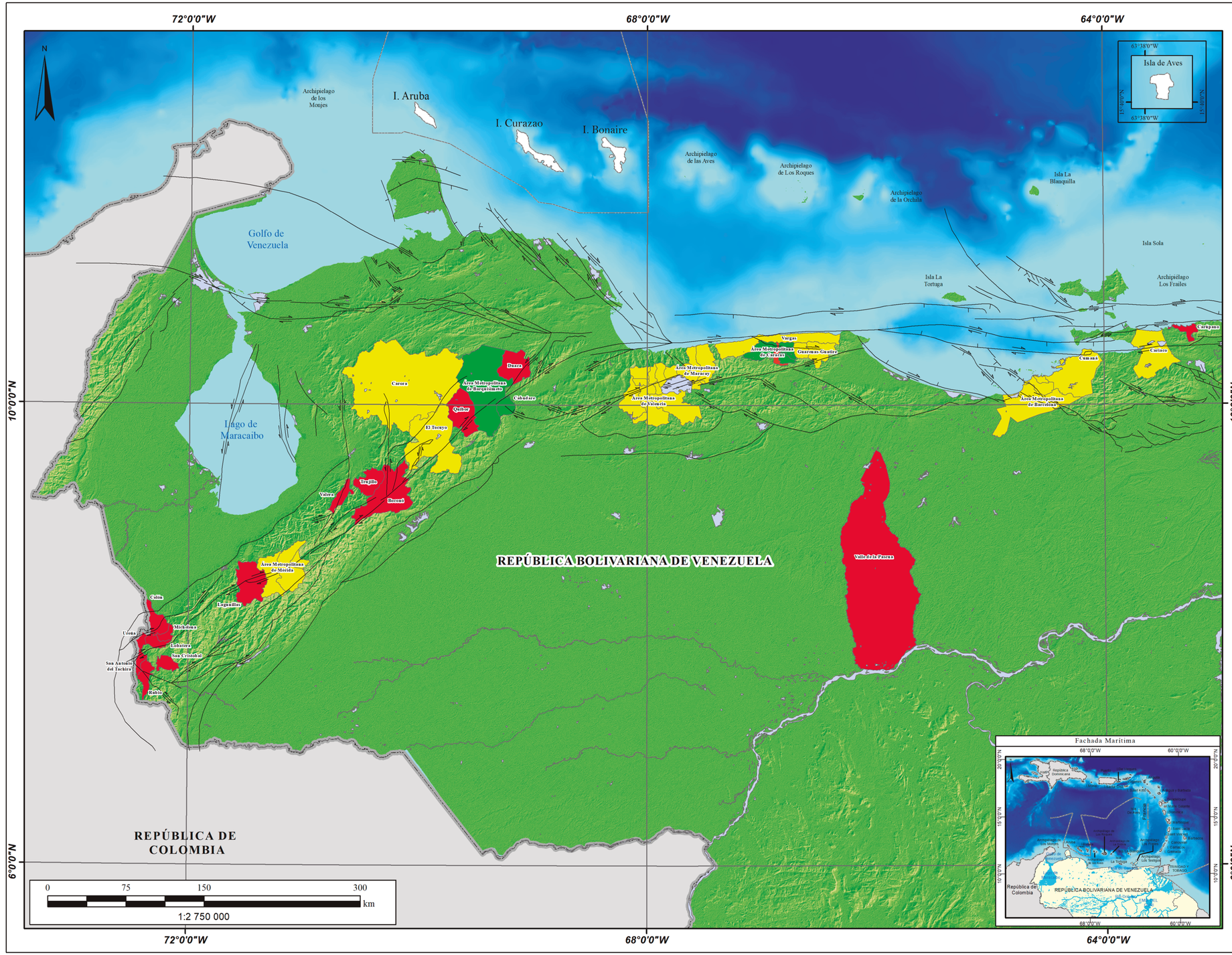
Desde 2011 se realizan estudios en Trujillo, Valera y Boconó en el marco del “proyecto de Microzonificación Sísmica del estado Trujillo” (FONACIT 2011001400) (Mazuera *et al.,* 2015). Además, se lograron avances en las Carúpano, Cariaco, Lagunillas, San Juán, San Cristóbal, Rubio, San Antonio y Ureña.

Según la metodología propuesta por Hernández *et al.* (2006), todos estos proyectos contemplan la evaluación del peligro sísmico en roca, el desarrollo de perfiles para la respuesta dinámica mediante análisis lineal equivalente, basados en modelos geomorfológicos, geológicos y geofísicos para la definición de la calidad del suelo somero (Vs30) y del espesor de los sedimentos hasta el basamento sísmico para la definición de microzonas de similar respuesta sísmica. Se integra la información existente con los resultados de nuevas mediciones geofísicas y evaluaciones geológicas y geotécnicas en campo. Dependiendo de las condiciones locales se estudia además el peligro de deslizamiento de laderas provocado por el terremoto, el peligro de licuación del suelo y las deformaciones permanentes asociados a la ruptura de fallas en superficie. Los resultados finales de los estudios de microzonificación sísmica se implementan en ordenanzas municipales (hasta la fecha se aprobaron ordenanzas en los municipios Iribarren y Palavecino del Área Metropolitana de Barquisimeto así como Libertador, El Hatillo y Sucre del Área Metropolitana de Caracas) y planes de gestión del riesgo sísmico para

Foto 68: Mediciones sísmicas someras en Guarenas (2019).



GEOFÍSICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 14: PROYECTO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LAS PRINCIPALES CIUDADES DE VENEZUELA

- Proyecto de Microzonificación sísmica culminado
- Proyecto de Microzonificación sísmica en fase de aprobacion de ordenanza municipal
- Proyecto de Microzonificación sísmica por finalizar
- Proyecto de Microzonificación sísmica en desarrollo

Simbolos Convencionales	Situación Relativa Continental
Fallas Cuaternarias de Venezuela Lagos y embalses División estadal Límites internacionales	

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Sistema:UTM
Zona: 19
Datum: REGVEN
Hemisferio: Norte

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Dibujo: Freddy Rondón

Autores de la cartografía temática

Michael Schmitz, Julio J. Hernández, Freddy Rondón, Víctor Rocabado, Jean Domínguez, Cecilio Morales, Kenny García, Javier Sánchez-Rojas, André Singer, Maxlimer Valleé †, Javier Oropeza, Monica Paolini, Alibeth Flores †, Jesús Avila, Luis Yegres, Jelime Aray, Dailys González, Manuel Alonso, Keyla Ramírez, María José Saavedra, Noel Crasto, Luz Rodríguez, Rafael Acosta, María Linares, Sirel Colón, David Alba, Leandro García, Alejandra Martínez, Yetsybeth Acosta, Priscila Moreno, Luis Guerra, Roddys Gil, Marysol Mijares, Freyder Alí, Nixon López, José Heredia, Luis Andrade, Sabina Zerpa, Paola Silva, Fernando Mazuera, Enriqueta González, Yetsybeth Acosta, ULA, UDO.

Estudio de microzonificación sísmica de Caracas

Michael Schmitz, Julio J. Hernández, Víctor Rocabado, Jean Domínguez, Cecilio Morales, Maxlimer Valleé †, Kenny García, Javier Sánchez Rojas, André Singer, Javier Oropeza, Alibeth Flores † y Freddy Rondón

Caracas ha sufrido daños por terremotos varias veces en su historia, y el más reciente, el terremoto de magnitud 6,6 de 1967, evidenció fuertes efectos de sitio dentro del valle sedimentario. Por tanto, Caracas ha sido objeto de investigaciones de los efectos de sitio desde entonces (e.g. Papageorgiou y Kim, 1991), y se ha desarrollado formalmente un proyecto de microzonificación sísmica en 2005 a 2009 (Schmitz *et al.,* 2009; Schmitz y Singer, 2015).

Los principales resultados constituyen espectros de respuesta en diferentes condiciones del subsuelo dentro del valle sedimentario y estimación del peligro de deslizamientos de tierra para áreas de laderas. La metodología utilizada para el desarrollo de la respuesta del suelo comprende la evaluación probabilística del peligro sísmico en los sitios rocosos; identificación de suelo y efectos del sitio de la cuenca con la definición de microzonas de respuesta sísmica similar (Hernández *et al.,* 2006; 2011). Para ello, se realizaron amplios estudios geofísicos que permitieron definir los perfiles de suelo desde la roca a la superficie como soporte del análisis de los efectos de sitio y la distribución de microzonas. El peligro sísmico en la zona de Caracas se detalló para PGA (aceleración pico del terreno) y A1 (período de respuesta de 1 segundo), en cuatro macrozonas (mapa de zonas sísmicas locales). Se desarrollaron perfiles genéricos para la respuesta dinámica mediante análisis lineal equivalente 1D, considerando variaciones en el espesor del sedimento y VS, 30. Los resultados analíticos fueron calibrados y se incluyeron efectos de cuenca 2D-3D aproximados. La distribución de microzonas en el valle (mapa de microzonas sísmicas) es basado en modelos geomorfológicos (mapa de la geología del Cuaternario), geológicos y geofísicos (mapa de los espesores de sedimentos), con perfiles de suelo de pozos profundos, y los períodos predominantes obtenidos por H/V, así como análisis del relieve topográfico en las zonas rocosas.

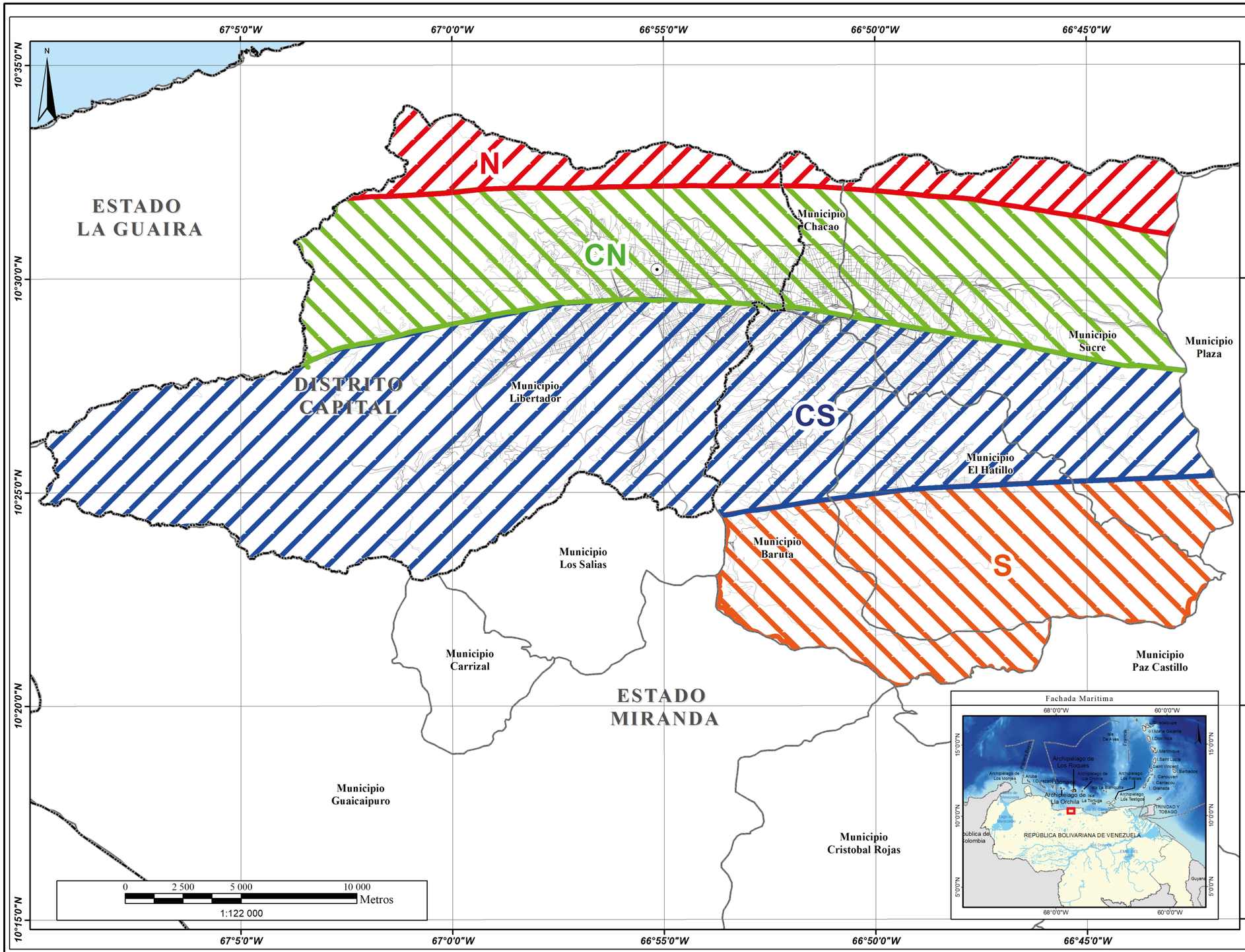


Foto 69: Curso SIG con funcionarios de las alcaldías (2005).

Foto 70: Perforación para instalación de observatorio acelerográfico en Caracas (2005).



El peligro de deslizamiento de tierra provocado por lluvias y terremotos se evalúa utilizando información sobre geología, geomorfología, información geotécnica, pendiente, meteorización y alteraciones antrópicas, empleando una modificación del Método Newmark con intensidades Arias (mapas del peligro de deslizamientos por lluvia y por sismo); así, se pueden identificar áreas prioritarias de intervención (Hernández *et al.,* 2008). Parte del estudio incluye la evaluación de los edificios con respecto a su confiabilidad estructural tipificada, calibrada con los daños del terremoto de Caracas de 1967 (Hernández, 2009). Las prioridades derivadas para la rehabilitación de edificios existentes con respecto a su ubicación dentro de los diferentes microzonas son uno de los temas clave en las ordenanzas que se han desarrollado para los cinco municipios del Área Metropolitana de Caracas. Hasta el momento, tres de ellos han sido promulgadas por los consejos municipales respectivos y las dos restantes están en proceso de aprobación. Una vez promulgadas todas las ordenanzas, esperamos que se desarrollen planes de riesgo de desastres sísmicos que fomenten el uso de la información técnica para la mitigación del riesgo de terremotos (Schmitz *et al.,* 2020a).



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 15: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

ZONAS SISMICAS LOCALES DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

- N (A0=0,30 ; A1=0,28)
- CN (A0=0,28 ; A1=0,245)
- CS (A0=0,265 ; A1=0,23)
- S (A0=0,30 ; A1=0,21)

(A0 y A1 en g)

Signos Convencionales

- Capital Nacional
- División Estadal
- División Municipal
- Vialidad
- Sedimentos cuaternarios sin evaluación de peligro de deslizamiento

Situación Relativa Continental

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Sistema:UTM
Zona: 19
Datum: REGVEN
Hemisferio: Norte

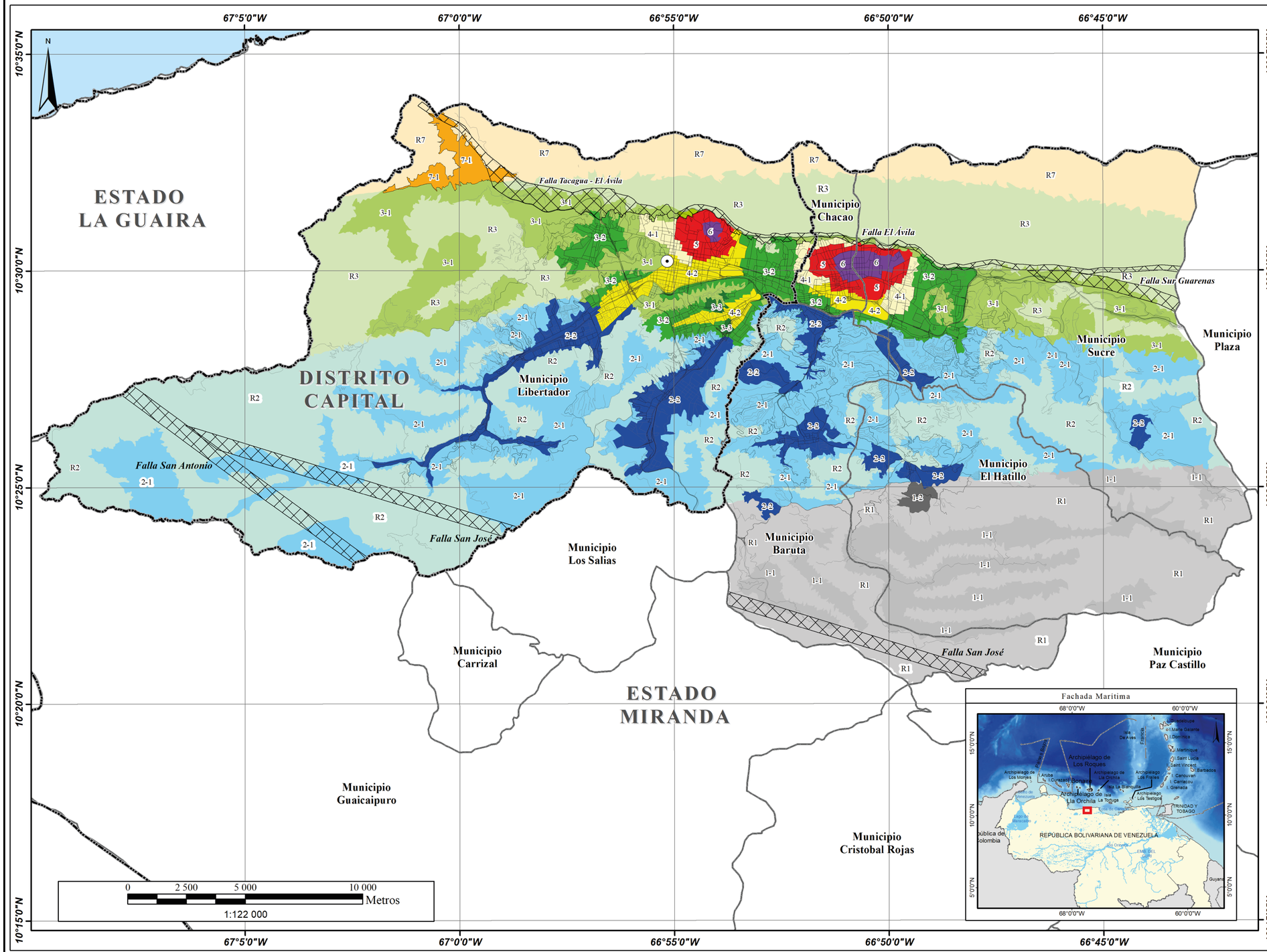
Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Dibujo: Freddy Rondón

Autores de la cartografía temática

Julio J. Hernández, Michael Schmitz, Freddy Rondón



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 16: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

MICROZONAS SISMICAS
AMENAZA SÍSMICA EN ROCA PARA
PMR = 475 A, A0/A1 (G)

R7	0,30 / 0,28
R3	0,28 / 0,245
R2	0,265 / 0,23
R1	0,30 / 0,21

MICROZONAS SEGÚN:
VS30 (M/S), ESPESOR DE SUELOS Y SEDIMENTOS (M)
Y ACELERACIONES DE RESPUESTA A (G)
PARA T= 0,01S Y T= 1S EN
EDIFICIOS COMUNES (A0/A1).

1-1	Mayor de 325-- 0 a 60 -- 0,30 y 0,21
1-2	185 a 325 -- 0 a 60 -- 0,30 y 0,21
2-1	Mayor de 325-- 0 a 60 -- 0,265 y 0,23
2-2	185 a 325 -- 0 a 60 -- 0,265 y 0,23
3-1	Mayor de 325-- 0 a 60 -- 0,28 y 0,245
3-2	185 a 325 -- 0 a 60 -- 0,28 y 0,245
3-3	Menor de 185-- 0 a 60 -- 0,28 y 0,245
4-1	Mayor de 325-- 60 a 120 -- 0,28 y 0,245
4-2	185 a 325 -- 60 a 120 -- 0,28 y 0,245
5	Mayor de 185--120 a 220--0,28 y 0,245
6	Mayor de 185--Mayor de 220--0,28 y 0,245
7-1	Mayor de 325-- 0 a 60 -- 0,30 y 0,28

Signos Convencionales

- Capital Nacional
- División Estadal
- División Municipal
- Zona de falla
- Vialidad

Situación Relativa Continental

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Sistema:UTM
Zona: 19
Datum: REGVEN
Hemisferio: Norte

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Dibujo: Freddy Rondón

Autores de la cartografía temática

Michael Schmitz, Julio J. Hernández, Víctor Rocabado, Jean Dominguez, Cecilio Morales, Maxlimer Valleé †, Kenny Garcia, Javier Sánchez-Rojas, André Singer, Javier Oropeza, Alibeth Flores †, Freddy Rondón y el Grupo de Trabajo del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas.

Mapa de unidades geológicas cuaternarias del valle de Caracas

André Singer, Adriana Zambrano, Javier Oropeza y Mauricio Tagliaferro

El referido documento presenta una imagen global de la secuencia de unidades geológicas del subsuelo aluvial del Valle de Caracas donde se asienta la capital del país. Aquellas unidades geológicas fueron discriminadas por fotogeología por medio de criterios morfoestratigráficos y morfotectónicos, así como por medio de observaciones directas de unas 250 fundaciones de edificaciones en construcción concernientes a las características depositacionales y datación relativa de los diversos cuerpos sedimentarios identificados. La leyenda contígua al mapa precisa aquellas características desde las unidades atribuidas al Pleistoceno inferior hasta los depósitos aluviales que integran los diversos cuerpos separados en el Holoceno.

A todo lo largo del registro sedimentario que se extiende desde el Pleistoceno inferior (Q4 y Q3) hasta el Holoceno más reciente (Q0a), es notoria la intervención de fenómenos de deslaves y aludes torrenciales en la sedimentogénesis de la depresión tectónica de ángulo de falla del valle de Caracas, pero con una aparente menor incidencia de aquellos mecanismos de depositación en la unidad Q2 del Pleistoceno medio, donde se evidencia un control climático más marcado en el proceso de sedimentación. El impacto recurrente de procesos altamente dinámicos y convulsivos como los aludes torrenciales en la morfogénesis del Valle de Caracas, explica la ocurrencia de episodios significativos de sumersión y depositación lacustre en las partes más bajas de esta depresión tectónica como resultado de mecanismos de obturación y represamiento lateral del río Guaire.

La desorganización muy profunda del sistema de drenaje natural que resulta del impacto de aquellos mecanismos de sedimentación de alta energía y que se logra reconstituir detalladamente en los últimos eventos de deslaves de gran magnitud ocurridos en época prehispánica por medio de criterios arqueogeológicos, constituye un análogo paleogeodinámico de los eventos de la misma naturaleza que devastaron el litoral central en 1999. Aquellos insumos de información geológica son de particular interés para la elaboración de escenarios de riesgo para las obras de urbanismo superficiales y subterráneas en las áreas de mayor exposición del Valle de Caracas ante este tipo de geoamenazas. En la tabla adjunta se presentan la fuentes de información utilizadas en el mapa.

Foto 71: Depósitos lacustres Q1 interestratificados con plumas de laterita coluvionada Q1 del esquisto Las Mercedes en la Zona Rental de Plaza Venezuela. Fuente: Adriana Zambrano y Javier Oropeza (2006).

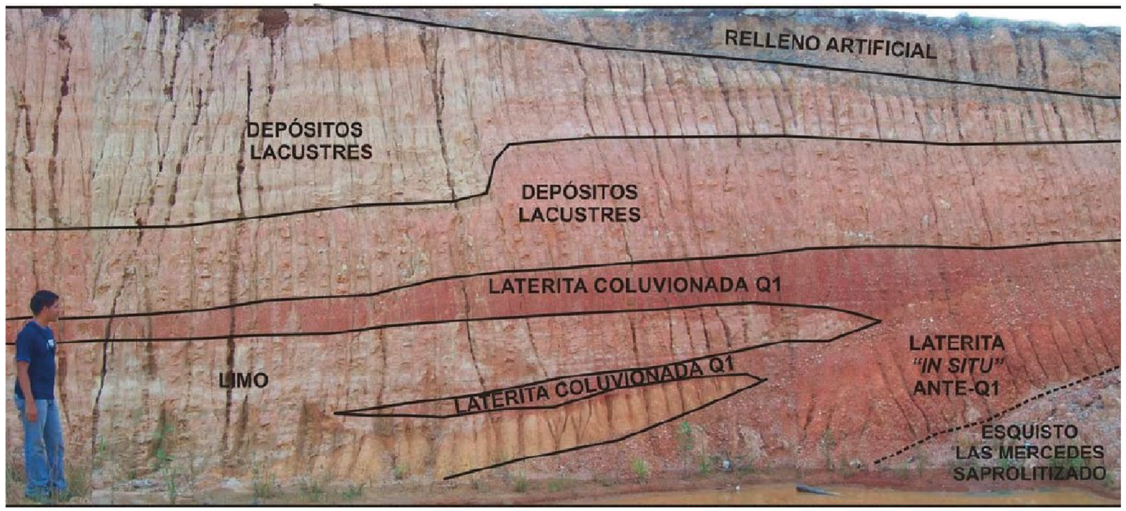


Tabla 1: Fuentes de Información Base en el Mapa Cuaternario de Caracas

- Escombros arqueológicos de época colonial a moderna
La extensión de la capa más espesa de estos escombros es interpretada a partir de los trabajos de arqueología urbana de Mario Sanoja e Iraida Vargas-Arenas reunidos en 2002 en: El agua y el poder: Caracas y la formación del Estado colonial caraqueño: 1567-1700. Banco Central de Venezuela, 224 p.
- Yacimientos arqueológicos prehispánicos soterrados
1. Hacienda Uslar, Montalbán, Período IV Neoindio.
2. El Pinar, Urb. El Paraíso, Período IV Neoindio. Cruxent José María (1982). Arqueología Cronológica de Venezuela, Vol. I, 322-324 Reedición, Armitano. **3. Ex Parque de Recreación El Conde, final Período III Neoindio. Singer, André (1977). Tectónica Reciente. morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el Valle de Caracas. Memorias Seminario Internacional de Riesgo Geológico OEA-Funvisis-UCV, CEDI-Funvisis, 41 p.**
4. Urb. Los Naranjos, pozo B, Paseo Las Mercedes, Periodo IV Neo-Indio. Jam, Pedro. (1958). Una estación arqueológica en el Valle de Caracas. Antropológica. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, N° 5, 44-48.
5. Urb. Boleita Norte, Antigua Cervecería Zulia. Este sitio entregó una punta de flecha pedunculada lascada de cuarzo lechoso, encontrada en estratigrafía bajo 3 metros de aluviones por el Geólogo Franco Urbani (UCV), la cual podría pertenecer al período I Mesoindio e inclusive al Periodo II Neoindio.
- Yacimientos arqueológicos prehispánicos de superficie
6. Urb. Los Naranjos, pozo A, Calle Roraima, posiblemente Período II a III Neoindio. Jam, Pedro. (1958). op. cit. p 47.
- Datación C14:
Excavación, Metro de Caracas Línea 4, Nuevo Circo, cortesía F. Audemard (Funvisis) y Roberto Centeno. Arcillas grises ubicadas a 7 metros de profundidad arrojaron una edad C14 de 10460 +60 B. P. (Muestra Beta - 181503 Ccs-02-03.).



Foto 72: Pleistoceno medio Q2 (El Marqués, parte baja) con los latosuelos sobreimpuestos marrón pardo sobre ocre anaranjado-rosado.
Fuente: André Singer (1972).



Foto 73: Pleistoceno medio Q2 (El Rosal) con laterita rosada descabezada por los deslaves Q0a.
Fuente: André Singer (1972).

