

CONTENIDOS

Prólogo (Roberto Betancourt)
Presentación
Agradecimiento
Contenidos

1) SISMOLOGÍA..... 11

1.1. Introducción..... 12

1.2. Venezuela Azul..... 14

1.3. Sismicidad Histórica de Venezuela 1530-2018..... 17

1.4. Terremoto del 29 de Octubre de 1900..... 26

1.5. Modelado Numérico, Ejercicio Caribe Wave, Caso Terremoto de 1900..... 30

1.6. Evolución de las Estaciones Sismológicas en Venezuela..... 31

1.7. Sismicidad Instrumental en el Territorio Nacional y sus Adyacencias..... 36

1.8. Referencias Bibliográficas..... 40

2) GEOLOGÍA DE TERREMOTOS..... 43

2.1. Introducción..... 44

2.2. Mapa Neotectónico de Venezuela Compilado por Carlos Beltrán en 1994..... 46

2.3. Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela, versión 2000..... 46

2.4. Mapa Sinóptico de las Unidades Geocronológicas del Cuaternario Venezolano..... 54

2.5. Registros Históricos de Licuación de Suelos en Venezuela..... 58

2.6. Estudios Paleosísmicos en Venezuela..... 67

2.7. Inventario Cartográfico Nacional de Riesgos Geológicos..... 74

2.8. Referencias Bibliográficas..... 80

3) GEOFÍSICA..... 81

3.1. Introducción..... 82

3.2. Estudios de Microzonificación Sísmica en Venezuela..... 84

3.3. Estudios de Microzonificación Sísmica en Caracas..... 90

3.3.1. Mapa de Unidades Geológicas Cuaternarias del Valle de Caracas..... 96

3.3.2. Peligro de Deslizamientos en Caracas..... 102

3.3.3. Espesores de Sedimentos en Caracas..... 108

3.4. Investigaciones Geodinámicas..... 112

3.5. Mapa del Espesor de la Corteza en Venezuela..... 113

3.6. Referencias Bibliográficas..... 118

4) INGENIERÍA SÍSMICA..... 121

4.1. Introducción..... 122

4.2. Mapa de Zonificación Sísmica MOP de 1947..... 124

4.3. Mapa de Zonificación Sísmica MOP de 1955..... 128

4.4. Mapa de Zonificación Sísmica MOP de 1967..... 132

4.5. Mapa de Zonificación Sísmica de la Norma COVENIN 1756-82..... 138

4.6. Mapa de Zonificación Sísmica de la Norma COVENIN 1756-2001..... 144

4.7. Mapas de la Norma Sísmica COVENIN 1756-1: 2019..... 150

4.8. Mapa de la Red Acelerográfica de Venezuela (REDAC)..... 160

4.9. Referencias Bibliográficas..... 164

5) INVESTIGACIÓN SOCIAL Y DIVULGACIÓN..... 165

5.1. Introducción..... 166

5.2. Investigación Social en FUNVISIS..... 168

5.3. Alcance y Expansión del Programa Educativo Aula Sísmica “Madeleilis Guzmán” de FUNVISIS..... 169

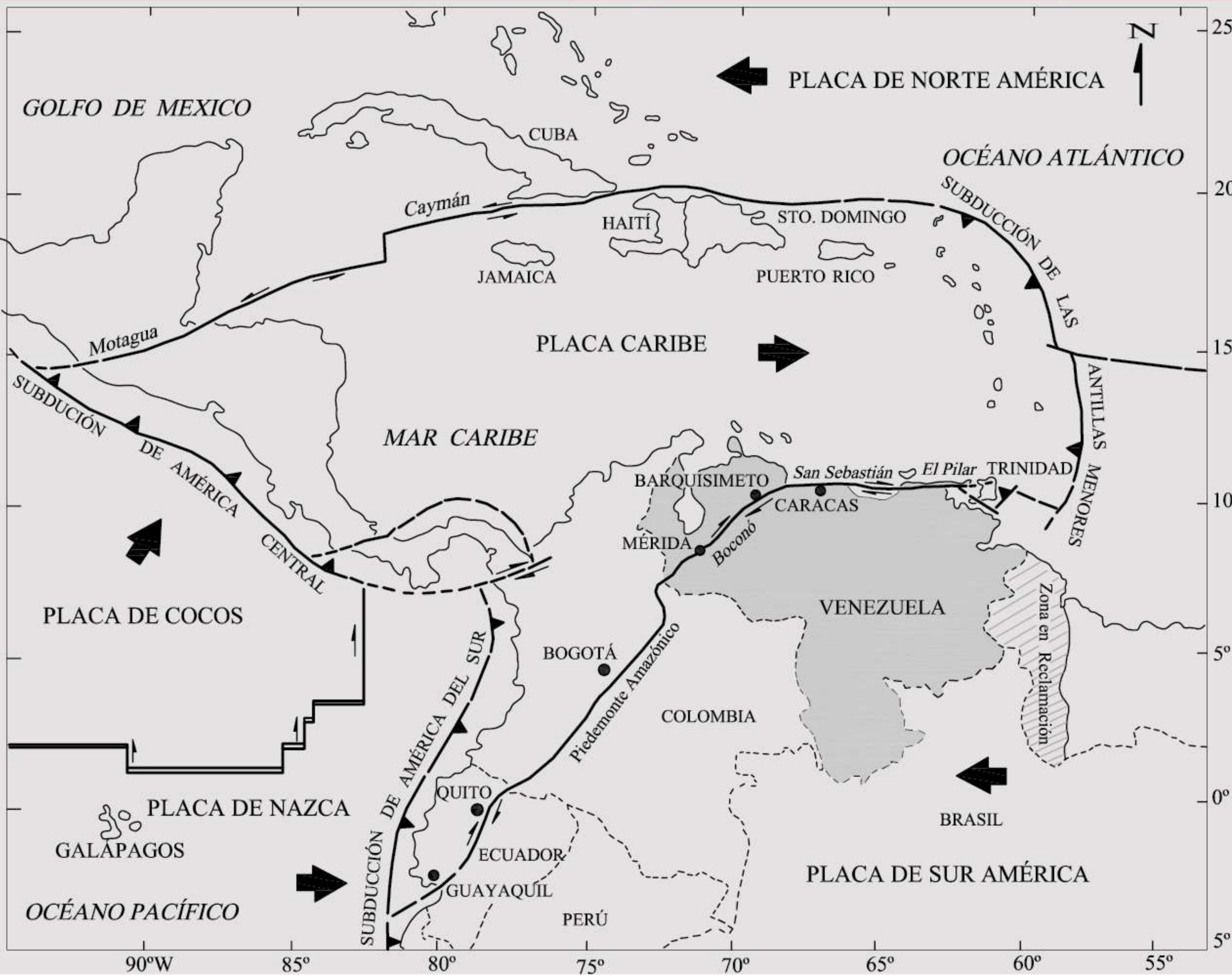
5.4. Preparación de las Comunidades Costeras Venezolanas Frente a los Tsunamis, en el Marco de los Ejercicios Caribe Wave..... 174

