

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ANTE LA OCURRENCIA DE FUTUROS TERREMOTOS EN LA REGIÓN CENTRO-NORTE DE VENEZUELA CASO DE ESTUDIO: TERREMOTO DE 1900

Raquel Vásquez Stanescu¹, Alejandra Leal Guzmán²

¹ Departamento de Sismología, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Correo: rvasquez@funvisis.gob.ve

² Departamento de Sismología, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Correo: aleal@funvisis.gob.ve

RESUMEN

Estudios recientes ubican el baricentro del terremoto ocurrido el 29 de octubre de 1900 en el mar Caribe, al norte de Cabo Codera, y le asignan una magnitud macrosísmica igual a $7,54 \pm 0,31 M_w$. Este evento produjo aproximadamente 56 muertos, 156 heridos y el colapso parcial o total de más de 1.689 edificaciones en la región epicentral, entre las que se incluyen ciudades como Caracas, Guatire, Guarenas y Macuto. Debido a que el cálculo del período de retorno de un terremoto de magnitud $7,5 M_w$ en la región centro-norte del país es aproximadamente 87 años, el objetivo de esta investigación consiste en estimar el posible número de víctimas y personas desplazadas si el terremoto de 1900 ocurriera nuevamente en la actualidad. La metodología consiste en calcular el número de fatalidades N_T para un sismo i que depende de la magnitud (M) del terremoto, de la densidad de población actual en las zonas históricamente afectadas por este evento (D) evaluadas a través de la distribución espacial de las intensidades (I) -un parámetro que en sismología cuantifica la cantidad de daños generados por el terremoto como función de las zonas urbanas afectadas, sus efectos en la naturaleza y el número de víctimas- y una función de peso (W) que depende de la distancia epicentral. Con base en los resultados obtenidos durante el Censo 2011, 7.423.987 personas podrían verse expuestas a intensidades mayores e iguales a VI y quizás deban ser desplazadas, mientras que el número esperado de víctimas fatales sería aproximadamente igual a 5.210.

Palabras clave: Terremoto 1900, Magnitud, Intensidad, Densidad de Población, Número de Fatalidades.

INTRODUCCIÓN

El 29 de octubre de 1900 a las 4:41 hora local ocurre el segundo terremoto de mayor magnitud del cual se tiene algún registro histórico. Aunque los diversos autores que han evaluado este evento en el pasado han discrepado en cuanto a su localización y magnitud, estudios recientes han incorporado nueva información proveniente de fuentes primarias en 84 localidades ubicadas en Venezuela y Trinidad (Leal Guzmán *et al.*, 2017) que han sido un aporte fundamental en un cálculo más robusto de sus parámetros de la fuente. La aplicación de diversos métodos estadísticos y geoespaciales muestran que el baricentro de este evento se localiza en el mar Caribe, al norte de Cabo Codera, en las coordenadas geográficas 10,8° latitud N y 66,25° longitud O y que su magnitud es $7,54 \pm 0,31 M_w$ con un 95% de probabilidad (Vásquez *et al.*, 2017).

El terremoto de 1900 tuvo un área de percepción aproximada de 274.870 km² por lo que fue sentido en casi todo el territorio nacional y en Trinidad. La región centro-norte del país, comprendida por los estados Miranda, Vargas, Dependencias Federales, Distrito Capital, Anzoátegui, Aragua, Carabobo y Guárico, sufrieron los mayores daños, a saber:

- Sobre las edificaciones: un importante número de casas, edificios públicos y templos sufrieron colapso total, quedaron en ruinas o sin aleros.
- En Caracas todos los edificios públicos y templos sufrieron algún tipo de daño, así como muchas instituciones sanitarias y educativas: 69 casas sufrieron colapso total, 428 quedaron seriamente averiadas y otras 174 quedaron sin aleros.
- Grandes efectos geológicos producto del terremoto: deslizamientos, licuación, subsidencia, entre otros.
- Pérdida de vidas humanas y heridos: en el Distrito Metropolitano de Caracas (10 muertos y 20 heridos); Guarenas (7 muertos y 11 heridos); Macuto (4 muertos y 22 heridos); Naiguatá (1 muerto); La Guaira (1 muerto), entre otros.
- Generación de un tsunami cuyas olas con alturas máximas de hasta cinco metros arribaron a las costas de Barlovento y las islas de Los Roques y La Tortuga (F. Audemard, *com. pers.*, 2017).

En esta región, conocida como el eje Caracas-Valencia –una franja de unos 250 km de largo que se extiende desde Puerto Cabello hasta Guatire-, concentra una gran parte de la actividad industrial, sanitaria, política, educativa, de investigación y

económica del país (Negrón, 2001), por lo que cualquier alteración en su dinamismo cotidiano por una cantidad de tiempo prolongado podría ocasionar consecuencias desastrosas. El eje Caracas-Valencia, que es reconocida por Negrón (2001) como una megalópolis, concentra una región esencialmente urbanizada en una superficie aproximada de 129.950 km² y una alta densidad de población con unos 85 habitantes/km² (ver tabla 1); de acuerdo a los resultados del censo realizado en el año 2011, contiene unos 11.067.679 habitantes, lo que representa un 40,6% de la población del país.

Tabla 1: Superficie y población de los estados más afectados por el terremoto de 1900 de acuerdo a los resultados del censo realizado en 2011.

Estado	Superficie (km ²)	Población
Miranda	7.950	2.675.165
Vargas	1.497	352.920
Dependencias Federales	120	2.155
Distrito Capital	433	1.943.901
Anzoátegui	43.300	1.469.747
Aragua	7.014	1.630.308
Carabobo	4.650	2.245.744
Guárico	64.986	747.739

Aunque no es posible predecir la ocurrencia de los terremotos, ciertas investigaciones parecen indicar que el período de retorno para un evento de esta magnitud y ubicación en la región centro-norte del país es aproximadamente de 87 años (Tormet G., 2014), por lo que consideramos de gran relevancia cuantificar la cantidad de personas que podrían verse afectadas si un sismo con características similares al de 1900 se produjera en la actualidad.

1. CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS: ESCALA DE INTENSIDAD

En general, los parámetros básicos –o parámetros de la fuente- que caracterizan a un terremoto son los siguientes:

- **Tiempo origen:** hora en la que se origina el terremoto (expresado en hora local y UTC).

- **Magnitud:** Cuantificación de la cantidad de energía liberada por el terremoto y medida en ergios.
- **Localización:** Conocida como el hipocentro del terremoto, que ubica el punto de la corteza terrestre en donde se origina el proceso de ruptura de la falla geológica. El hipocentro se expresa en función de dos parámetros: (1) epicentro, la proyección en superficie del hipocentro y medido en coordenadas geográficas (latitud y longitud) y (2) su profundidad, referida en kilómetros. Es importante acotar que, cuando se estima la localización de un terremoto histórico con base en datos macrosísmicos, el resultado obtenido es conocido como el baricentro del terremoto.
- **Intensidad:** Es una descripción cualitativa y cuantitativa de los efectos que produce el terremoto en: (1) la naturaleza, a través de los posibles efectos geológicos –o cosísmicos- que pueda generar, tales como tsunamis, deslizamientos, avalanchas, actividad volcánica, entre otros, (2) las personas, en función del número de víctimas -fallecidos y heridos- que genere el evento y (3) su afectación urbana, tales como cuantificación de edificios colapsados o dañados, interrupción de los servicios, entre otros.