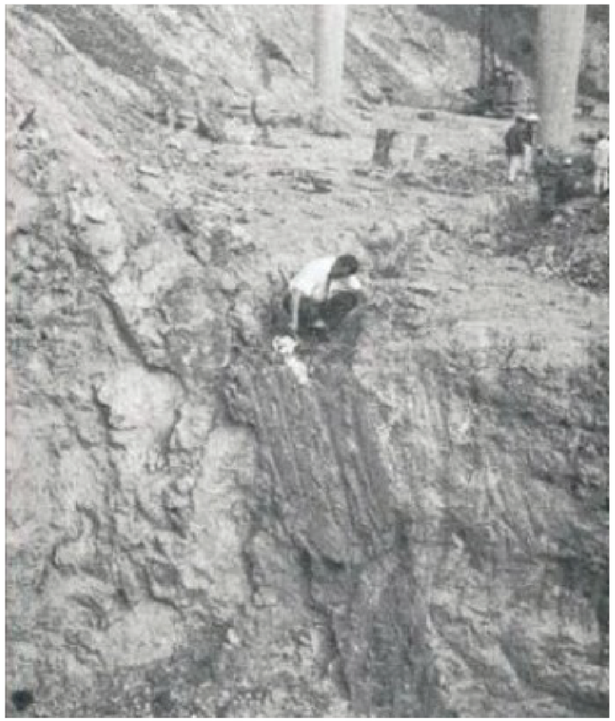
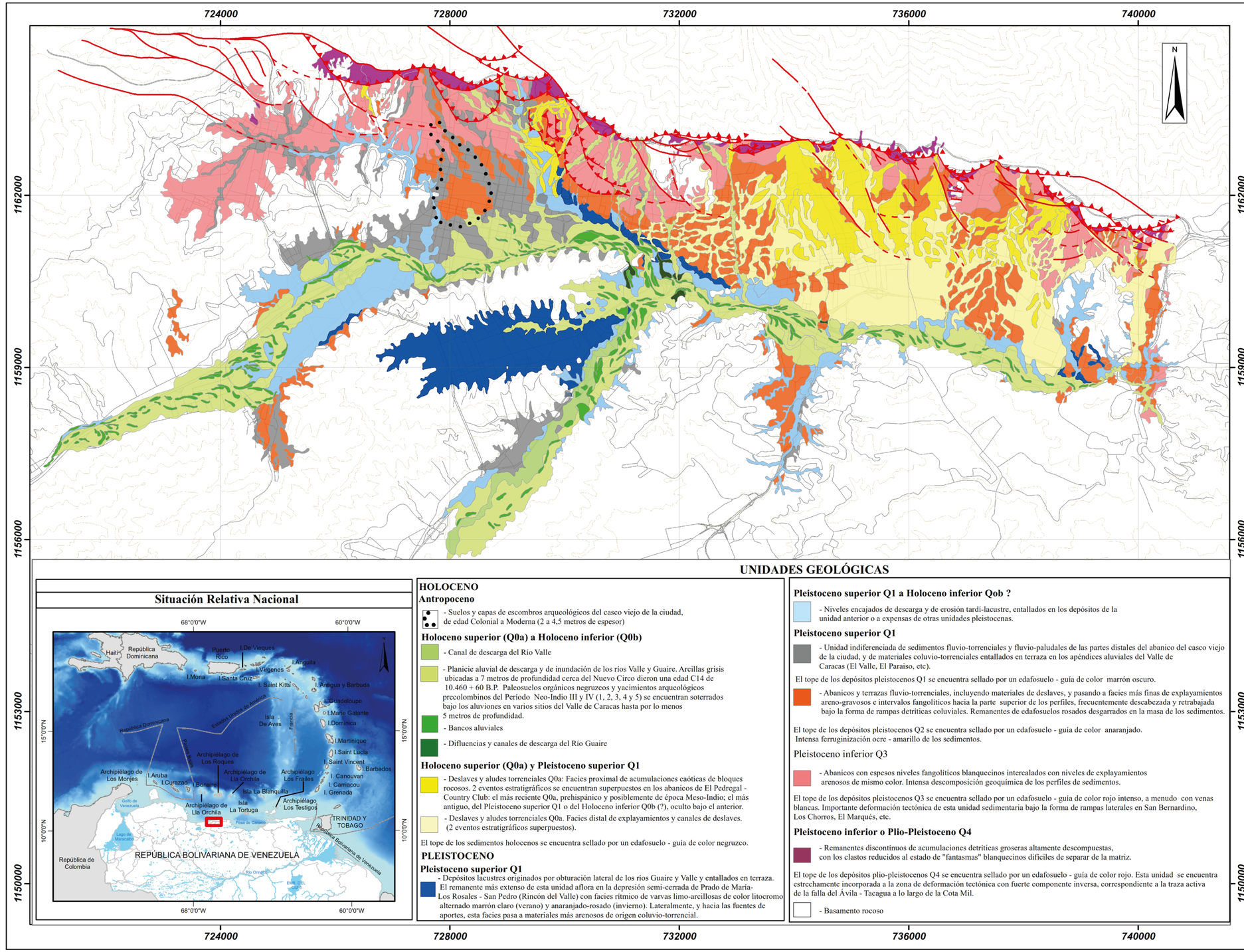


Foto 74: Vista al este de una brecha de falla arcillosa (gouge de falla) con buzamiento sur encontrada durante la construcción de la Av. Boyacá (Cota Mil) sobre la traza activa de la falla del Ávila en la salida hacia San Bernardino.
Fuente: Circular N° 37 de la Sociedad Venezolana de Geólogos (1969).



Foto 75: Vista al este de una brecha de falla N45°W 70N) encontrada en excavación en la urbanización Ávila al pie de la Cota Mil cortando gneises milonitizados a la izquierda y esquistos anfibolíticos a la derecha.
Fuente: André Singer (1972).

GEOFÍSICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 17: MAPA GEOLÓGICO DEL CUATERNARIO Y DE LAS FALLAS GEOLÓGICAS DE CARACAS

DEFORMACIONES TECTÓNICAS

- Falla transcurrente
- Falla transcurrente inversa, rampa lateral y escama tectónica
- Escarpe de falla
- Bloque basculado
- Flexura

INFORMACIÓN ADICIONAL

MARCADORES DE EDAD

- Yacimiento arqueológico de superficie con su número de orden. El color del semi círculo inferior indica la unidad cuaternaria que sirve de asiento al yacimiento.
- Yacimiento arqueológico soterrado con su número de orden. El color del semi círculo superior indica la unidad cuaternaria que sella al yacimiento.
- Sitio de datación geocronológica C14.

Escala: 1:50.000

0 1.000 2.000 4.000 Metros

Parámetros de proyección

Sistema: UTM
Zona: 19
Datum: REGVEN
Hemisferio: Norte

Situación Relativa Continental



Signos Convencionales

- Vialidad
- Curvas de nivel

Base Cartográfica

Fotomosaico no controlado Misión Aérea 8 (1936-39). IGVSB.
Presenta distorsiones en los sitios de empates (Cotiza, El Marqués, etc).
Escala aproximada 1:25.000.
Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Luz Rodriguez y Dulce Montañez. Funvisis 2022

Autores de la cartografía temática

Andre Singer, Adriana Zambrano, Javier Oropeza, Mauricio Tagliaferro. Año: 2022

Situación Relativa Nacional

UNIDADES GEOLÓGICAS

HOLOCENO

Antropoceno

- Suelos y capas de escombros arqueológicos del casco viejo de la ciudad, de edad Colonial a Moderna (2 a 4,5 metros de espesor)

Holoceno superior (Q0a) a Holoceno inferior (Q0b)

- Canal de descarga del Río Valle
- Planicie aluvial de descarga y de inundación de los ríos Valle y Guaire. Arcillas grisis ubicadas a 7 metros de profundidad cerca del Nuevo Circo dieron una edad C14 de 10.460 + 60 B.P. Paleosuelos orgánicos negruzcos y yacimientos arqueológicos precolombinos del Período Neo-Indio III y IV (1, 2, 3, 4 y 5) se encuentran soterrados bajo los aluviones en varios sitios del Valle de Caracas hasta por lo menos 5 metros de profundidad.
- Bancos aluviales
- Difluencias y canales de descarga del Río Guaire

Holoceno superior (Q0a) y Pleistoceno superior Q1

- Deslaves y aludes torrenciales Q0a: Facies proximal de acumulaciones caóticas de bloques rocosos. 2 eventos estratigráficos se encuentran superpuestos en los abanicos de El Pedregal - Country Club: el más reciente Q0a, prehispánico y posiblemente de época Meso-Indio; el más antiguo, del Pleistoceno superior Q1 o del Holoceno inferior Q0b (?), oculto bajo el anterior.
- Deslaves y aludes torrenciales Q0a. Facies distal de explayamientos y canales de deslaves. (2 eventos estratigráficos superpuestos).

El tope de los sedimentos holocenos se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color negruzco.

PLEISTOCENO

Pleistoceno superior Q1

- Depósitos lacustres originados por obturación lateral de los ríos Guaire y Valle y entallados en terraza. El remanente más extenso de esta unidad aflora en la depresión semi-cerrada de Prado de María-Los Rosales - San Pedro (Rincón del Valle) con facies rítmico de varvas limo-arcillosas de color litocromo alternado marrón claro (verano) y anaranjado-rosado (invierno). Lateralmente, y hacia las fuentes de aportes, esta facies pasa a materiales más arenosos de origen coluvio-torrencial.

Pleistoceno superior Q1 a Holoceno inferior Qob ?

- Niveles encajados de descarga y de erosión tardí-lacustre, entallados en los depósitos de la unidad anterior o a expensas de otras unidades pleistocenas.

Pleistoceno superior Q1

- Unidad indiferenciada de sedimentos fluvio-torrenciales y fluvio-paludales de las partes distales del abanico del casco viejo de la ciudad, y de materiales coluvio-torrenciales entallados en terraza en los apéndices aluviales del Valle de Caracas (El Valle, El Paraiso, etc).

El tope de los depósitos pleistocenos Q1 se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color marrón oscuro.

- Abanicos y terrazas fluvio-torrenciales, incluyendo materiales de deslaves, y pasando a facies más finas de explayamientos areno-gravosos e intervalos fangolíticos hacia la parte superior de los perfiles, frecuentemente descabezada y retrabajada bajo la forma de rampas detríticas coluviales. Remanentes de edafosuelos rosados desgarrados en la masa de los sedimentos.

El tope de los depósitos pleistocenos Q2 se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color anaranjado. Intensa ferruginización ocre - amarillo de los sedimentos.

Pleistoceno inferior Q3

- Abanicos con espesos niveles fangolíticos blanquecinos intercalados con niveles de explayamientos arenosos de mismo color. Intensa descomposición geoquímica de los perfiles de sedimentos.

El tope de los depósitos pleistocenos Q3 se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color rojo intenso, a menudo con venas blancas. Importante deformación tectónica de esta unidad sedimentaria bajo la forma de rampas laterales en San Bernardino, Los Chorros, El Marqués, etc.

Pleistoceno inferior o Plio-Pleistoceno Q4

- Remanentes discontínuos de acumulaciones detríticas groseras altamente descompuestas, con los clastos reducidos al estado de "fantasmas" blanquecinos difíciles de separar de la matriz.

El tope de los depósitos plio-pleistocenos Q4 se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color rojo. Esta unidad se encuentra estrechamente incorporada a la zona de deformación tectónica con fuerte componente inversa, correspondiente a la traza activa de la falla del Ávila - Tacagua a lo largo de la Cota Mil.

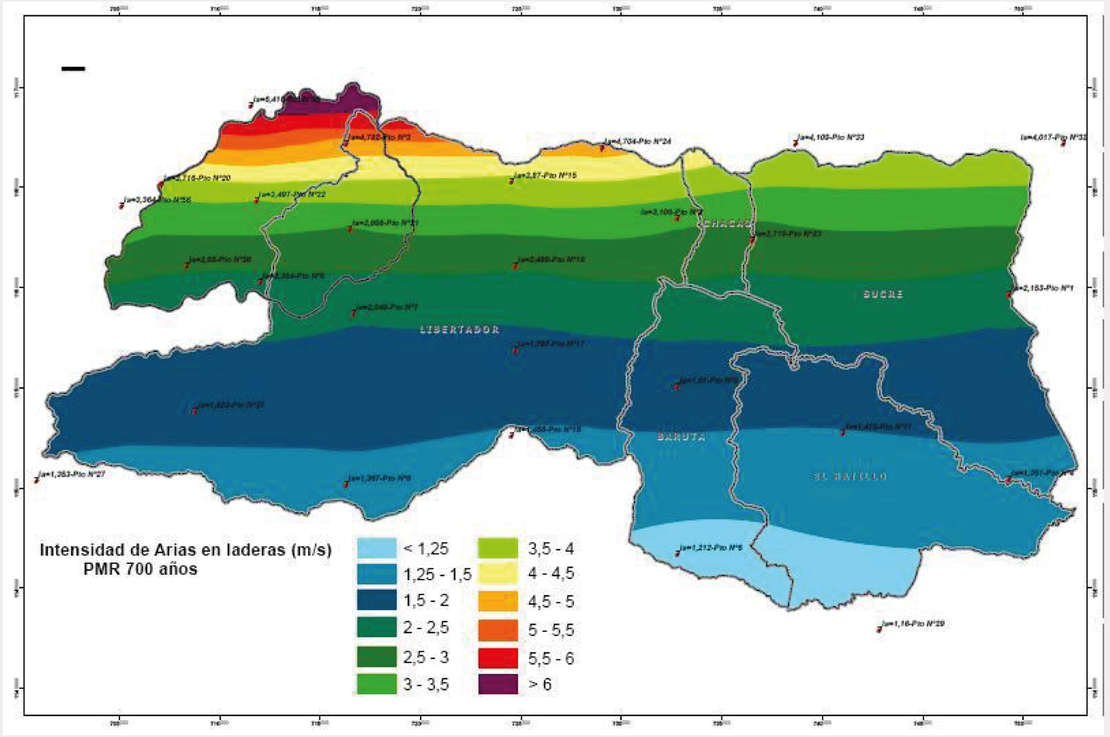
- Basamento rocoso

Peligro de deslizamientos en Caracas

Julio J. Hernández, Maxlimer Valleé †, Michael Schmitz, Javier Oropeza, Mauricio Tagliaferro y Piero Feliziani

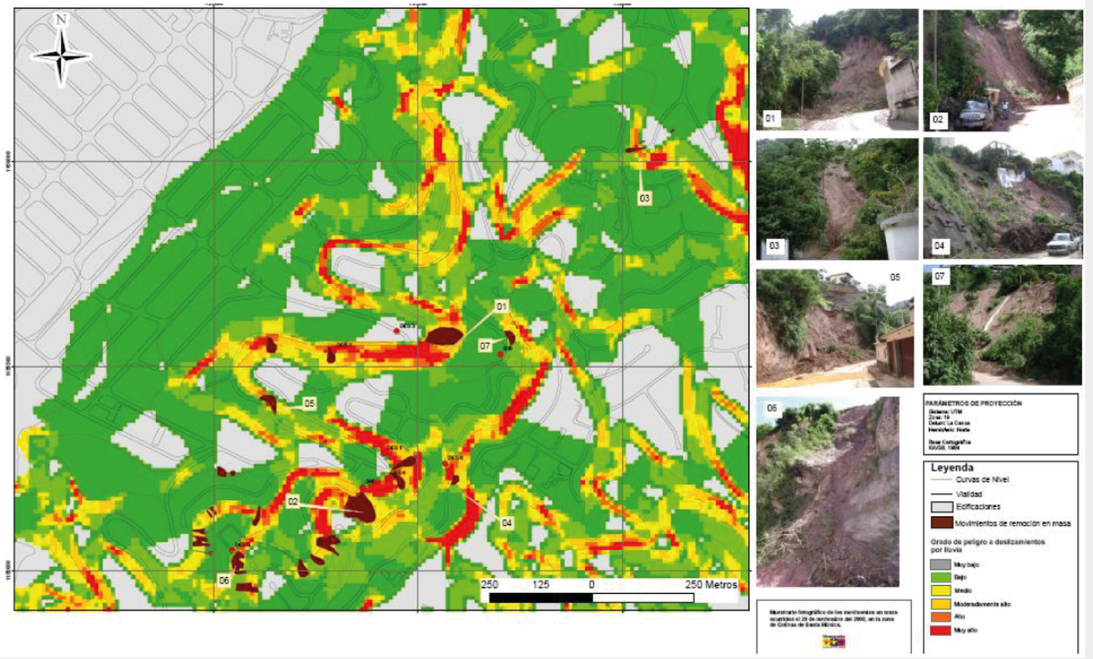
En el marco del proyecto de microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Caracas de evaluó el peligro sísmico de deslizamiento a escala 1:25.000, el cual está condicionado por la cercana ubicación de la ciudad a varios sistemas de fallas asociadas al borde de las placas Caribe y Sudamericana. Como soporte se contó con información geológica geomorfológica y geotécnica previamente desarrollada en el llamado Sector Central a escala 1:10.000, así como con modelos digitalizados de elevación. Se efectuó una caracterización geotécnica de las laderas que toma en cuenta sus características litológicas, estructurales, clinométricas y de geodinámica externa, incluyendo la intervención antrópica. Se obtuvieron mapas de orientación geotécnica y susceptibilidad a los deslizamientos traslacionales; estos fueron calibrados en el subsector de la Urb. Alto Prado con información a escala 1:25.00, correlacionándolos con los deslizamientos previos o latentes causados por lluvias.

Mapa 18: Amenaza sísmica como intensidades de Arias en el Área Metropolitana de Caracas para PMR = 700 años. Fuente: Hernández *et al.* (2008).

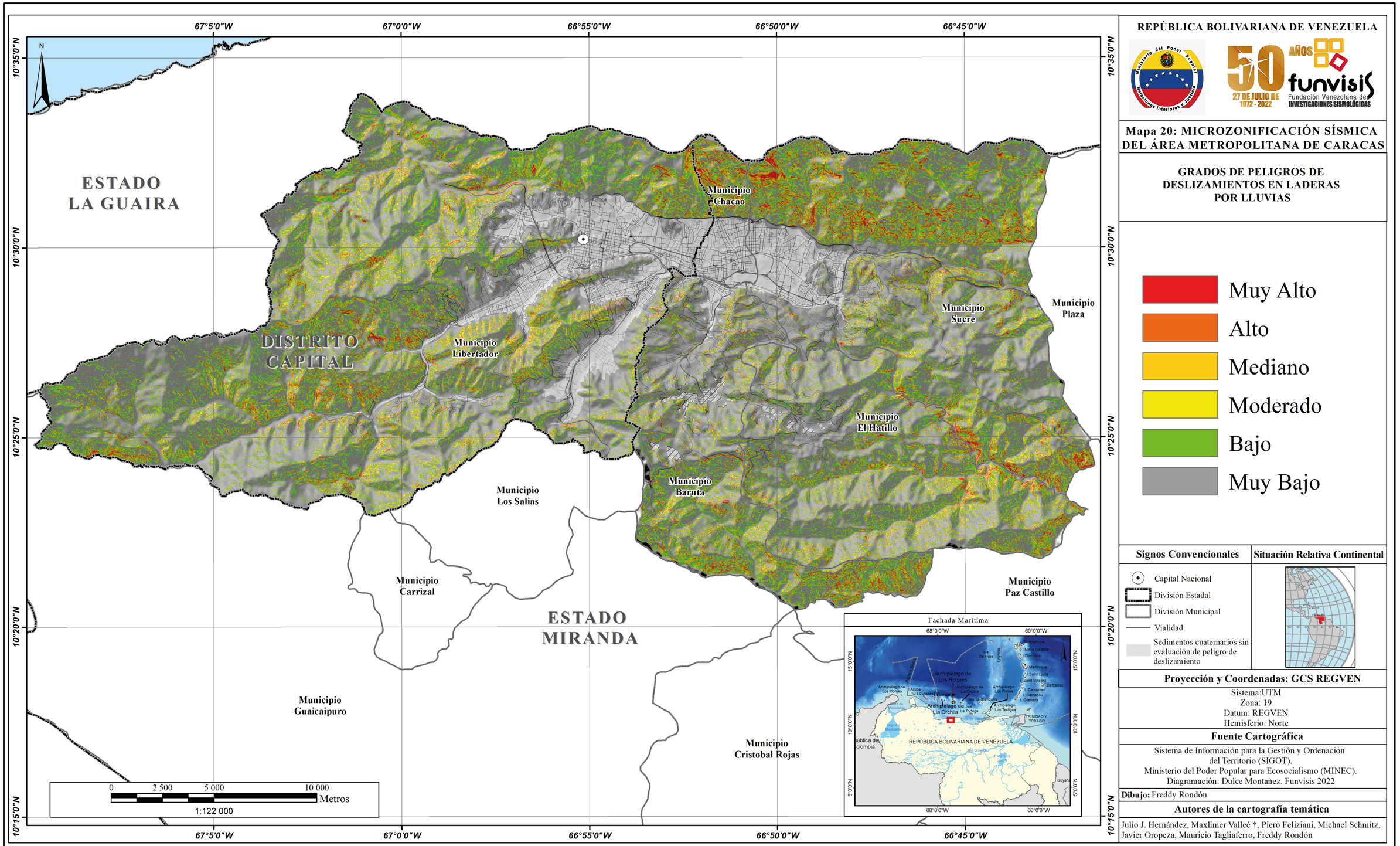


Para la evaluación del peligro sísmico se utilizó una estimación de deformaciones de *Newmark* correlacionada con intensidades de Arias (ver mapa); estas se obtuvieron mediante análisis de amenaza sísmica, asumiendo un período medio de retorno de 700 años, valor similar al normativo para las edificaciones masivas. Adicionalmente, para completitud del estudio se estimó el peligro de deslizamientos por lluvia. El peligro de deslizamientos por sismo se evaluó para suelo semisaturado y el peligro de deslizamientos por lluvias para suelo saturado. Se identificaron seis niveles de peligro en los mapas, los cuales podrán ayudar a guiar las decisiones de priorización de estudios especiales e implementación de medidas de mitigación (Hernández *et al.,* 2008).

Mapa 19: Peligro de deslizamientos por lluvias: calibración con eventos ocurridos a raíz de las lluvias fuertes de noviembre de 2008 en Baruta (comparación de los eventos con la amenaza identificada en el mapa) evidencia para la importancia de las modificaciones antrópicas. Fuente: Valleé *et al.* (2009).



GEOFÍSICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS funvisis 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 20: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

GRADOS DE PELIGROS DE DESLIZAMIENTOS EN LADERAS POR LLUVIAS

- Muy Alto
- Alto
- Mediano
- Moderado
- Bajo
- Muy Bajo

Signos Convencionales

- Capital Nacional
- División Estadal
- División Municipal
- Vialidad
- Sedimentos cuaternarios sin evaluación de peligro de deslizamiento

Situación Relativa Continental

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Sistema:UTM
Zona: 19
Datum: REGVEN
Hemisferio: Norte

Fuente Cartográfica

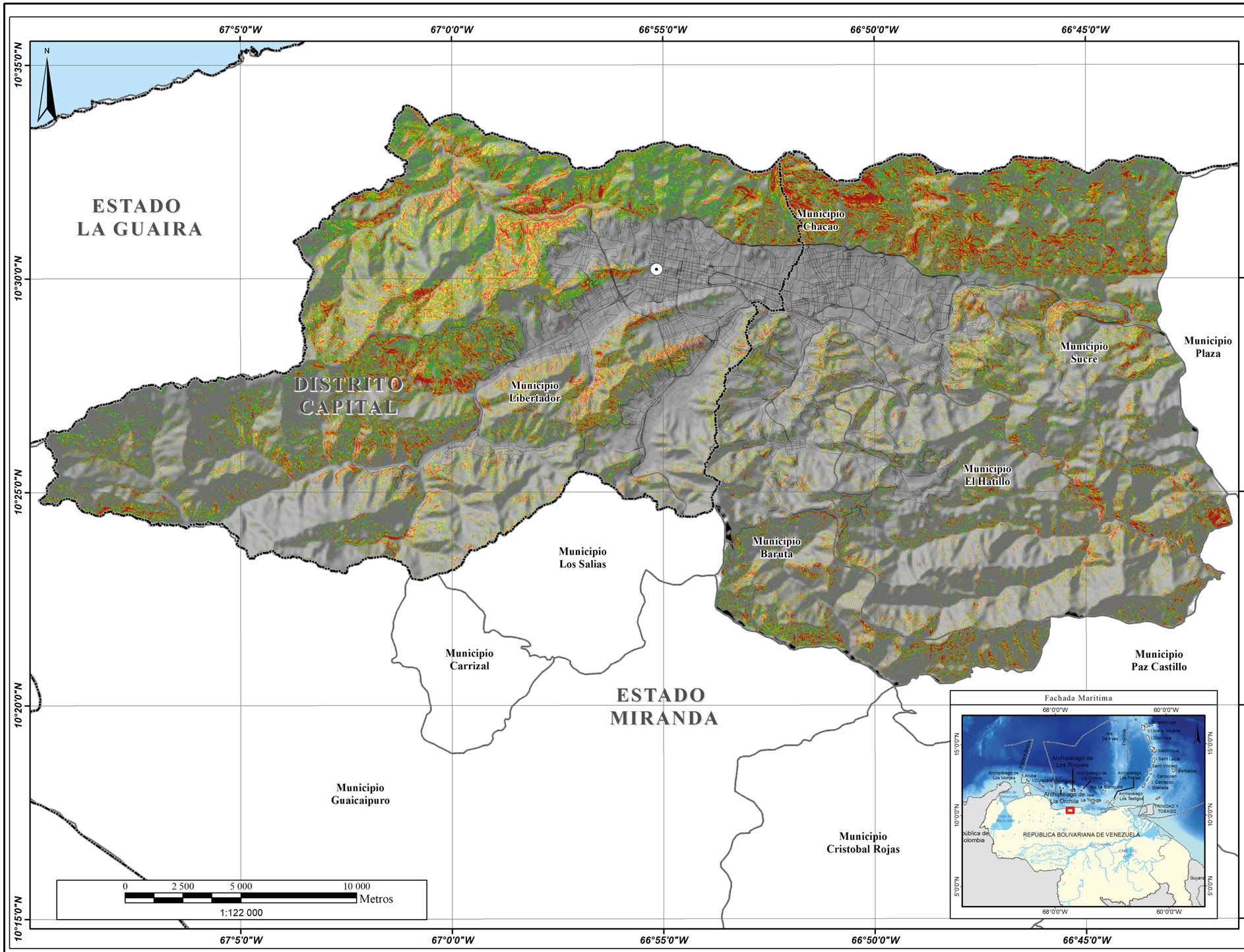
Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Dibujo: Freddy Rondón

Autores de la cartografía temática

Julio J. Hernández, Maxlimer Valleé †, Piero Feliziani, Michael Schmitz, Javier Oropeza, Mauricio Tagliaferro, Freddy Rondón

GEOFÍSICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 21: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

GRADOS DE PELIGROS DE DESLIZAMIENTOS EN LADERAS POR SISMOS

- Muy Alto
- Alto
- Mediano
- Moderado
- Bajo
- Muy Bajo

Signos Convencionales	Situación Relativa Continental
Capital Nacional División Estadal División Municipal Vialidad Sedimentos cuaternarios sin evaluación de peligro de deslizamiento	

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Sistema:UTM
Zona: 19
Datum: REGVEN
Hemisferio: Norte

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Dibujo: Freddy Rondón

Autores de la cartografía temática

Julio J. Hernández, Maxlimer Valleé †, Piero Feliziani, Michael Schmitz, Javier Oropeza, Mauricio Tagliaferro, Freddy Rondón

Espesores de sedimentos en Caracas

Michael Schmitz, Eduin Amarís, Javier Sánchez Rojas, Víctor Rocabado, Jesús Moncada, Peter Kantak

Dentro del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas la determinación de los espesores de sedimentos ocupa un lugar prioritario, ya que muchos de los edificios de mediana altura dañados en el terremoto de 1967 estuvieron ubicados en zonas de gran espesor de sedimentos con efectos de cuenca, lo cual fue determinado mediante mediciones sísmicas después del terremoto.

Se realizaron estudios para determinar el espesor de los sedimentos, entre ellos mediciones sísmicas de refracción (Sánchez *et al.,* 2005), mediciones de ruido ambiental (estimaciones de profundidad de los períodos predominantes) (Rocabado *et al.,* 2011), perforaciones geotécnicas y la recopilación de información de pozos de agua de diferentes épocas (décadas de 1950 a recientes). Esta información fue integrada en un detallado modelado gravimétrico 3D, con toda la información del subsuelo para el valle de Caracas como puntos de control. Se determina un espesor máximo de los sedimentos de unos 350 m en la zona Los Palos Grandes - Dos Caminos y unos 220 m en San Bernardino (Amarís *et al.,* 2011).



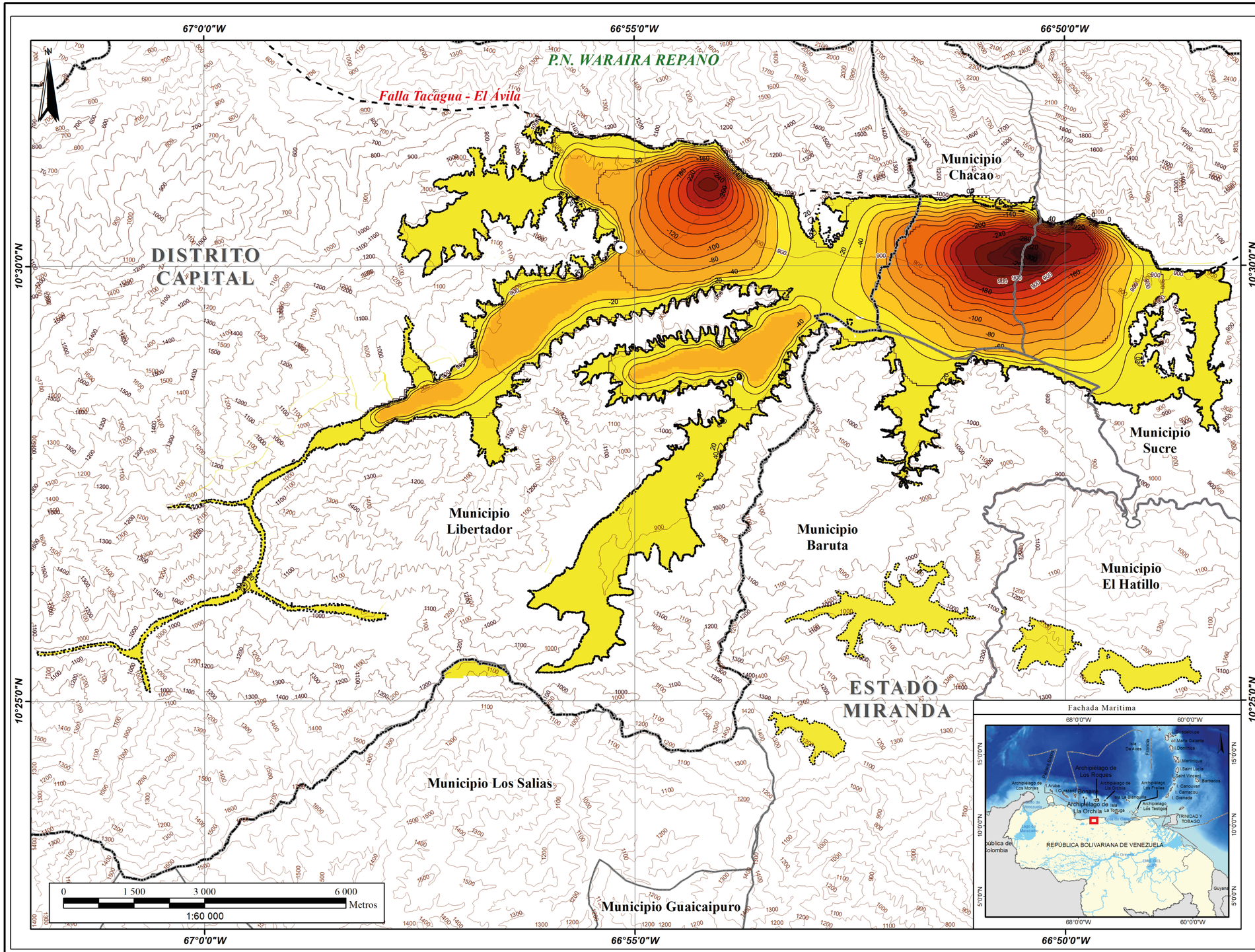
Foto 76 y 77: Recepción de equipos de medición sísmica (“Texan”) del IRIS Instrument Centre.
Fuente: Funvisis (2001).