5.5. Referencias Bibliográficas..... 180

6. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS..... 181



SISMOLOGÍA





1.1 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 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 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 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 tiempo real emitiendo reportes y bo

letines 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 tsunami.

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 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 e 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.

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

1.2 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 mega-diversos 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 ello que, al poseer La República Bolivariana de Venezuela (RBV) 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 en la que se ha denominado Venezuela Azul.

La publicación de los mapas político y físico de la República Bolivariana de Venezuela, de formato vertical (IG-NSB-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 geoestratégica de integración múltiple condujo a resultados que no sólo le han permitido a la República Bolivariana de Venezuela (RBV) 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 N, H. 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 RBV en 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 es de muy larga data.

Los antepasados Kariñas o Caribes y de otras etnias que habitaron las costas venezolanas, dejaron restos de alfarería fabricada con material que sólo 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.

Los palafitos observados por Alonso de Ojeda y sus acompañantes al llegar a la entrada del Lago de Maracaibo desde el Golfo de Coquivacoa, hoy 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.

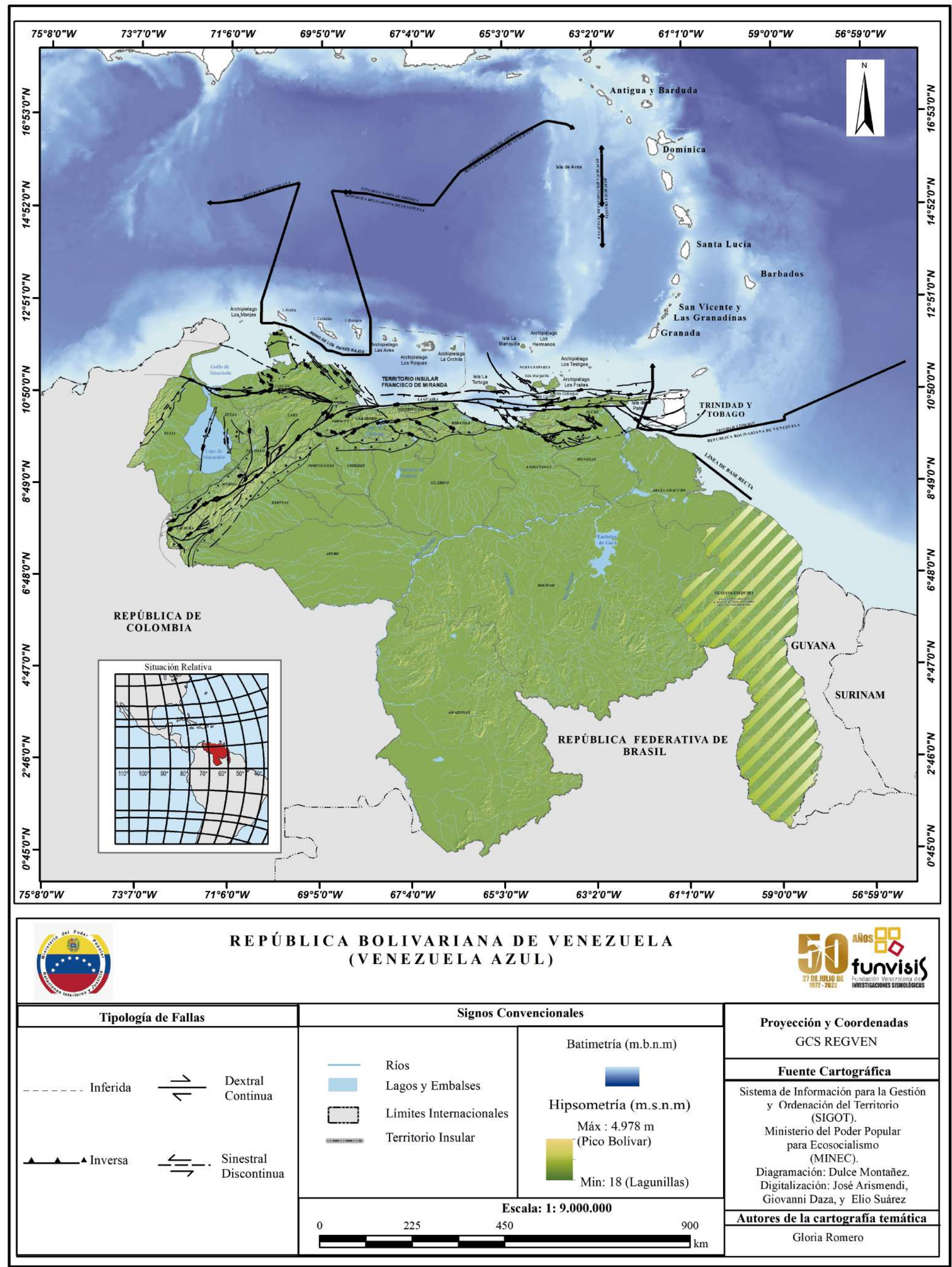
Es decir, desde la conquista hasta el inicio de los vuelos aéreos, a principios del siglo XX.

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 año 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.

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





1.3 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 los años 1530-2018, un lapso que cubre tanto terremotos históricos como instrumentales.