Aunque con frecuencia se confunden los conceptos de magnitud e intensidad, sus significados e interpretaciones son totalmente distintos: mientras que la magnitud es un valor adimensional único que expresa el tamaño de un terremoto y es directamente proporcional a la longitud de ruptura de la falla geológica, la intensidad describe el nivel de daños que produce dicho evento y por lo tanto su valor tiene una correlación positiva con la magnitud y por el contrario posee una correlación negativa con la distancia epicentral (Howell y Schultz, 1975). Es importante acotar lo siguiente: (1) la intensidad es un valor numérico que se asigna a la lista de localidades afectadas por un terremoto de acuerdo a una determinada escala (en la medida en que se incrementa la intensidad, mayor será el nivel de daño ocurrido en una localidad en particular) y (2) la distribución espacial de las intensidades es única para cada terremoto y dependerá de la magnitud del evento, su localización y la densidad de asentamientos urbanos y población presente dentro de su área de percepción.

Aunque existen diversas escalas de intensidad –algunas incluso propuestas para determinados países como Japón-, en este estudio nos referiremos a la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada (1956) o MMI que describe 12 niveles de afectación: desde “no sentido” (I) hasta “destrucción total” (XII). A continuación, describiremos el contenido de MMI en el rango del VI al XII (ver tabla 2), pues

generalmente las víctimas de un terremoto se concentran en zonas con intensidades mayores e iguales a VI (Robinson *et al.*, 2006; Jaiswal *et al.*, 2009; Nguyen *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2018).

En la Escala de Mercalli Modificada (1956) la calidad de las construcciones está clasificadas de la siguiente forma:

- **A:** estructuras de acero y hormigón armado, bien diseñadas, calculadas para resistir fuerzas horizontales. Buena construcción, materiales de primera calidad
- **B:** estructuras de hormigón armado, no diseñadas en detalle para resistir fuerzas horizontales. Buena construcción y materiales
- **C:** estructuras no tan débiles como para fallar la unión de las esquinas, pero no reforzadas ni diseñadas para resistir fuerzas horizontales. Construcción y materiales corrientes.
- **D:** construcciones de materiales pobres, tales como el adobe; baja calidad de construcción. No resistente a fuerzas horizontales.

Tabla 2: Descripción de la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada (1956) correspondiente a los rangos del VI al XII.

Intensidad	Descripción
VI	Sentido por todos. Muchos se asustan y salen al exterior. La gente anda inestablemente. Ventanas, platos y objetos de vidrio se rompen. Adornos, libros, etc. se caen de las estanterías. Los cuadros se caen. Los muebles se mueven o vuelcan. Los revestimientos débiles y las construcciones de tipo D se agrietan. Las campanas pequeñas suenan (iglesias, colegios). Árboles, arbustos sacudidos visiblemente.
VII	Difícil mantenerse en pie. Sentido por los conductores. Objetos suspendidos tiemblan. Muebles rotos. Daño a edificios del tipo D incluyen grietas. Las chimeneas débiles se rompen a ras del tejado. Caída de cielos rasos, ladrillos sueltos, piedras, tejas, cornisas, también antepechos no asegurados y ornamentos de arquitectura. Algunas grietas en edificios de tipo C. Olas en estanques, agua enturbada con barro. Pequeños corrimientos y hundimientos en arena o montones de grava. Campanas grandes suenan. Canales de cemento para regadío dañados.
VIII	Conducción de los coches afectada. Daños en edificios del tipo C; colapso parcial. Algún daño a construcciones de tipo B; nada en edificios de tipo A. Caída de estuco y algunas paredes de mampostería. Giro, caída de chimeneas, rimeros de fábricas, monumentos, torres, depósitos elevados. La estructura de las casas se mueve sobre los cimientos si no están sujetas; trozos de pared sueltos arrancados.

	Ramas de árboles rotas. Cambios en el caudal o temperatura de fuentes y pozos. Grietas en suelo húmedo y pendientes fuertes.
IX	Pánico general. Construcciones del tipo D destruidas; edificios C seriamente dañados, algunas veces con colapso total; edificios tipo B con daños importantes. Daño general en los cimientos. Estructuras de armazón, si no están sujetas, desplazadas de los cimientos. Armazones arruinados. Daños serios en embalses. Tuberías subterráneas rotas. Amplias grietas en el suelo. En áreas de aluvial eyección de arena y barro, aparecen fuentes y cráteres de arena.
X	La mayoría de las construcciones y estructuras de armazón destruidas con sus cimientos. Algunos edificios bien construidos en madera y puentes, destruidos. Daños serios en presas, diques y terraplenes. Grandes corrimientos de tierras. El agua rebasa las orillas de canales, ríos, lagos, etc. Arena y barro desplazados horizontalmente en playas y tierras llanas. Carriles torcidos.
XI	Carriles muy retorcidos. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.
XII	Daño prácticamente total. Grandes masas de rocas desplazadas. Visuales y líneas de nivel deformadas. Objetos proyectados al aire.

Evaluar la distribución espacial de las intensidades es fundamental en los modelos de predicción de pérdidas (económicas, número de estructuras colapsadas, tasa de fatalidad, entre otros) ante la posible ocurrencia de un evento con las mismas características en el futuro, por lo que la asignación de intensidades es una actividad rutinaria dentro del ámbito de las ciencias de la tierra, la gestión de riesgos y la ingeniería.

2. MÉTODO

El procedimiento seguido en nuestra investigación está basado en el método propuesto por Robinson *et al.* (2006) en el que el número de víctimas fatales o fallecidos producto de la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud N_k es una función de la distribución espacial de intensidades mayores o iguales a VI y la densidad de población actual. La relación empírica propuesta es la siguiente:

$$\log N_k(D) = a(D) + b(D)M \quad (1)$$

En donde: D es la densidad de población de la región en estudio, M es la magnitud del terremoto y a y b son coeficientes definidos a nivel global que dependen de la densidad de población (D).

El cálculo del número de víctimas fatales se realiza por zona isoseismal i –por definición, es el área espacial que engloba una intensidad en particular-, empleando la siguiente expresión:

$$N_k^i = W_i N_k(D) \quad (2)$$

En la ecuación (2), $N_k(D)$ es obtenido de la ecuación (1) y W_i es una función de peso que depende de la distancia epicentral y será igual a:

$$W_i = \frac{1}{R_i^2 \sum_j \frac{1}{R_j^2}} \quad (3)$$

En donde, $R_{i,j}$ es el radio promedio –entendiendo a este radio como la distancia entre el epicentro (o baricentro, para el caso de un terremoto histórico) del terremoto y las localidades afectadas- de las áreas con intensidades i, j , siendo $i, j = VI, VII, \dots, XII$, medida en kilómetros. El resultado final del número de fallecidos N_T será igual a la sumatoria:

$$N_T = \sum_i N_k^i \quad (4)$$

3. RESULTADOS

Partiendo de los resultados obtenidos por Leal Guzmán *et al.* (2017) y Vásquez *et al.* (2017), consideramos el escenario del terremoto del 29 de octubre de 1900 con una magnitud 7,54 M_w ubicado en el mar Caribe, al norte de Cabo Codera, y una similar distribución espacial de las intensidades MMI mayores e iguales a VI en 59 localidades ubicadas principalmente en la región centro-norte del país, a lo largo de una franja de unos 135 km. La tabla 3 muestra las localidades que sufrieron intensidades importantes durante el terremoto de 1900, sus coordenadas geográficas y su población actual de acuerdo a los resultados del censo realizado en 2011. La figura 1 muestra la distribución espacial de estas localidades y su intensidad MMI.