Foto 78 y 79: Perforación para mediciones sísmicas (izquierda) y búsqueda de puntos de medición (derecha) en Caracas (2001).



La información resultante se muestra para espesores variables y para su aplicación en las microzonas se agrupan en cuatro rangos de profundidad (0-60, 0-120, 120-220 y > 220 m), de acuerdo con el alcance del análisis dinámico paramétrico de la respuesta del suelo, y se utiliza como la base para la definición de los límites entre las microzonas de respuesta sísmica similar dentro del valle (Schmitz *et al.,* 2020a).

GEOFÍSICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 22: PLANO DE LA PROFUNDIDAD AL BASAMENTO H (ESPESOR SEDIMENTARIO) DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

Profundidades (m)

0 -20	-180 -200
-20 -40	-200 -220
-40 -60	-220 -240
-60 -80	-240 -260
-80 -100	-260 -280
-100 -120	-280 -300
-120 -140	-300 -320
-140 -160	-320 -340
-160 -180	-340 -360

Tipología de Fallas

- Inferida
- Inversa
- Dextral Continua
- Sinestral Discontinua

Signos Convencionales

- Capital Nacional
- División Estadal
- División Municipal
- Límite de la zona sedimentaria
- Curvas de nivel

Situación Relativa Continental

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Sistema:UTM
Zona: 19
Datum: REGVEN
Hemisferio: Norte

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Dibujo: Freddy Rondón

Autores de la cartografía temática

Michael Schmitz, Eduin Amarís, Javier Sánchez-Rojas, Víctor Rocabado, Jesús Moncada, Peter Kantak, Freddy Rondón

Investigaciones geodinámicas

Michael Schmitz, Franck Audemard, Fernando Mazuera, Carlos Reinoza, José Choy, José Cruces, Jesús Ávila, Luis Yegres, Kenny García, Luz Rodríguez, Franco Urbani, Nuris Orihuela, Claudia Quinteros, Herbert Rendón, Antonio Ughi, Miguel Bosch, Santiago Yépez, Wuilian Torres, Crelia Padrón, Laura Piñero, Mónica Paolini, Cristhian Sánchez, Stephanie Klarica †, Francisco Araujo, Javier Sánchez, André Singer, Jélime Aray, Jesús Moncada, Milgreya Cerrada, Martín Rengifo, Patxi Vizcarret, Sara Mata, Mauricio Bermúdez, Mariano Arnaiz, Jesús González, Manuel Bolívar, Rafael Ramírez, Pedro Camacho, Pedro Medina, Marvin Barquero, Freddy Rondón, Santiago Yepez, Keyla Ramírez, María Saavedra y Noel Crasto

Las investigaciones geodinámicas se desarrollan con el fin de entender la dinámica de la zona norte de Venezuela a través de la exploración de las estructuras de la litosfera terrestre a diferentes escalas utilizando métodos geofísicos, geológicos y geodésicos, entre otros. Aparte de varios proyectos de enfoque local, se desarrollaron dos proyectos interdisciplinarios interinstitucionales, el primero llamado Geodinámica Reciente del Límite Norte de la Placa Sudamericana (GEODINOS) destinado a investigar la interacción de las placas tectónicas del Caribe y de Sudamérica a partir del 2002 (Schmitz *et al.,* 2014a) y el segundo llamado Geociencia integral de los Andes de Mérida (GIAME) con un enfoque en los procesos relacionados al levantamiento y las estructuras internas y externas de los Andes de Mérida a partir del 2012 (Schmitz *et al.,* 2014b). Bajo el liderazgo de Funvisis se unieron investigadores de las universidades nacionales UCV, USB, ULA, Unefa y UDO, institutos de investigación Fiicpdi, Pdvsa-Intevep, Igvsb y ABAE, así como PDVSA. Los esfuerzos nacionales se complementaron con los proyectos internacionales Broadband Onshore-Offshore Lithospheric Investigations of Venezuela and the Antilles Arc Region (BOLIVAR) (Levander *et al.,* 2006; 2014) y CARibbean-Merida Andes (CARMA) (Cornthwaite *et al.,* 2021) bajo el liderazgo de la Universidad Rice (EE. UU.) incluyendo investigadores de las universidades de Indiana, California, Texas y Minnesota (EE. UU.); también se incorporaron cooperaciones con IS-Terre (Francia) y GFZ (Alemania) entre las mas destacadas.

Para alcanzar los objetivos planteados, se realizó la interpretación interdisciplinaria de varios métodos geológicos y geofísicos, tal como el mapeo geológico y geotectónico, la identificación de la morfología de fallas activas y campos de esfuerzos mediante mediciones de GPS (Reinoza *et al.,* 2015), el análisis petrológico de trincheras y dataciones, los métodos potenciales como la gravimetría, la magnetometría y la magnetotelúrica, la sísmica de refracción profunda y la sismología (tomografía y funciones de receptores) con la evaluación de escenarios geodinámicos.

El trabajo apunta hacia la integración de este conjunto de datos mediante un Sistema de Información Geográfica, el cual permitirá la interrelación y visualización de todos los parámetros de estudio para su interpretación conjunta. El estudio de la geodinámica del límite norte del continente Sudamericano y de los Andes venezolanos es de gran importancia para el conocimiento del riesgo sísmico en Venezuela, pues la mayor parte de la población reside en zonas que están directamente expuestas a los fenómenos generados por este margen activo. Tal es el caso de la abrupta morfología producto de la interacción de la placa Sudamericana con la placa del Caribe y la sismicidad asociada a los movimientos relativos de estas dos placas, así como la relación de la placa del Caribe en subducción por debajo del bloque de Maracaibo y su importancia para la generación de los Andes de Mérida. El conocimiento en detalle de las estructuras litosféricas ayuda en la localización de los eventos telúricos y a un mejor conocimiento de las fallas tectónicas activas, mientras que los modelos geodinámicos asociados favorecen una mejor comprensión de la amenaza sísmica a la cual está expuesta la población. A su vez, estos conocimientos contribuyen a definir aquellos procesos que formaron las cuencas neógenas del país, su mayor fuente de hidrocarburos.

Mapa del espesor de la corteza en Venezuela

Michael Schmitz, Keyla Ramírez, Fernando Mazuera, Jesús Ávila, Luis Yegres y Natalio Reyes

La corteza terrestre forma parte de la litosfera, la cobertura rígida de la Tierra, que tiene espesores entre 50-80 km debajo de los océanos y hasta 300 km, con un promedio de aproximadamente 130 km, debajo de los continentes. La corteza se divide del manto litosférico por la discontinuidad de Mohorovičić (o breve Moho), que separa rocas con propiedades físicas fundamentalmente diferentes con fuertes variaciones de su espesor. El estudio de la estructura interna de la corteza y las variaciones de su espesor ayuda a identificar provincias geológicas y proporciona modelos de referencia para estudios sismológicos.

Con tal fin se realizaron desde los años 80 estudios sísmicos de gran ángulo con fuentes controladas (explosiones), el primero en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (1984) para establecer parámetros para la localización de los sismos en la región. Como parte de las Investigaciones Geodinámicas en Funvisis se realizaron en 1998 mediciones sísmicas en el Escudo de Guayana utilizando las voladuras de la mina Cerro Bolívar y en 2001 mediciones con voladuras controladas en un perfil conectando el Escudo de Guayana con la costa del Caribe en Barcelona. En el marco de los proyectos GEODINOS y BOLIVAR se realizaron en 2004 mediciones sísmicas a lo largo de cuatro perfiles N-S entre la Cuenca de Venezuela en el norte y las cuencas de antepaís en los Llanos al sur, así como un quinto perfil en la Cuenca de Grenada al NE de Trinidad y Tobago. En el 2014 se midieron en el marco del proyecto GIAME tres perfiles con orientación NO – SE que cruzaron los Andes de Mérida, con un perfil perpendicular en la cuenca de Falcón y conexiones perpendiculares en los Andes; sobre este mismo perfil se hicieron en 2015 mediciones sísmicas de reflexión y registros de los sismos.

Foto 80 y 81: Preparación y revisión de equipos Texan para ser usados en el estado Guárico en el marco del proyecto GEODINOS (2004).



El uso de las vibraciones naturales de la Tierra (sismos, vibraciones ambientales) permite el estudio de la litósfera con varios métodos, siendo el análisis de las funciones receptoras un método muy eficiente para mapear discontinuidades como el Moho. Se elaboraron mapas del espesor del Moho con las estaciones de la red sismológica nacional y de estaciones temporales en el marco de los proyectos GEODINOS, BOLIVAR y GIAME, CARMA. De la placa del Caribe va aumentando el espesor cortical de la Cuenca de Venezuela con 20-25 km a unos 35 km en la costa (con excepción de la zona de Falcón donde se observa un adelgazamiento a menos de 30 km espesor) y 40-45 km en Los Llanos y El Escudo de Guayana, respectivamente. Valores superiores a 50 km se observan en la Cuenca de Maturín y en la parte Sur de los Andes de Mérida (e.g. Schmitz *et al.,* 2021).

Foto 82: Proyecto GEODINOS, perforación de pozos para una voladura, estado Falcón, (2003).



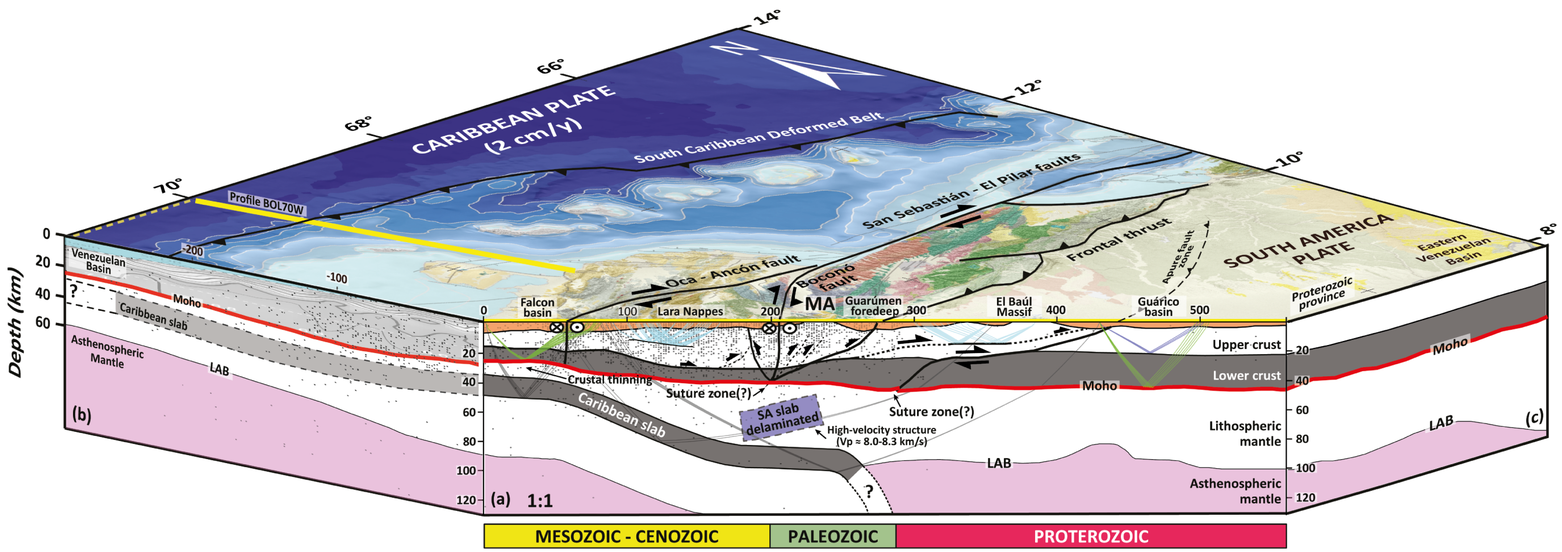
Foto 83: Proyecto GEODINOS, carga de explosivos, estado Falcón, (2003).



GEOFÍSICA

Foto 84 y 85: Proyecto GEODINOS, preparación y observación de las voladuras del Cerro Bolívar, estado Bolívar, (2004).





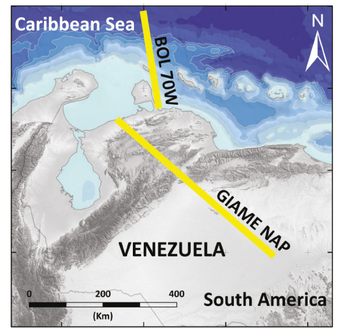
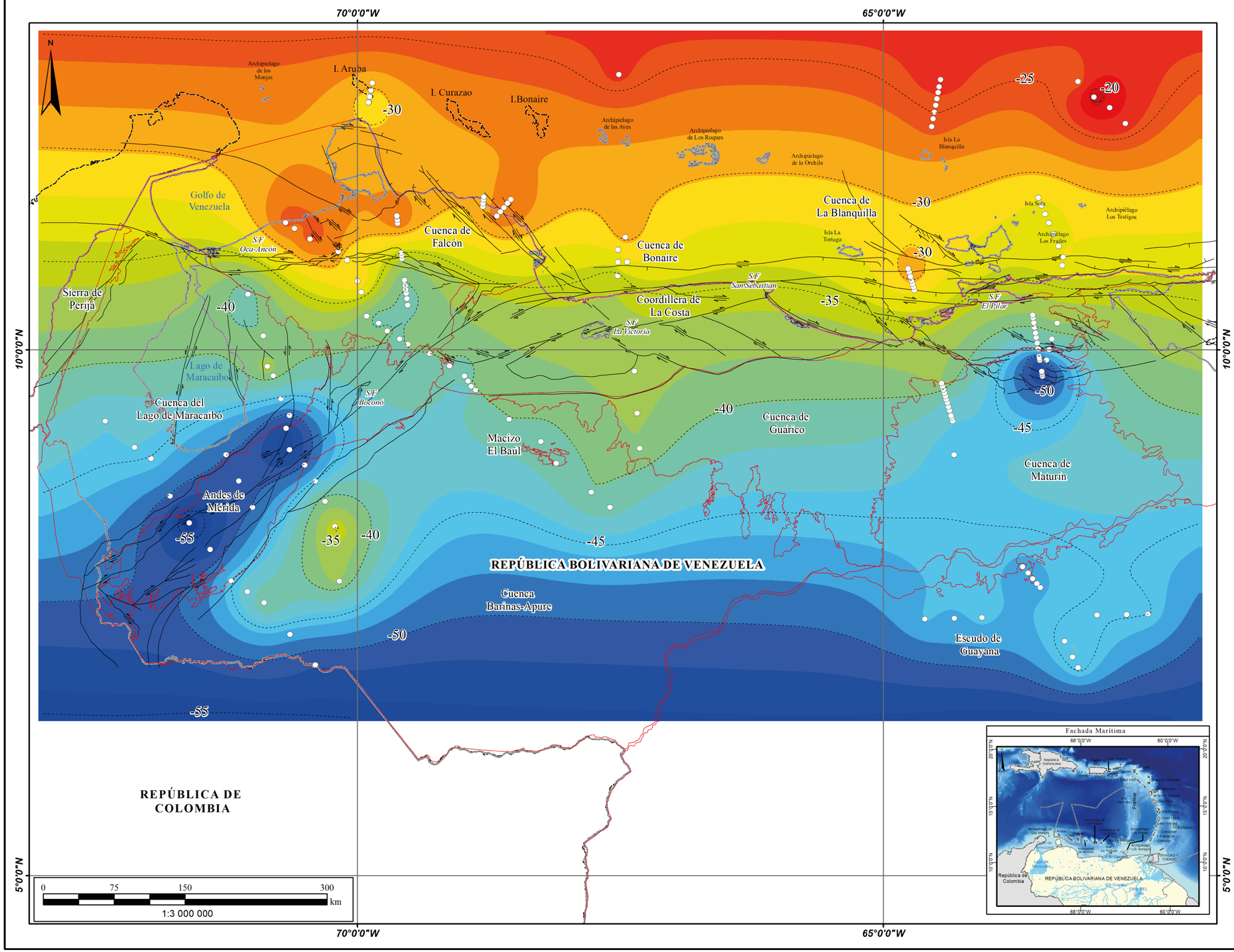


Figura 4: Modelo esquemático de la litósfera al norte de los Andes de Mérida. Fuente: Mazuera *et al.* (2019).

GEOFÍSICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 23: MAPA DE LA PROFUNDIDAD DE LA DISCONTINUIDAD DE MOHOROVIČIĆ DE VENEZUELA BASADO EN ESTUDIOS SÍSMICOS DE GRAN ÁNGULO

Espesor Cortical

-16
-18
-20
-22
-24
-26
-28
-30
-32
-34
-36
-38
-40
-42
-44
-46
-48
-50
-52
-54
-56
-58
-60

(km)

Simbolos Convencionales	Situación Relativa Continental
Sitios con informacion de reflexiones del Moho Discontinuidad de Mohorovičić Fallas Cuaternarias de Venezuela Unidades Tectónicas de Venezuela Límite Nacional Límite Internacional	

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Sistema:UTM
Zona: 19
Datum: REGVEN
Hemisferio: Norte

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Dibujo: Freddy Rondón

Autores de la cartografía temática

Michael Schmitz, Keyla Ramírez, Fernando Mazuera, Jesús Avila, Luis Yegres, Maximiliano Bezada, Alan Levander y el grupo de trabajo de sísmica activa del proyecto GIAME

Referencias

Amarís, E., Schmitz, M., Murphy, V. (2011). Map of sediment thickness as primary input for the Caracas Seismic Microzoning Project. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago de Chile, Paper Nr. MOSAM, 12 pp.

Aray, J., Rocabado, V., Sánchez-Rojas, J., Morales, C., Schmitz, M., Álvarez, F. (2015). Resultados de estudios geofísicos realizados en la ciudad de Cumaná como aporte al proyecto de microzonificación sísmica de la ciudad. X CONVESIS, Cumaná, trabajo in extenso, 6 pp, en CD.

Ávila, J., Oropeza, J., Gómez, A., Schmitz, M., García, K. (2014). Integración de datos geofísicos y geológicos para la microzonificación sísmica de Carora, estado Lara. Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra (GEOS), 46(1), 1-17.

Cornthwaite, J., Bezada, M.J., Miao, W., Schmitz, M., Prieto, G.A., Dionicio, V., Niu, F., Levander, A. (2021). Caribbean slab segmentation beneath northwest South America revealed by 3-D finite frequency teleseismic P-wave tomography. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 22, e2020GC009431. https://doi.org/10.1029/2020GC009431

COVENIN 1756-1 (2019). Construcciones sismorresistentes. Parte 1: Requisitos, Comisión Venezolana de Normas Industriales, FODENORCA, Caracas, http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1756-1-2019.pdf

García, K., Morales, C., Sánchez, J., Schmitz, M., (2006). Determinación de velocidades de ondas de corte (Vs30) en el Área Metropolitana de Caracas, a partir de conversión SPT-velocidad de ondas de cortes, análisis de ondas superficiales y sísmica de refracción. VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valencia, Memorias en CD, 9 pp.

Hernández JJ., (2009). Confiabilidad sísmica-estructural de edificaciones existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela, C.I.V., Jornadas 18 y 19 de septiembre de 2009, 107 p.

Hernández, J.J. Schmitz, M., Audemard, F., Malavé, G. (2006). Marco conceptual del proyecto de microzonificación de Caracas y Barquisimeto. VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valencia, 2006, Memorias en CD, 8 pp.

Hernández, J.J., Valleé, M., Feliziani, P., Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Castillo, A., Cano, V. (2008). Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. 50 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), 6 al 9 de noviembre 2008, Caracas, Memorias, 14 p.

Hernández, J.J., Schmitz, M., Delavaud, É., Cadet, H., Domínguez, J. (2011). Espectros de respuesta sísmica en microzonas de Caracas considerando efectos de sitio 1D, 2D y 3D. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 26, Nº 2, pp. 49-66.

Levander, A., Schmitz, M., Avé Lallemant H.G., Zelt, C.A., Sawyer, D.S., Magnani, M.B., Mann, P., Christeson, G., Wright, J., Pavlis, D., Pindell, J. (2006). Evolution of the Southern Caribbean Plate Boundary. EOS, Vol. 87, Nr. 9, pp. 97, 100.

Levander, A., Bezada, M., Palomeras, I., Thurner, S., Masy, J., Humphreys, E., Niu, F., Schmitz, M., Gallart, J., Carbonell, R., Miller, M. (2014). Subduction-Driven Recycling of Continental Margin Mantle Lithosphere, Nature, 515, 253-256.

Mazuera, F., Sánchez, J., Cerrada, M., Rocabado, V., Schmitz, M., Morales, C., Yegres, L., García, K., Matos, S., Romero, M., Prieto, A., Carmona, N., Sánchez, T., García, O., Calderón, A., Linares, M. (2015). Investigación aplicada a la gestión del riesgo sísmico en las ciudades de Valera, Trujillo y Boconó, estado Trujillo, con fines de microzonificación sísmica. X CONVESIS, Cumaná, trabajo in extenso, 11 pp, en CD.

Mazuera, F., Schmitz, M., Escalona, A., Zelt, C., Levander, A. and the GIAME active seismic working group (2019). Lithospheric structure of northwestern Venezuela: implications for the understanding of continental margins evolution. JGR 124, doi: 10.1029/2019JB017892.

Morales, C., Hernández, J.J., Schmitz, M., Cano, V., Tagliaferro, M. (2011). Velocidades promedios de ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad (Vs30), inferidos a partir del relieve en el Área Metropolitana de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 26 (2), 161–168.

Oropeza, J., Singer, A. (2011). Propuesta geológica de microzonas sísmicas para la ciudad de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 26, Nº 2, pp. 129-140.

Papageorgiou, A.S., Kim, J. (1991). Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas valley with reference to the 29 July 1967 earthquake: SH waves. Bull. Seismol. Soc. Am., 81, 2214-2233.

Parra, J., Morales, C., Schmitz, M., Cerrada, M., Linares, M., Sánchez Rojas, J. (2016). Analogía entre valores de Vs30 calculados para ciudades venezolanas a partir del relieve y refracción por microtremores. VII Coloquio de Microzonificación Sísmica, Mérida, resumen in extenso.

Pousse Beltran, L., Pathier, E., Jouanne, F., Vassallo, R., Reinoza, C., Audemard, F., Doin, M.P., Volat, M. (2016). Spatial and temporal variations in creep rate along the El Pilar fault at the Caribbean-South American plate boundary (Venezuela), from InSAR. J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, doi:10.1002/2016JB013121.

Reinoza, C., Morales, C., Rocabado, V., García, K., Sánchez, C., Abreu, R., Schmitz, M. (2011). Espesores de sedimentos a partir de la integración de datos geofísicos en Barquisimeto y Cabudare, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., 26 (2), 67–76.

Reinoza, C., Jouanne, F., Audemard, F.A., Schmitz, M., Beck, C. (2015). Geodetic exploration of strain along the El Pilar Fault in northeastern Venezuela, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 120, 1993-2013.

Rocabado, V., Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C. (2011). Relación entre período del suelo y profundidad de los sedimentos para la ciudad de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 26 (2), 141–151.

Rodríguez, L., Singer, A., Rocabado, V. (2005). Evidencias geomorfológicas de fenómenos de sufosión-tubificación-colapso en el tope de la terraza pleistocena de Barquisimeto. IV Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Barquisimeto, noviembre 2005, en CD, Serie Técnica Funvisis No. 1, 2005, 235-239

Rodríguez, L., Diederix; H., Torres, E., Audemard, F., Hernandez, C., Singer, A., Bohorquez, O., Yepez, S. (2018). Identification of the seismogenic source of the 1875 Cucuta earthquake on the basis of a combination of neoteconic, paleoseismologic and historic seismicity studies. Journal of South American Earth Sciences, 82, 274-291.

Sánchez, J., Schmitz, M. y Cano, V. (2005). Mediciones sísmicas profundas en Caracas para la determinación del spesor de sedimentos y velocidades sísmicas. Boletín Técnico del IMME, Vol. 43, No. 2, 49-67.

Sánchez, J., Götze, H.-J., Schmitz, M. (2010). A 3-D lithospheric model of the Caribbean-South American plate boundary. International Journal of Earth Sciences, 100, 7, 1697-1712.

Schmitz, M., Morales, C. (Editores) (2016). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, Funvisis, 2016, 161 pp.

Schmitz, M., Singer, A. (Editores) (2015). Microzonificación sísmica de Caracas. Funvisis, Aldaldía de Chacao 171 pp.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C., Tagliaferro, M., Valleé, M., Leal, V., Rocabado, V., Cano, V., Audemard, F., Aguilar, I., Caraballo, E., Urbani, F., Rendón, H., Palma, M., Vásquez, R., Romero, G., López, R., Rodríguez, J., Molina, D., González, J., Araque, J., Ollarves, R., Rodríguez, L., Azuaje, J., Singer, A., Zambrano, A., Oropeza, J., García, K., González, M., Flores, Y., Villar, M. Justiniano, A., Moncada, J., Amaris, E, Sánchez, J.,

Domínguez, J., Hernández, A., Delavaud, E., Alvarado, L., Vilotte, J.-P., Feliziani, P., Castillo, A., Zamora, J. Anzola, F., Zambrano, H., Colmenárez, L., Cornou, C., Cadet, H., Aguilar, A., Guzmán, J., Marín, W., Quintero, B. (2009a). Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), Funvisis FUN-035a, 2007, Inédito, 978 pp.

Schmitz, M., Hernández, J.J., García, K., Leal, V., Rocabado, V., Reinoza, C., Timaure, N., Rodríguez, L., Rendón, H., Palma, M., Vásquez, R., Romero, G., López, R., Bueno, M., Rodríguez, J., Araque, J., Audemard, F., Ollarves, R., Azuaje, J., Cano, V., Molina, D., Morales, C., Masy, J., Tagliaferro, M., Andrade, L., Rojas, R., Ávila, J, Sánchez, J., Sánchez, C., De Marco, R., Solorzano, A., Varguillas, P., Urbani, F., Singer, A., Domínguez, J., Delgado, J., Marante. M.E., Andrade, M., Abreu, R., Alvarado, L., Aguilar, A., Quintero, B., Guzmán, J., Marín, W., Figueira, L., Quinteros, C. (2009b). Informe Técnico Final, Volumen 2 Barquisimeto, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), Funvisis FUN-035b, 2007, Inédito, 432 pp.

Schmitz, M., Audemard, F., Urbani, F. (Editores) (2014a). El Límite Noreste de la Placa Sudamericana estructuras litosféricas de la superficie al manto. Comité Editor Libros y Monografías, Fac. Ing. UCV, 379 pp.

Schmitz M., Orihuela, N., Klarica, S., Gil E., Audemard, F., Mazuera F., Ávila, J., Yegres L., Sánchez, J., GIAME working group (2014b). Geoscientific research for lithospheric structures of the Merida Andes, Venezuela. IASPEI – LACSC (Asamblea Regional Comisión Latinoamericana y del Caribe de Sismología) Regional Assembly 2014 July 23-25, Bogotá, Colombia, abstract.

Schmitz, M., Cano, V., López, O.A., Klarica, S., Pombo, A., Díaz, J.F., Heredia, J., Avendaño, J., Morales, C. y el grupo de riesgo sísmico del proyecto Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos (2015). Estudios geofísicos en cuencas urbanas en Venezuela con fines de microzonificación sísmica. Boletín de Geología, 37 (1), 17-26.

Schmitz, M., Sánchez, J., Rocabado, V., García, K., Paolini, M., Yegres, L., Ávila, J., Aray, J., Medina, P., Morales, C., Mazuera, F., Cerrada, M., Andrade, L., Rojas, R., Pombo, A., Ramírez, O., Heredia, J., Sanzonetti, E., Álvarez, F., Molina, L. (2019). Espesores sedimentarios de cuencas urbanas como aporte a los estudios de microzonificación sísmica en Venezuela. Geominas, Vol. 47, No.79, 81-98.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Rocabado, V., Domínguez, J., Morales, C., Valleé†, M., García, K., Sánchez, J., Singer, A., Oropeza, J., Coronel, G., Flores, A. and the Caracas Seismic Microzoning Project Working Group (2020a). The Caracas, Venezuela, seismic microzoning project: methodology, results and implementation for seismic risk reduction. Progress in Disaster Science 5, doi: 10.1016/j.pdisas.2019.100060.

Schmitz, M., Morales, C., Hernández, J.J., Chollett, E., Andrade, L., Avón, D., Mendez, R., Mendez, D., Rodríguez, L., Rojas, R., Rocabado, V., García, K., Durán, L. y el grupo de trabajo de microzonificación sísmica Barquisimeto-Cabudare (2020b). Resultados e implementación de la Microzonificación Sísmica de Barquisimeto y Cabudare. Geominas, Vol. 48., No. 81, 3-14.