Los terremotos históricos son aquellos sismos ocurridos antes del año 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 y 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 hrs., 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 día 3 de febrero de 1610, a las 15:00 hrs, un sismo de magnitud 7 Mw, 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 mediados del siglo, el 11 de junio de 1641, a las 8:15 hrs., 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 hrs., 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 Mw, 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 día 21 de octubre de 1766, 4:30 hrs. 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 periodo 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 terremotos

ocurridos el 26 de marzo de 1812, alrededor de las 16:00 hrs., 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 $7,4 \pm 0,35$ Mw, con epicentro en $10,2$ N $-68,95$ O; el sismo que afecta Caracas-La Guaira $7,1 \pm 0,33$ Mw, con epicentro en $10,60$ N $-67,10$ O; y finalmente, el evento local que ocurre en la ciudad de Mérida 6 Mw, 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 hrs., tuvo una magnitud estimada en $6,35 \pm 0,63$ Mw 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 40.50 fallecidos y muchos heridos.

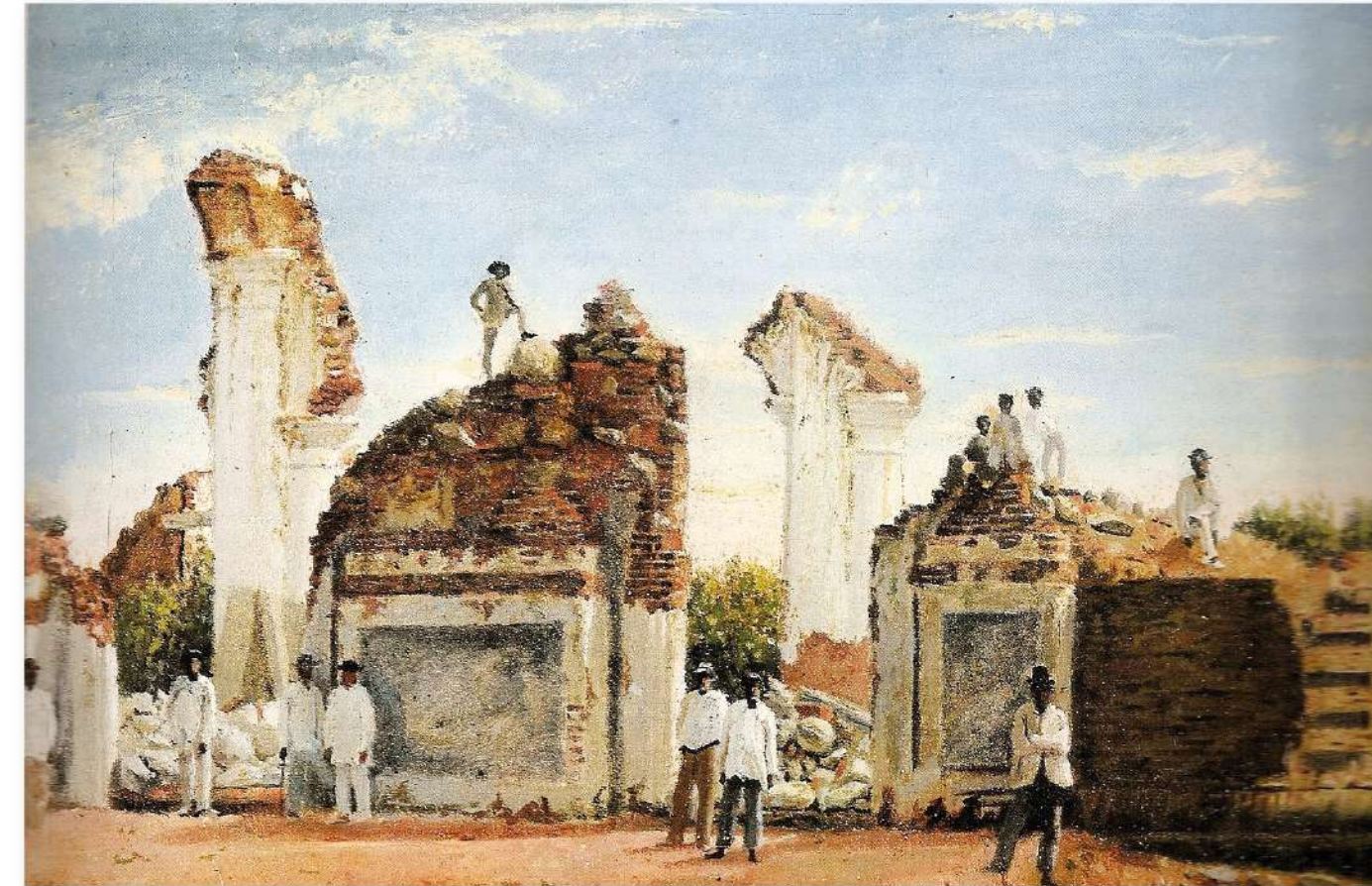
El terremoto tsunamigénico que sacudió Cumaná a las 14:25 hrs., del 15 de julio de 1853, tuvo una magnitud estimada en $7,2-7,4$ Ms (Audemard, 1999) y su epicentro se ubicó en las coordenadas $10,5$ N $-64,58$ O (Rodríguez et al., 2006). Las consecuencias del sismo de 1853 resultaron dramáticas para la ciudad de Cumaná que atravesaba un periodo 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 hrs., magnitud $6,75 \pm 0,15$ Mw 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.

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



El terremoto del 12 de abril de 1878; 20:41 hrs., con una magnitud estimada en $5,7 \pm 0,4$ Mw y probable epicentro en las coordenadas $10,12$ N $-66,81$ O (Vargas et al., 2017), sacudió un total de 16 poblaciones ubicadas a lo largo de la región centro-norte de Venezuela, siendo la región de Los Valles del Tuy las más afectadas 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.



Ruinas de la Iglesia de Cúa, Valles del Tuy después del Terremoto de 1878, Obra de Cristóbal Rojas del año 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 hrs., tuvo una magnitud estimada en $7,56 \pm 0,33$ Mw 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.

Iglesia de Belén ciudad de Mérida 28 de abril de 1894.



El sismo tsunamigénico del 29 de octubre de 1900; 4:41 hrs., evento que 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 Mw 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.