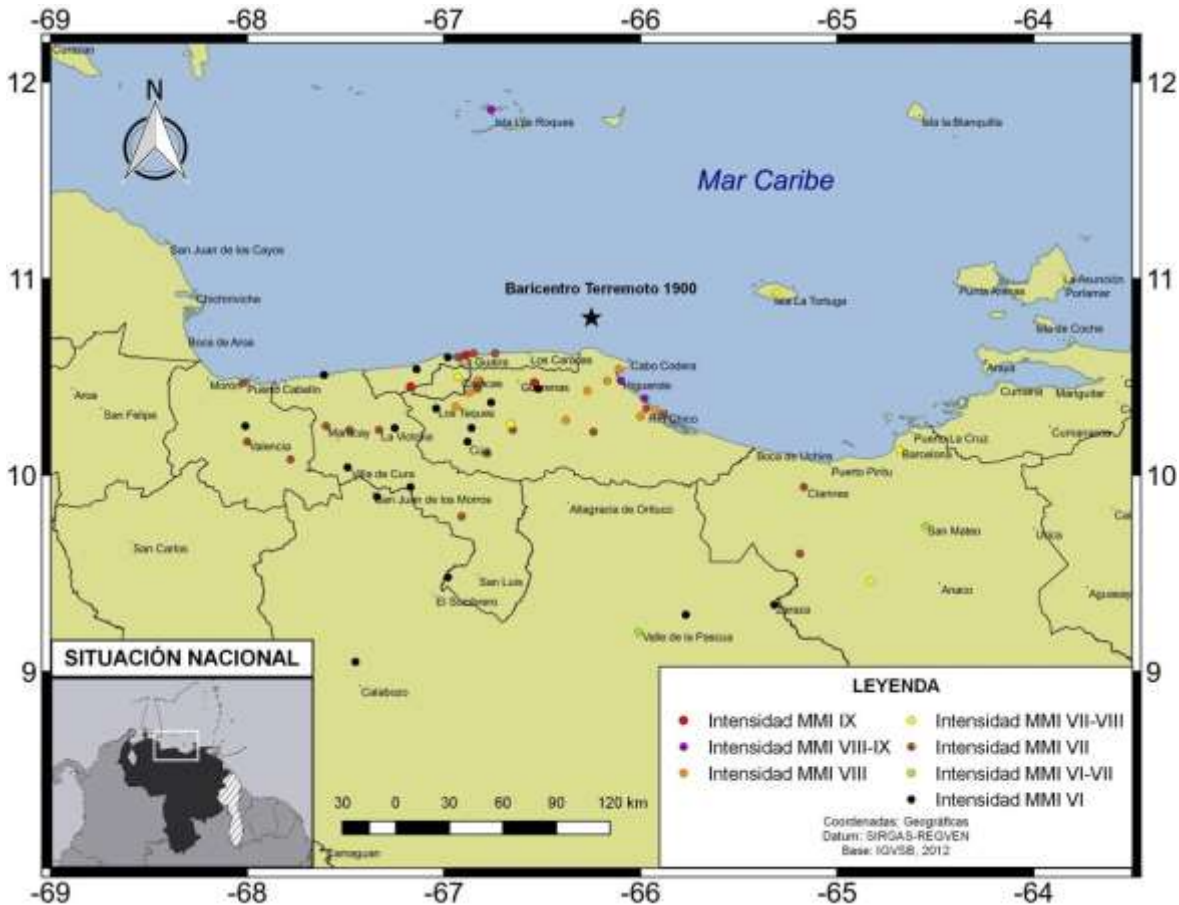


Figura 1: Distribución espacial de las localidades afectadas por el terremoto de 1900 con intensidades MMI mayores e iguales a VI en la región centro-norte de Venezuela.

Tabla 3: Localidades afectadas por el terremoto de 1900 con intensidades MMI mayores o iguales a VI (tomado de Leal Guzmán *et al.*, 2017).

Localidad		Ubicación Geográfica		Intensidad MMI	Población actual
Ciudad	Estado	Latitud (°)	Longitud (°)		
Guarenas	Miranda	10,47	-66,54	IX	209.987
Guatire	Miranda	10,47	-66,54	IX	151.140
Macuto	Vargas	10,61	-66,89	IX	20.033
Petaquire	Vargas	10,45	-67,17	IX	-
Los Roques	Dependencias Federales de Venezuela	11,86	-66,76	VIII-IX	1.471
Higuerote	Miranda	10,48	-66,10	VIII-IX	33.214
Paparo	Miranda	10,39	-65,98	VIII-IX	1.357
Baruta	Distrito Metropolitano de Caracas	10,42	-66,87	VIII	240.755
Puerto Tuy	Miranda	10,33	-65,92	VIII	-
Chacao	Distrito Metropolitano de Caracas	10,48	-66,83	VIII	61.213
Capaya	Miranda	10,43	-66,27	VIII	13.151
Carenero	Miranda	10,54	-66,11	VIII	-
Caucagua	Miranda	10,28	-66,38	VIII	27.948
Curiepe	Miranda	10,48	-66,17	VIII	11.876
San Diego de los Altos	Miranda	10,35	-66,94	VIII	-
San José de Río Chico	Miranda	10,30	-66,00	VIII	-
Aragua de Barcelona	Anzoátegui	9,46	-64,83	VII-VIII	28.058
Barcelona	Anzoátegui	10,13	-64,68	VII-VIII	326.460
La Tortuga	Dependencias Federales de Venezuela	10,93	-65,31	VII-VIII	-
Caracas	Distrito Metropolitano de Caracas	10,50	-66,93	VII-VIII	1.943.901
Santa Lucía	Miranda	10,26	-66,66	VII-VIII	111.197
Clarines	Anzoátegui	9,94	-65,17	VII	-
Onoto	Anzoátegui	9,60	-65,19	VII	-
La Victoria	Aragua	10,23	-67,33	VII	300.000
Maracay	Aragua	10,25	-67,60	VII	955.362
Turmero	Aragua	10,23	-67,48	VII	-
Güigüe	Carabobo	10,08	-67,78	VII	-
Puerto Cabello	Carabobo	10,47	-68,02	VII	182.493
Valencia	Carabobo	10,17	-68,00	VII	829.856

XXXVI Jornadas de Investigación IDEC 2, 3 y 4 de julio de 2018

El Hatillo	Distrito Metropolitano de Caracas	10,44	-66,83	VII	58.156
Petare	Distrito Metropolitano de Caracas	10,48	-66,82	VII	372.616
Ocumare del Tuy	Miranda	10,11	-66,78	VII	106.812
Panaquire	Miranda	10,22	-66,24	VII	6.289
Río Chico	Miranda	10,34	-65,97	VII	19.590
Santa Teresa	Miranda	10,23	-66,65	VII	67.877
Tacarigua	Miranda	10,31	-65,88	VII	13.850
Caraballeda	Vargas	10,62	-66,85	VII	48.622
La Guaira	Vargas	10,60	-66,93	VII	19.162
Naiguatá	Vargas	10,62	-66,74	VII	17.877
Camatagua	Aragua	9,79	-66,91	VII	16.627
San Mateo	Anzoátegui	9,74	-64,55	VI-VII	16.627
Valle la Pascua	Guárico	9,20	-66,01	VI-VII	182.000
San Sebastián de los Reyes	Aragua	9,94	-67,17	VI	-
Villa de Cura	Aragua	10,04	-67,49	VI	89.364
Naguanagua	Carabobo	10,25	-68,01	VI	132.368
Lezama	Guárico	9,05	-67,45	VI	5.471
San Juan de los Morros	Guárico	9,89	-67,34	VI	120.111
Tucupido	Guárico	9,29	-65,77	VI	35.150
Zaraza	Guárico	9,34	-65,32	VI	59.519
Cúa	Miranda	10,17	-66,88	VI	105.841
Charallave	Miranda	10,24	-66,86	VI	91.701
Los Teques	Miranda	10,34	-67,04	VI	194.725
Río Grande	Miranda	10,44	-66,52	VI	-
Turgua	Miranda	10,37	-66,76	VI	-
Maiquetía	Vargas	10,60	-66,98	VI	87.909
Tarmas	Vargas	10,54	-67,14	VI	44.932
Barbacoas	Aragua	9,48	-66,98	VI	16.469
Choroní	Aragua	10,51	-67,61	VI	3.102
El Consejo	Aragua	10,24	-67,25	VI	41.748