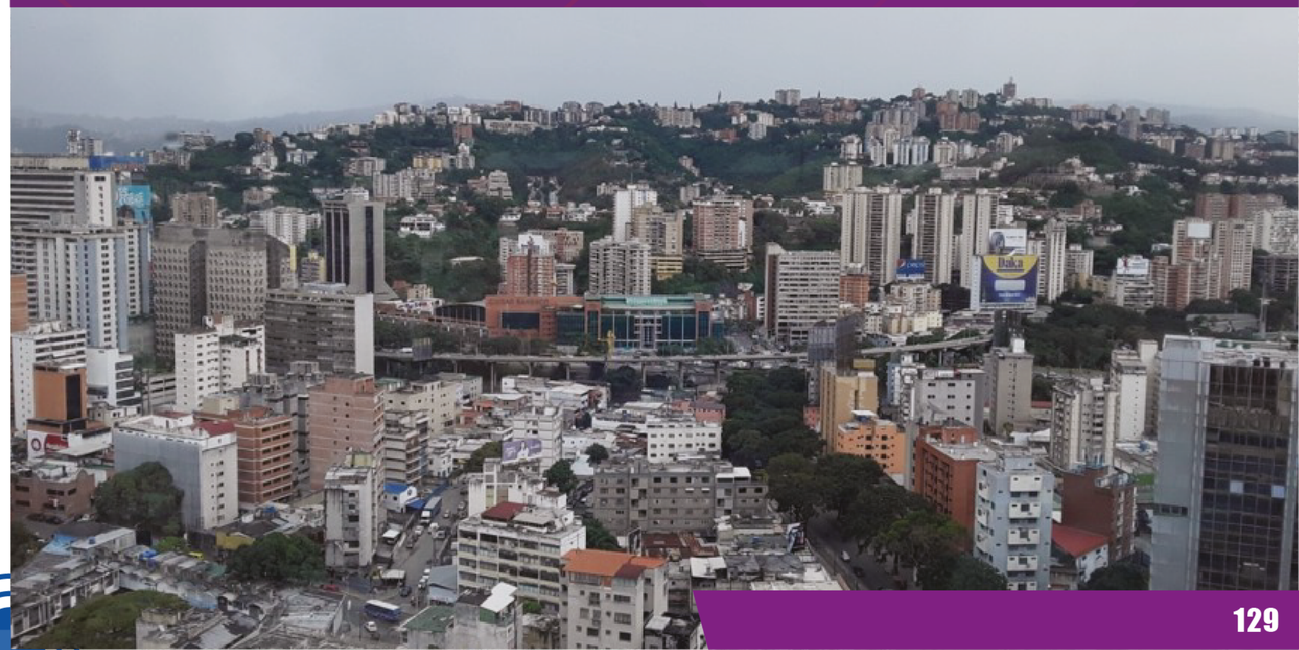
Schmitz, M., Ramírez, K., Mazuera, F., Ávila, J., Yegres, L., Bezada, M., Levander, A. and the active seismic working group of the GIAME project (2021). Moho depth map of northern Venezuela based on wide-angle seismic studies. Journal of South American Earth Sciences, 107, https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103088.

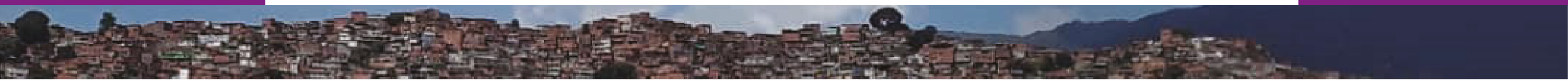
Valleé, M., Feliziani, P., Castillo, A., Zamora, D., Anzola, F., Zambrano, H., Hernández, J.J., Schmitz, M. (2009). Caracterización de laderas. Subcapítulo 4.4, Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), Funvisis FUN-035a, 2007, p. 540-600.



PARTE 4

Ingeniería Sísmica





Portada: **Foto superior:** Zonas Populares, Barrio Sector El Cementerio, Parroquia Santa Rosalía, Distrito Capital
Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).

Foto inferior: Vista Centro Este Caracas desde la Torre La Previsora
Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).

Encabezado: Zonas Populares, Barrios Sector El Cementerio, Parroquia Santa Rosalía, Distrito Capital.
Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).

Introducción

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

El departamento de Ingeniería Sísmica (DIS), adscrito a la Dirección Técnica de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis), es el encargado de realizar las actividades para promover, coordinar y ejecutar investigaciones de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico sobre lo construido en el territorio nacional; en este sentido, efectúa estudios de sismorresistencia e investigaciones en el campo de la vulnerabilidad sísmica y la dinámica e identificación experimental de las estructuras para generar diagnósticos y recomendaciones sobre el uso y desempeño sismorresistente, a la vez que fomenta la formación del talento humano en el área de la ingeniería sísmica.

Misión: Investigar el efecto de los terremotos sobre lo construido para aminorar la pérdidas de vidas humanas y consecuentemente limitar el riesgo a niveles socioeconómicamente aceptables.

Visión: Ser el referencial científico nacional vinculado con la protección de la sociedad y los entornos naturales y artificiales de los terremotos al aminorar la vulnerabilidad de las estructuras sujetas a eventos sísmicos.

Funciones:

- Realizar evaluaciones de los efectos de los sismos que ocurren en el país y efectuar recomendaciones sobre el uso y desempeño posterior de lo construido.
- Realizar valoraciones sobre lo construido para generar el diagnóstico y las recomendaciones que orienten el buen desempeño sismorresistente.
- Ejecutar, coordinar y promover investigaciones de amenaza sísmica y tsunamigénica sobre lo construido en los campos de la vulnerabilidad sísmica de estructuras y la dinámica e identificación experimental de estructuras.
- Generar productos de divulgación científica y sistemas de información como resultado de las investigacion realizadas.

La amenaza sísmica en Venezuela

Los eventos sísmicos representan uno de los mayores riesgos potenciales en Venezuela en cuanto a pérdidas humanas y económicas. En la actualidad, más del 90 % de la población vive en zonas de alta amenaza sísmica, variable que aumenta el nivel de riesgo, haciéndolo cada vez mayor a medida que se eleva el índice demográfico y las inversiones en infraestructura.

Desde la fundación de los primeros asentamientos coloniales en el siglo XVI, Venezuela ha sufrido los efectos de los terremotos. Su historia sísmica revela que durante el período comprendido entre 1530 y 2004, han ocurrido más de 130 eventos sísmicos, que han provocado algún tipo de daño en varias poblaciones venezolanas.

El primer sismo del cual se tiene evidencia documental escrita, ocurrido el 1 de septiembre de 1530, afectó a la población de Nueva Toledo o Nueva Córdoba, actualmente Cumaná, en la costa del oriente venezolano, produjo daños a viviendas y destruyó gran parte de la fortaleza, formando también grandes olas marinas que inundaron la planicie de la ciudad y rompieron el dique natural que unía la costa de Cumaná con la Península de Araya.

La ocurrencia de tales eventos, hace necesario estudiar y conocer la amenaza sísmica de todo el país, para lo cual se debe disponer de la información tectónica que identifique las fuentes sísmicas o fallas que los originan; así como, llevar un registro de los sismos ocurridos a través del tiempo. Esto último se ha podido hacer instrumentalmente a partir de 1910, después de la aparición de los equipos sismológicos, mientras que para las épocas anteriores se usan los registros documentales de los sismos históricos, los registros preinstrumentales que se encuentren disponibles y la paleosismología.

Como es conocido, los sismos no se pueden predecir, lo que hace que el cálculo de la amenaza sísmica se fundamente en metodologías probabilísticas, donde se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia de los eventos utilizando la información disponible de las fuentes sísmicas y la historia de los sismos ocurridos.

El conocimiento de la amenaza sísmica constituye una herramienta imprescindible y fundamental para el diseño de edificaciones más seguras, para la planificación de nuevos desarrollos, para la evaluación de construcciones existentes y para la estimación de riesgos y, en general, para la toma de decisiones, con el objetivo principal de prevenir el impacto de los sismos reduciendo los daños y salvaguardar vidas.

En nuestro país, la zona de mayor actividad sísmica, y por consiguiente de mayor amenaza, se corresponde a una franja de unos 100 km de ancho, definida a lo largo de los sistemas montañosos de Los Andes, la Cordillera Central y la Cordillera Oriental, lugares en los que se ubican los principales sistemas de fallas sismogénicas del país: Boconó, San Sebastián y El Pilar. Además de estos sistemas de accidentes tectónicos, existen sistemas menores activos, como lo son: Oca-Ancón, Valera, La Victoria y Urica, entre otros, que son capaces de producir sismos importantes.

Los sistemas de fallas de Boconó-San Sebastián-El Pilar, han sido propuestos como el límite principal entre las Placas Caribe y América del Sur, cuya interacción es la causante de los sismos más severos que han ocurrido en el territorio nacional.

La amenaza sísmica en Venezuela fue incluida en la primera Norma del Ministerio de Obras Públicas (MOP) para el Cálculo de Edificios, de 1939. Se indicaba allí que los edificios de más de tres pisos, debían ser calculados para resistir los sismos en cualquier lugar del país, pero los de menor altura, casas de uno a tres pisos, solamente debían ser calculados contra terremotos si estaban en los lugares situados en la zona montañosa de los Andes y de la Costa. Es decir, se ignoraba en la norma la amenaza para las casas en las zonas no montañosas, aun cuando no se indicaba su ubicación geográfica; la norma no incluía un mapa de zonificación.

Los mapas de amenaza sísmica en Venezuela, surgen posteriormente y desde la Norma MOP de 1947 han sido parte integrante de la normativa para el diseño y evaluación de edificaciones ante las acciones sísmicas, donde la representación de la amenaza sísmica ha evolucionado junto con el avance del conocimiento, desde los mapas de zonificación hasta los novedosos mapas de isoaceleraciones e isoperíodos de la Norma 2019.

En los mapas de amenaza de las normas de 1947, 1955, 1967, 1982, 1998 y 2001, la amenaza se representó por zonas o franjas de igual intensidad sísmica que dividen todo el territorio nacional. En el mapa de 2019, la amenaza se representa por curvas de isoaceleración y de isoperíodo que se distribuyen en todo el país.

Los mapas de 1947, 1955 y 1967, describen la amenaza por un coeficiente sísmico que representa la fuerza horizontal sobre la estructura. En los mapas de 1982, 1998 y 2001, la amenaza se cuantificó en términos de la aceleración del terreno. En el mapa de la norma de 2019, la amenaza se expresa en términos de tres parámetros: la aceleración del terreno, la aceleración en una estructura de período igual a un segundo, y el período de transición entre ramas espectrales para grandes períodos.

En Ingeniería Sísmica, hablar de los mapas de zonificación sísmica es pensar en las normas sismorresistentes o viceversa pues ambas se complementan.

Mapa de zonificación sísmica MOP de 1947

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

El sismo que ocurrió en 1900, da inicio en Venezuela al estudio sísmico formal, instalándose por primera vez sismógrafos en el Observatorio Cagigal.

En 1939, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) elaboró las “Normas para la Construcción de Edificios”, basadas en las Normas de California, EE. UU., que incluyen por primera vez especificaciones sísmicas. Esta norma exigía el cálculo sísmico para edificios de más de tres pisos localizados en cualquier lugar del país, y para edificios de menor altura situados en la zona montañosa de Los Andes y de la Costa.

En 1947, son actualizadas por ese mismo ministerio como “Normas para el Cálculo de Edificios”, introduciendo en el país el primer mapa de zonificación sísmica que divide al país en tres zonas: la Zona A que incluye a Caracas, la Cordillera de la Costa y de los Andes; la Zona B que es la más intensa y comprende la región de Cumaná y por último la Zona C que comprende la región de los Llanos y del Orinoco hasta la Sierra de Parima, en donde no se exige la aplicación de normas sísmicas.

Cada zona se define por el coeficiente sísmico que está dado por la fuerza lateral actuando sobre la estructura, dividida entre su peso. La Zona A incluye las zonas más pobladas del país y se le asigna una amenaza menor con un coeficiente sísmico de 0,050 que corresponde a la mitad de la Zona B considerada de máxima amenaza.

La zona B en donde se especifica un coeficiente sísmico de 0,025 es la más severa, incluye esencialmente áreas del estado Sucre y su capital, Cumaná, afectadas por el terremoto del 17 de enero de 1929. Se incluye dentro de esta zona una extensa franja del territorio nacional ubicado en la frontera con Brasil que incluye parte de los estados Bolívar y Territorio Federal Amazonas.

En los mapas subsiguientes, esta franja se considera libre de sismos, salvo en las regiones cercanas al Delta del Orinoco.

En la Zona C que incluye la mayor parte del país, no se exigía el diseño sísmico.

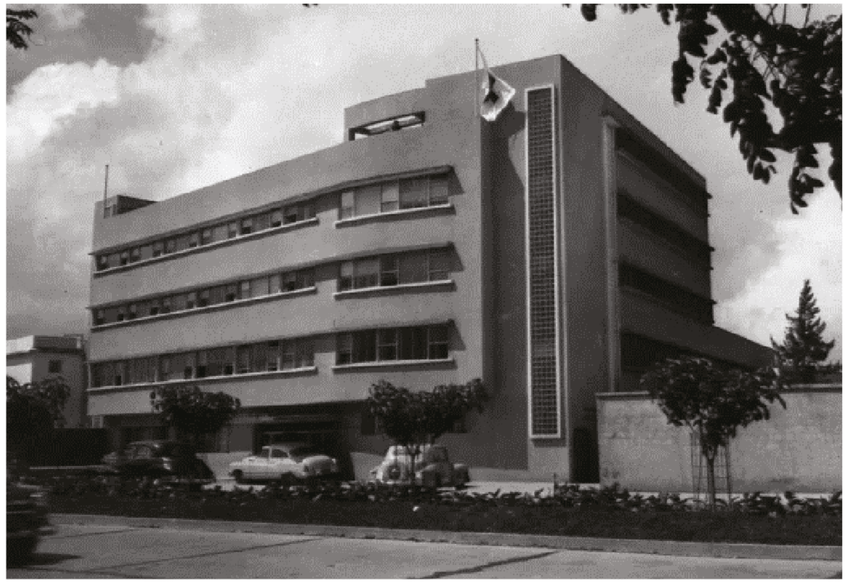
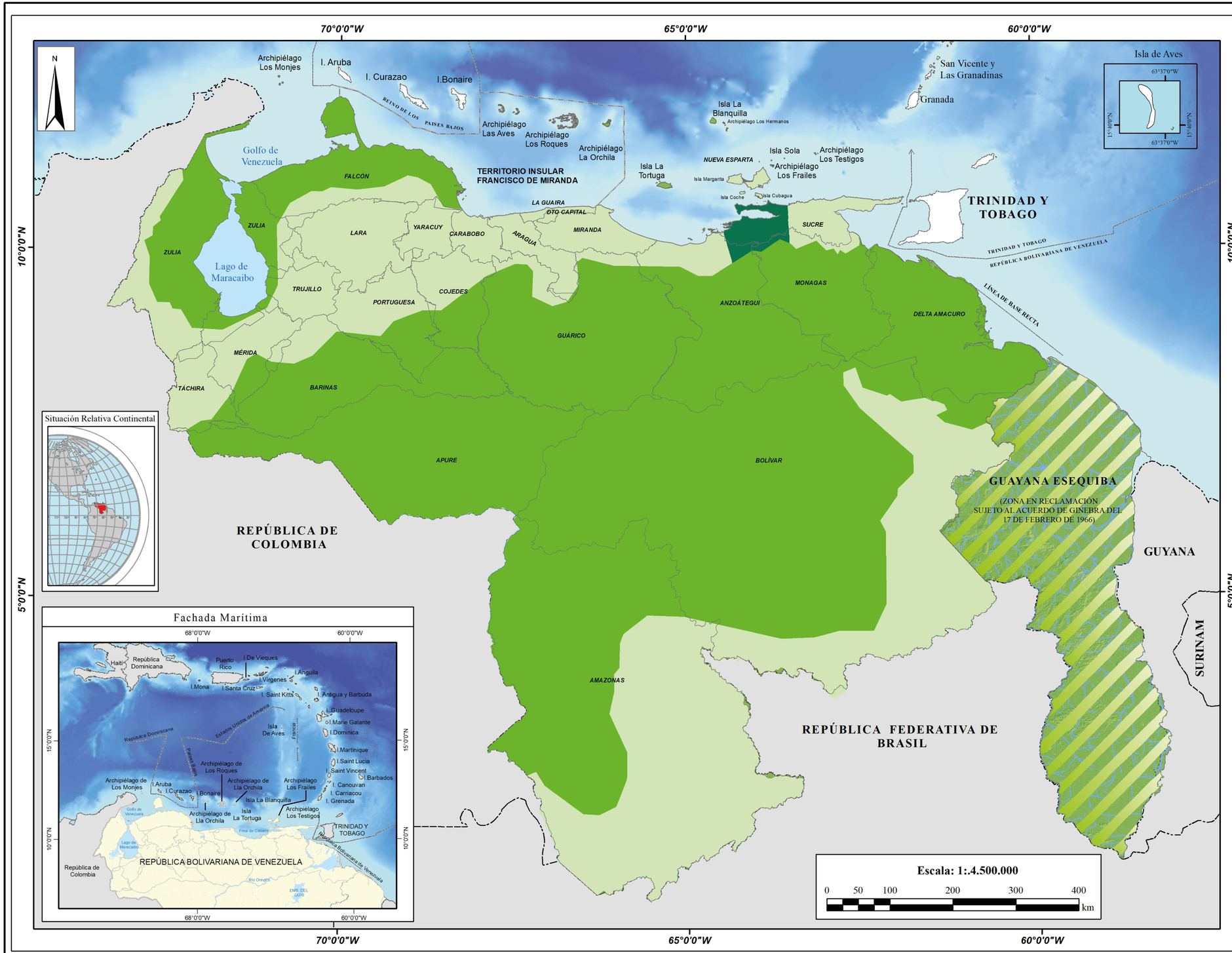


Foto 86: Edificio Sede de la Cruz Roja, 1947, Av. Andrés Bello, municipio Libertador, Distrito Capital.
Fuente: Fundación Arquitectura Ciudad.

Foto 87: Hotel Nacional, 1947, en el cruce de la Av. Este 6 con la Av. Sur, al oeste del Pasaje Zingg, municipio Libertador, Distrito Capital. Fuente: Fundación Arquitectura Ciudad.



INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

Mapa 24: MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE VENEZUELA NORMA MOP 1947

ZONAS SÍSMICAS

- Zona A
- Zona B
- Zona C

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

- 0-200
- 200-1.000
- 1.000-2.000
- 2.000-3.000
- 3.000-4.000
- 4.000-5.000
- 5.000-6.000
- 6.000-7.000
- 7.000-8.000
- Más de 8.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Digitalización de las capas de zonas sísmicas: Mario Rendón
Restitución del mapa original elaborado mediante el proyecto de reducción del riesgo sísmico en edificaciones escolares.
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Autores de la Cartografía Temática

Gustavo Coronel, Ricardo Pereira. Colaboradoras;Yelin Azuaje, Silvia Báez
Coordinador del proyecto; Oscar Andrés Lopez

Mapa de zonificación sísmica norma MOP de 1955

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

Para 1955, la división de edificios del MOP, sobre quien recae la responsabilidad de actualizar las normas, conserva los criterios de 1939 y 1947, pero mejora el mapa de zonificación sísmica y cambia la forma de calcular el coeficiente sísmico, estableciendo una relación inversa con el número de pisos del edificio. Sin embargo, estas fórmulas conducían a fuerzas cortantes para los edificios altos las cuales eran más pequeñas que las dadas por la norma anterior.

En el mapa se mantiene la nomenclatura de las tres zonas: A, B y C de amenaza previstas en su antecesor de 1947, pero se modifica el orden y el alcance de cada zona.

Para la Zona A, que incluye la mayor parte del país, no se exige diseño sísmico.

La Zona B, ahora la intermedia y donde está Caracas, se eliminan las zonas del sur del país que estaban en el mapa de 1947 y se especifica una amenaza sísmica igual a la mitad de la exigida en la Zona C.

La Zona C que es ahora la de mayor amenaza, se extiende por los estados Sucre, Nueva Esparta y la parte norte del estado Monagas; adicionalmente, se le incorporan el estado Táchira, buena parte del estado Lara y porciones de los estados Portuguesa y Trujillo, donde el terremoto de El Tocuyo (03/08/1950) causó daños importantes.



Foto 88: Edificio Residencia Cerro Grande, Av. Intercomunal, parroquia El Valle, municipio Libertador, Distrito Capital. Construido en la década de los 50. Fuente: Mario Rendón (2022).

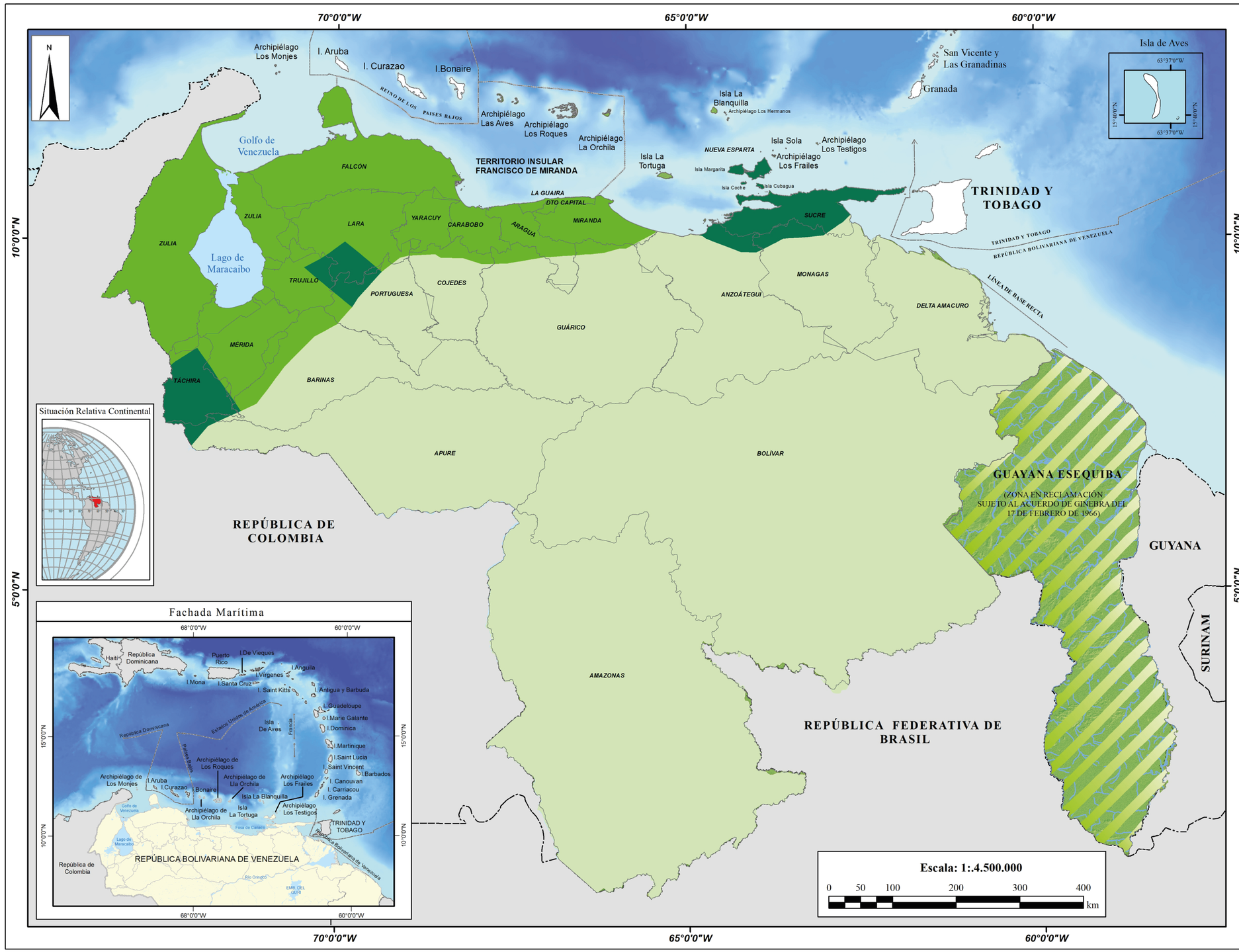
Entre piso blando o débil

Las irregularidades en altura o elevación, se traducen en cambios repentinos de rigidez entre pisos adyacentes, estas hacen que la absorción y disipación de energía en el momento del sismo se concentren en los pisos flexibles, donde los elementos estructurales se ven sobresolicitados.



Foto 89: Edificio Residencia Cerro Grande, Av.Intercomunal, parroquia El Valle, municipio Libertador, Distrito Capital. Construido en la década de los 50.
Fuente: Mario Rendón (2022).

INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

Mapa 25: MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE VENEZUELA NORMA MOP 1955

ZONAS SÍSMICAS

- Zona A
- Zona B
- Zona C

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Digitalización de las capas de zonas sísmicas: Mario Rendón
Restitución del mapa original elaborado mediante el proyecto de reducción del riesgo sísmico en edificaciones escolares.
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Autores de la Cartografía Temática

Gustavo Coronel, Ricardo Pereira. Colaboradoras;Yelin Azuaje, Silvia Báez
Coordinador del proyecto; Oscar Andrés Lopez

Mapa de zonificación sísmica de la norma MOP de 1967

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

Como consecuencia de los graves daños ocasionados por el Terremoto de Caracas de 1967, se introducen cambios en la forma de concebir la estructura y de construir en Venezuela. El Ministerio de Obras Públicas (MOP) emite la “Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas” que incluye un nuevo mapa vigente hasta 1982.

Este mapa incorpora la sismicidad histórica, la sismicidad instrumental obtenida del Observatorio Cagigal, así como los estudios de las fallas activas en el país. El mapa aumenta de tres a cuatro las zonas sísmicas del país, y la nomenclatura cambia de letras a números: 0, 1, 2 y 3, que están ordenadas de manera decreciente, desde la zona 3 la de mayor amenaza, hasta la zona 0 de menor amenaza. Los coeficientes sísmicos se incrementan y su valor depende del tipo de suelo (roca o suelos blandos) y de la estructura. No considera la regularidad del edificio pero establece el método estático equivalente para las edificaciones de hasta 20 pisos o menores de 60 m. Y aun cuando indica que deben realizarse análisis dinámicos para estructuras que no cumplan con esto, no ofrece los necesarios espectros de respuesta para su análisis y deja a criterio del proyectista el procedimiento a usar. Otra novedad fue la obligatoriedad de colocar sistemas resistentes a sismos en dos direcciones ortogonales y la presentación de un procedimiento para cuantificar los efectos de la torsión en planta del edificio. Se introduce el control de desplazamientos laterales. El cálculo de las fuerzas se sigue realizando dentro del rango elástico y el diseño de los elementos se hace bajo el concepto de las tensiones admisibles. Aun cuando las estructuras se clasifican en sistemas de pórticos y muros, no se considera de manera explícita la combinación de ambos. Para cada zona se especifica un coeficiente sísmico de diseño. La Zona 3 es la de mayor amenaza. El coeficiente varía entre 0,045 y 0,15 dependiendo del tipo estructural, uso de la edificación y de su ubicación en suelo o roca.

En la zona 2 el coeficiente sísmico es la mitad del de la Zona 3. En la Zona 1, el coeficiente sísmico es igual a la mitad del de la Zona 2. Mientras que para la Zona 0 no se requiere cálculo sísmico.

La zona 3 de máxima amenaza, se extiende por toda la Cordillera de Los Andes abarcando a los estados Táchira, Mérida, parte de Trujillo, Barinas, Portuguesa, Lara, Yaracuy; incluye al Distrito Federal, parte del Estado Miranda y porciones de los estados Anzoátegui y Monagas.

Dentro de la Zona 2 de amenaza intermedia, se incluye la región de Ciudad Bolívar, Ciudad Piar y Guri.



Foto 90 y 91: Marca dejada posterior al desprendimiento de la cruz de la Catedral de Caracas.
Fuente: El diario El Universal.

Planta baja débil, vigas en una sola dirección

Vigas en una sola dirección producen una estructura flexible o poco sólida que al deformarse exageradamente favorece que se presenten daños en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones.



Foto 92: Planta baja débil, edificio Obel, Altamira, municipio Chacao, Caracas.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Foto 93: Vigas en una sola dirección, edificio Obel, Altamira, municipio Chacao, Caracas.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Una estructura flexible o poco sólida al deformarse exageradamente favorece que se presenten daños en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones.



Foto 94: Edificio Petunia II. 21 pisos. Altamira, municipio Chacao, Distrito Capital. Reforzamiento de columnas mediante muros de concreto.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Foto 95: Edificio Petunia II. 21 pisos. Altamira, municipio Chacao, Distrito Capital. Reforzamiento de columnas mediante muros de concreto.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Irregularidades en planta

La geometría de la edificación debe ser sencilla en planta y en elevación, debido a que una geometría irregular favorece que la estructura sufra torsión o que intente girar en forma desordenada.