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 hrs., 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 periodo de prosperidad y esplendor urbano que terminó abruptamente a causa del evento sísmico del 17 de enero.



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 hrs., con una magnitud estimada en $6,5 \pm 0,31$ Mw y un epicentro localizado en 8,3 N -72,0 O (Palme et al., 2005). Dicho terremoto 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 hrs; su magnitud ha sido estimada en $6,93 \pm 0,32$ Mw, en tanto que el epicentro corresponde a las coordenadas 9,41 N -69,92 O (Vásquez et al., 2020). El evento 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 sólo 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.

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



El sismo del 29 de julio de 1967, 20:05 hrs; sacudió la ciudad de Caracas en plena celebración de su cuatricenenario. El evento tuvo una magnitud 6,6 y epicentro localizado en 10,77 N -67,1 O (Suárez y Nábelek, 1990). El sismo 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, 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 el año 1972, a fin de monitorear y estudiar la amenaza sísmica en Venezuela.



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

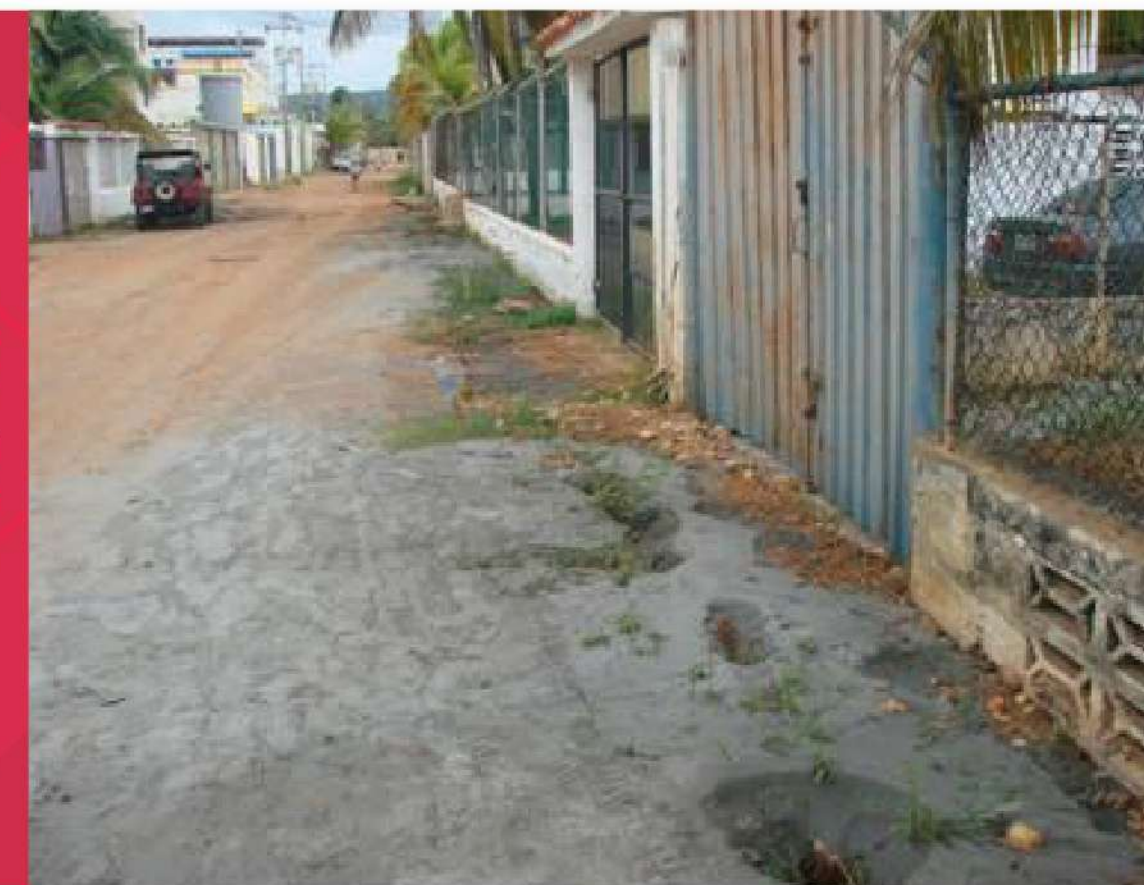
El último sismo destructor del siglo XX en Venezuela, fue el evento que afectó a la población de Cariaco y otras localidades del oriente venezolano, el 9 de julio de 1997; 15:23 hrs, con una magnitud 6,9 Mw, y epicentro en 10,54 N -63,51 O (Audemard, 1999). El terremoto causó el derrumbe total o parcial de algunas edificaciones incluyendo al 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 aproximadamente. El saldo del terremoto fue de 73 víctimas fatales, 531 heridos y cerca de 7000 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 sísmica.

Colapso parcial del edificio
del Banco Orinoco, Cariaco.



El 12 de septiembre de 2009, a las 15:36 hrs, ocurrió un terremoto al Este de Tucacas de magnitud 6,4 Mw 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 si alrededor de 14 personas con heridas leves.

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

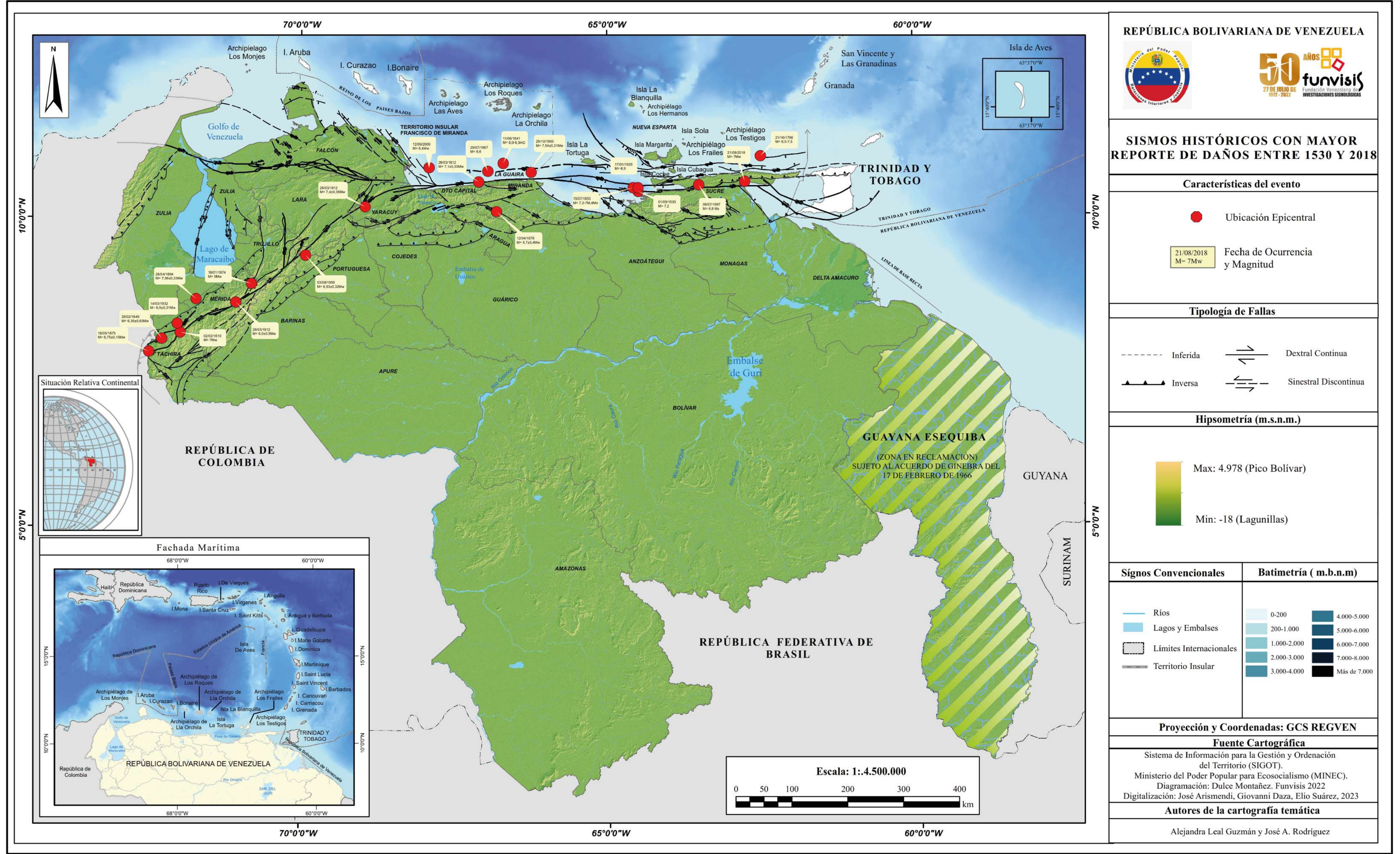


Uno de los sismos más importantes de los últimos cien años, en Venezuela, ocurrió el 21 de agosto de 2018, a las 17:31 hrs., con una magnitud 7 Mw y epicentro en 10,593 N -62,764 O (FUNVISIS, 2018). El sismo fue sentido en Venezuela, Antillas Menores, Trinidad y Tobago, Colombia, Brasil, Guyana y Surinam. 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 insertos, 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 y el amplísimo material hemerográfico existente en prensa de la época, como la Opinión Nacional, por nombrar alguno.

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 pre-instrumentales, requiere una paciente labor de estudiar e incorporar información con la que determinar: parámetros sísmicos, tener idea de la respuesta del suelo a la sollicitación sísmica y el efecto sobre la naturaleza y sobre la población.



1.4 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 a.m. (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.

Casa que ocupaba el Templo protestante, Caracas.



Demolición de la casa de la esquina de Los Traposos, hacia el S. O. Caracas.



Casa La Ceiba de los señores Morales Hermanos, Macuto.



Calle Jiménez, Guarenas.



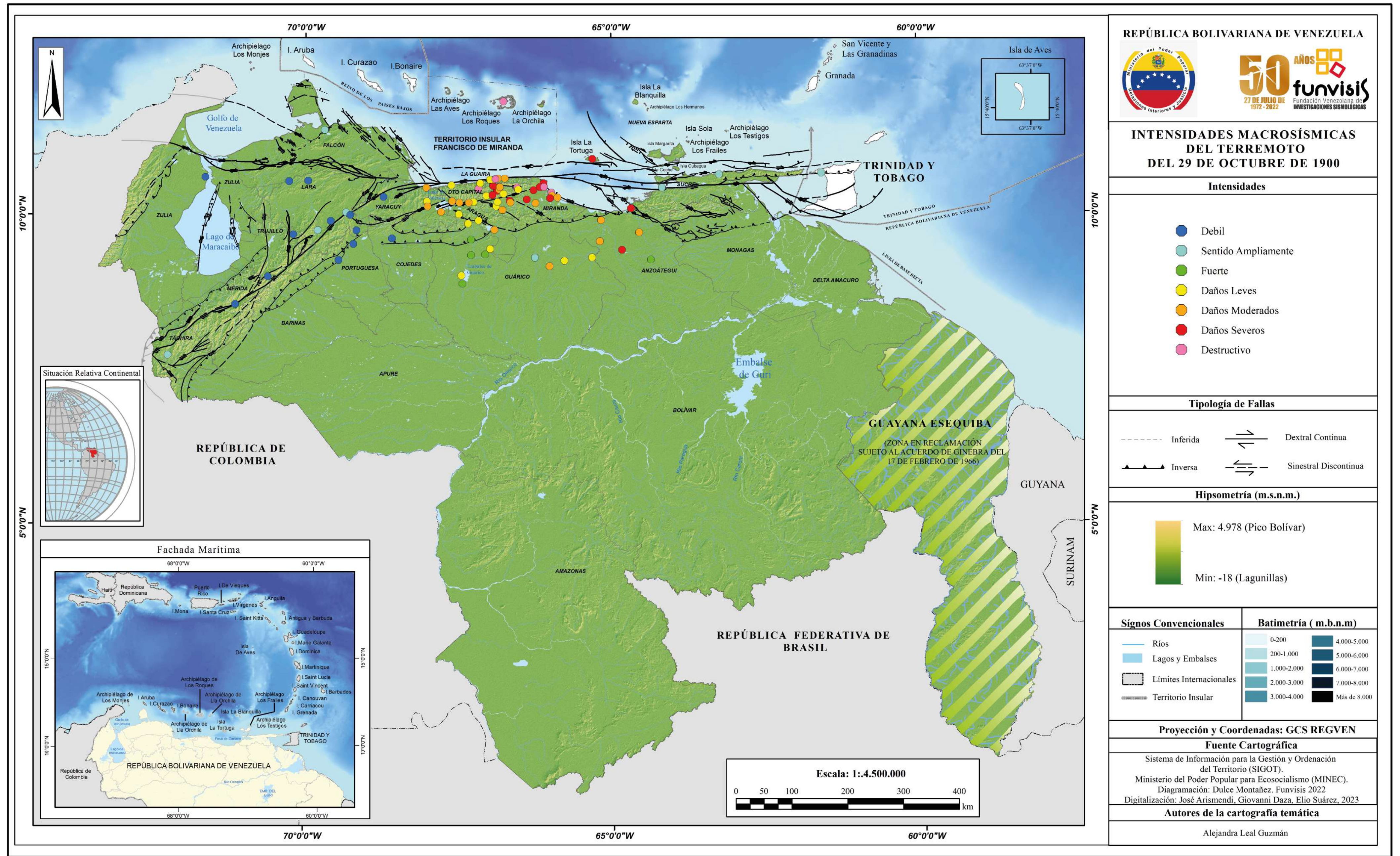
Iglesia Matriz, Guatire.



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 las siguientes localidades: 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 Mw. 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.



1.5 MODELADO NUMÉRICO, EJERCICIO CARIBE WAVE, CASO TERREMOTO DE 1900

Gloria Romero

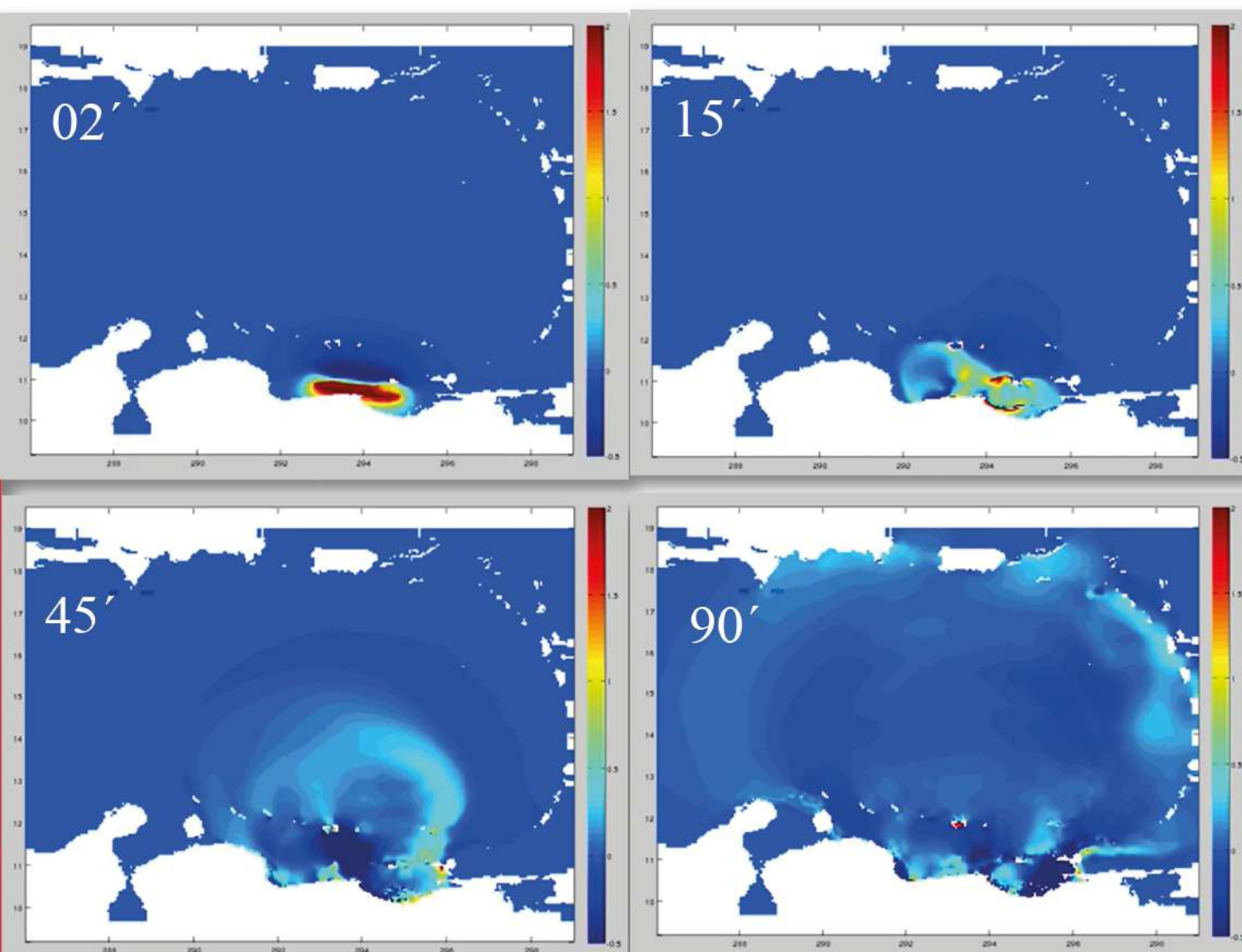
En la Octava Sesión del Grupo de Coordinación Intergubernamental de Alerta del Tsunami y Otras Amenazas Costeras para el Caribe y Regiones Adyacentes (ICG/CARIBE EWS VIII) se decidió realizar un ejercicio regional de tsunami cada año en el mes de marzo. Para el CARIBE WAVE 2016 se propuso el escenario 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.

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

Modelo numérico
elaborado por Funvisis.



1.6 EVOLUCIÓN DE LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS EN VENEZUELA

Cristóbal Grimán y Juan Munares

Desde el año 1955, en las instalaciones del Instituto Sismológico 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 del 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 Sismológico a Funvisis, se firmó en el año 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).