Las 59 localidades que sufrieron los mayores daños durante el terremoto de 1900 ocupan una superficie aproximada de 64.964 km² y su población es de unos

7.423.987 habitantes, por lo que la densidad de población (D) es igual a 159 habitantes/km². De acuerdo a este resultado, se asume que los coeficientes a y b en la ecuación (1) son iguales a -3,22 y 0,92, respectivamente (Robinson *et al.*, 2006).

Para el cálculo del número de víctimas –ecuaciones 2, 3 y 4- se emplea el rango de intensidades MMI obtenidas para el terremoto de 1900 que van desde VI hasta un máximo de IX (correspondiente a Guarenas, Guatire, Macuto y Petaquire). A partir de la ubicación de estas ciudades, se obtienen los radios promedio (R), definidos como las distancias entre el baricentro del terremoto (tomado de Vásquez *et al.*, 2017) y cada localidad con una misma asignación de intensidad (VI, VII, VIII y IX). A partir de estos radios, se calcula la función de peso por distancia epicentral W_i y número de fatalidades N_k por región isoseismal. Los resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4: Cálculo del número de víctimas fatales obtenido por zona isoseismal para el rango de intensidades MMI VI al IX.

Intensidad MMI	Radio (R) (km)	R ² (km ²)	1/R ² (km ⁻²)	W _i	N _k
VII	116,2	13.509,41	0,00007402	0,1197	624
VIII	59,5	3.534,30	0,00028294	0,4577	2.384
IX	69,5	4.835,81	0,00020679	0,3345	1.743
VI	135,5	18.371,09	0,00005443	0,0881	459

La suma del número de fatalidades por región isoseismal N_T muestra que unas 5.210 personas podrían fallecer en la actualidad ante la ocurrencia de un terremoto con características similares al de 1900. De igual forma, podemos decir que un aproximado de 7.423.987 personas estarían ubicadas en la zona de mayor impacto de este evento, por lo que podrían verse en la necesidad de ser evacuadas de sus hogares dependiendo del nivel de daños que sufran las edificaciones ubicadas en dicha región y la afectación urbana.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Se ha implementado una nueva metodología en Venezuela para la estimación del cálculo del potencial número de pérdida de vidas humanas en el caso hipotético de que ocurriera nuevamente en la actualidad un terremoto con las mismas

características –magnitud, localización y distribución de intensidades- de aquel en 1900. La metodología es de relativa fácil aplicación cuando se tiene disponible información correspondiente a la densidad de población reciente, los parámetros de la fuente del terremoto en estudio y la distribución de daños que el mismo ocasionó en el pasado. Aunque no hay forma de saber si un evento con esas características produciría la misma distribución espacial de intensidades en el área de percepción, es razonable pensar que podemos partir de esta premisa.

Como primer ejercicio relacionado con el cálculo de pérdidas, consideramos al terremoto de 1900 de gran importancia por su magnitud significativa y su cercanía a la capital. Es importante hacer énfasis en la alta densidad de población del eje Caracas-Valencia, cuyo nivel de urbanización se ha incrementado dramáticamente en los últimos cien años hasta contener un 40% de la población actual del país a lo largo de ocho estados: Miranda, Vargas, Dependencias Federales, Distrito Capital, Anzoátegui, Aragua, Carabobo y Guárico.

Aunque el resultado preliminar del cálculo de pérdidas humanas apunta hacia unas 5.210 personas en la región de estudio, debemos considerar ciertos factores que pueden incrementar esta cifra:

- Esta metodología se aplica bajo la premisa de que las edificaciones contenidas en los asentamientos urbanos localizadas en las mayores áreas de afectación del terremoto siguen -al menos- las normas básicas de construcción sismorresistentes (Robinson *et al.*, 2006), condición que no podemos garantizar suceda en este caso en particular.
- No fue posible incorporar el número de habitantes de algunas localidades que forman parte de este estudio, pues no se encontró información en los boletines del INE sobre el censo realizado en 2011. Si el número de habitantes se incrementa, también lo hará la densidad de población. Si D sobrepasa los 200 habitantes/km², entonces los coeficientes a y b en la ecuación (1) serán respectivamente -3,15 y 0,97 (Robinson *et al.*, 2006). Bajo estos nuevos valores, el número de pérdidas humanas podría incrementarse hasta unas 14.500 víctimas.
- De igual modo, como el terremoto de 1900 es histórico, hay una incertidumbre en la estimación de su magnitud. Considerando esta incertidumbre, dicha magnitud podría estar en el rango 7,23 – 7,85 M_w (Vásquez *et al.*, 2017). Si consideramos el umbral máximo posible, el número

de pérdidas de vidas humanas podría también incrementarse hasta unas 10.000 víctimas.

En general, la región centro-norte del país sufrió el mayor nivel de daños por el terremoto de 1900. Si consideramos un área de percepción similar, actualmente más de siete millones de personas viven en zonas que podrían verse igualmente afectadas si un evento con características similares se produjera nuevamente. No podemos predecir a los terremotos, pero sabemos con certeza que volverán a ocurrir en el futuro; si consideramos los resultados propuestos por Tormet G., (2014) sobre períodos de retorno de alrededor de 87 años para sismos con magnitud alrededor de 7,5 M_w , entonces quizás el siguiente gran terremoto en la región centro-norte del país sea inminente. Evaluar el potencial número de pérdidas de vidas humanas que podrían producirse -producto de eventos sísmicos con diversas magnitudes y localizaciones- es un aporte importante en la evaluación del riesgo en el país. De igual modo, comprender la posible distribución espacial de las víctimas, podrá ayudar a proponer recomendaciones que apunten a la mitigación del riesgo en los diversos asentamientos urbanos de Venezuela, un tema crítico en materia de la seguridad de la nación.

5. REFERENCIAS

- Howell, B. F., y Schultz, T. R. (1975). Attenuation of Modified Mercalli Intensity with distance from the epicenter. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 651-665.
- Jaiswal, K., Wald, D. J. y Hearne, M. (2009). *Estimating casualties for large earthquakes worldwide using an empirical approach*. Estados Unidos: Open-File Report 2009-1136, U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey.
- Leal Guzmán, A., Vásquez, R., Rodríguez, J. A. y Audemard, F. (2017) Análisis macrosísmico del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela. *En Memorias del XI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica*. Caracas.
- Nguyen, N., Griffin, J., Cipta, A. y Cummins, P. R. (2015). *Indonesia's historical earthquakes. Modelled examples for improving the national hazard map*. Australia: Geoscience Australia.

Negrón, M. (2001). *Ciudad y Modernidad 1936-2000*. Caracas: Ediciones Instituto de Urbanismo-Comisión de Estudios de Postgrado UCV.

Robinson, T. R., Wilson, T. M. y Davies T. RH. (2006). A rapid method for estimating expected fatalities from future strong earthquakes. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 1-7.