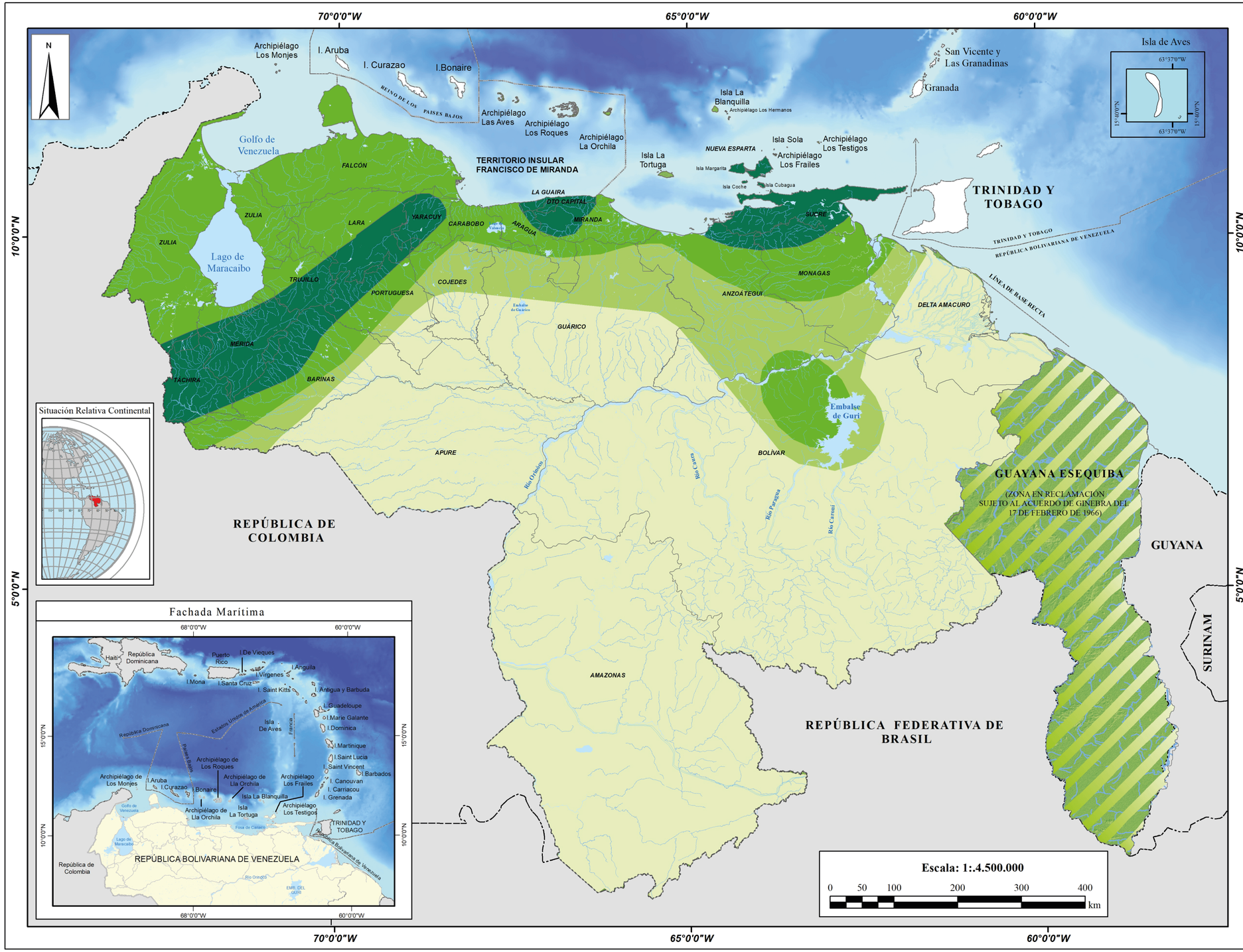


Foto 96: Edificio Bamoral, Altamira. Chacao, Distrito Capital, más de diez pisos. Irregularidad en planta, refuerzo con vigas metálicas para suministrar mayor rigidez a la estructura.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Foto 97: Edificio Bamoral, Altamira. Chacao, Distrito Capital, más de diez pisos. Irregularidad en planta, refuerzo con vigas metálicas para suministrar mayor rigidez a la estructura.
Fuente: Mario Rendón (2022).

INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 funvisis Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 26: MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE VENEZUELA NORMA MOP 1967

ZONAS SÍSMICAS

- Zona 0
- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Mín: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

- 0-200
- 200-1.000
- 1.000-2.000
- 2.000-3.000
- 3.000-4.000
- 4.000-5.000
- 5.000-6.000
- 6.000-7.000
- 7.000-8.000
- Más de 8.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Digitalización de las capas de zonas sísmicas: Mario Rendón
Restitución del mapa original elaborado mediante el proyecto de reducción del riesgo sísmico en edificaciones escolares.
Diagramación:. Dulce Montañez. Funvisis 2022

Autores de la Cartografía Temática

Gustavo Coronel, Ricardo Pereira.Colaboradoras;Yelin Azuaje, Silvia Báez
Coordinador del proyecto; Oscar Andrés Lopez

Mapa de zonificación sísmica de la norma Covenin 1756-82

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

En 1982, la Comisión de Normas del Ministerio de Desarrollo Urbano, aprueba la nueva Norma Covenin 1756:82, que sustituye a la anterior de 1967. En esta norma se reconoce por primera vez que las edificaciones van a incursionar en el rango inelástico durante la ocurrencia del sismo de diseño y por lo tanto van a experimentar daño estructural, de naturaleza reparable. Se definen los espectros para el diseño sísmico, exigen métodos de análisis más rigurosos, se clasifican las estructuras según su regularidad y destaca la importancia del detallado de los elementos de concreto reforzado con el fin de evitar fallas frágiles, introduciéndose el concepto de los niveles de diseño (ND1, ND2 y ND3) los cuales se definen y precisan en las normas de materiales (concreto, acero). Otro cambio importante dentro de esta Norma es que clasifica a los suelos según su espesor y características de los depósitos aluviales sobre el estrato rocoso. Considera la combinación de los sistemas resistentes a flexión y cortante y las califica como sistemas mixtos.

Esta norma deroga la Norma Provisional para las Construcciones Antisísmicas del MOP de 1967, y por primera vez, se asocia la zonificación del país al movimiento máximo en términos de la aceleración del terreno, especificada para terreno firme.

La zonificación obtenida es el resultado de la superposición de dos mapas bien diferenciados, en uno se sintetizó toda la información conocida sobre los efectos de sismos pasados, fundamento similar al de los mapas anteriores, y en el otro se modela la probable actividad futura (Grases, 1984).

La amenaza se calculó generando inicialmente un mapa de isoaceleraciones del terreno con probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años, elaborado en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV). Esta probabilidad se asocia a períodos medios de retorno de 475 años. Posteriormente, se identificaron franjas con valores similares de aceleración del terreno, a partir de las cuales se definieron las zonas sísmicas del país, que aumentan de cuatro a cinco zonas en relación a la norma previa.

Para las Zonas 4, 3, 2 y 1 se especifican respectivamente aceleraciones de diseño iguales a: 0,30; 0,22; 0,15 y 0,08 veces la aceleración de la gravedad y para la zona 0 no se especifica un valor de aceleración.

Irregularidades en planta y elevación

Para que una edificación soporte un terremoto su estructura debe ser sólida, simétrica, uniforme, continua o bien conectada.



Foto 98: Parque Residencial Juan Pablo II, Montalbán, parroquia La Vega, municipio Libertador, Distrito Capital, 1988.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Foto 99 y 100: Parque Residencial Juan Pablo II, Montalbán, parroquia La Vega, municipio Libertador, Distrito Capital. Construido en 1988.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Construcción de anexos en parte superior de la edificación

Grandes masas o pesos añadidos al diseño original de la estructura hacen que la edificación se mueva con mayor severidad al ser sacudidas por un evento sísmico y, por lo tanto, la exigencia de la fuerza actuante será mayor sobre los componentes de la edificación.



Foto 101: Residencia La Yerbera, San Agustín del Norte, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Foto 102: Residencias Yaracuy, Plaza Venezuela, El Recreo, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Evaluaciones estructurales

Las normas sismorresistentes por sí solas, no garantizan la inexistencia de daños ante un terremoto severo, en ellas se establecen requisitos mínimos para proteger la vida y bienes de las personas que ocupan la edificación.



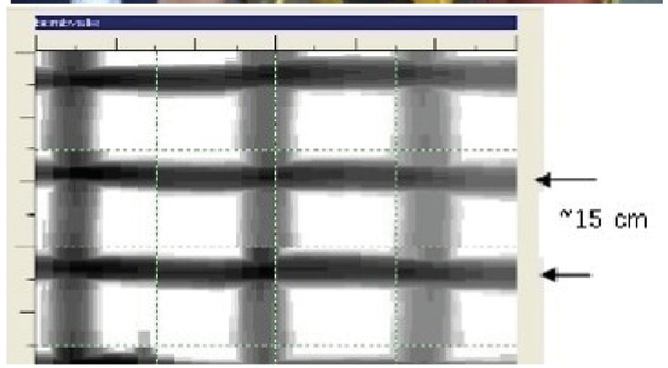
Foto 103: Estación de Bomberos El Valle, Av. Intercomunal del Valle, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Método invasivo.
Extracción núcleo de concreto en columna, se lleva a cabo cuando existe una duda razonable de la resistencia del concreto.

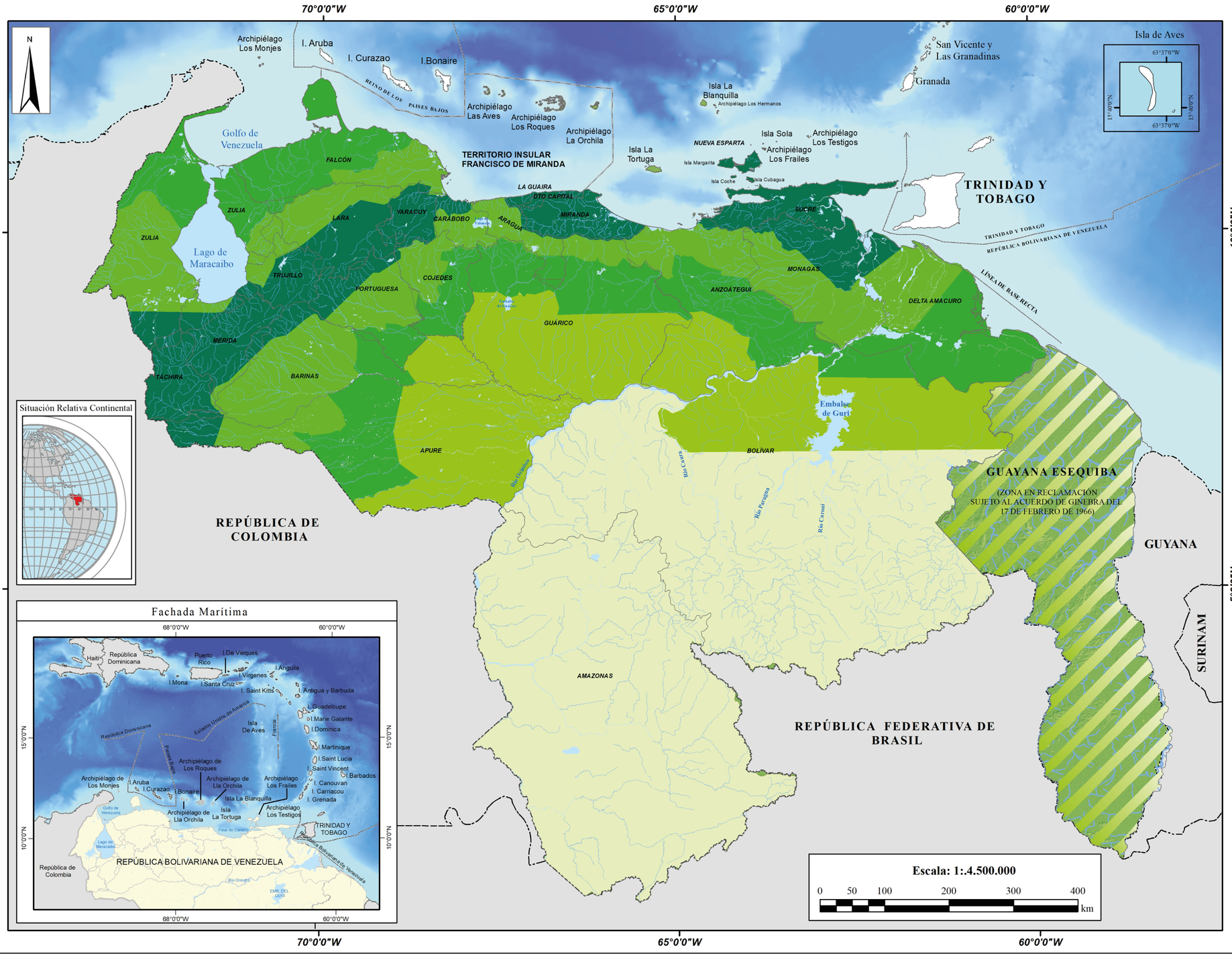


Foto 104 y 105: Estación de Bomberos El Valle, Av. Intercomunal del Valle, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Método no invasivo.
Identificación del acero de refuerzo en columna.



INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS funvisis 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 27: MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE VENEZUELA NORMA COVENIN 1982

ZONAS SÍSMICAS

- Zona 0
- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3
- Zona 4

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

- 0-200
- 200-1.000
- 1.000-2.000
- 2.000-3.000
- 3.000-4.000
- 4.000-5.000
- 5.000-6.000
- 6.000-7.000
- 7.000-8.000
- Más de 8.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Digitalización de las capas de zonas sísmicas: Mario Rendón
Restitución del mapa original elaborado mediante el proyecto de reducción del riesgo sísmico en edificaciones escolares.
Diagramación:. Dulce Montañez. Funvisis 2022

Autores de la Cartografía Temática

Gustavo Coronel, Ricardo Pereira.Colaboradoras;Yelin Azuaje, Silvia Báez
Coordinador del proyecto; Oscar Andrés Lopez

Mapa de zonificación sísmica de la norma Covenin 1756-1: 2001

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

A partir de 1990, se procede a la revisión de las Normas Sísmicas, y como resultado se publican en 2002 la Norma “Edificaciones Sismorresistentes” Covenin 1756-1:2001.

Previamente, en 1998, se había publicado la Norma Covenin 1756-1:1998, la cual tuvo posteriormente algunas modificaciones y mejoras de los parámetros que definen las formas espectrales, que dieron origen a la Norma 1756-1:2001.

En este documento se amplían y se presentan mejoras en la descripción de los sistemas estructurales, se aumenta a 0,40 el coeficiente de aceleración horizontal máxima del terreno en la zona de mayor amenaza que antes era 0,30. La clasificación del suelo es más completa se identifica cada uno en función de la velocidad de las ondas de corte y se incluye un perfil adicional (S4) para sismos lejanos que toma en cuenta la amplificación en la superficie del terreno, de la aceleración en roca para perfiles geotécnicos con velocidades de propagación de ondas de corte propias de aluviones muy recientes. Se mantiene la forma espectral elástica de 1982, pero se modifica espectro inelástico de diseño.

Se aumenta de cinco a ocho las zonas sísmicas del país.

Al igual que la Norma de 1982, la delimitación final de las zonas se ajusta a la división política territorial del país, los límites de los estados y de los municipios.

La amenaza sísmica se expresa mediante un coeficiente de aceleración del terreno (A0) asignado a cada una de las ocho zonas sísmicas, se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2: Zonas de amenaza sísmica vs. aceleraciones

ZONA	AMENAZA SÍSMICA	ACELERACIÓN DEL TERRENO (A_0)
7	Elevado	0,40
6		0,35
5		0,30
4	Intermedio	0,25
3		0,20
2	Bajo	0,15
1		0,10
0		-

Los valores del coeficiente de aceleración están asociados a un valor prefijado de 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años de vida útil de la construcción. Esta probabilidad equivale a un evento con un período medio de retorno de 475 años.

Planta baja libre o débil

Se refiere a los edificios cuya planta baja es de menor rigidez que las plantas superiores. La presencia de piso débil provoca que se generen fuerzas mayores en la planta flexible del edificio.

Foto 106 y 107: Residencias Joral, Av. Páez, parroquia El Paraíso, municipio Libertador, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).



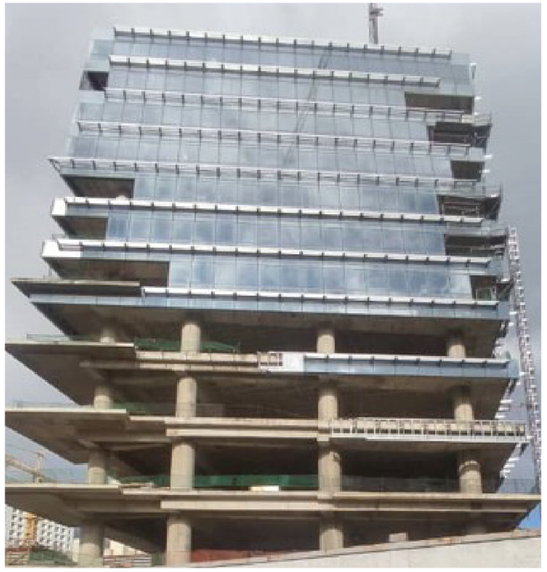
Fijación de acabados e instalaciones

Los componentes no estructurales, tales como: tabiques divisorios, acabados arquitectónicos, fachadas, ventanas, e instalaciones no deben interactuar con la estructura y deben estar bien adheridos o conectados para evitar desprendimientos.

Foto 108: Edificio Torre Digitel, La Castellana, Chacao, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Foto 109: Edificación en construcción. Av. Francisco de Miranda, Chacao, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Grandes masas o pesos

Experimentan mayor severidad en el movimiento al ser sacudidas por un evento sísmico y, por lo tanto, la exigencia de la fuerza actuante será mayor sobre los componentes de la edificación.



Foto 110: Edificios Misión Vivienda, Puente de los Leones, sector La Paz, El Paraíso, municipio Libertador, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2012).

Cambios bruscos

En dimensiones, de rigidez, falta de continuidad, configuración estructural desordenada o voladizos excesivos facilitan la concentración de fuerzas nocivas, torsiones y deformaciones que pueden causar graves daños y en el peor de los casos el colapso de la edificación.



Foto 111: Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico.

Ausencia de vigas altas en las dos direcciones.



Foto 112: Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico.

Ausencia de vigas altas en el sentido longitudinal.



Foto 113: Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico.

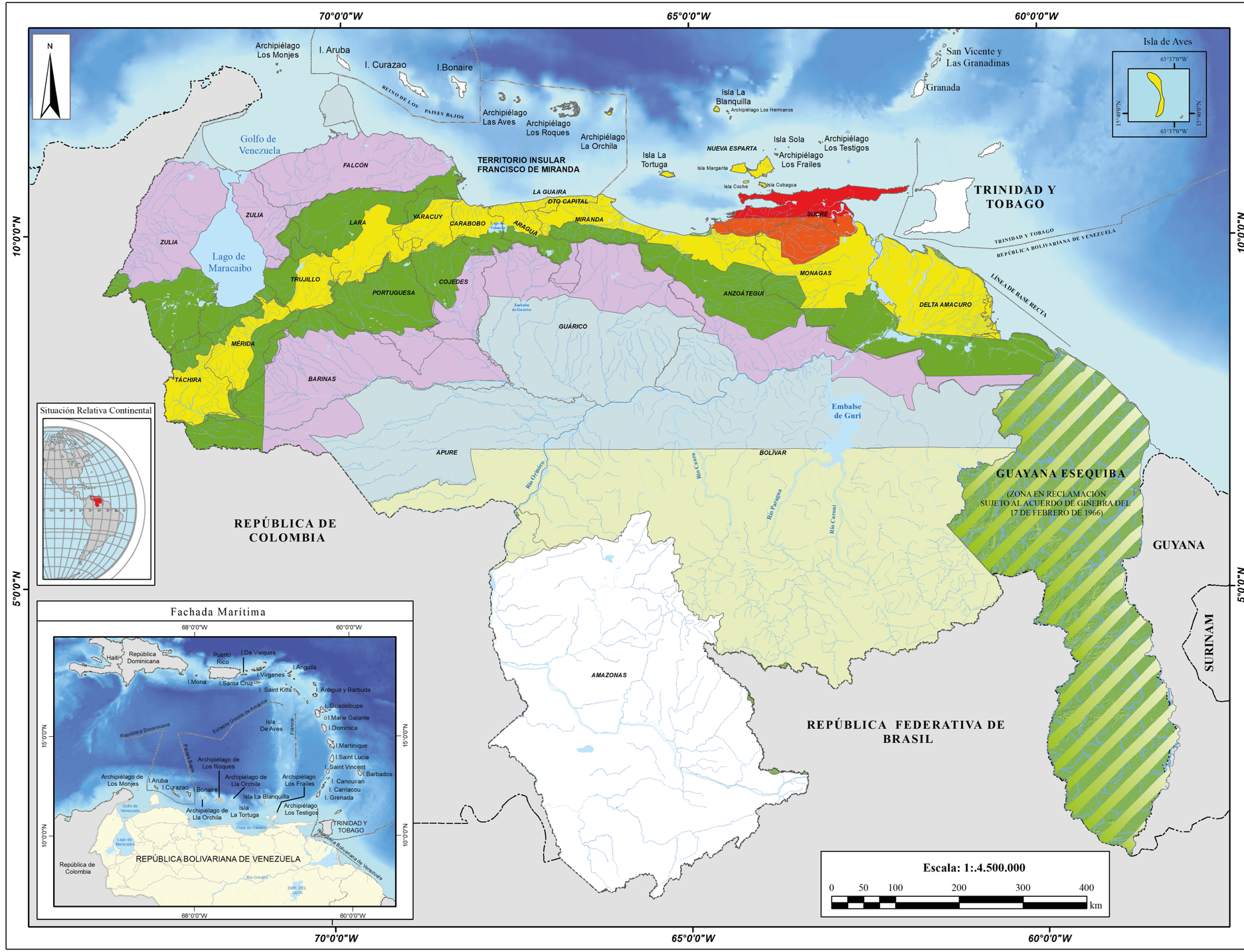
Columna corta.



Foto 114: Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico.

Discontinuidad en el eje de columna.

INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 28: MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA CON FINES DE INGENIERÍA (2001) NORMA COVENIN 1756

ZONAS SÍSMICAS

	A0		A0
Zona 0	--	Zona 4	0,25
Zona 1	0,10	Zona 5	0,30
Zona 2	0,15	Zona 6	0,35
Zona 3	0,20	Zona 7	0,40

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Digitalización de las capas de zonas sísmicas: Mario Rendón
Restitución del mapa original elaborado mediante el proyecto de reducción del riesgo sísmico en edificaciones escolares.
Diagramación:. Dulce Montañez. Funvisis 2022

Autores de la Cartografía Temática

Gustavo Coronel, Ricardo Pereira.Colaboradoras;Yelin Azuaje, Silvia Báez
Coordinador del proyecto; Oscar Andrés Lopez

Mapas de la norma sísmica Covenin 1756-1:2019

Julio J. Hernández, Michael Schmitz, Oscar A. López y Carmen Ginés

En la nueva norma venezolana “Construcciones Sismorresistentes”, Covenin 1756-1:2019, se presenta una serie de mapas de amenaza sísmica como soporte básico del análisis y diseño estructurales, tanto paraedificaciones como para instalaciones industriales. En lugar de un mapa para un solo parámetro, ahora se presentan 3 mapas asociados a: 1) la aceleración pico del terreno (A0); 2) la respuesta estructural de sistemas elásticos de período 1 segundo (A1); 3) el período de transición al rango espectral de respuestas de deformación constante (TL). Mapas que corresponden a una probabilidad de excedencia de 10 % para una vida útil de 50 años, equivalente a un periodo medio de retorno (PMR) de 475 años. Los dos primeros mapas se exponen mediante curvas de separación variable, desde cada 0.005 (para A0 y A1 < 0.03) hasta cada 0.09 (para A0 y A1 > 0.36), ofreciendo una adecuada visibilidad. El tercer mapa se expone mediante curvas cada 0.3 s, que van desde 2.7 s hasta 6.6 s. En las figuras anexas se muestran fracciones de los mapas para el NO del país (señalando a Barquisimeto). Es de destacar que los nuevos mapas ofrecen una visión detallada de la amenaza sísmica en función de las fallas tectónicas, en lugar de la previa zonificación gruesa. Con los tres parámetros indicados se pueden construir espectros de respuesta más exactos que los anteriores, al incorporar aproximadamente la variabilidad de la forma espectral, la cual depende del lugar del proyecto, en vez de la anterior forma espectral uniforme. Dicha variabilidad viene dada por el cociente A1/A0 (en lugar del previo valor constante) y por TL, el cual no existía antes conduciendo a un excesivo conservadurismo para los períodos muy largos. Los valores para el análisis en un lugar se pueden tomar interpolando gráficamente o de la curva adyacente de mayor valor, sin error significativo. Luego, los parámetros del espectro elástico se afectan por factores de sitio asociados al subsuelo y a factores de respuesta estructural para construir los espectros de diseño. Se modifican también mediante un factor que corresponde al particular PMR, asociado a la importancia de la construcción y al tipo de sismo (estándar, extremo o frecuente).

Los mapas de amenaza sísmica se construyeron a partir de una evaluación probabilística, basada en un nuevo Modelo Sismogénico desarrollado para el caso. Este modelo se soportó en un Catálogo Sismológico y una Base de Datos de Fallas del país (desarrollados ambos en Funvisis), más información macrosísmica de terremotos preinstrumentales (sin registros, anteriores a 1900). Esos soportes básicos recibieron un detallado tratamiento por los autores del modelo, el cual incluyó depuración de réplicas y premonitores para disponer de un catálogo tipo Poisson, digitalización de fallas y asignación de sus buzamientos, revisión de la completitud de las magnitudes sísmicas por lapsos temporales, división del país en sectores sismogénicos de sismicidad similar (tanto superficial como intermedia, profunda y muy profunda), definición de sismos característicos, determinación de tasas de recurrencia sísmica en cada sector y distribución de las tasas entre las fallas de estos. Una importante novedad fue la división de la sismicidad superficial en 62 sectores, en vez de la antigua división en solo tres regiones del país, evitando la excesiva concentración posterior de la asignación de amenaza en las grandes fallas.

La evaluación probabilística se efectuó mediante un reconocido programa de computación, incorporando la descripción del modelo sismogénico. Se emplearon modernas relaciones de atenuación del movimiento del terreno, cumpliendo con recomendaciones mundiales. Se calculó la amenaza sísmica para cuatro puntos del espectro de respuesta, asociados a los tres parámetros arriba indicados, en 5.168 puntos del país, con separaciones entre 11 y 44 km de acuerdo con la sismicidad de la zona, más puntos cercanos a las fallas. Se obtuvo así una expresión refinada de la amenaza esperada, de acuerdo con la sismicidad observada. Con los resultados en los puntos, mediante interpolación digital se construyeron las curvas de los mapas.

Debe anotarse que tanto las curvas como los valores en los puntos son la mejor estimación derivada del modelo sismogénico y las relaciones de atenuación empleadas, pero no se puede afirmar que sean “exactos”. Existen incertidumbres derivadas de la relativa completitud de la información y posteriores revisiones conducirán a una mayor precisión. Sin embargo, se puede afirmar que los mapas obtenidos representan un importante avance en la estimación de la amenaza sísmica y la consecuente mitigación del riesgo sísmico. Particularmente, se ha

tomado en cuenta la anteriormente ignorada cercanía a las fallas.

Como ejemplos de la mejoría en el estimado de la amenaza sísmica en el país podemos observar los cambios ocurridos para varias ciudades. En la norma de 2001 a la ciudad de Valencia se asignó A0 = 0.30, lo mismo que a Caracas, mientras que en la de 2019 se le asigna A0 = 0.15. Este menor valor es consistente con la sismicidad observada en el lugar, pues mientras Caracas ha sufrido cuatro terremotos destructores desde 1567, en Valencia no ha ocurrido ninguno similar en el mayor lapso desde 1555; el único caso grave ocurrió en el gran terremoto de 1812 con intensidad de Mercalli (IMM) ~ 8 con algunos daños severos pero sin merecer que se considere destructivo. Situación semejante ocurre en Barcelona, donde la norma previa asignaba A0 = 0.30 (y A0 = 0.35 en la vecina Puerto La Cruz), al igual que en Caracas. Pero a cambio de los citados terremotos en esta ciudad, en Barcelona no ha ocurrido ninguno tan severo en casi cuatro siglos desde 1638. Los casos más graves ocurrieron en 1766 (terremoto profundo M~7,9) y en 1853 (terremoto costa afuera M~6,9), ambos para IMM ~ 7,5 en la ciudad, lo que representa daños que no llegan a severos ni destrucción; ahora se le asigna A0 = 0.20 en coherencia con esa menor sismicidad. Un caso similar es Maturín donde no ha ocurrido ningún sismo destructor en 300 años (1722-2022) y la mayor intensidad reportada es IMM ~ 6 (daños leves) en terremotos de 1918, 1929 y 1957; se le asigna ahora A0 = 0.23 considerando la eventualidad de sismos profundos. Sin embargo, existen lugares de sismicidad elevada y frecuente en los cuales se aumentó ahora la asignación de amenaza sísmica, como Mérida y cercanías, con A0 = 0.36 en vez de 0.30, y casi todo el estado Sucre, pasando en Cumaná de A0 = 0.40 a 0.54. En conclusión, los nuevos mapas de amenaza sísmica ofrecen un mejor estimado de las futuras

Figura 5: Aceleración pico del terreno (Ao), Barquisimeto.

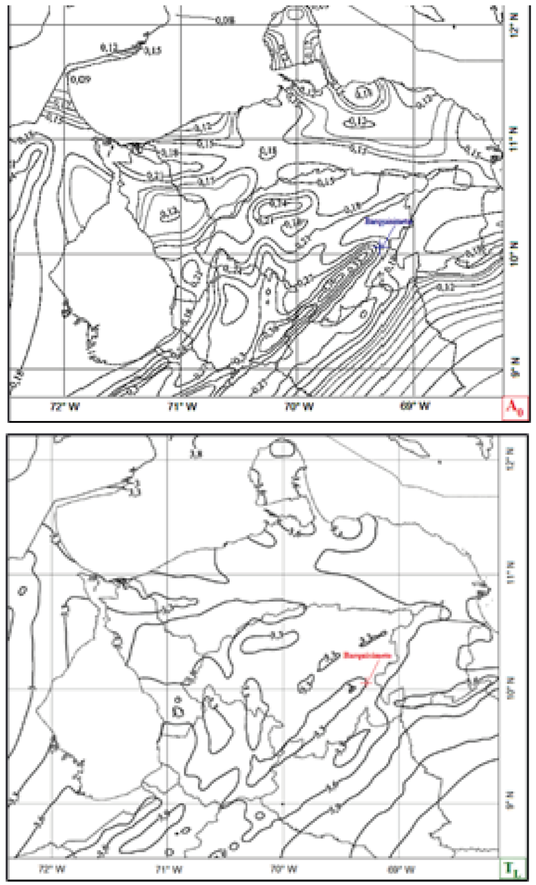


Figura 6: Respuesta estructural de sistemas elásticos de periodo 1 segundo (A1), Barquisimeto.