Vista Lateral de los equipo
de transmisión.
Fuente: Miguel Castro (2019).



Vista lateral de la antena de
transmisión.
Fuente: Miguel Castro (2019).



Asimismo, se instalaron estaciones repetidoras en: Cerro Antonio (Estado Falcón), Altos de Irapa y 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 de Norteamérica.

El terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997, encontró a 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 año 2000 hasta el 2014, se construyeron 34 estaciones satelitales de banda ancha que formaron parte de la Red Sismológica Nacional.

El Servicio Sismológico Nacional (SSN) representa hoy en día una herramienta de seguridad ciudadana, considerando que más de un 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 y los 365 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.

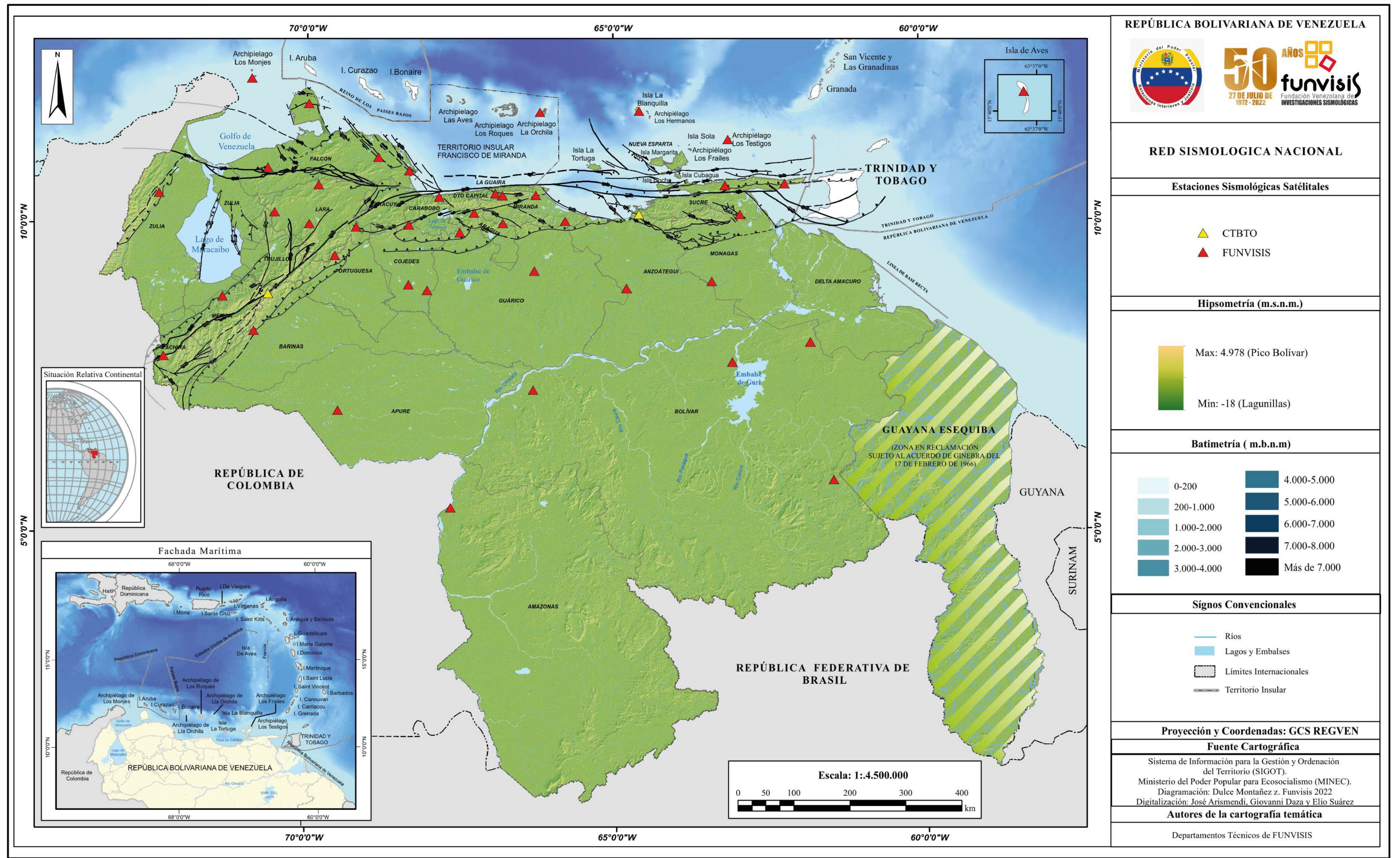
Sin embargo, en los últimos años muchas estaciones han sido objeto de hurtos de los equipos instalados en el arreglo satelital, aunado a las restricciones impuestas a la adquisición de instrumentos y compra de repuestos lo cual han influido en la disminución del número de estaciones sismológicas y su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

Sismómetro de medición. Fuente: Miguel Castro (2019).



Antena de transmisión. Fuente: Miguel Castro (2019).





1.7 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 ($\omega \rightarrow 0$), 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 el año de 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 el año 1979 se tienen en operación 9 estaciones sismológicas con operadores en el sitio. Para este período se tienen contabilizados 1342 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: $MC=mb=0.82(Q_V + \log_{10}(2\pi A/GT))$, donde (A y T, Amplitud y Período) y (G, Ganancia Instrumental y Q_V , Corrección por distancia).

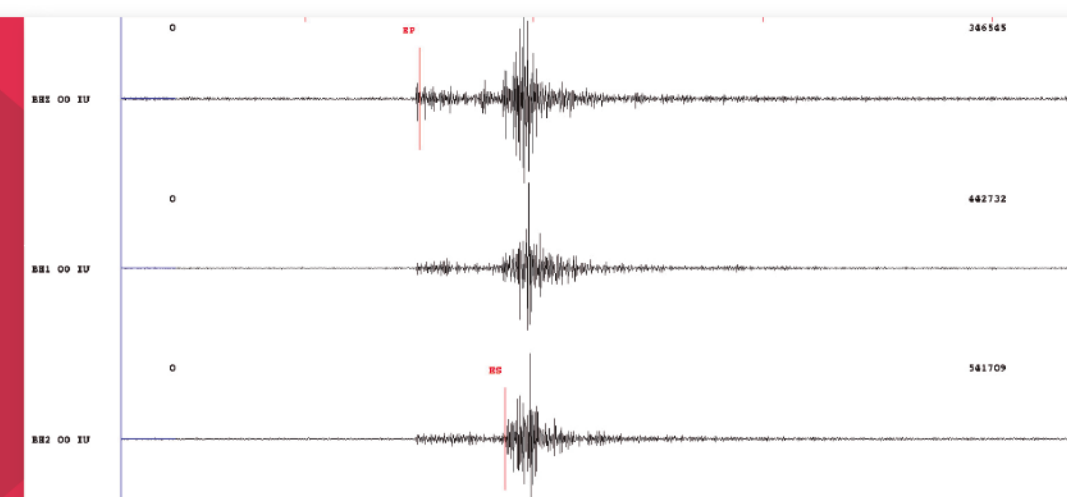
3. 1980 – 2000: Posteriormente, a comienzos de la década de los 80, y a partir de la creación de FUNVISIS, se inicia el desarrollo del proyecto de la “Red Sismológica Venezolana con Apertura Continental (RESVAC)”, con la instalación de un número importante de estaciones de corto periodo de una sola componente (vertical). En esa misma década, también tuvo su desarrollo la Red Sismológica de PDVSA 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 6018 sismos. Durante este periodo se desarrollaron e implementaron relaciones regionales para el cálculo de la magnitud, apoyado en la duración de la coda, d, 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.

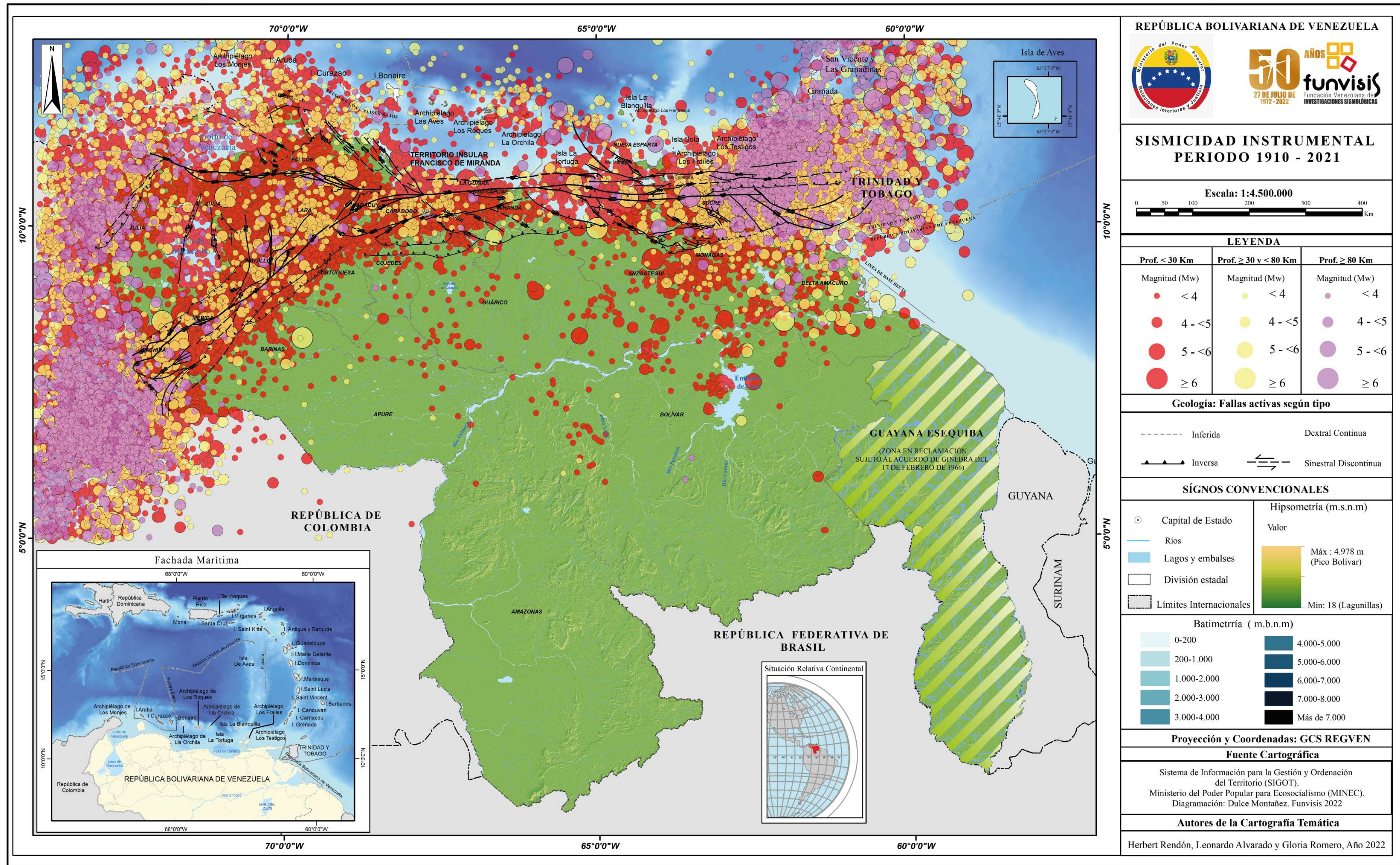
4. 2001-presente: La ocurrencia del terremoto de Cariaco en 1997 ($M_W=6,7$), propició la consiguiente inversión para la incorporación de hasta 34 estaciones de banda ancha (Broad-Band), de tres componentes de última tecnología y a nivel nacional, basadas en la transmisión de datos a partir de enlaces 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 mundial para el monitoreo y la no proliferación de ensayos nucleares (CTBTO) ubicadas éstas 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 13700 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 $\log_{10}(N_{>}(m))=6,8-0,91m$.

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





1.8 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 study of past tsunami events in northeastern Venezuela (southeastern 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 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.; K Larica, 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". In: *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, 263 págs
- 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.