Tormet G., Sinkler E. (2014). *Estimación de los parámetros sísmicos de la ley Gutenberg-Richter en la región Central de Venezuela* (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Vásquez, R., Leal Guzmán, A., Rodríguez, J. A. y Audemard, F. (2017) Estimación de los parámetros básicos del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela utilizando el método de Bakun y Wentworth. *En Memorias del XI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica*. Caracas.

Zhan, Y., Lin, Q., Liu, Y. y Wang, Y. (2018). The quick assessment model of casualties for Asia base on the vulnerability of earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1-22.

APÉNDICE (Presentación)



**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ANTES LA OCURRENCIA DE
FUTUROS TERREMOTOS EN LA REGIÓN CENTRO-NORTE DE
VENEZUELA
CASO DE ESTUDIO: TERREMOTO DE 1900**

Raquel Vásquez y Alejandra Leal Guzmán

Departamento de Sismología de FUNVISIS

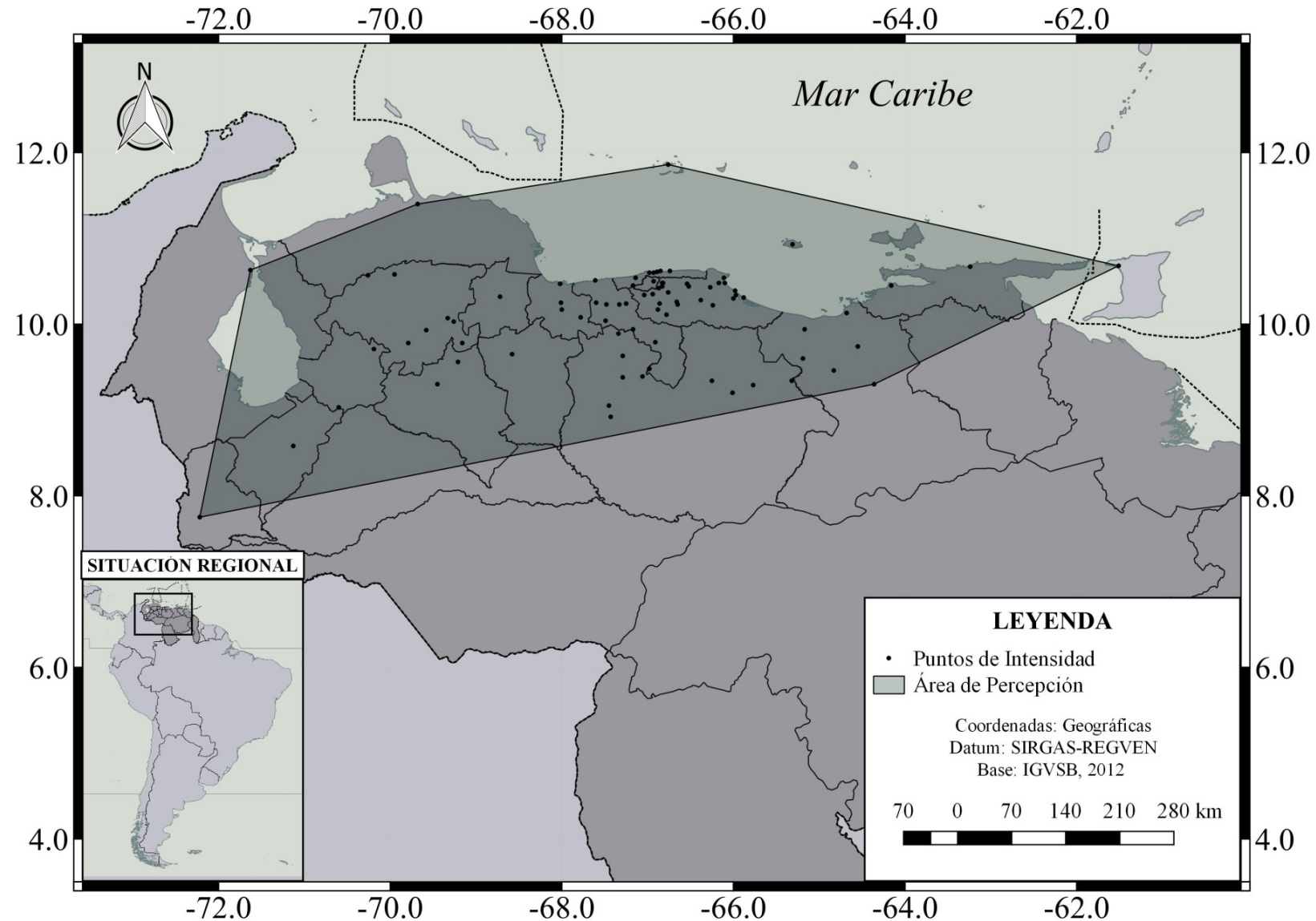
ASPECTOS GENERALES DEL TERREMOTO DE 1900

-El terremoto del 29 de octubre de 1900 a las 4:42 de la mañana.

-Área de Percepción: 274.870 km².

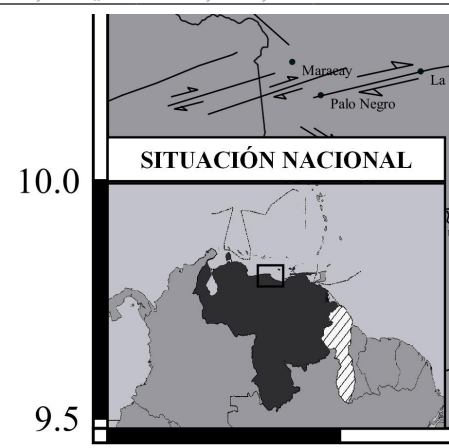
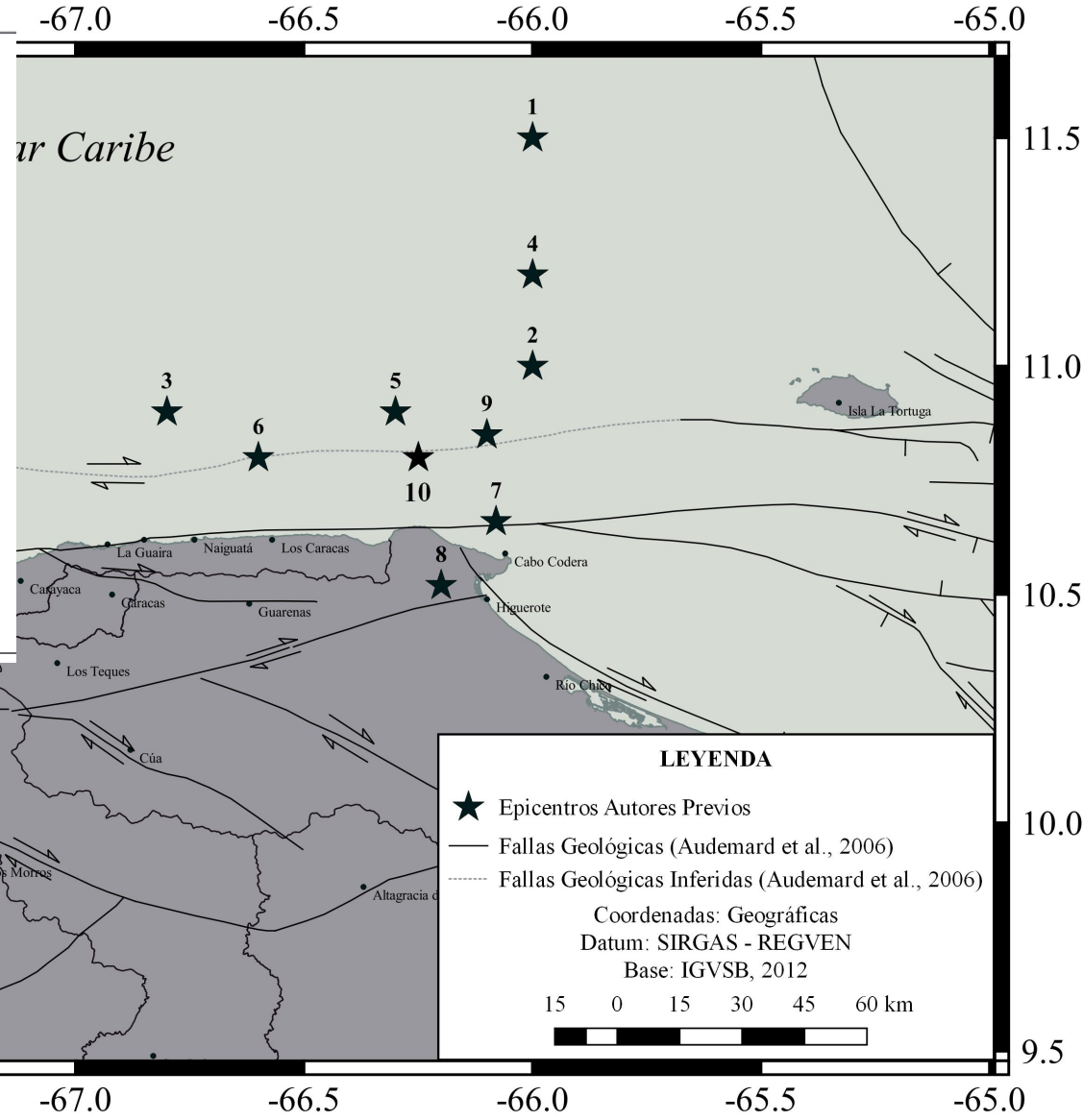
-Produjo aproximadamente 57 muertos y 264 heridos en Venezuela.

-Efectos geológicos: olas tsunami, movimientos de remoción en masa, agrietamientos del terreno, licuación y anomalías hidrológico-geotérmicas, entre otros.



PARÁMETROS DE LA FUENTE

Referencia Figura 1	Autor	Epicentro		Magnitud	Profundidad (km)	Intensidad Máxima
		Latitud (°)	Longitud (°)			
1	Centeno Graü, 1969	11,5	-66	-	-	9
-	Sievers, 1905	Entre Caracas e Higuerote		-	-	-
2	Gutenberg y Richter, 1954	11	-66	8,4 M_s	-	-
3	Fiedler, 1961	10,9	-66,8	7,4 M_s	50	9-10
3	Fiedler, 1968	10,9	-66,8	6,3 mC	-	8+
4	Jakubowicz y Larotta, 1974	11,2	-66	7,2 mC	-	8
-	Kanamori y Abe, 1979	-	-	8,1 M_s	-	-
-	Abe y Noguchi, 1983	-	-	7,7 M_s	-	-
2	Lugo, 1984	11	-66	-	-	8
2	CERESIS, 1985	11	-66	8,4 M_s	25	8
5	Fiedler, 1988	10,9	-66,3	7,1 m_b - 7,6 M_s	50	-
2	Grases, 1990	11	-66	8,4 M_s	25	-
2	Pacheco y Sykes, 1992	11	-66	7,7 M_s (Original) 7,6 M_s (Corregido)	-	-
-	Grases y Rodríguez, 2001	-	-	7,7-7,8 M_s	-	8
6	Palme <i>et al.</i> , 2005	10,8	-66,6	6,98 ± 0,58 M_w	-	-
7	Rodríguez <i>et al.</i> , 2006	10,66	-66,08	-	-	-
8	Palme <i>et al.</i> , 2009	10,52	-66,2	7,76 ± 0,35 M_w	-	-
9	Hernández <i>et al.</i> , 2009a; 2009b	10,85	-66,1	7,7 M_w	-	X
-	Colón <i>et al.</i> , 2015	Al norte de Cabo Codera en el Mar Caribe		7,6 M_w	-	-
10	Vásquez <i>et al.</i> , 2017	10,8	-66,25	7,54 ± 0,31 M_w	44,5 ± 2,8	IX



Leal *et al.*, 2017; Vásquez *et al.*, 2017

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS: ESCALA DE INTENSIDAD

Parámetros de la fuente de un terremoto:

-Tiempo origen

-Magnitud: Energía liberada por el terremoto.

-Localización: Epicentro + Profundidad (km)

-Intensidad: Es una descripción cualitativa y cuantitativa de los efectos que produce el terremoto en: (1) La naturaleza, a través de los posibles efectos geológicos.

(2) Las personas: números personas heridas y fallecidas.

(3) Su afectación urbana, tales como cuantificación de edificios colapsados o dañados, interrupción de los servicios, entre otros.

Escala de Intensidad de Mercalli Modificada (1956) o MMI que describe 12 niveles de afectación: desde “no sentido” (I) hasta “destrucción total” (XII).

Intensidad	Descripción
VI	Sentido por todos. Muchos se asustan y salen al exterior. La gente anda inestablemente. Ventanas, platos y objetos de vidrio se rompen. Adornos, libros, etc. se caen de las estanterías. Los cuadros se caen. Los muebles se mueven o vuelcan. Los revestimientos débiles y las construcciones de tipo D se agrietan. Las campanas pequeñas suenan (iglesias, colegios). Árboles, arbustos sacudidos visiblemente.
VII	Difícil mantenerse en pie. Sentido por los conductores. Objetos suspendidos tiemblan. Muebles rotos. Daño a edificios del tipo D incluyen grietas. Las chimeneas débiles se rompen a ras del tejado. Caída de cielos rasos, ladrillos sueltos, piedras, tejas, cornisas, también antepechos no asegurados y ornamentos de arquitectura. Algunas grietas en edificios de tipo C. Olas en estanques, agua enturbada con barro. Pequeños corrimientos y hundimientos en arena o montones de grava. Campanas grandes suenan. Canales de cemento para regadío dañados.
VIII	Conducción de los coches afectada. Daños en edificios del tipo C; colapso parcial. Algún daño a construcciones de tipo B; nada en edificios de tipo A. Caída de estuco y algunas paredes de mampostería. Giro, caída de chimeneas, rimeros de fábricas, monumentos, torres, depósitos elevados. La estructura de las casas se mueve sobre los cimientos si no están sujetas; trozos de pared sueltos arrancados. Ramas de árboles rotas. Cambios en el caudal o temperatura de fuentes y pozos. Grietas en suelo húmedo y pendientes fuertes.
IX	Pánico general. Construcciones del tipo D destruidas; edificios C seriamente dañados, algunas veces con colapso total; edificios tipo B con daños importantes. Daño general en los cimientos. Estructuras de armazón, si no están sujetas, desplazadas de los cimientos. Armazones arruinados. Daños serios en embalses. Tuberías subterráneas rotas. Amplias grietas en el suelo. En áreas de aluvial eyección de arena y barro, aparecen fuentes y cráteres de arena.
X	La mayoría de las construcciones y estructuras de armazón destruidas con sus cimientos. Algunos edificios bien construidos en madera y puentes, destruidos. Daños serios en presas, diques y terraplenes. Grandes corrimientos de tierras. El agua rebasa las orillas de canales, ríos, lagos, etc. Arena y barro desplazados horizontalmente en playas y tierras llanas. Carriles torcidos.
XI	Carriles muy retorcidos. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.
XII	Daño prácticamente total. Grandes masas de rocas desplazadas. Visuales y líneas de nivel deformadas. Objetos proyectados al aire.

Generalmente las víctimas de un terremoto se concentran en zonas con intensidades mayores e iguales a VI

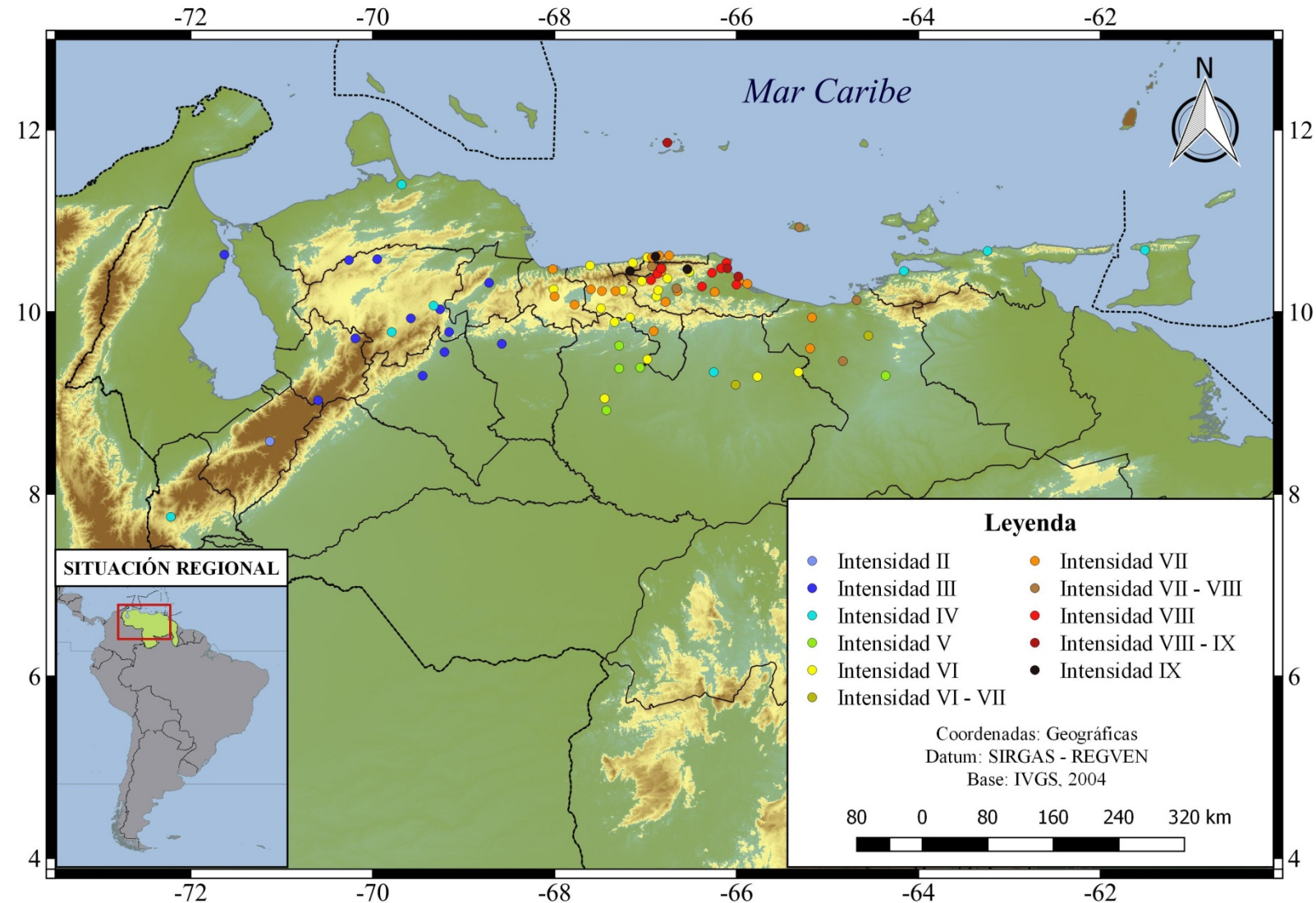
(Robinson *et al.*, 2006; Jaiswal *et al.*, 2009; Nguyen *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2018).

ANÁLISIS MACROSÍSMICO

-Se pudieron estimar intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada (1956) en 84 localidades, incluyendo a Trinidad.

-Las localidades más afectadas fueron aquellas ubicadas en los actuales estados **Miranda** y **Vargas**.

-Los mayores daños se concentraron en las poblaciones de **Guarenas**, **Guatire** y **Macuto**, en las cuales colapsaron varios edificios y se registraron las cifras más altas de víctimas.



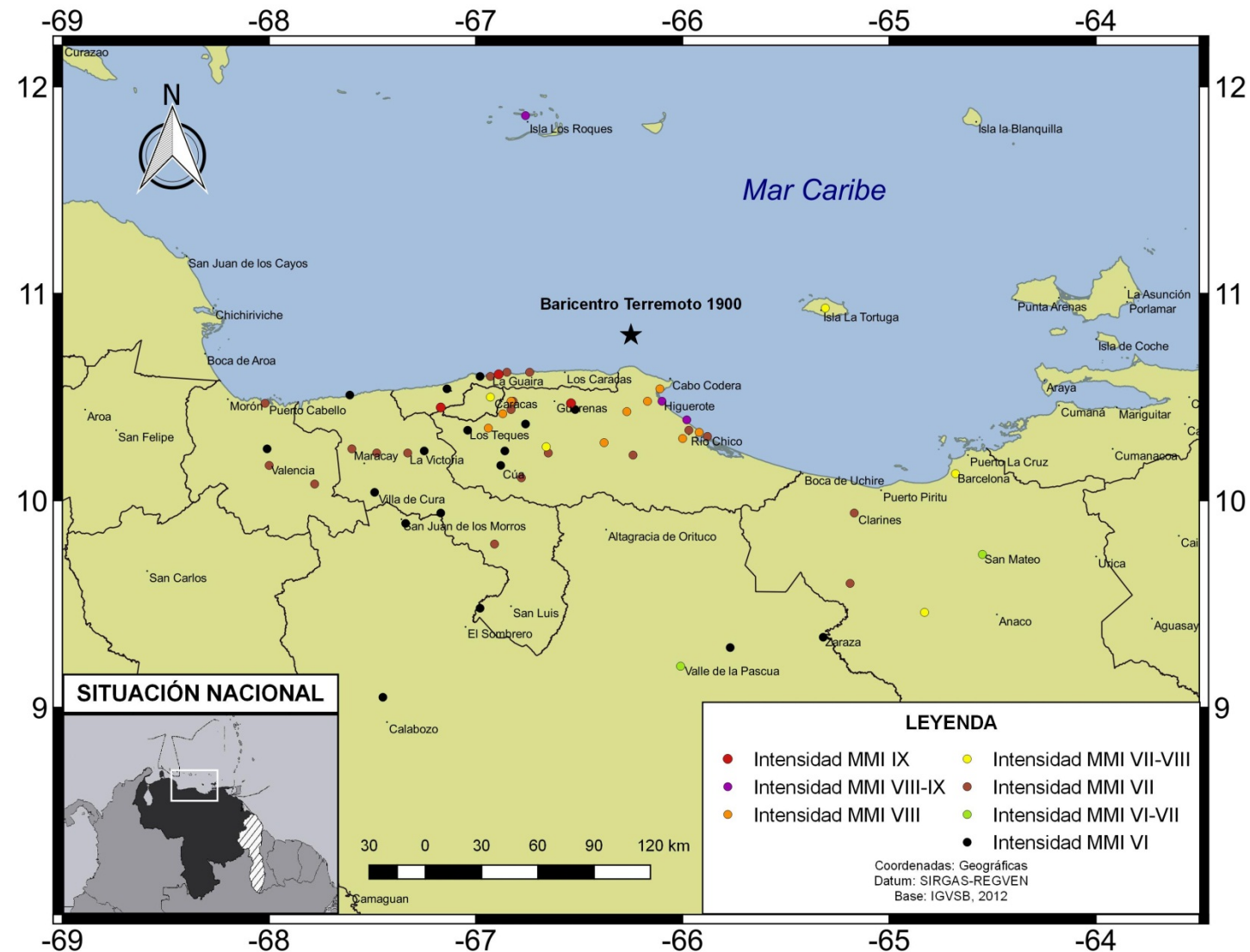
¿QUÉ NOS INTERESA SABER?

-El **Eje Caracas-Valencia** (una franja de unos 250 km de largo que se extiende desde Puerto Cabello hasta Guatire), concentra una gran parte de la actividad industrial, sanitaria, política, educativa, de investigación y económica del país.

-Es una región esencialmente urbanizada en una superficie aproximada de 129.950 km² y una alta densidad de población con unos 85 habitantes/km².

-De acuerdo a los resultados del censo realizado en el año 2011, contiene unos 11.067.679 habitantes, lo que representa un 40,6% de la población del país.

Negrón, 2001



Período de Retorno de los Terremotos

	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5
ZC	1 mes	4 meses	2 años	8 años	41 años	90 años
ZC-01	6 días	1 mes	1 año	6,1 años	45 años	122 años
ZC-02	1 mes	4 meses	2 años	8 años	40 años	87 años
ZC-03	15 días	3 meses	2 años	11 años	70 años	175 años
ZC-04	1 mes	4 meses	2 años	10 años	54 años	124 años

MÉTODO

El procedimiento seguido en nuestra investigación está basado en el método propuesto por Robinson *et al.* (2006) en el que el número de víctimas fatales o fallecidos producto de la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud N_k es una función de la distribución espacial de intensidades mayores o iguales a VI y la densidad de población actual.

$$\log N_k(D) = a(D) + b(D)M$$



D es la densidad de población de la región en estudio
 M es la magnitud del terremoto
 a y b son coeficientes definidos a nivel global (D).

$$N_k^i = W_i N_k(D)$$



El cálculo del número de víctimas fatales se realiza por **zona isoseismal i**
 $N_k(D)$ es obtenido de la ecuación anterior y
 W_i es una función de peso que depende de la distancia epicentral

$$W_i = \frac{1}{R_i^2 \sum_j \frac{1}{R_j^2}}$$



$R_{i,j}$ es el radio promedio de las áreas con intensidades i, j , siendo $i, j = VI, VII, \dots, XII$, medida en kilómetros

$$N_T = \sum_i N_k^i$$



El resultado final del número de fallecidos N_T será igual a esta sumatoria

RESULTADOS PARTE 1

Localidades afectadas por el terremoto de 1900 con intensidades MMI mayores o iguales a VI

Localidad		Ubicación Geográfica		Intensidad MMI	Población actual
Ciudad	Estado	Latitud(°)	Longitud(°)		
Guarenas	Miranda	10,47	-66,54	IX	209.987
Guatire	Miranda	10,47	-66,54	IX	151.140
Macuto	Vargas	10,61	-66,89	IX	20.033
Petaquire	Vargas	10,45	-67,17	IX	-
Los Roques	Dependencias Federales de Venezuela	11,86	-66,76	VIII-IX	1.471
Higuerote	Miranda	10,48	-66,10	VIII-IX	33.214
Paparo	Miranda	10,39	-65,98	VIII-IX	1.357
Baruta	Distrito Metropolitano de Caracas	10,42	-66,87	VIII	240.755
Puerto Tuy	Miranda	10,33	-65,92	VIII	-
Chacao	Distrito Metropolitano de Caracas	10,48	-66,83	VIII	61.213
Capaya	Miranda	10,43	-66,27	VIII	13.151
Carenero	Miranda	10,54	-66,11	VIII	-
Caucagua	Miranda	10,28	-66,38	VIII	27.948
Curiepe	Miranda	10,48	-66,17	VIII	11.876

RESULTADOS PARTE 2

- Las 59 localidades que sufrieron los mayores daños durante el terremoto de 1900 ocupan una superficie aproximada de 64.964 km² y su población es de unos 7.423.987 habitantes, por lo que la densidad de población es igual a 159 habitantes/km².
- De acuerdo a este resultado, se asume que los coeficientes a y b en la ecuación (1) son iguales a -3,22 y 0,92, respectivamente (Robinson *et al.*, 2006).
- Para el cálculo del número de víctimas se emplea el rango de intensidades MMI obtenidas para el terremoto de 1900 que van desde VI hasta un máximo de IX. A partir de la ubicaciones de estas ciudades, se obtienen los radios promedio (R) por región isoseismal (VI, VII, VIII y IX).
- A partir de estos radios: (1) la función de peso por distancia epicentral W_i y (2) número de fatalidades N_k .

Cálculo del número de víctimas fatales obtenido por zona isoseismal para el rango de intensidades MMI VI al IX

Intensidad MMI	Radio (R) (km)	R ² (km ²)	1/R ² (km ⁻²)	W_i	N_k
VII	116,2	13.509,41	0,00007402	0,1197	624
VIII	59,5	3.534,30	0,00028294	0,4577	2.384
IX	69,5	4.835,81	0,00020679	0,3345	1.743
VI	135,5	18.371,09	0,00005443	0,0881	459



$N_T = 5.210$ víctimas

7.423.987 habitantes en zonas con intensidades \geq VI MMI

CONCLUSIONES

- Se ha implementado una nueva metodología en Venezuela para la estimación del cálculo del potencial número de pérdida de vidas humanas en el caso de que ocurriera en la actualidad un terremoto con las mismas características de aquel en 1900.
- La metodología es de relativa fácil aplicación cuando se tiene disponible información: (1) la densidad de población actual y (2) los parámetros de la fuente del terremoto en estudio.

Aunque el resultado preliminar del cálculo de pérdidas humanas apunta hacia unas **5.210 víctimas** en la región de estudio, debemos considerar ciertos factores que pueden incrementar esta cifra:

- ❖ Esta metodología se aplica bajo la premisa de que las edificaciones contenidas en los asentamientos urbanos siguen las normas básicas de construcción sismorresistentes.
- ❖ No fue posible incorporar el número de habitantes de algunas localidades que forman parte de este estudio, pues no se encontró información en los boletines del INE sobre el censo realizado en 2011. Si D sobrepasa los 200 habitantes/km², entonces los coeficientes a y b serán respectivamente -3,15 y 0,97. Bajo estos nuevos valores, el número de pérdidas humanas podría incrementarse hasta unas **14.500 víctimas**.
- ❖ De igual modo, como el terremoto de 1900 es histórico, hay una incertidumbre en la estimación de su magnitud. Considerando esta incertidumbre, dicha magnitud podría estar en el rango 7,23 – 7,85 M_w . Si consideramos el umbral máximo posible, el número de pérdidas de vidas humanas podría también incrementarse hasta unas **10.000 víctimas**.

¡MUCHAS GRACIAS!