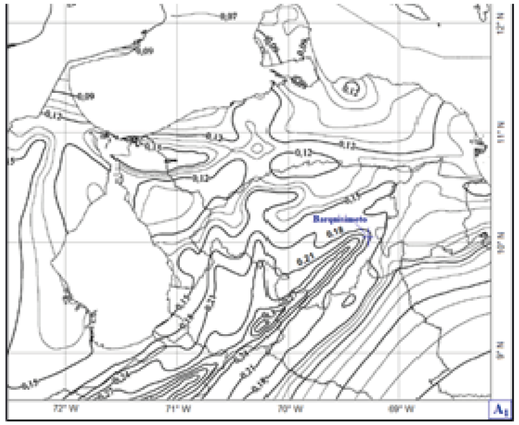
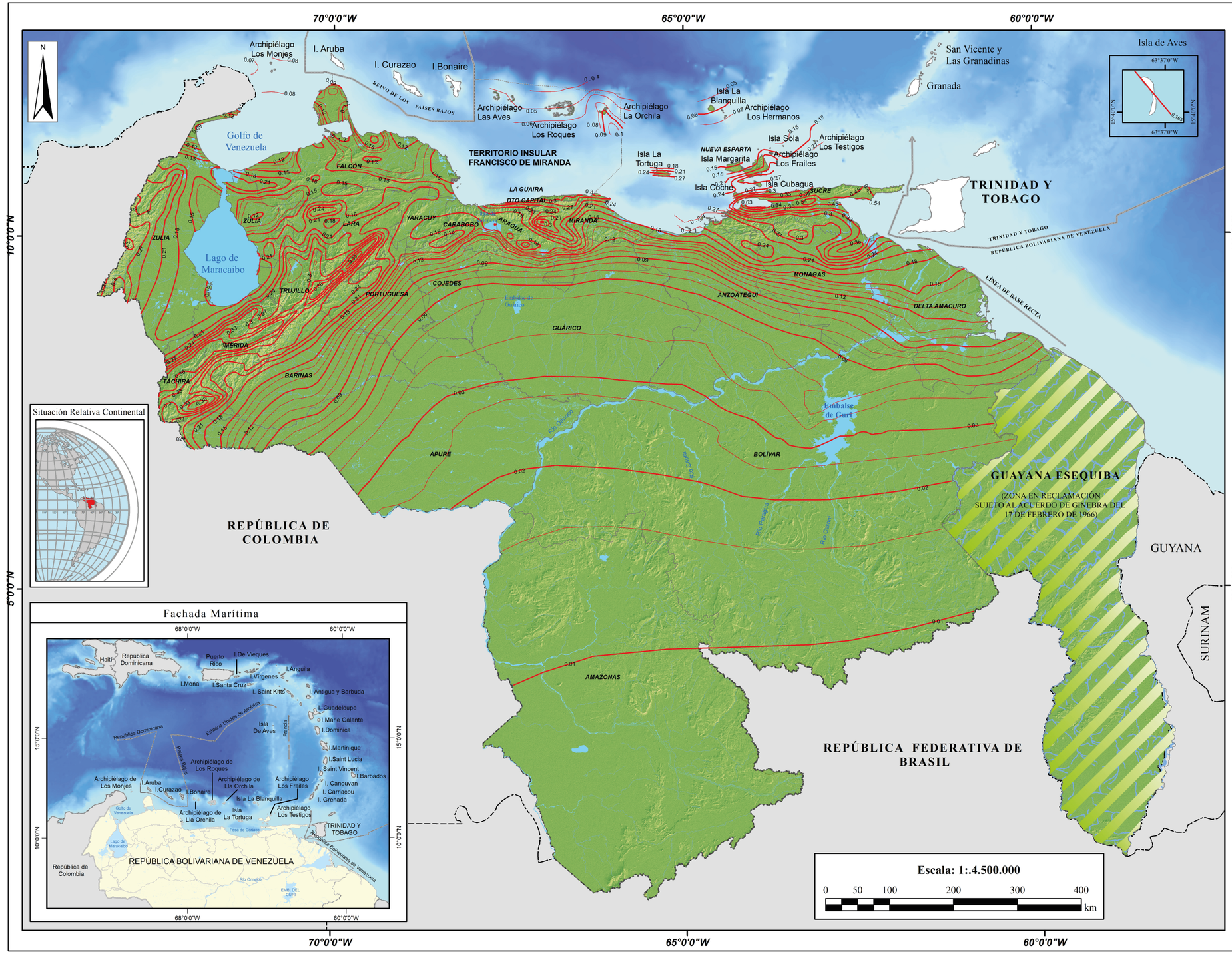


Figura 7: Período de transición al rango espectral de respuestas de deformación constante (TL), Barquisimeto.

INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS funvisis 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 29: CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756-1:2019

Amenaza Sísmica

A_0 = Coeficiente de Aceleración Horizontal del Terreno
En Clase de Sitio BC (Vs30 = 760 m/s)
Con Basamento a Profundidad = 30 m
Para Periodo Medio de Retorno = 475 Años

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

- 0-200
- 200-1.000
- 1.000-2.000
- 2.000-3.000
- 3.000-4.000
- 4.000-5.000
- 5.000-6.000
- 6.000-7.000
- 7.000-8.000
- Más de 8.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

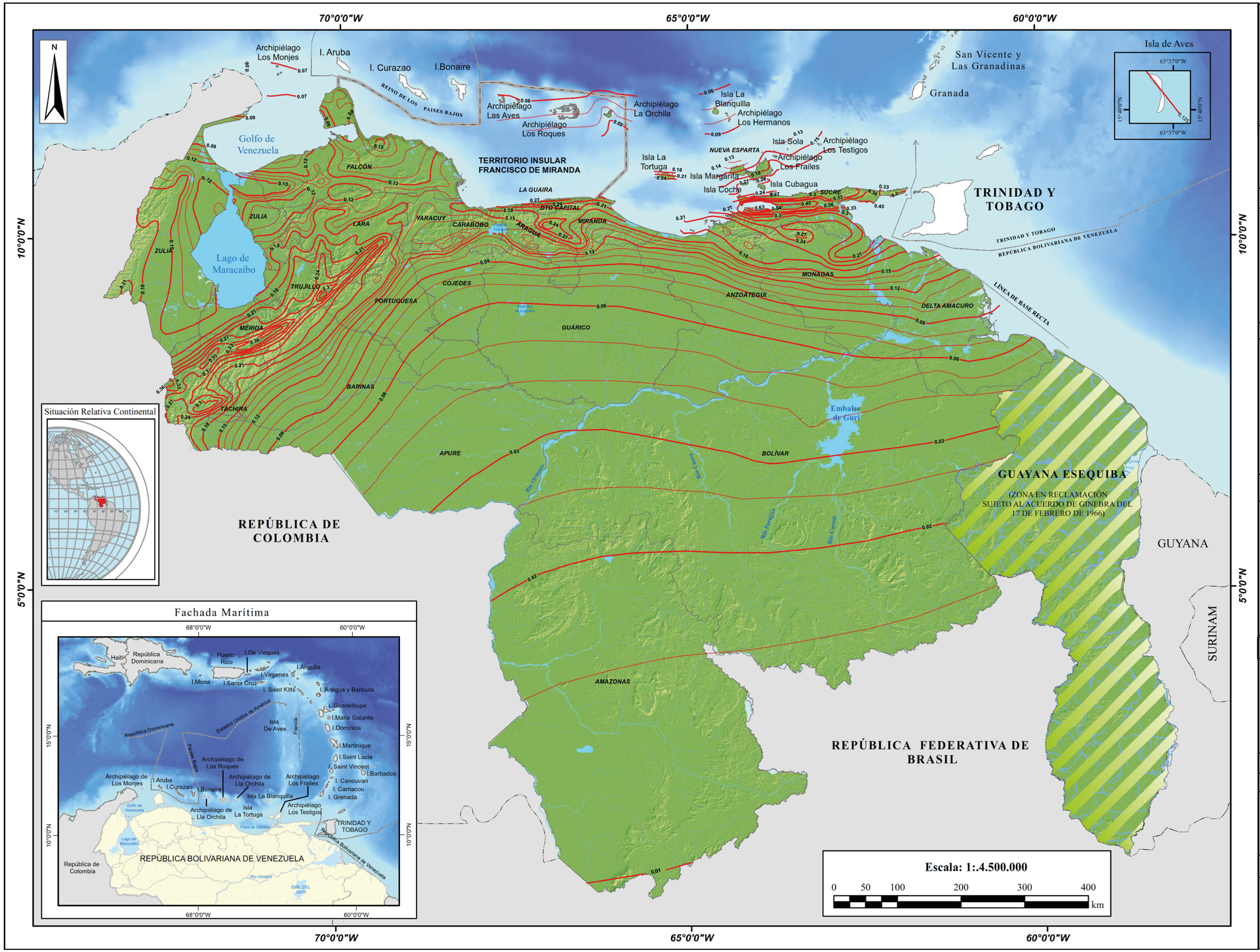
Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática

Evaluación de amenaza sísmica:
Julio J. Hernández y Michael Schmitz, (2017)
Aval: Grupo de Trabajo de Sismorresistencia
COVENIN 1756-1: 2019

INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS funvisis 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 30: CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756-1:2019

Amenaza Sísmica

A_1 = Coeficiente de Pseudo-Aceleración Espectral a Periodo de 1s
En Clase de Sitio BC (Vs30 = 760 m/s)
Con Basamento a Profundidad = 30 m
Para Periodo Medio de Retorno = 475 Años

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

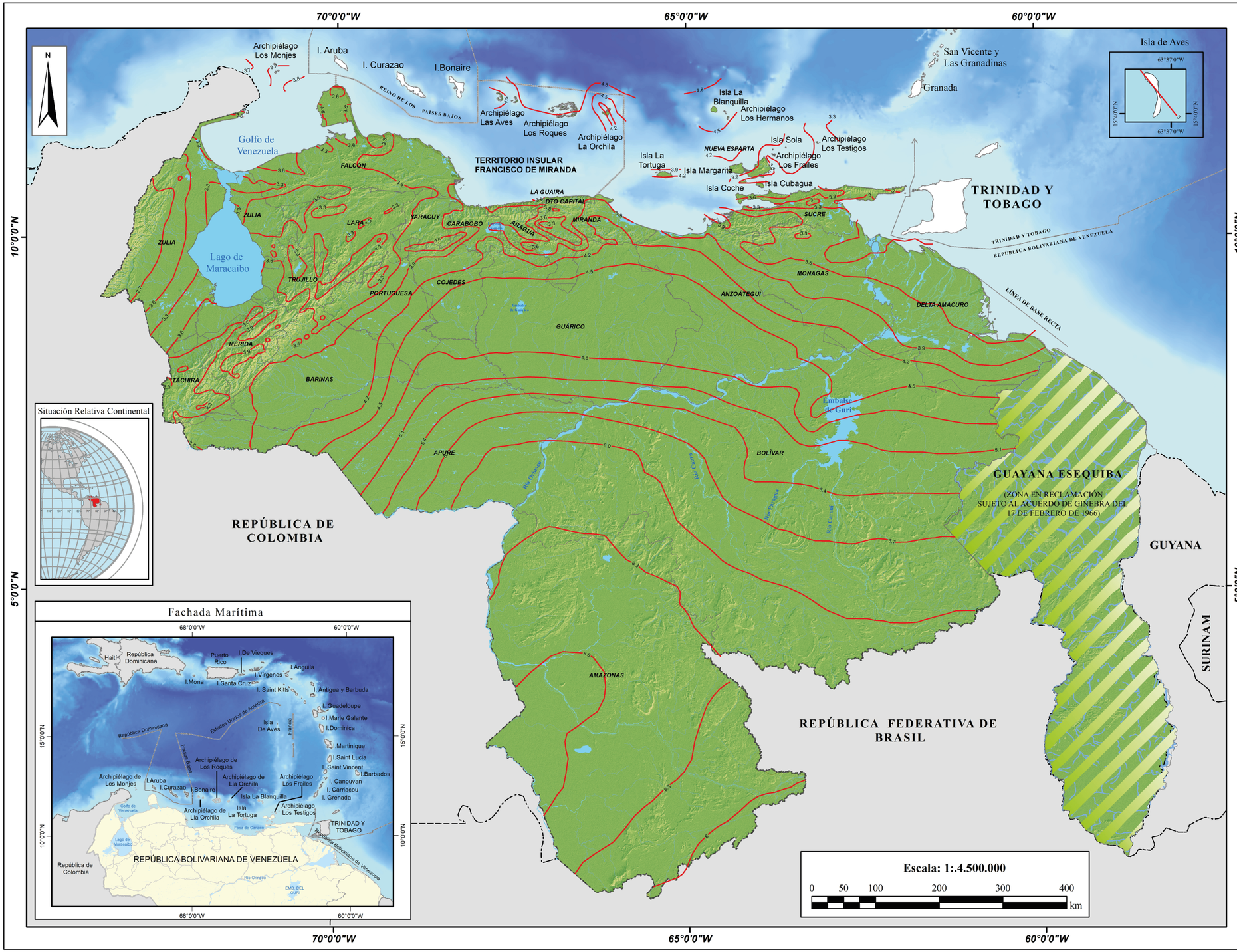
Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática

Evaluación de amenaza sísmica:
Julio J. Hernández y Michael Schmitz, (2017)
Aval: Grupo de Trabajo de Sismorresistencia
COVENIN 1756-1: 2019

INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 funvisis Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 31: CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756-1:2019

Amenaza Sísmica

T_L = Periodo de Transición Espectral (s)
En Clase de Sitio BC (Vs30 = 760 m/s)
Con Basamento a Profundidad = 30 m
Para Periodo Medio de Retorno = 475 Años

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

- 0-200
- 200-1.000
- 1.000-2.000
- 2.000-3.000
- 3.000-4.000
- 4.000-5.000
- 5.000-6.000
- 6.000-7.000
- 7.000-8.000
- Más de 8.000

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: 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. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática

Evaluación de amenaza sísmica:
Julio J. Hernández y Michael Schmitz, (2017)
Aval: Grupo de Trabajo de Sismorresistencia
COVENIN 1756-1: 2019

Tabla 3: Evolución y aportes principales de las normas sísmicas

NORMA AÑO	AMENAZA SÍSMICA	REGULARIDAD DE LA ESTRUCTURA	CLASIFICACIÓN DEL SUELO	DIRECCIÓN DE ANÁLISIS	MÉTODO DE ANÁLISIS	COEFICIENTE SÍSMICO	CONTROL DE DERIVA
MOP 1939	Para zonas montañosas de Los Andes y de la Costa.	No hace referencia	No hace referencia	Perpendicular a cualquiera de las fachadas.	Estático	C=0,05	No lo contempla
MOP 1947	Tres zonas sísmicas: A, B, C	No hace referencia	No hace referencia	Perpendicular a cualquiera de las fachadas.	Estático	C=0,10; 0,05; 0,00	No lo contempla
MOP 1955	Tres zonas sísmicas: A, B y C	No hace referencia.	No hace referencia	Cualquier dirección	Método estático equivalente	C = 0,30 / (N+4.5) para Zona B y el doble para Zona C.	No lo contempla
MOP 1967	Tres zonas sísmicas: 1, 2 y 3	No hace referencia.	Roca y depósitos aluvionales.	Cualquier dirección	Estático equivalente si la altura es menor a 60 m y/o menor de 20 pisos. De lo contrario, análisis dinámico. Considera torsión en planta.	Depende del suelo, del Uso y del Tipo de Estructura. Entre 0,045 y 0,15	Deriva Máxima: 0,002
Covenin 1982	Cinco zonas sísmicas: de 0 a 4, con aceleraciones dadas para un retorno de 475 años	Las clasifica como regulares e irregulares y da criterios para definirlas.	Clasifica los suelos en S1, S2 Y S3.	Dos direcciones ortogonales no simultáneas.	Estático equivalente para estructuras regulares con menos de 20 pisos. Análisis dinámico para alturas mayores o estructuras irregulares.	Depende del análisis. Mínimo de Ao / R.	Máxima: de 0,015 a 0,020 (estructuras esenciales) y 0,018 a 0,024 (para el resto).
Covenin 2001	Ocho zonas sísmicas: 0 al 7, con aceleraciones para un retorno de 475 años	Las clasifica como regulares e irregulares y amplía los criterios de selección.	Clasifica los suelos según cuatro perfiles: S1, S2, S3 y S4.	Dos direcciones ortogonales, simultáneas y agrega la componente vertical del sismo.	Estático equivalente para edificios regulares menores o igual a 10 pisos o 30 m Para las irregulares y/o de mayor altura, el método dinámico espacial o dinámico plano.	Depende del análisis. mínimo de (αAo) / R.	Deriva máxima: 0,012 a 0,016 para edificaciones esenciales) y 0,018 a 0,024 para viviendas, oficinas.
Covenin 2019	Curvas de Isoaceleración, para 475 años de retorno.	Se prohíben las irregularidades críticas en zonas de gran amenaza.	Suelos Clase A hasta F. Agrega profundidad de sedimentos y topografía.	Dos direcciones ortogonales simultáneas y agrega componente vertical del sismo.	Estático, dinámico elástico, estático no lineal y dinámico no lineal.	Depende del análisis. Mínimo de A_s / R. Mínimo de 0,01.	Deriva máxima: 0,008 a 0,016 (construcciones esenciales) y 0,012 a 0,022 para construcciones comunes.

Foto 115: Vista centro oeste de Caracas, desde la Torre La Previsora. Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).



Crecimiento urbano contra la falta de planificación

La carencia de una normativa o reglamento de construcción a nivel municipal, donde se determinen las zonas de riesgo, contribuye no solo al desorden urbano y mala organización habitacional; sino que permite que las familias se ubiquen en áreas vulnerables por desconocimiento.



Foto 116: Zona Populares, Barrio Sector El Cementerio, parroquia Santa Rosalía, Distrito Capital.
Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).



Foto 117: Vista centro este de Caracas, desde la Torre La Previsora. Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).

Mapa de la Red Acelerográfica Venezolana (Redac)

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio, Mario Rendón y Cristóbal Grimán

A finales de la década de los 70, la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis), debido al crecimiento demográfico del país y al incremento de las inversiones en construcciones e infraestructuras, emprendió el desarrollo e implementación de la Red Acelerográfica Venezolana, con la finalidad de registrar los movimientos fuertes del terreno, y avanzar en las investigaciones para la reducción del riesgo sísmico.

La información acelerográfica proporciona datos para el diseño de edificaciones, el estudio del comportamiento de las estructuras y de los suelos, además coadyuvar al desarrollo de leyes de atenuación para la microzonificación sísmica de los ejes urbanos, así como también, el mejoramiento y la actualización de los estudios de amenaza sísmica y de la Norma Venezolana de Edificaciones Sismorresistentes.

El proyecto fue ejecutado en tres fases: a) Se estableció un esquema de la red que abarcaría gran parte de las zonas urbanas del país, b) se procedió a la selección de sitios para ubicar las estaciones y c) se desarrollaron metodologías para procesar los registros obtenidos mediante la red.

Entre 1978 y 1981, para la evaluación del riesgo sísmico en Venezuela, Funvisis adquirió 31 acelerógrafos, y adicionalmente en ese mismo período, la Organización de Estados Americanos (OEA) donó 32 acelerógrafos. Todos los equipos eran analógicos, modelo SMA-1 de la empresa Kinemetrics, los registros se obtenían sobre una película fotográfica, que posteriormente debía ser revelada, para procesar la información.

La instalación de las estaciones acelerográficas comenzó en 1979 en la ciudad de Cumaná, estado Sucre, donde se ubicaron cuatro estaciones en diferentes zonas urbanas. En agosto de 1996, la Red Acelerográfica Venezolana (Redac) tenía en operación 53 acelerógrafos: 13 en la zona metropolitana de Caracas, seis en la zona central, uno en la isla de Los Roques, 22 en la zona occidental y 11 en la zona oriental del país.

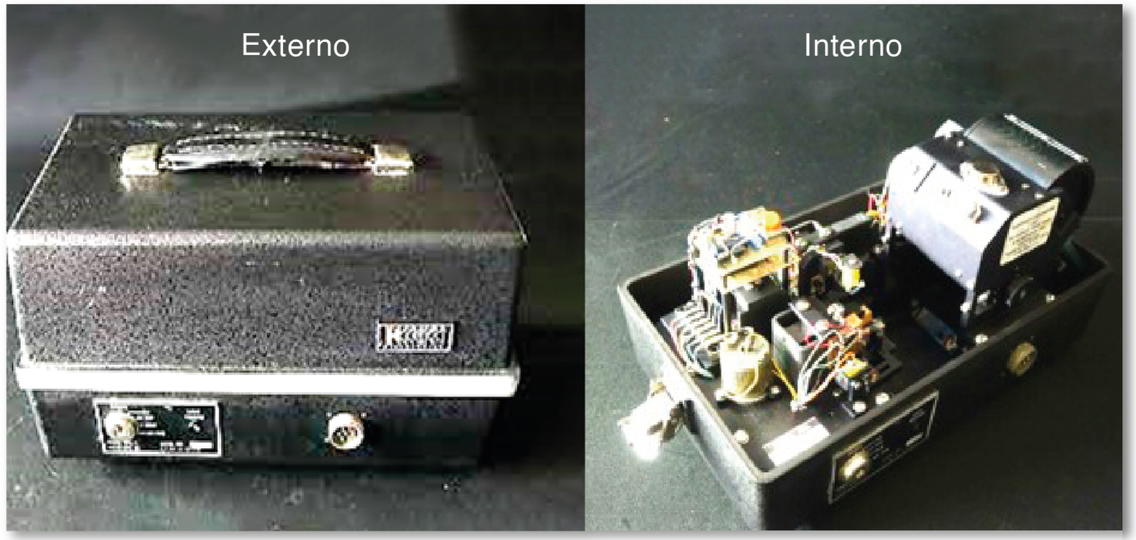
Durante el Terremoto de Cariaco de 1997, se obtuvieron 2 registros acelerográficos en la ciudad de Cumaná, ubicada a 70 km del epicentro del sismo, los equipos instalados en el oriente del país no registraron apropiadamente el evento sísmico, debido a problemas asociados a insuficiencias en las baterías y las películas fotográficas.

A partir de 2000, se sustituyeron todos los equipos analógicos por equipos digitales también de la marca Kinemetrics, modelo Etna, instalándose alrededor de 134 acelerógrafos en tanquillas distribuidas en zonas urbanas de todo el territorio nacional.

En los últimos años, se ha reducido a su mínima expresión, el funcionamiento de los equipos instalados en las estaciones acelerográficas de la red, debido a diversos factores, tales como limitaciones en el mantenimiento preventivo y correctivo por falta de insumos y repuestos, fallas en el suministro eléctrico y las condiciones de humedad en los sitios de colocación.

El mapa muestra la distribución de las estaciones acelerográficas de la Redac instaladas a partir de 2000, ubicadas en zonas donde se concentra el 90 % de la población de Venezuela, sin embargo, actualmente esta red no se encuentra operativa, requiriéndose recursos económicos para su necesaria rehabilitación.

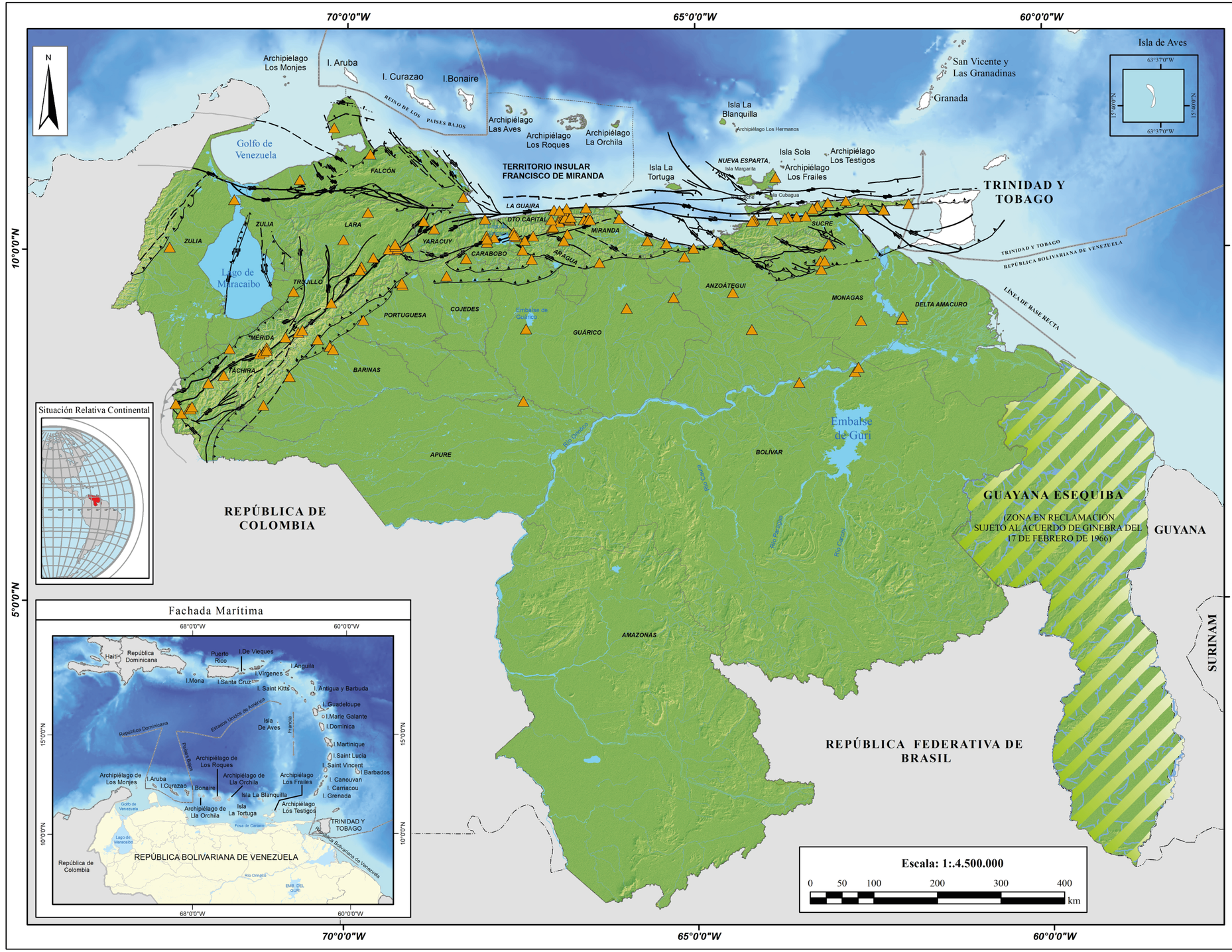
Fotos 118 y 119: Acelerógrafo SMA1. Fuente: Cristóbal Grimán.



Fotos 120 y 121: Acelerógrafo Etna, escuela Valentín Valiente. Cariaco, estado Sucre. Fuente: Jorge González (2016).



INGENIERÍA SÍSMICA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia

50 AÑOS 27 DE JULIO DE 1972 - 2022 funvisis Fundación Venezolana de INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS

Mapa 32: RED ACELEROGRÁFICA VENEZOLANA

Estaciones A Nivel Nacional

▲ ESTACIÓN

Tipología de Fallas

- Inferida
- Inversa
- Dextral Continua
- Sinestral Discontinua

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Proyección y Coordenadas: 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. Funvisis 2022
Digitalizacion: José Arismendi, Giovanni Daza y Elio Suárez

Autores de la cartografía temática

Departamentos Técnicos de FUNVISIS

Referencias

Alonso. J.L., Aparicio. J., Arcia. J., Díaz Q., A., Fonseca. A., Gallardo. C., Ruiz. A. (1974). Plan Básico para las Investigaciones Sísmicas en Venezuela, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Funvisis.

Barreiro, M., Malaver, A. El Terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela, https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve

Barreiro M. (2006). Cambio de Normas Sísmicas y Confiabilidad Estructural. Ingeniería Forense y Estudios de Sitio. Guía para la Prevención de Gestión de Riesgo.

Briceño, F. (1997). Desde el Terremoto de Caracas hasta Funvisis. Conferencia con motivo del 25 Aniversario de Funvisis.

COVENIN (1982). Norma Venezolana; Edificaciones Antisísmicas. Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN 1756-87. Caracas, Venezuela.

COVENIN (2001). Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756:01. Comentarios. Caracas, Venezuela.

Grases J. (1984). Fundamento para la elaboración del nuevo Mapa de Zonificación Sísmica de Venezuela, con fines de Ingeniería. Nota Técnica Funvisis N° 05-84,1984.

Grases J., O. A. López y J. Hernández. (1987). Edificaciones Sismorresistentes. 268 Pág. Fundación J.J. Aguerrevere. Caracas, 2da. Edición.

Grases J., O. A. López y J. Hernández. (1987). Edificaciones Sismorresistentes. 268 Pág. Fundación J.J. Aguerrevere. Caracas, 2da. Edición.

Grases J. (1997) Diseño Sismorresistente. Especificaciones y Criterios Empleados en Venezuela, (Coord), Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela, Vol. XXXIII, Caracas, 663 p.

Grases, J. (2002). Introducción a la Evaluación de la Amenaza Sísmica en Venezuela Acciones de Mitigación. 249 p.

Grimán. C. (1996). Listado de instrumentos SMA-1 de la Red Nacional de Acelerógrafos, Informe interno, Funvisis.

Malaver. A., y Chacón. C. (1980), Informe interno, Funvisis.

MOP (1947). Norma para el Cálculo de Edificios. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales. Caracas, Venezuela.

MOP (1955). Norma para el Cálculo de Edificios. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales. Caracas, Venezuela.

MOP (1967). Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas. Ministerio de Obras Públicas. Caracas, Venezuela.





PARTE 5

Investigación social y divulgación







Portada:

Fotos superior izquierda:
II Encuentro Nacional de Entes Multiplicadores 2016 Torre MPPCYT, La Hoyada, Caracas.
Fuente: Antonio Aguilar (2016).

Foto superior derecha:
Estudiantes de educación básica en el simulador de terremoto del Museo Sismológico, 23 de Enero, Caracas.
Fuente: Rafael Rosario (2016).

Fotos inferior izquierda:
Ejercicio de desalojo costero en caso de tsunamis
Fuente: Funvisis.

Foto inferior derecha:
Inspección y charla sobre riesgos a comunidades, Callejon Pelayo, sector Caraballo, Caracas.
Fuente: Antonio Aguilar (2021).



Encabezado:

Foto Izquierda:
Atención de escolares en la exposición de Funvisis en el Museo de Ciencias.
Fuente: Antonio Aguilar (2019).

Foto derecha:
Muestra de productos didácticos en ferias y eventos públicos. Autor Rafael Rosario.
Fuente: Prensa Funvisis. (2016).

Introducción

Antonio Aguilar, Juan L. Guzmán, Mayda Durán, Oswaldo Blanco, Adriana Jaime y Víctor García

Concebido como un área de soporte y apoyo a los departamentos que realizan investigaciones y estudios sismológicos, se creó el Centro de Documentación e Información (CEDI), el cual fue, en esencia, una biblioteca especializada usada como centro de referencia, cuya misión inicial era la de compilar toda la producción científica generada en Funvisis y por otros centros de investigación en materia de sismología, ciencias de la tierra e ingeniería sísmica, con énfasis en los estudios sobre el territorio Venezolano. Además, cumplía la función de resguardo de la colección documental técnico – científica creada por la comisión presidencial para el estudio del terremoto de Caracas de 1967, entre otras. Su objetivo: Consolidarse como centro de referencia nacional en materia de investigación sismológica en Venezuela, para contribuir con la mejor comprensión del fenómeno sísmico que afecta al país, y proporcionar información tanto a investigadores como a tomadores de decisiones para la implementación de políticas públicas, medidas estructurales y no estructurales que reduzcan el riesgo de desastre y su impacto en el desarrollo nacional.

A mediados de la década de los 90, se creó el departamento de documentación e información, asumiendo en su seno al CEDI, el cual desde su creación se ocupaba de atender las demandas de los grupos sociales, ofreciéndoles charlas y otros programas de divulgación, así como productos educativos e informativos, accesibles para la población en general.

El 9 de julio de 1997, a las 15:23 HLV, ocurrió un terremoto de magnitud 6,9 (Mw) a una profundidad de 9,4 km, en la región nor-oriental de Venezuela, que generó la destrucción de un edificio de oficinas en la ciudad de Cumaná, así como severos daños en dos estructuras educacionales de varios niveles que colapsaron en la población de Cariaco, municipio Ribero, donde se concentró buena parte de las pérdidas de vidas humanas. El impacto de este evento en la opinión y la política pública, impulsó la modernización de la red sismológica nacional, y el desarrollo de proyectos de microzonificación sísmica, entre otras iniciativas científicas; pero también produjo una importante reflexión sobre el rol y la responsabilidad social de los investigadores de Funvisis, respecto a los efectos destructores del evento sísmico, objeto de sus estudios, y de sus consecuencias para las poblaciones expuestas a esta amenaza, concluyendo que, más allá de solo limitarse a investigar el fenómeno natural o la vulnerabilidad de la infraestructura física, era imperativo, pertinente e impostergable realizar un tipo de acercamiento social, necesariamente educativo, para contribuir activamente en la reducción de las pérdidas humanas a causa de los terremotos, abriendo así el espacio institucional y la oportunidad para la materialización del proyecto "Aula Sísmica", concebida como un espacio para la atención social y parte integral de los servicios que ofrece la fundación.

El 16 de febrero de 1998, por iniciativa de la profesora Flor Ferrer, se concretó el proyecto bajo el nombre de: Aula Sísmica “Madeleilis Guzmán”, epónimo usado como homenaje a Madeleilis del Valle Guzmán Castillo, maestra de la escuela básica “Valentín Valiente” de Cariaco, quien ofrendó su vida por salvar la de dos de sus alumnas en el terremoto antes referido. El proyecto se precisó como un aula-laboratorio-socioeducativa para explorar las metodologías, estrategias didácticas y lúdicas para la socialización y popularización de la investigación sismológica en Venezuela, generadas por los grupos de investigación especializados de Funvisis, dando así, al público en general, fácil acceso a estos conocimientos, satisfaciendo entonces la demanda de información sobre estos temas, hasta convertirse, con el paso del tiempo, en un programa socio-educativo de alcance nacional, incorporando más recientemente la amenaza por tsunamis, y con una metodología cuyo énfasis está en la formación de entes multiplicadores, a quienes se les delega la responsabilidad de socializar la información en sus respectivos ámbitos laborales y de vida. Configurándose de esta manera el Departamento de Documentación e Información en sus primeros años, como un área de apoyo a la investigación y de servicios sociales.

En la reforma de los estatutos de Funvisis de 2001, en el título II, artículo 4, literales “g” y “h”, se establece:

> “La Fundación podrá ejercer las siguientes atribuciones:
> g) Organizar, actualizar y mantener un centro de documentación e información.
> h) Elaborar y difundir programas de orientación en materia de prevención sísmica”.

Posterior a ese año, se realizaron proyectos interesantes, como lo fueron: la organización de exposiciones en el Museo de Ciencias, la creación del Museo Sismológico de Caracas en el Observatorio Cagigal, la exposición itinerante de alcance nacional “Sismóvil”, así como las exhibiciones fotográficas conmemorativas del terremoto de San Narciso de 1900 y del terremoto de Caracas de 1967, entre otras iniciativas educativas socio-culturales; también hubo la expansión del programa, al promover y apoyar la fundación del Aula Sísmica en otros estados del país.

En 2019, se realizó una revisión de su misión, visión y objetivos, identificando las líneas de investigación que se desarrollaban en ese momento, a fin de redefinir y establecer estas áreas. Es así que en el escrito denominado: “Documento rector de las líneas de investigación de Funvisis”, se estableció la vulnerabilidad social sísmica como una de las áreas potenciales de investigación, dividida en dos sub-áreas de investigación: daños al individuo y resiliencia. Convirtiéndose el departamento de documentación e información en el departamento de investigación social y divulgación, extendiendo sus competencias e incorporando el espacio institucional para el desarrollo de investigación desde la perspectiva de las ciencias sociales, empleando como estrategia formativa el “Método Cascada” para la formación de entes multiplicadores a nivel nacional.

Actualmente, el departamento de investigación social y divulgación enfrenta nuevos retos, que le exigen ir más allá de los servicios educativos que tradicionalmente ha prestado, y del desarrollo de estrategias pedagógicas y andragógicas en los campos de la didáctica y la lúdica para la transmisión del conocimiento científico sobre geo-amenazas.

Nuevos espacios de investigación en el área de la reducción del riesgo de desastres, como la vulnerabilidad social, el riesgo urbano, la cultura del riesgo y la resiliencia, impulsarán las perspectivas futuras del departamento, el cual ya comienza a establecerse como otra área formal de investigación, con un enfoque desde las ciencias sociales.

Investigación social en Funvisis

Antonio Aguilar, Mayda Durán y Juan L. Guzmán

Como consecuencia de la actividad docente y socializadora del conocimiento desarrollada por el Centro de Documentación e Información, a través del servicio de biblioteca, y por el programa educativo Aula Sísmica desde 1998, fue propicio el momento para crear un área de investigación social, que se originó por la alta demanda de información técnico-científica, debido a la preocupación del público por los terremotos y los daños que causan a la sociedad.

Estas solicitudes de información fueron atendidas desde una perspectiva educativa y cultural, orientada inicialmente hacia el conocimiento de la amenaza sísmica en Venezuela, y la preparación de la población en el caso de terremotos encuadrada en la gestión de emergencias y desastres; posteriormente, se realizó con un enfoque hacia la reducción de riesgos socionaturales desde una perspectiva histórica, social y urbana más amplia.

El desarrollo del área de investigación fue emergiendo y tomando relevancia debido a la integración del departamento en los proyectos de investigación aplicada, que desarrollaba la fundación, en donde se necesitaba algún tipo de abordaje social; y adicionalmente, a la llegada de los estudiantes universitarios con sus pasantías y trabajos de grado vinculados al tema sísmico, distintos a la Geología, la Geofísica y la Ingeniería. Progresivamente, el departamento pasó de ser un área de apoyo a la investigación sismológica, a convertirse en un departamento de investigación social y divulgación del conocimiento científico, donde la investigación social se enfoca en los seres humanos como entidades complejas, sus formas de vida, sus intereses, su manera de percibir el mundo, y los significados y representaciones que se les da a dicha percepción; esta nueva visión parte necesariamente de una base epistemológica y metodológica, distinta a los enfoques tradicionales de investigación vigentes en la fundación, que tenía como objeto de estudio los hechos y los fenómenos físicos externos e independientes del ser humano.

Sin embargo, es justo mencionar, que desde hace más de 25 años, la fundación ya venía realizando investigaciones desde las Ciencias Sociales sobre los terremotos, a partir de una perspectiva histórica, antropológica y socioeducativa, donde destacan los trabajos de: André Singer, Flor Teresa Ferrer, José Antonio Rodríguez, Alejandra Leal, Juan Luis Guzmán, entre otros. Aunque la investigación social es relativamente nueva, al compararla con las otras áreas del conocimiento habitual, ya se tenía algo de práctica, por lo que no le es ajena a la fundación y a sus investigadores.

En la actualidad, el departamento de investigación social y divulgación ha desarrollado trabajos de investigación en diferentes áreas temáticas, para la enseñanza de las geoamenazas, la apropiación social del conocimiento, recursos pedagógicos especialmente diseñados para personas con discapacidad, currículo y formación, mejores prácticas en caso de terremotos y tsunamis, vulnerabilidad urbana ante terremotos, vulnerabilidad y exposición de poblaciones costeras ante la amenaza de tsunami, evaluación de riesgos, preparación ante desastres producidos por sismos y tsunamis, y resiliencia. Asimismo, continúa siendo fuente de interés para el desarrollo de estudios en Bibliotecología, Archivología y las ciencias de la información, debido a la naturaleza singular de los conocimientos que se procesan, y el valor de las colecciones históricas y especializadas que se mantienen en el Centro de Documentación e Información.

El reto de la investigación social en el presente es el de poder ampliar sus investigaciones hacia otros aspectos de la complejidad social, usando métodos y estrategias innovadoras, desde las necesidades y características propias de las ciencias sociales. Así mismo, enfrenta el desafío de la integración de los resultados de las investigaciones del área social con las investigaciones en materia de sismología, geofísica, geología de los terremotos e ingeniería sísmica, y una oportunidad para la investigación desde la interdisciplinariedad y hacia la transdisciplinariedad, haciendo mucho más integral la investigación sismológica.

Alcance y expansión del programa educativo aula sísmica “Madeleilis Guzmán” de Funvisis

Antonio Aguilar y Juan L. Guzmán

El Programa Educativo Aula Sísmica “Madeleilis Guzmán” fue creado para transmitir con facilidad el conocimiento científico en materia de amenaza sísmica en el contexto venezolano, y la divulgación de las medidas preventivas, dirigidas a comunidades escolares y no escolares, para que adquieran conciencia sobre el territorio que habitan, y para el desarrollo de capacidades preventivas ante este fenómeno natural.

Las zonas de Venezuela donde se han establecido niveles de amenaza elevados, coinciden con las regiones donde históricamente se han asentado las ciudades más importantes y con mayor densidad poblacional, lo que implica que un alto porcentaje de la población hace vida en regiones de alto riesgo sísmico. Esta realidad justifica toda la inversión realizada en investigación para la comprensión del fenómeno sísmico, y también todos los esfuerzos para garantizar que estos conocimientos puedan ser aprovechados para su propia protección por toda la población expuesta a esta amenaza.



Fotos 122 y 123: Aula sísmica en Lagunillas, estado Mérida.
Fuente: Antonio Aguilar (2016).

Mediante la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (Locti), y a través el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (Fonacit), se lograron recursos financieros que permitieron materializar proyectos de investigación que incorporaron el componente socioeducativo, sobre los que se apoyaron las actividades de reforzamiento y expansión del programa Aula Sísmica, consolidándose como el "Brazo socioeducativo" de la fundación. La mayor inversión se realizó prioritariamente en los estados que, de acuerdo con los estudios adelantados por los equipos de caracterización de la amenaza sísmica, tienen mayor riesgo. Destacándose principalmente, las actividades de impulso y reforzamiento de programas de autoprotección comunitaria de las instituciones locales, y los proyectos de: Microzonificación Sísmica de las ciudades de Caracas y Barquisimeto, Fonacit Nº 200400738, 2004; Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos, Misión Ciencia I Fonacit Nº 2007000939, 2007; Microzonificación Sísmica para la Planificación Urbana y la Gestión Local de Riesgo en las ciudades de los Ejes de Desarrollo: Caso Piloto Guarenas y Guatire, Convenio Cuba- Venezuela, 2008. Donde se desarrollaron estos proyectos se promovía y potenciaban programas regionales de autoprotección en caso de amenazas múltiples, que adelantaron las direcciones de Protección Civil Municipales y Estadales, así como Cuerpos de Bomberos y Organizaciones no Gubernamentales (ONG) que hacen vida en los ámbitos territoriales estratégicos.

Posteriormente, se aprobaron y ejecutaron proyectos propios del departamento, que consolidaron las actividades de expansión del programa, y el trabajo en red: Dotación y Divulgación de Información relacionada a la Prevención Sísmica en Venezuela (2011), proyecto de Reforzamiento y Expansión del Programa Educativo Aula Sísmica “Madeleilis Guzmán”, 2013, Gestión Integral de Riesgo en las regiones costeras de Venezuela, con énfasis en la amenaza por tsunamis, Fonacit Nº 2013000361, 2014.

Todos los proyectos ejecutados han contribuido a promover una cultura sísmica nacional, así como a la formación de entes multiplicadores del conocimiento sobre la realidad sísmica del país, el mantenimiento y actualización de la exposición permanente del Museo Sismológico y la exposición permanente en la sala Nº 1 del Museo de Ciencias, ambas en Caracas, innovando nuevos contenidos museológicos; diseño y reproducción de material de divulgación, tales como: folletos, afiches y trípticos, entre otros, para la difusión de los mensajes de autoprotección a todo tipo de público, y para la visibilidad institucional; la puesta en acción de una exposición móvil itinerante, que permitiría llevar la experiencia de los talleres a las comunidades más lejanas del país; recursos audiovisuales y la creación del largometraje “Venezuela Sísmica”. Estos proyectos permitieron ampliar las actividades del Aula Sísmica en regiones estratégicas de amenaza sísmica del país, en el estado Lara con alcance al resto de la región centro occidental; en el estado Sucre, con alcance a toda la región nororiental, y en el estado Mérida.



Foto 124: Jornadas en escuelas.
Fuente: Funvisis (2013).

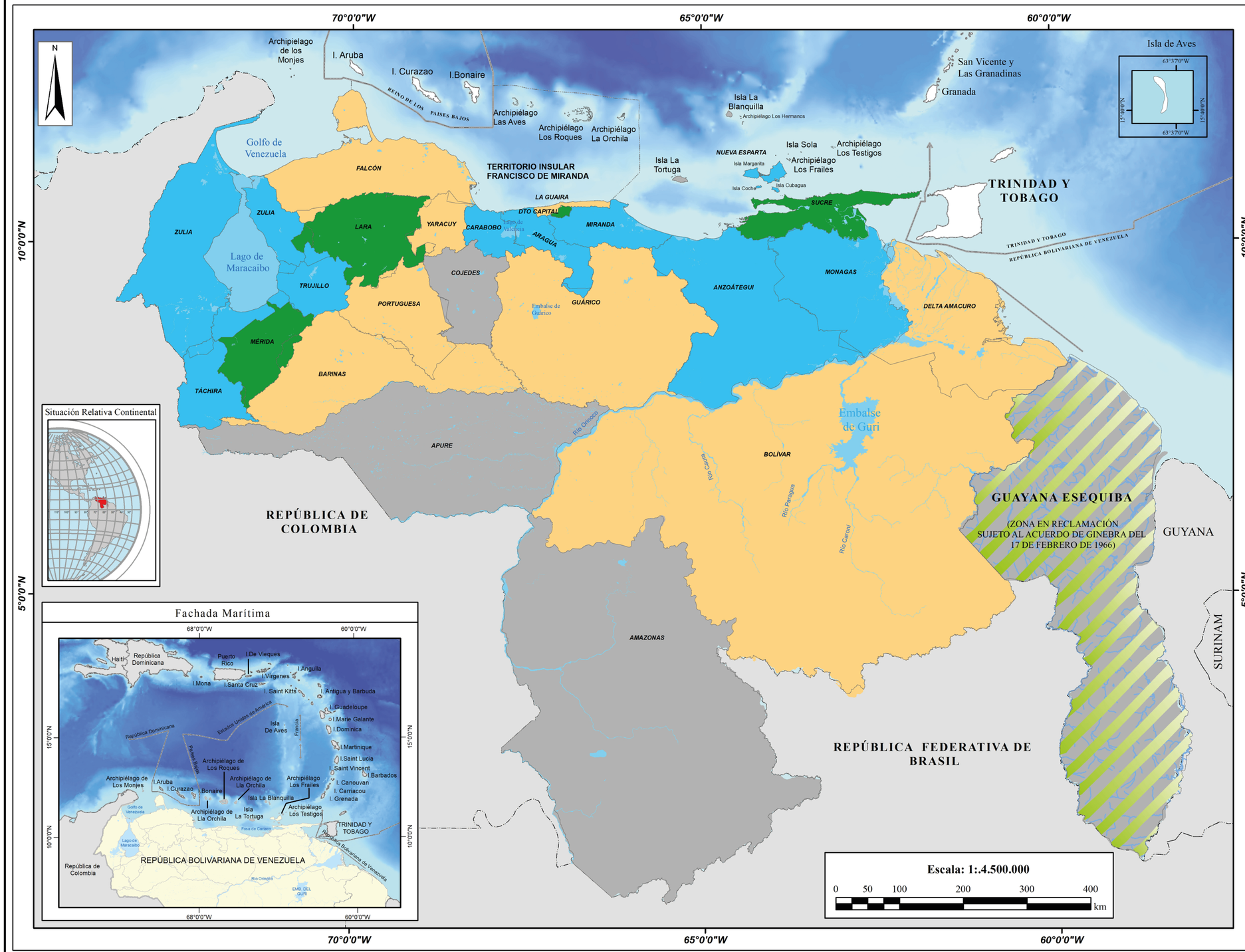


Foto 125: Aula sísmica en Cariaco, estado Sucre.
Fuente: Rafael Rosario (2015).

Foto 126: Desalojo de estudiantes de básica y media en el sector Picure, estado Vargas, ejercicio Caribe Wave 2017.
Fuente: Funvisis (2017).



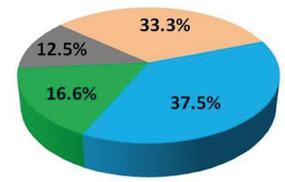
INVESTIGACIÓN SOCIAL Y DIVULGACIÓN



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 33: EXPANSIÓN Y ALCANCE DEL PROGRAMA EDUCATIVO AULA SÍSMICA "MADELEILIS GUZMÁN"

- Estados con experiencias locales consolidadas de escala regional
  Mérida, Lara, Sucre, Distrito Capital
- Estados donde se desarrollan experiencias locales significativas en vias de consolidación
  Táchira,Zulia,Trujillo,Aragua,Carabobo, Miranda,Anzoátegui,Monagas,Nueva esparta
- Estados donde existen iniciativas de entes locales, con potencial de desarrollo,
  Falcon,Yaracuy,Portuguesa,Barinas, Guárico, La Guaira,Bolivar, Delta Amacurro
- Estados con planes para ser abordados en el futuro
  Amazonas,Cojedes, Territorio Insular Francisco de Miranda



Sígnos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Proyección y Coordenadas: 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. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática

Antonio Aguilar M., y Juan L. Guzmán

Preparación de las comunidades costeras venezolanas frente a los tsunamis, en el marco de los ejercicio Caribe Wave

Antonio Aguilar, Gloria Romero y Juan L. Guzmán

Venezuela, consciente de sus amenazas costeras, participa desde 2005 en el Grupo de Coordinación Intergubernamental para la creación del sistema de alertas ante tsunamis y otras amenazas costeras para el Caribe y regiones adyacentes, conocido como ICG/CARIBE-EWS por sus siglas en inglés, que está integrada por los países ubicados en la cuenca del Mar Caribe, que surge por iniciativa de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la Unesco, como consecuencia de los efectos destructores en el océano Índico del tsunami del 26 de diciembre de 2004, lo que despertó una preocupación mundial por esta amenaza latente en los mares y océanos del mundo.

Los datos históricos indican que en los últimos 500 años se han observado en el Caribe más de 75 tsunamis, por lo que pueden considerarse fenómenos atípicos y pocos frecuentes, aunque un solo tsunami destructor ocasionaría devastadores efectos en toda la región. De acuerdo a estimaciones de la ICG/CARIBE-EWS, los tsunamis en el Caribe tienen el potencial de acabar con la vida de unas 500.000 personas en pocas horas. Justificándose la atención de los países para el pronóstico, monitoreo, alerta temprana, y la preparación de la población expuesta a estos eventos.

En marzo de 2010, se celebró en Mangua, Nicaragua, la quinta reunión del ICG/CARIBE-EWS donde se propuso y aprobó que en 2011 se realizaría un ejercicio regional, de alerta y respuesta en caso de tsunamis para el área del Caribe, denominado “Caribe Wave”. Este ejercicio ya se venía realizando en los Estados Unidos de América con el nombre de LANTEX.

El grupo de trabajo *ad hoc* sobre el ejercicio Caribe Wave, sesiona anualmente desde 2011 en el marco de la reunión del ICG/CARIBE-EWS, y es la instancia donde se diseña la propuesta de escenario del ejercicio a ejecutarse el año siguiente, para posteriormente, ser presentado ante la Asamblea Plenaria, quien evalúa los escenarios y los aprueba.

Los objetivos del ejercicio Caribe Wave son:

1. Asegurar la transmisión de comunicación entre el Centro de Alerta de Tsunamis del océano Pacífico (PTWC) con los puntos focales de los países miembros de la ICG/CARIBE-EWS
2. Probar los planes de respuesta que las Oficinas de Manejo de Emergencia hayan desarrollado, o promover a la creación de ellos en caso de no tenerlos
3. Discutir y evaluar varias alternativas de comunicaciones para recibir y diseminar los mensajes de alerta de tsunami entre los países del Caribe

Para atender este compromiso internacional, Venezuela creó el grupo coordinador del ejercicio Caribe Wave, instancia interinstitucional liderada por Funvisis y la Dirección Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres. A la postre, fueron integrándose otros organismos nacionales a esta coordinación nacional, con el fin de poner a prueba los mecanismos de comunicación y coordinación, en respuesta a un desastre de grandes proporciones que pueda ocurrir en la zona costera del país producto de un tsunami hipotético pero con probabilidades de producirse, en el marco de los escenarios planteados para los ejercicios Caribe Wave anuales.

El equipo nacional de coordinación del ejercicio Caribe Wave evaluó las oportunidades y potencialidades de las instituciones y poblaciones costeras, con el fin de escoger las regiones participantes y desarrollar las actividades del ejercicio. La intervención fue en tres niveles, en los ámbitos nacionales, regionales y locales, siendo estos últimos en los que más se invirtió tiempo y esfuerzo, debido a que es precisamente en estos espacios donde los efectos destructores de un tsunami van a manifestarse, y donde debía transferirse las capacidades y la responsabilidad de prepararse para enfrentar estas amenazas costeras de manera prioritaria. En el marco del

ejercicio, instituciones y comunidades en Venezuela han debido enfrentar diferentes tipos de escenarios de tsunamis potenciales, históricos y sintéticos, como en el caso del escenario del 26 de marzo de 2014, donde se simuló y reprodujo el tsunami producido por el terremoto de Lisboa el 1 de noviembre de 1755, que generó una ola que atravesó el océano Atlántico y llegó 12 horas después hasta el Mar Caribe, afectando a Venezuela; o el ejercicio del 20 de marzo de 2013, con la simulación de un tsunami a 100 km al norte de Aruba, cerca de la península de Paraguaná, y un tiempo de reacción de 12 minutos, en el cual no pudo emitirse una alerta temprana. Ambos escenarios aunque extremos, son totalmente factibles, lo cual promovió discusiones sobre la magnitud del problema a enfrentar, revelando debilidades y aspectos sobre los que hay que trabajar, pero también dejando ver fortalezas, y nuevas áreas de investigación.



Foto 127: Simulacro de desalojo por tsunami en el Gran Roque, Territorio Insular Francisco de Miranda.
Fuente: Funvisis (2017).



Foto 128: Simulacro de desalojo y tsunami en el Gran Roque, Territorio Insular Francisco de Miranda.
Fuente: Funvisis (2017).

Panorama actual y retos que enfrenta el país frente a la amenaza de tsunamis

El sector escolar se ha destacado por su amplia participación y organización, convirtiéndose en los protagonistas naturales del ejercicio Caribe Wave, tanto en Venezuela como en el resto de los países de la región. Este hecho es muy importante debido a que los estudiantes, como futuros ciudadanos en formación, están recibiendo capacitación y experiencia para su autoprotección y la de sus familias frente a estos eventos marinos.

La experiencia de otros países ante tsunamis destructores, demuestra que el conocimiento sobre esos eventos, sus causas, efectos, modelaje y predicción, es insuficiente para salvar vidas. Se requiere también inversión de recursos financieros para la investigación y el abordaje social, que permita comprender las complejas e históricas relaciones de ocupación del territorio, así como los intereses y expectativas de los habitantes que hacen vida en estos contextos sociales, en especial los densamente poblados, para que las acciones en materia de reducción del riesgo de desastre en las zonas costeras sean efectivas y sostenibles en el tiempo.

Las organizaciones de Administración de Emergencias, de Protección Civil y Administración de Desastres deberán tomar medidas urgentes para la preparación institucional y reforzamiento tecnológico, que les permitan el desarrollo de las capacidades de estas instituciones para la comprensión de la amenaza por tsunami, la previsión de sus efectos potenciales en sus ámbitos de acción, y la ejecución de las medidas de mitigación y atención de emergencias y desastres.

Se requiere crear protocolos de coordinación entre los diversos organismos con competencias concurrentes en las zonas costeras, en especial, en las regiones donde se desarrollan diversas actividades estratégicas, para el establecimiento de la autoridad única en caso de emergencias y desastres en esas áreas.

Para detectar eventos sísmicos tsunamigénicos en el área del Caribe, emitir de manera oportuna y efectiva las alertas tempranas, y realizar las investigaciones para estimar los posibles impactos de estos fenómenos en las zonas costeras, es imprescindible la formación del talento humano. En ese sentido, urge la capacitación y actualización en materia tsunamigénica, promover acuerdos de cooperación técnico-científico-internacional, inversión de recursos para el mantenimiento y ampliación de las redes sismológicas, instalación de mareógrafos y otros sensores marinos; además de la adecuación de instalaciones físicas para facilitar comunicación telemétrica en tiempo real con otras estaciones y el rápido procesamiento de datos.

Finalmente, se debe reconocer el gran esfuerzo hecho por todas las instituciones municipales y estadales involucradas en la ejecución anual de los ejercicios Caribe Wave en las zonas costeras, en especial a las organizaciones de Protección Civil, Cuerpos de Bomberos, y las organizaciones voluntarias de apoyo en emergencias y desastres, por dejar de lado diferencias operativas, institucionales y políticas, con el fin de prepararse para atender de manera eficiente a las comunidades vulnerables, expuestas a esta amenaza. Del esfuerzo sostenido en el tiempo por parte de todas estas instituciones, dependerá la preparación y eficiente respuesta que se dará en el futuro a las comunidades que resulten afectadas por los tsunamis.



Foto 129: Capacitación a funcionarios de PC y bomberos como entes multiplicadores.
Fuente: Funvisis (2016).

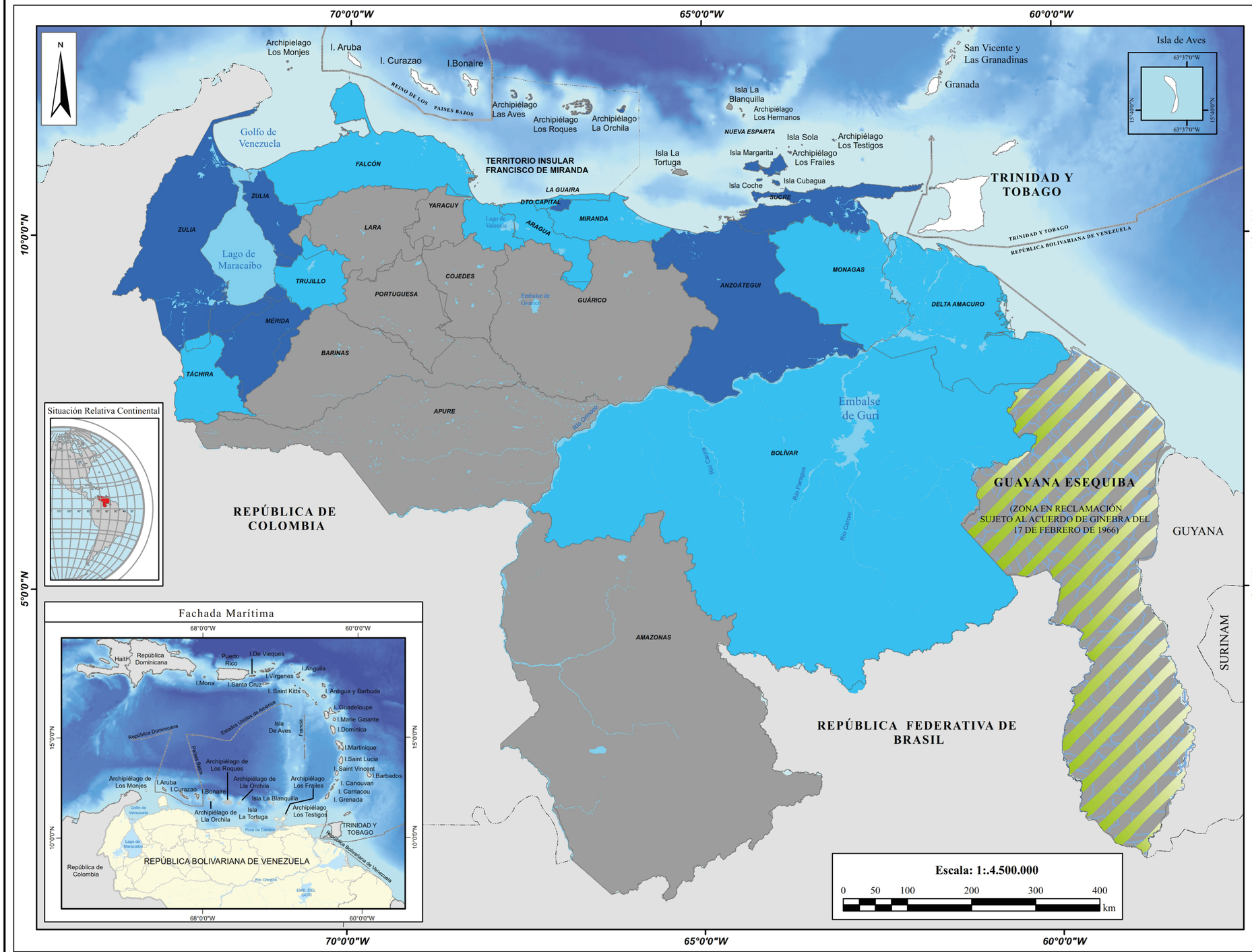


Foto 130: Sitio de concentración de la población escolar del Gran Roque.
Fuente: Dr. Norman Cutt (2017).

Foto 131: Desalojos de escuelas en el marco del ejercicio Caribe Wave 2018, estado Vargas. Fuente: Funvisis (2018).



INVESTIGACIÓN SOCIAL Y DIVULGACIÓN



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Mapa 34: PREPARACIÓN COMUNITARIA E INSTITUCIONAL EN CASO DE TSUNAMIS

Ejercicio Caribe Wave Venezuela

- Entidades con importantes avances en la preparación de las comunidades costeras ante las amenazas de tsunamis
- Entidades que siendo costeras o no, están en vías de consolidación de experiencias comunitarias de preparación ante tsunamis
- Entidades que sin ser costeras tienen potencial para la implementación de actividades de información y preparación ante tsunamis

Estados y Municipios participantes en los ejercicios "Caribe Wave"

2011 Anzoátegui

2013 Anzoátegui y Falcón

2014 Anzoátegui, Falcón, Nueva Esparta

2015 Anzoátegui, Falcón, Nueva Esparta, Vargas, Miranda y Zulia

2016 Anzoátegui, Falcón, Nueva Esparta, Vargas, Miranda, Zulia, Aragua, Carabobo, Sucre, Delta Amacuro, Monagas, Bolívar, Portuguesa y Yaracuy

2017 Anzoátegui, Falcón, Nueva Esparta, Vargas, Miranda, Zulia, Aragua, Carabobo, Sucre, Delta Amacuro, Monagas, Bolívar, Portuguesa, Yaracuy, Mérida y el Territorio Insular Fco. De Miranda

2018 Anzoátegui, Falcón, Nueva Esparta, Vargas, Miranda, Zulia, Aragua, Carabobo, Sucre, Delta Amacuro, Monagas, Bolívar, Portuguesa, Yaracuy, Mérida, Barinas, Trujillo y el Territorio Insular Francisco de Miranda

2019 - 2022 Anzoátegui, Falcón, Nueva Esparta, Vargas, Miranda, Zulia, Aragua, Carabobo, Sucre, Delta Amacuro, Monagas, Bolívar, Portuguesa, Yaracuy, Mérida, Barinas, Trujillo y el Territorio Insular Francisco de Miranda

Sígnos Convencionales	Batimetría (m.b.n.m)
Ríos	0-200 / 4.000-5.000
Lagos y Embalses	200-1.000 / 5.000-6.000
Límites Internacionales	1.000-2.000 / 6.000-7.000
Territorio Insular	2.000-3.000 / 7.000-8.000
	3.000-4.000 / Más de 7.000

Proyección y Coordenadas: 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. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática

Antonio Aguilar M., Gloria Romero y Juan L. Guzmán

Referencias

Ferrer, F. (2007). Hacia la construcción de una nueva cultura de riesgo. Departamento de Documentación e Información Funvisis Serie Técnica de Funvisis N° 1-2007. ISBN 978-980-6069-13-8. Caracas.

Guzmán, J. L. (2009). Un Aula Sísmica para salvar vidas. Documento de trabajo del programa Aula Sísmica de Funvisis para la discusión. (Inédito) Departamento de Documentación e Información. Caracas.

Marín, W., Guzmán, J. Aguilar, A. (2005). El aula sísmica “Madeleilis Guzmán” una contribución a la gestión de riesgo en Venezuela. Memorias del IV Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Funvisis (173-176). Barquisimeto.

Lavell, A. (2014). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacía una Definición. [Documento en línea]. En http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/riesgo-apuntes.pdf

Aguilar, A. (2020). Sistematizando la formación de facilitadores e investigadores del Programa Educativo Aula Sísmica "Madeleilis Guzmán" de Funvisis. Una propuesta formativa innovadora. IV Jornadas Nacionales de Investigación de Educación Avanzada. Núcleo Regional De Educación Avanzada Caracas. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. DOI: 10.13140/RG.2.2.21406.08005.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas (2012). Lapsoedu Laboratorio Socio-Educativo (en línea). Disponible en: https://labsoedu.wordpress.com/2012/02/

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (2002). La Investigación Sismológica en Venezuela. Caracas: Serie técnica de Funvisis N° 1-2002. ISBN 980-6069-11-0. Caracas.

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (2011). Proyecto: Dotación y Divulgación de Información relacionada a la Prevención Sísmica en Venezuela. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/old/proyecto.php?p=14

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (2013). Proyecto: Reforzamiento y Expansión del Programa Educativo Experimental: Aula Sísmica “Madeleilis Guzmán”, de Funvisis. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/old/proyecto.php?p=21

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (2013). Proyecto: Gestión integral de riesgo en las regiones costeras de Venezuela, con énfasis en la amenaza por tsunami. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/old/proyecto.php?p=25

Aguilar, A. Guzmán, J. et a.l (2016). Programa socio educativo Aula Sísmica "Madeleilis Guzmán" Prevención sísmica y en caso de tsunamis. Jornadas de Investigación de la Facultad de ingeniería de la UCV, JIFI 2016, Caracas. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/356568415_Programa_-socio_educativo_Aula_Sismica_Madeleilis_Guzman_Prevencion_sismica_y_en_caso_de_tsunamis

Glosario de términos

Acelerógrafo: instrumento que registra, en un lugar determinado, las aceleraciones debidas a un movimiento fuerte del terreno.

Acelerograma: registro de la variación temporal de las aceleraciones en un punto y en una dirección. Se obtiene de un acelerógrafo.

Alfabetización sismológica: proceso de aprendizaje para la adquisición de los conceptos elementales de la sismología, reconocer la amenaza sísmica, los peligros potenciales del entorno y saber cómo responder adecuadamente antes, durante y después de los eventos sísmicos.

Amenaza sísmica: amenaza natural que se cuantifica mediante la probabilidad de ocurrencia o excedencia de cierta intensidad sísmica o aceleración de la roca base, en un determinado lugar, durante un período de tiempo.

Amplitud de una onda: altura máxima de la cresta o del valle de una onda.

Andragogía: es la disciplina que se ocupa de las teorías y técnicas orientadas a la educación y el aprendizaje del adulto.

Atenuación inelástica de las ondas sísmicas: es el proceso por el cual la energía de las ondas que viajan en las rocas se convierte en calor. Depende de varias características como la composición de la matriz, la saturación de fluidos, la porosidad, la densidad de fracturas y otros.

Aula sísmica: es un programa experimental educativo creado el 16 de febrero de 1998, por iniciativa de la profesora Flor Teresa Ferrer de Singer, desarrollado por el departamento de investigación social y divulgación. Tiene como propósito facilitar la conversión de la información técnica producida por Funvisis y otras instituciones científicas, en insumos educativos para la formación preventiva de comunidades vulnerables ante esta amenaza natural; contribuir a la difusión de medidas de autoprotección y mejores prácticas mediante la capacitación de líderes en comunidades vulnerables.

Autoprotección: acciones que desarrollan las personas, grupos sociales u organizaciones, para equiparse y prepararse para atender situaciones de emergencias y otras situaciones adversas, por sí mismos y para sí mismos, mientras se recibe ayuda de los organismos oficiales o personal especializado.

Brecha sísmica (gap sísmico): zona en la que no ha ocurrido un sismo fuerte durante varios años a pesar de que sí se hayan presentado en el pasado.

Ciudad: es un asentamiento de población humana delimitado espacialmente, con atribuciones y funciones políticas, administrativas, económicas y religiosas, a diferencia de los núcleos rurales que carecen de ellas, total o parcialmente. Esto tiene su reflejo material en la presencia de edificios específicos, su alta concentración de población, y en su configuración urbanística.

Coeficiente de aceleración horizontal del terreno (A0): es la pseudo aceleración del terreno, normalizada a una clase de sitio BC, con profundidad rocosa a 30 metros y un Tr = 475 años (PMR).

Coeficiente de aceleración horizontal del terreno para período t= 1s (A1): es una pseudo aceleración equivalente, ajustada a un período de suelo de 1s (bajo acción sísmica) y en base a las mismas condiciones de Ao.

Coeficiente sísmico: es el cociente de la fuerza cortante horizontal sin reducir, que actúa en la base de la construcción por efecto del sismo (V0), y el peso de la edificación, W0, de la misma sobre dicho nivel.

Comunidad: grupo de seres humanos que tienen ciertos elementos en común, tales como el idioma, las costumbres, valores, tareas, intereses, visión del mundo, edad, ubicación geográfica, estatus social o roles; los cuales comparten y desarrollan y potencian juntos.

Corteza terrestre: capa más delgada y superficial de la Tierra. En los continentes tiene un grosor promedio de 35 kilómetros. Vivimos sobre ella pero normalmente no la vemos porque está cubierta por el suelo y el mar. La mayoría de sus rocas están compuestas por silicio y aluminio, lo que las hace poco densas.

Cuaternario: es el período que cubre aproximadamente los últimos dos millones de años del tiempo geológico. Algunos autores sitúan el límite inferior en 2,4 Ma cuando ocurrió un rápido crecimiento de glaciares en el hemisferio Norte. Otros prefieren poner este límite en 1,8 Ma, coincidiendo con el evento paleomagnético Olduvai. Es común hacer una subdivisión en Pleistoceno Inferior (1,8–0,75 Ma), Pleistoceno Medio (750–125 ka), Pleistoceno Superior (125–10 ka) y Holoceno (10–0 ka).

Cultura: son los conjuntos de saberes, creencias y pautas de conducta de un grupo social, incluidos los medios materiales que usan sus miembros para comunicarse entre sí y resolver necesidades de todo tipo. Es la capacidad universal e innata de todos los seres humanos de crear y representar al mundo donde vive, y evolucionar con él.

Cultura preventiva: se puede definir como la actitud proactiva, de todos los integrantes de las familias, escuelas, empresas y comunidades, para emprender acciones de prevención de daños, previendo la ocurrencia de una emergencia o desastre. Exige conciencia de los riesgos, compromiso con la seguridad, y la promoción de la autoprotección.

Curva de atenuación: es una expresión matemática que relaciona el máximo valor de algún parámetro sísmico en estudio, con la magnitud del terremoto y la distancia a la fuente, entre otras variables.

Deformación cosísmica: deformación episódica que ocurre durante un sismo.

Desastre: alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios, y el medio ambiente, causada por un evento natural, o generada por el hombre, que excede la capacidad de respuesta de la comunidad afectada.

Desempeño sismorresistente: es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico.

Deslizamiento de falla: el desplazamiento relativo de puntos anteriormente adyacentes en lados opuestos de una falla medida a lo largo de la superficie de la falla.

Edificaciones sismorresistentes: son aquellas que han sido diseñadas y construidas para resistir sismos con daños reparables, sin grandes daños estructurales y salvaguarda de las vidas humanas para un sismo de diseño, debido a su configuración estructural, materiales de construcción y diseño, o por haber sido objeto de adecuación o reforzamiento.

Educación formal: todo proceso de enseñanza y aprendizaje impartido por los establecimientos educativos oficiales de una sociedad, que tiene carácter intencional, planificado y regulado. Se encuentran jerárquicamente estructurados y graduados cronológicamente, en estos se incluyen escuelas, colegios, institutos y universidades, entre otros centros de enseñanza. Al culminar el proceso se emite un título o diploma.

Educación no formal: se caracteriza por ser un proceso educativo que se rige por un plan estructurado a seguir para la adquisición de conocimientos y habilidades fuera del ámbito educativo formal (fuera de las aulas, sin pertenecer a cursos, actividades extra académicas), el cual puede o no, complementar el proceso de educación formal.

Educación informal: modalidad educativa intencionada, desescolarizada, no institucionalizada para la construcción de conocimientos y habilidades, la cual tiene como resultado el aprendizaje informal que es de carácter personal e idiosincrásico, que depende del contexto, los antecedentes y las motivaciones e intereses del individuo.

Efectos de sitio o efectos locales: efecto de la propagación de ondas sísmicas en el ambiente superficial de la corteza terrestre. La atenuación de ondas sísmicas reduce la intensidad de vibración mientras el efecto de la respuesta local es amplificar la intensidad de las sacudidas, frecuentemente con resultados catastróficos. Los efectos pueden incluir: movimiento fuerte, licuación, desplazamiento lateral, deslizamientos e instabilidad en laderas.

Emergencia: situaciones de ocurrencia súbita y repentina, imprevistas o no, que requieren una especial atención y demandan soluciones rápidas e inmediatas, sin superar la capacidad de respuesta de las instituciones responsables de atenderlas.

Enjambre sísmico: es una serie de muchos sismos de pequeña magnitud que no están asociados a uno de mayor magnitud, ocurren en un período de tiempo relativamente corto y en un área específica.

Epicentro: el punto de la superficie de la Tierra que se conecta en línea recta con el foco o hipocentro de un sismo.

Escala de intensidad modificada de Mercalli: escala con valores de I a XII, empleada para describir la intensidad de un terremoto, sobre la base de los daños que causa.

Escala de Richter: escala de extremo abierto que mide la cantidad de energía liberada durante un terremoto.

Espectros de las microzonas: espectros elásticos derivados de un Estudio de Microzonificación Sísmica que incluyen los efectos de sitio y que son especificados para cada Microzona en función de la Profundidad al basamento H (espesor de sedimentos), condiciones de suelo somero (Vs30) y pendientes topográficas.

Espesor de sedimentos: la determinación del espesor sedimentario es uno de los parámetros usados en la microzonificación sísmica. Se basa en integración de datos disponibles (por ejemplo de pozos de agua) con resultados de mediciones geofísicas (perfiles sísmicos, mediciones de ruido ambiental o modelado 3D gravimétrico).

Etnografía: es un método de investigación cualitativa de las ciencias sociales para describir e interpretar de manera sistemática la cultura de los diversos grupos humanos o comunidades.

Falla tectónica activa: es una fractura en el terreno a lo largo de la cual se han deslizado dos bloques, el uno respecto al otro. Las fallas se producen por esfuerzos tectónicos de los materiales rígidos y con comportamiento relativamente frágil de la corteza terrestre. Su traza en superficie se diagnostica mediante evidencias geomorfológicas o geológicas en la superficie o en el subsuelo somero. Generalmente se consideran activas aquellas fallas en las cuales se han constatado desplazamientos en los últimos 40 mil años.

Falla de rumbo: falla que consiste en movimiento horizontal, de modo que los bloques en lados opuestos del plano de falla se deslizan uno al lado del otro.

Falla geológica: fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella. El desplazamiento total puede variar desde centímetros a kilómetros.

Falla inversa: falla de desplazamiento en la que el bloque de techo se mueve hacia arriba en relación con el bloque de piso.

Falla normal: falla de desplazamiento de echado en la cual el bloque de techo ha descendido en relación con el bloque de piso.

Falla sismogénica: falla en donde, en forma recurrente, se generan sismos (ver falla activa).

Falla transformante: son llamadas así porque el movimiento horizontal se transforma en los extremos, bien en movimiento de subducción o de extensión. Pares de placas resbalan una con relación a otras a lo largo de fallas transformantes.

Fenómeno urbano: es la explosión demográfica experimentada en los entornos urbanos a lo largo del siglo XX y que contrasta de manera alarmante los 233 millones de personas que habitan en las ciudades del mundo en 1990, y su proyección para el año 2000 que las ubica en 3 mil millones.

Foco O Hipocentro: es el punto interior de la Tierra donde tiene lugar el comienzo de la ruptura sísmica.

Geología: ciencia que trata de la forma exterior e interior del globo terrestre, de la naturaleza de las materias que lo componen y de su formación, de los cambios o alteraciones que estas han experimentado desde su origen, y de la colocación que tienen en su actual estado.

Geología de terremotos: esencialmente es lo mismo que tectónica activa, pero pone más énfasis en el estudio de la ocurrencia de terremotos desde una perspectiva geológica. Entre las disciplinas que constituyen el fundamento de la geología sísmica son: Tectónica de placas, Geología estructural, Geomorfología, Geodesia, Geocronología, Geología del Cuaternario, Paleosismología y Arqueosismología.

Geofísica: es la ciencia que estudia la Tierra utilizando las mediciones de las diferentes propiedades físicas (velocidades de propagación de las ondas sísmicas, densidades, y propiedades eléctricas, entre otras). Su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra.

Geomorfología: estudio de la estructura de la forma de la corteza de la Tierra. Se basa en el análisis de las características de la corteza del planeta Tierra.

Geomorfología tectónica o morfoneotectónica: estudio de las formas de relieve que son el resultado de procesos tectónicos activos.

Gravimetría: consiste en la medición de las variaciones del campo de la gravedad a diferentes escalas. Se realizan un conjunto de mediciones individuales de la atracción que varía según las diferencias de densidades en el subsuelo. Se emplea a lo largo de perfiles 2D o espacialmente en modelos 3D.

Hertz: unidad de frecuencia equivalente a un ciclo por segundo o 2 Pi radianes por segundo.

Hipótesis: una proposición que se hace en forma tentativa y que es sometida posteriormente a comprobación por la obtención de indicios o experimentos.

HLV: Hora Local de Venezuela.

Intensidad sísmica: es una medida en un determinado sitio de los efectos locales producidos por los terremotos en las construcciones y en las personas. Se especifica mediante varias escalas de intensidad, una de

ellas es la denominada “Mercalli Modificada"; se suele expresar en números romanos.

Investigación social: es un proceso de generación de conocimiento sobre el comportamiento humano individual y en sociedad, en el presente, pasado y futuro. Su foco es diverso y se puede centrar en la descripción delo que sucede, en la causas de lo que sucede, o en su origen. Asimismo, se vale de métodos cualitativos y cuantitativos para describir o explicar la realidad estudiada.

Isosista: líneas de contorno que delimitan áreas en las cuales se admite igual intensidad sísmica.

Lava: roca fundida o Magma que ha alcanzado la superficie.

Licuación de suelos: proceso mediante el cual, durante un terremoto, algunos suelos y particularmente algunas arenas dejan de comportarse como sólidos y lo hacen como un líquido, perdiendo su capacidad de soporte.

Litosfera: capa de rocas, relativamente rígida, formada por la corteza y el manto superior. Tiene un espesor aproximado de 100 kilómetros.

Magnitud local (ML): es el logaritmo en base 10 de la amplitud máxima de la onda sísmica (P, S o cualquier onda superficial) registrada en un sismógrafo patrón a una distancia de 100 km. del epicentro.

Magnitud por momento sísmico (Mw): mide el tamaño del sismo en términos de la cantidad de energía liberada. Específicamente, la magnitud de momento se refiere a la cantidad de movimiento por roca (es decir, la distancia del movimiento a lo largo de una falla o fractura) y el área de la falla o superficie de la fractura.

Magnitud por ondas corpóreas (mb): para determinarla se mide la amplitud máxima de las ondas corpóreas (P y S).

Magnitud por ondas superficiales (Ms): para la determinación de la magnitud se toma la amplitud máxima de las ondas Rayleigh de 20 segundos de período.

Magnitud: medida de la fuerza de un terremoto o la energía cinética que genera.

Mapas de zonificación sísmica: definen las áreas de acuerdo a la periodicidad con la que ocurren los sismos, ya que estos eventos no se registran de manera homogénea en el planeta. Comprenden: las regiones sísmicas con actividad constante, la región penisísmica donde los sismos son menos frecuentes y la región asísmica, donde dichos movimientos suceden de manera atípica o simplemente no ocurren.

Magnetometría: los análisis de prospección magnética se basan en medir el campo magnético terrestre que es generado por el núcleo de la tierra, y que es modificado a su vez por la presencia de temperaturas y materiales con características magnéticas diferentes en el subsuelo.

Magnetotelúrica: el método magnetotelúrico (MT) consiste en medir desde la superficie las fluctuaciones temporales de los campos electromagnéticos naturales de la Tierra (tormentas eléctricas, corrientes ionosféricas) y determinar la distribución de la resistividad eléctrica de los materiales en el subsuelo en función de la frecuencia (periodo), lo que permite determinar su distribución a decenas de km de profundidad.

Maremoto: conocido también con el término japonés “Tsunami” que significa olas en el puerto, son grandes olas marinas generadas por desplazamientos súbitos del agua causados por los terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, algunos de los cuales podrían ser más devastadores que el terremoto o la erupción volcánica misma. Los tsunamis pueden viajar a más de 800 km/h en el punto más profundo del agua y disminuyen

la velocidad a medida que se acercan a la costa, pero siguen siendo peligrosos, pues allí pueden llegar con una velocidad de entre 32 a 48 km/h.

Métodos cualitativos: término que cubre una serie de métodos y técnicas que utilizan descripciones interpretativas (palabras) más que estadísticas (números) para analizar los significados subyacentes y patrones de relaciones sociales. Implican exploración y descubrimiento, contexto y profundidad, e interpretación.

Microsismo: ondas sísmicas débiles y prácticamente continuas o ruido de la Tierra que solo puede ser detectado por sismógrafos.

Movimientos en masa: es un término amplio para designar distintos tipos de movimientos gravitacionales de ladera constituidos por rocas, suelos, rellenos artificiales o combinaciones de estos materiales donde la falla ocurre a lo largo de una superficie de fricción específica o combinaciones de superficies.

Neotectónica: es la rama de la geología que se encarga de estudiar la deformación de la corteza terrestre en tiempos geológicos recientes, desde el Terciario Tardío hasta el presente, es decir, los últimos 2 millones de años.

Ondas Love: ondas sísmicas superficiales con movimiento solo horizontal de cizalla normal a la dirección de propagación. Se denominan así en honor al matemático Augustus Hough Love.

Ondas P: la primera onda, o la más rápida, viajando desde el lugar del evento sísmico a través de las rocas y que consiste en un tren de compresiones y dilataciones del material. Pueden viajar a través de los sólidos, líquidos y gases.

Ondas Rayleigh: ondas sísmicas superficiales de amplitud decreciente con la profundidad; el movimiento de las partículas es elíptico retrogrado y ocurre en un plano vertical que contiene la dirección de propagación. La existencia de estas ondas fue predicha por John Strutt, Lord Rayleigh.

Ondas S: ondas sísmicas secundarias, viajan más lento que las ondas P, consisten en vibraciones elásticas transversales a la dirección de recorrido. No pueden propagarse en líquidos.

Ondas sísmicas: es una onda elástica, normalmente generada por un terremoto o explosión, un sismograma registra dos tipos de ondas de cuerpo, ondas P (primarias) y ondas S (secundarias), además de las ondas superficiales Love y Rayleigh. Estas últimas, son generadas por la interacción constructiva de las ondas de cuerpo con la estructura interna de la Tierra.

Ondas superficiales: ondas que se propagan en la interfase existente entre dos medios, a diferencia de la onda que se propaga a través de un medio. Una onda de superficie puede viajar por la interfase existente entre la Tierra y el aire o entre la Tierra y el agua. Las ondas de Love y las ondas Rayleigh son ondas de superficie.

Paleosismo: sismo ocurrido en tiempos históricos o prehistóricos que puede o no tener un registro geológico o geofísico asociado.

Paleosismología: es la ciencia y arte de la reconstrucción, ocurrencia y localización de los eventos sísmicos del pasado y que hoy en día están registrados o son detectables en las estructuras del terreno (fallas, fracturas o pliegues).

Pedagogía: es una ciencia social e interdisciplinaria enfocada en la investigación y reflexión de las teorías educativas en todas las etapas de la vida.

Período de una onda: intervalo de tiempo entre dos crestas sucesivas en un tren de ondas sinusoidales. El período es el inverso de las frecuencias en un evento cíclico.

Período de retorno: definido como el intervalo de tiempo entre terremotos de una magnitud dada.

Período de transición espectral (TL): período entre períodos intermedios y largos en base a las mismas condiciones de A0.

Placa Tectónica: porción individual de litosfera que se mueve sobre la astenósfera.

Plano de falla: plano de mayor coincidencia con la ruptura en superficie de una falla.

Premonitores: terremotos pequeños que preceden al mayor de una serie, concentrada en un volumen de corteza restringido.

Prevención sísmica: es la promoción y adopción de acciones en la cotidianidad, por parte de sectores de la sociedad, para evitar o reducir los efectos de la actividad sísmica en sus dinámicas de vida.

Profundidad focal: profundidad del foco por debajo de la superficie de la Tierra.

Región asísmica: aquella en que prácticamente no ocurren terremotos.

Resiliencia: capacidad de un individuo, un sistema o una comunidad de atravesar episodios o eventos traumáticos, violentos o difíciles sin que ello signifique una transformación permanente (y sobre todo nociva) en su estructura o su manera de ser.

Riesgo geológico: el conjunto de amenazas o peligros para los recursos y las actividades humanas, derivados de procesos geológicos de origen interno (endógenos), externos (exógenos) o de una combinación de ambos.

Riesgo sísmico: es una medida relacionada con la probabilidad de ocurrencia de sismos de cierta intensidad (amenaza) y la combinación del peligro sísmico (vulnerabilidad), depende de la región donde está ubicada una determinada construcción o infraestructura.

Sismicidad: es la medida de la actividad sísmica que abarca las ocurrencias, los mecanismos y la magnitud de los terremotos en una ubicación geográfica determinada.

Sismicidad instrumental: es una medida del movimiento del suelo (a través de la velocidad o aceleración) en un lugar determinado.

Sismo local o cercano: es todo evento sísmico situado dentro de un radio menor de 10 grados de distancia desde el punto de observación.

Sismo secundario: terremoto que sigue a la sacudida principal resultante de ajustes a lo largo de una falla. Los sismos secundarios son comunes después de un gran terremoto, pero en su mayoría son más leves que la sacudida principal.

Sismo: Es sinónimo de seísmo, temblor, terremoto y movimiento telúrico. Movimiento brusco de la corteza terrestre, capaz de cambiar por completo el paisaje de una región.

Sismógrafo: son una serie de instrumentos conectados entre sí para medir el movimiento de la Tierra, y

siste de un sensor llamado sismómetro que está conectado a un sistema de registro y sistemas de comunicación.

Sismograma: representación gráfica de un sismo.

Sismología: rama de la geofísica que estudia los terremotos, fuentes sísmicas y propagación de ondas a través de la Tierra.

Sismómetro: parte sensora de un sismógrafo, cuyas corrientes físicas son conocidas y por tanto su curva de calibración, permitiendo obtener un movimiento exacto de la Tierra.

Sismoscopio: es un equipo o dispositivo que indica la ocurrencia de un sismo, pero no describe un registro en tiempo del mismo, solo señala la dirección del impulso principal.

Subducción: es el proceso mediante el cual el material de una placa oceánica reingresa al interior de la Tierra.

Tectónica: rama de las Ciencias de la Tierra que se dedica al estudio de la dinámica de la corteza terrestre, e incluye dentro de su área de interés la formación de montañas y grandes depresiones en la corteza, el levantamiento, hundimiento, desplazamiento horizontal y deformación de la corteza, y el origen y cuantificación de estos fenómenos.

Tectónica de placas: teoría del movimiento e interacción de placas. Un intento de explicar terremotos, volcanes y formación de montañas como consecuencia de movimientos superficiales horizontales.

Telesismo: es todo evento sísmico distante más de 10 grados de latitud o longitud del punto de observación (sismo lejano).

Teoría del rebote elástico: es la teoría de la generación de los terremotos que propone que las fallas permanecen fijas mientras se acumulan los esfuerzos lentamente en las rocas vecinas y luego se desplazan súbitamente, desprendiendo la energía acumulada.

Terremoto: ver sismo.

Traza de una falla: es la intersección del plano de falla con la superficie del terreno u otra superficie horizontal o de referencia.

Tsunami: destructora ola de mar (maremoto) generalmente producida por un terremoto, pero que también puede tener su causa en deslizamientos de tierra o erupciones bajo el mar.

Volcán: montaña cónica formada alrededor de un conducto, como resultado de la erupción de lava y materiales piroplásticos.

Volcán o hervidero de arena: pequeño montículo de arena producido cuando capas arenosas debajo de la superficie se licuan como resultado de una sacudida sísmica, causando que la arena haga erupción hacia la superficie de la Tierra a través de fisuras o túneles de animales en las capas superiores arcillosas.

Vulnerabilidad sísmica: es una medida que permite clasificar a las estructuras de acuerdo con sus características y calidad estructural, dentro de un rango de nada vulnerable a muy vulnerable, ante la acción de un sismo.

Vulnerabilidad social sísmica: se refiere a las particularidades y rasgos internos que hacen que un grupo social o comunidad, sea susceptible a sufrir daños producto de un sismo fuerte de probable ocurrencia.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Zona de Benioff: zona estrecha definida por los focos de terremotos, de un espesor de unas decenas de Km que desciende desde la superficie bajo la corteza terrestre.

Zona de subducción: zona larga y angosta en un límite de placas convergentes, donde una placa oceánica desciende insertándose debajo de otra placa; por ejemplo, la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana.