

Reporte del sismo ocurrido el 09-09-2016 a las 23:28:09

Laboratorio de Ingeniería Sísmica
Instituto de Investigaciones en Ingeniería
Universidad de Costa Rica
Informe completo en www.lis.ucr.ac.cr

Preparado el 09-09-2016 a las 23:44 PM

1. Parámetros de la fuente

El epicentro del sismo del 09-09-2016 a las 23:28:09 se ubicó a unos 7.4 km al N de la localidad de Tierras Morenas de Aguirre, Puntarenas. Tuvo una magnitud momento (M_w) de 4.2 y ocurrió a 27.6 km de profundidad.

La figura 1 muestra la ubicación del epicentro sobre el mapa. Los triángulos de color verde corresponden a las 22 estaciones acelerográficas usadas para llevar a cabo el cálculo. Los datos de profundidad, longitud y latitud se muestran con sus respectivas incertidumbres. El valor del "Error RMS" indica de manera global que tan bueno es el ajuste de los parámetros (valores bajos indican un buen ajuste).

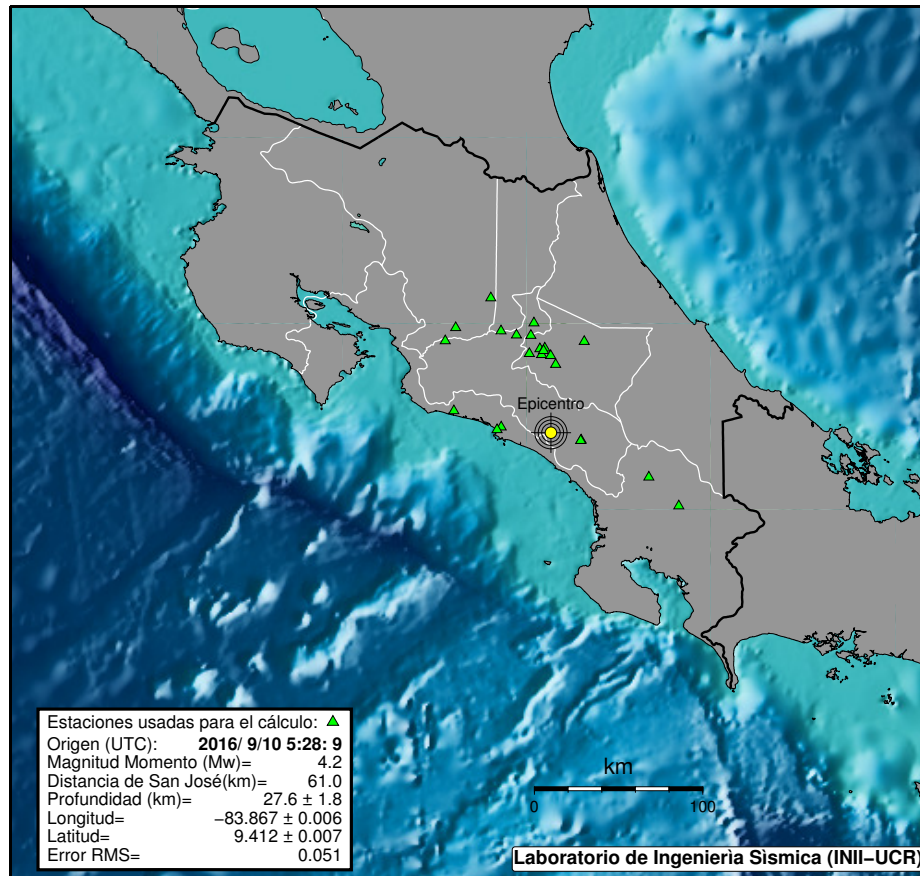


Figura 1. Mapa de ubicación del epicentro.

La figura 2 es un acercamiento de la zona epicentral. En ella se muestran las principales fallas activas de la zona (trazas de color rojo) así como los rasgos topográficos, principales carreteras y límites de provincias. Los nombres de las zonas pobladas más representativas también aparecen sobre el mapa.



Figura 2. Detalle de la zona epicentral

La distancia a la que se encuentra el epicentro de cada centro poblado de Costa Rica se calcula de manera automática. En la tabla 1 se pueden ver los cinco sitios más cercanos al epicentro en orden ascendente. También se muestra el número de habitantes que hay en cada uno.¹

Tabla 1. Ubicación del epicentro a los 5 sitios más cercanos.

Distancia del epicentro a cada centro de población	Número de habitantes.
7.4 km al N de Tierras Morenas de Aguirre, Puntarenas	52
11.6 km al O de Río Nuevo de Pérez Zeledón	3067
13.4 km al NE de Savegre de Aguirre	3326
14.1 km al O de Páramo de Pérez Zeledón	4511
15.8 km al ENE de Pasito de Savegre de Aguirre, Puntarenas	144

2. Aceleración

La aceleración se relaciona con la fuerza que causa que un cuerpo cambie de posición o velocidad. Es la misma fuerza que nos empuja hacia atrás cuando viajamos en un vehículo y este acelera o hacia adelante

¹Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2011)

cuando este se detiene. Sus unidades son m/s^2 ó cm/s^2 . En ingeniería sísmica, también se mide como fracción de "g". Un "g" es el valor de la aceleración de la gravedad terrestre ($1g = 980 \text{ cm/s}^2$).

La aceleración del suelo producida por un terremoto, tiene relación directa con la intensidad de la Escala de Mercalli Modificada (IMM)². Por convención, la IMM se escribe en números romanos que van del I al XII. El valor de I corresponde a un movimiento imperceptible (aceleración inferior a 1.7 cm/s^2), mientras que un valor de XII a un movimiento altamente destructivo (aceleraciones superiores a 1240 cm/s^2).

Los registros de aceleración son usados para elaborar mapas de respuesta inmediata ante emergencias, sirven para crear los códigos sísmicos o mejorar los existentes y entender el proceso de ruptura de los terremotos entre otros.

2.1. Valores máximos registrados

El valor de aceleración más alto fue registrado en la estación ubicada en INS, San Isidro de El General (código SISD) con 10.1 cm/s^2 . Esta estación se encuentra a 33.1 km de distancia del foco o hipocentro. Por lo general, la aceleración disminuye conforme aumenta la distancia al origen. Sin embargo, existen cierto tipo de condiciones especiales como los suelos blandos y accidentes topográficos que pueden hacer que el valor se amplifique.

Tabla 2. Estaciones con mayor valor de aceleración registrada.

Código	Aceleración (cm/s^2)	Distancia (km)	Sitio de la estación
SISD	10.1	33.1	INS, San Isidro de El General
SISH	7.1	33.0	Rg Brunca, S Isidro
SASR	5.9	61.7	Cruz Roja, Aserrí
SLPF	4.3	66.9	Sede UCR, San Pedro
CTOB	4.0	55.6	Escuela Tobosi
STCH	3.5	87.2	Clínica Turrubares
SIAC	3.2	59.9	Municipalidad, Acosta
PPAR	3.1	65.1	Bomberos Parrita
AFRA	3.1	91.2	Sede UCR, Fraijanes
CPAR	2.7	53.1	Sede UCR, Paraíso

La aceleración de 10.1 cm/s^2 corresponde a una intensidad en la escala de Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) de II-III. Esto significa que el movimiento en la zona pudo haberse caracterizado por ser una sacudida sentida especialmente en los pisos altos de los edificios. Los vehículos de motor estacionados podrían moverse ligeramente. La vibración podría sentirse como la del paso de un carro pesado.

En la figura 3, cada cuadro corresponde a una estación acelerográfica coloreada según el valor de la IMM mostrada en la parte inferior. Los cuadros de colores oscuros habrían experimentado mayores valores de aceleración y por tanto de intensidad sísmica. Los cuadros en color blanco serían aquellas en que el movimiento habría sido imperceptible para la población porque tendrían un valor de I en la escala de Mercalli.

²Ver equivalencias en <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/shakemap>

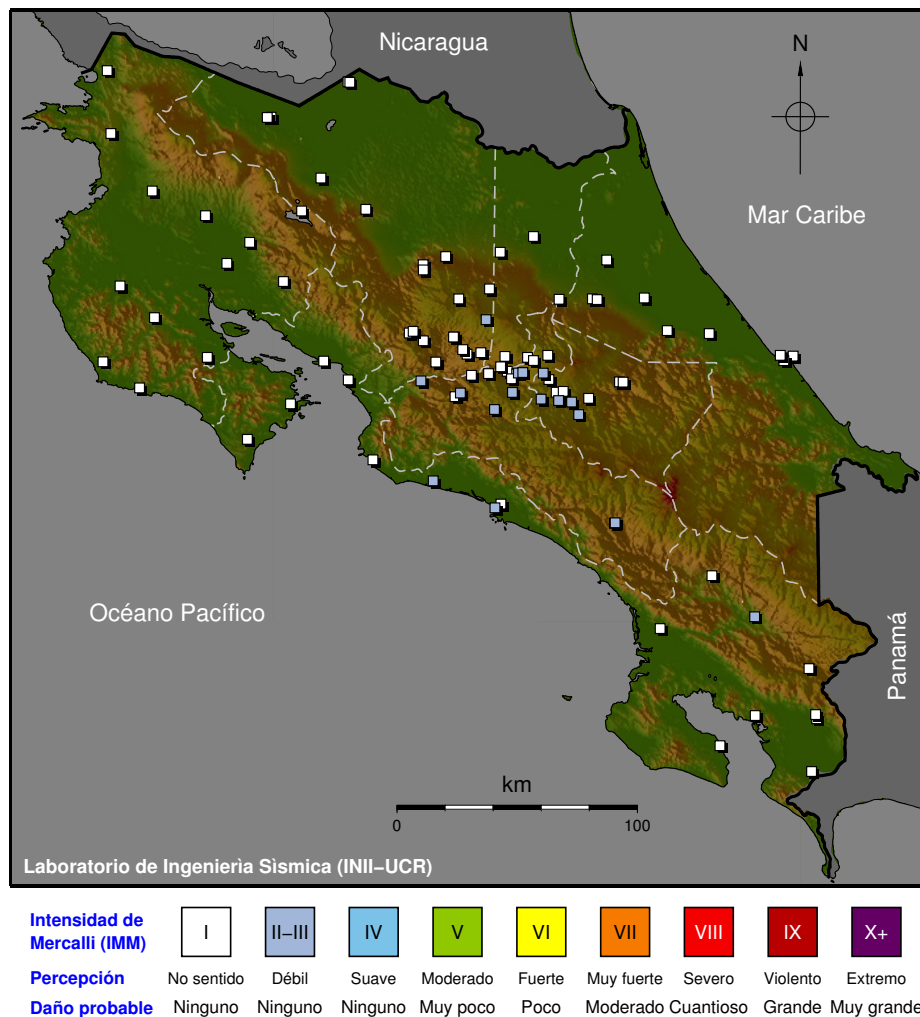


Figura 3. Valores de intensidad de Mercalli en los sitios de los acelerógrafos.

La "Percepción", que también se muestra en la leyenda, sería la forma en que las personas tenderían a dar un estimado de la fuerza del sismo de acuerdo con su apreciación del movimiento.

El "Daño probable" es el nivel de daño que se esperaría que se produjera por el terremoto. Valores de I hasta IV no deberían causar mayores problemas a las construcciones civiles que hayan sido edificadas según normas adecuadas.

3. Zonas de impacto

La información de la magnitud y ubicación del epicentro de la figura 1, junto con los valores de aceleración de la figura 3, se utilizan para calcular el mapa de intensidades sísmicas ³. Debido a esa razón, cerca del epicentro el valor de intensidad puede ser distinto al observado en la estación en el sitio INS, San Isidro de El General (SISD).

³Se usan las relaciones de atenuación para Costa Rica de "Avances para estudios del riesgo sísmico a escala regional y local: aplicación a América Central y Bahía de Cádiz (Sur de España)" en Tesis Doctoral por Víctor Schmidt

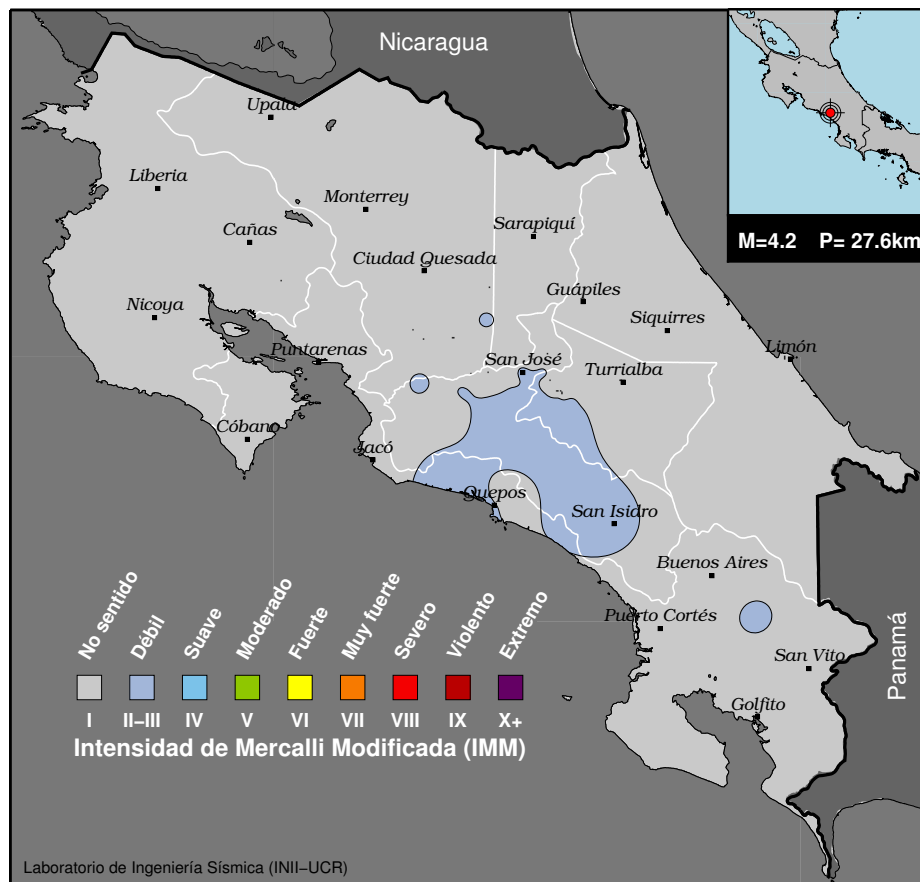


Figura 4. Mapa de intensidad de Mercalli derivado de los valores de aceleración.

A diferencia de la magnitud, la intensidad se relaciona con la percepción de las personas y el efecto en estructuras. Los valores bajos por lo general están asociados con la forma como las personas sintieron el sismo, mientras que los valores altos con la forma en que fue afectado el paisaje o las construcciones civiles. Nuevamente se sigue la misma escala de colores, siendo los más oscuros donde el movimiento fue más intenso.

3.1. Habitantes en la cercanía del epicentro

El mapa muestra las cabeceras de cada distrito del país coloreadas según el número de habitantes (en miles de personas) que estos poseen y su distancia al epicentro (estrella verde). En el gráfico de abajo aparece el valor acumulado que hay a intervalos de 25 km. La mayoría de la población (unas personas) se encontraban entre los y km de distancia del epicentro.

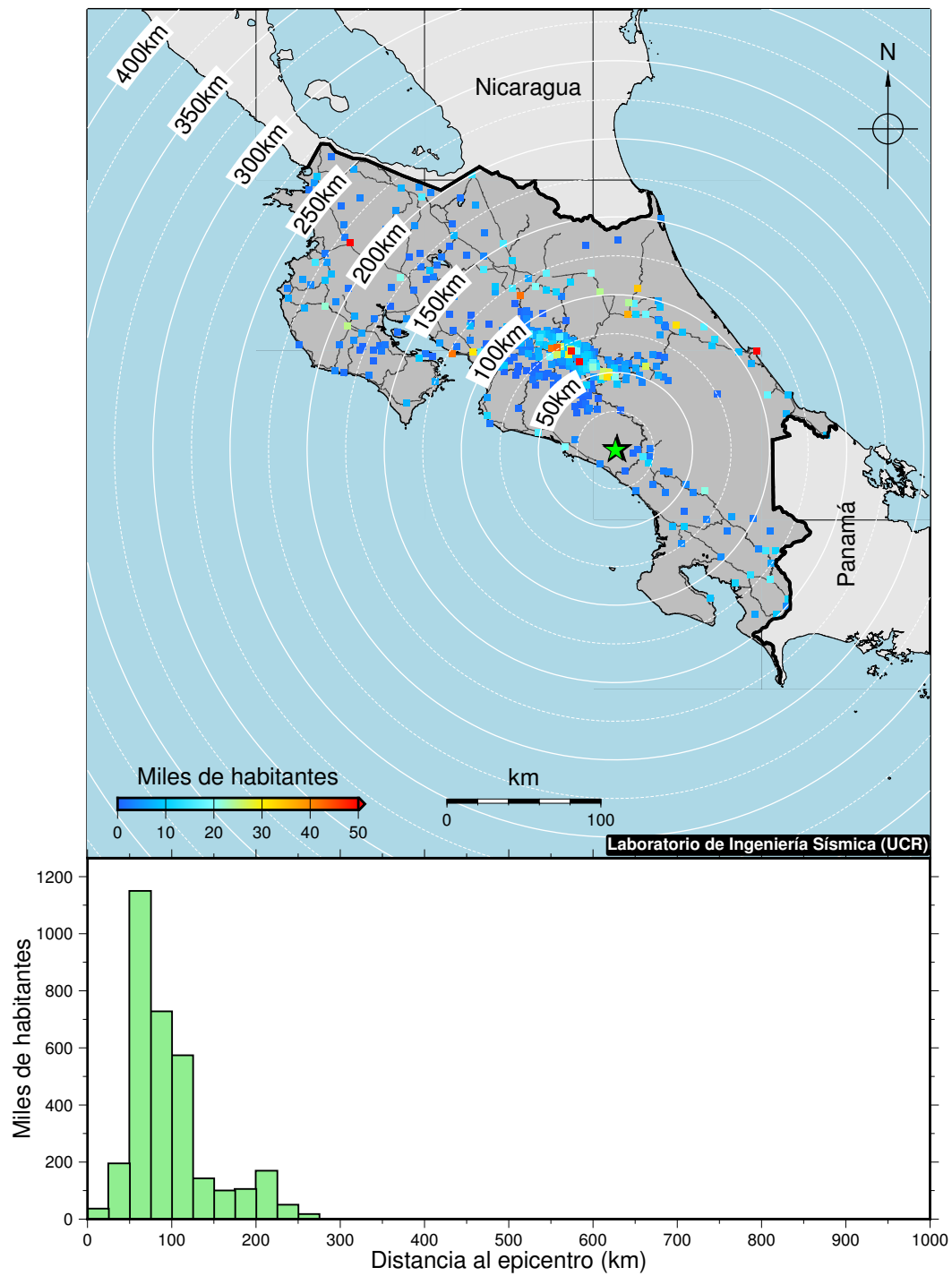


Figura 5. Número de habitantes a una distancia específica del epicentro.

3.2. Población expuesta

La figura siguiente es similar a la número 5, salvo que en este caso las cabeceras de los distritos se encuentran coloreadas según el grado de intensidad experimentado. Las líneas punteadas delimitan las zonas con igual valor de intensidad que se llaman isosistas. Las líneas blancas corresponden a la división administrativa por cantones.

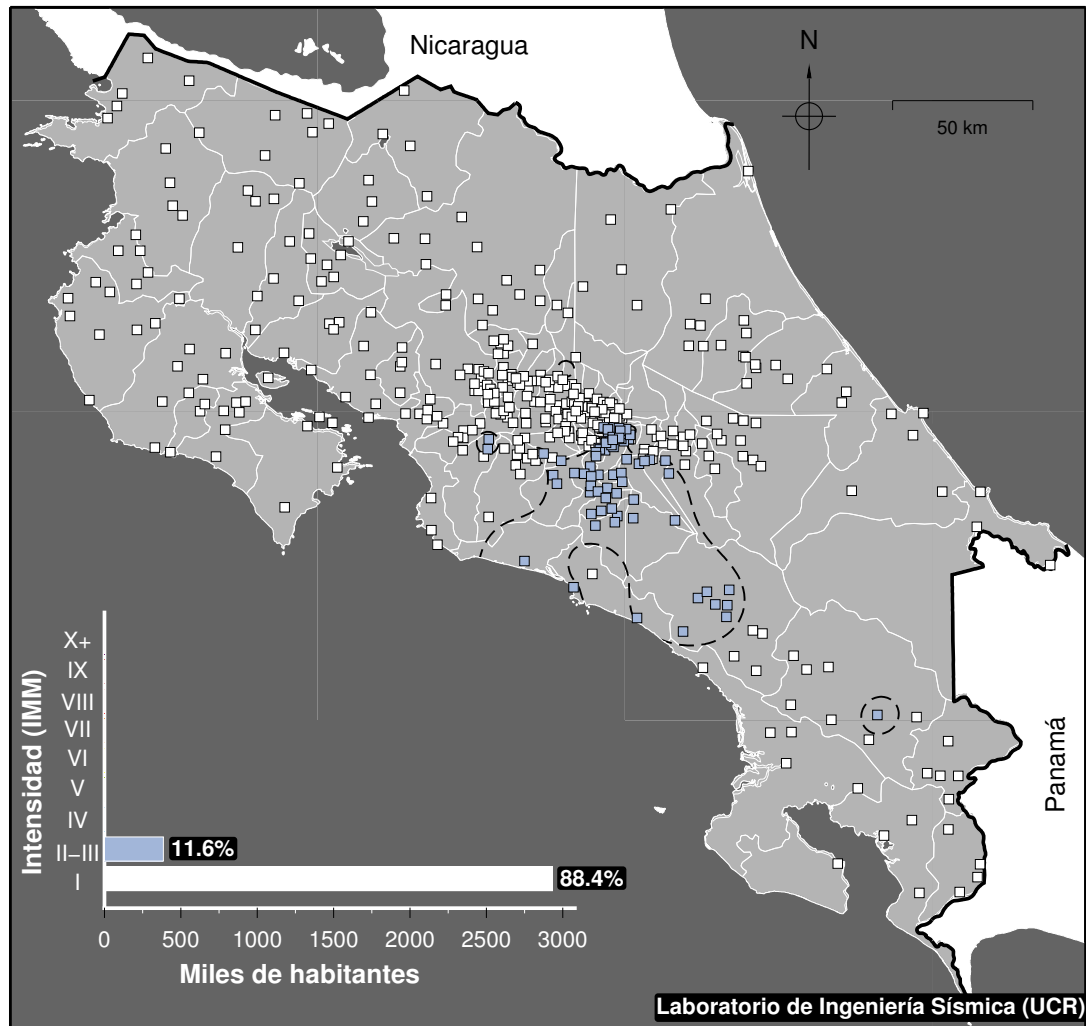


Figura 6. Población expuesta a diferentes grados de intensidad.

El número de habitantes de cada ciudad que haya tenido igual valor de intensidad se suma y el total (en miles de habitantes) se muestra en el gráfico inserto del mapa. Los números en los recuadros blancos corresponden al porcentaje de esos totales. Para este evento, unos 72 centros de población con aproximadamente 385546 personas se encontraban en la zona de intensidad de grado II-III en la escala de Mercalli. La ciudad más poblada de esas es Aguacaliente de CARTAGO con 31789 habitantes.

3.3. Cruz Roja

La Cruz Roja Costarricense es la entidad que más ha apoyado al LIS brindando espacio para la colocación de los acelerógrafos. Aquí se muestra la ubicación de todos los comités ⁴ y el grado de intensidad sísmica que pudieron haber experimentado según las zonas del mapa 4. En el recuadro aparece el total de comités por intensidad. Para este sismo, 16 comités pudieron haber experimentado una intensidad de grado II-III en Mercalli, mientras que 100 experimentaron un grado I en la misma escala.

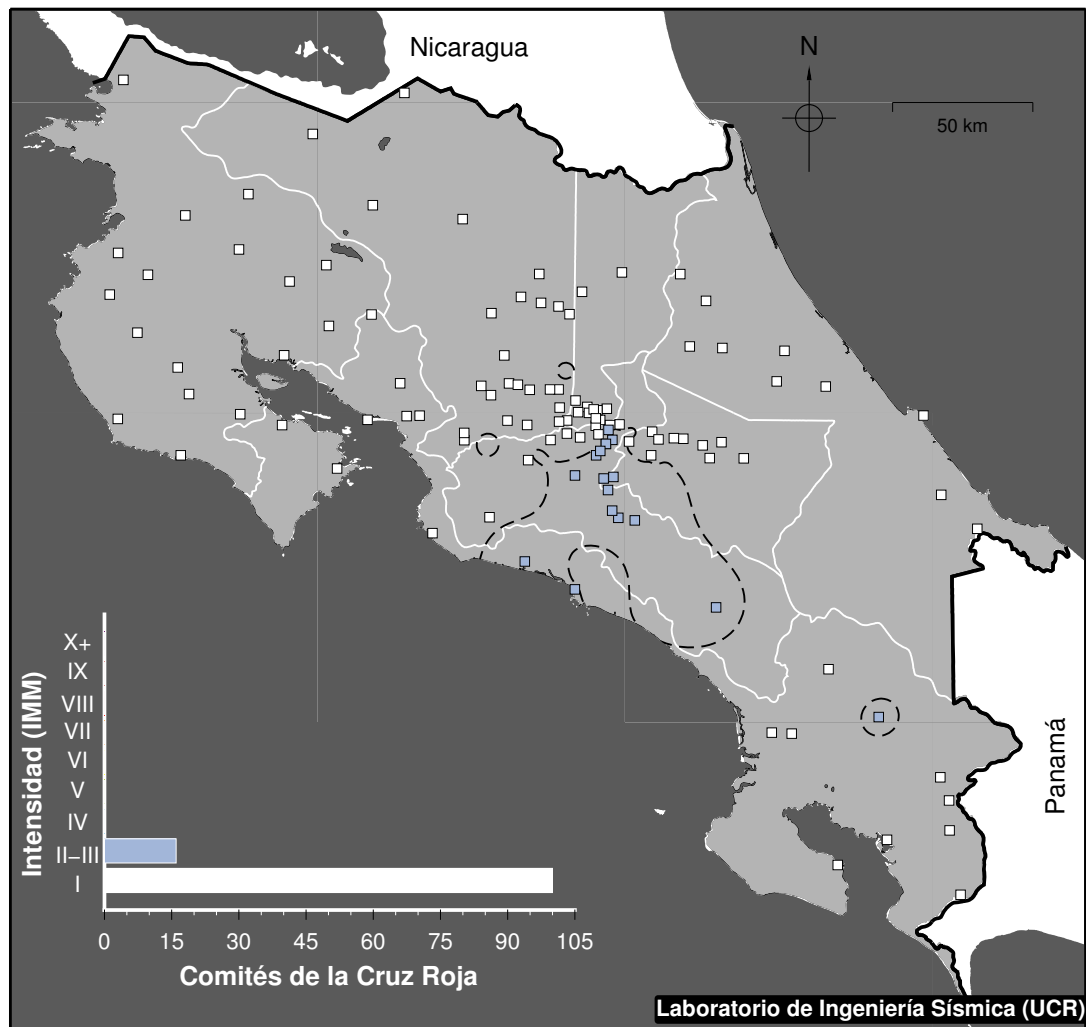


Figura 7. Comités de la Cruz Roja Costarricense expuestos a diferentes grados de intensidad sísmica.

La tabla 3 detalla el grado de intensidad en los sitios de la Cruz Roja. Los datos se ordenan de mayor a menor intensidad en dos columnas. Cuando diferentes sitios tienen asignado un mismo valor, estos se ordenan alfabéticamente. Un mismo sitio podría aparecer dos veces en la tabla por encontrarse cerca del límite entre dos grados de intensidad.

⁴Ubicación tomada del sitio web <http://www.cruzroja.or.cr>

Tabla 3. Valores de intensidad en los Comités de la Cruz Roja Costarricense debidos al sismo de Mw 4.2 del 09-09-2016 a las 23:28:09.

[II-III]	Acosta	[I]	León XIII, Tibás
[II-III]	Aserri	[I]	Liberia
[II-III]	Corralillo	[I]	Limón
[II-III]	Curridabat	[I]	Llano Grande, Cartago
[II-III]	Desamparados	[I]	Los Chiles, Alajuela
[II-III]	Frailes, Desamparados	[I]	Metropolitano
[II-III]	Guadalupe	[I]	Miramar, Montes de Oro
[II-III]	Parrita	[I]	Moravia
[II-III]	Pérez Zeledón	[I]	Nandayure
[II-III]	Potrero Grande, Buenos Aires	[I]	Naranjo
[II-III]	Quepos, Aguirre	[I]	Nicoya
[II-III]	San Juan de Dios de Desamparados	[I]	Nosara, Nicoya
[II-III]	San Juan Sur, Desamparados	[I]	Orotina
[II-III]	San Marcos de Tarrazú	[I]	Pacayas, Alvarado
[II-III]	San Pablo León Cortés	[I]	Palmar Norte, Osa
[II-III]	Santa María de Dota	[I]	Palmares
[I]	Aguabuena, Coto Brus	[I]	Paquera, Puntarenas
[I]	Aguas Zarcas, San Carlos	[I]	Pital, San Carlos
[I]	Alajuela	[I]	Puerto Jiménez, Golfito
[I]	Atenas	[I]	Puerto Viejo, Sarapiquí
[I]	Bagaces	[I]	Puntarenas
[I]	Barranca, Puntarenas	[I]	Puriscal
[I]	Barva, Heredia	[I]	Río Cuarto, Grecia
[I]	Batán, Matina	[I]	Sabanilla
[I]	Belén de Carrillo	[I]	San Antonio, Belén
[I]	Buenos Aires , Puntarenas	[I]	San Isidro, Heredia
[I]	Cañas	[I]	San Joaquín, Flores
[I]	Cariari, Pococí	[I]	San Mateo
[I]	Cartagena, Santa Cruz	[I]	San Miguel de Sarapiquí
[I]	Cartago	[I]	San Pablo, Heredia
[I]	Ciudad Colón, Mora	[I]	San Pedro de Poás
[I]	Ciudad Cortés	[I]	San Rafael de Alajuela
[I]	Ciudad Neily, Corredores	[I]	San Rafael, Heredia
[I]	Ciudad Quesada, San Carlos	[I]	San Ramón Alajuela
[I]	Colorado, Abangares	[I]	San Vito, Coto Brus
[I]	Coronado	[I]	Santa Ana
[I]	Desamparados	[I]	Santa Bárbara
[I]	El Carmen, Siquirres	[I]	Santa Cruz, Guanacaste
[I]	El Porvenir, La Rita de Pococí	[I]	Santa Elena, Monteverde
[I]	Escazú	[I]	Santa Rosa , Oreamuno
[I]	Esparza	[I]	Santa Rosa de Pocosol, San Carlos
[I]	Filadelfia, Carrillo	[I]	Santo Domingo
[I]	Golfito	[I]	Sarchí, Valverde Vega
[I]	Grecia	[I]	Sardinal, Carrillo
[I]	Guácimo	[I]	Siquirres, Limón
[I]	Guápiles, Pococí	[I]	Talamanca, Limón
[I]	Guatuso, Alajuela	[I]	Tierra Blanca
[I]	Guayabo de Bagaces	[I]	Tilarán
[I]	Heredia	[I]	Tres Ríos, La Unión
[I]	Hojancha	[I]	Tucurrique, Jiménez
[I]	Ipís, Goicoechea	[I]	Turrialba
[I]	Jacó, Garabito	[I]	Turrúcares
[I]	Jicaral	[I]	Upala, Alajuela
[I]	Juan Viñas, Jiménez	[I]	Valle de la Estrella, Limón
[I]	La Cruz	[I]	Venecia, San Carlos
[I]	La Gloria de Puriscal	[I]	Zarcero, Alfaro Ruiz
[I]	La Suiza, Turrialba		
[I]	La Virgen, Sarapiquí		
[I]	Las Juntas, Abangares		
[I]	Laurel, Corredores		

3.4. Bomberos

Otro de las entidades de atención de emergencias que es muy importante es el Cuerpo de Bomberos. Aquí se muestra la ubicación de estos ⁵ y el grado de intensidad sísmica que pudieron haber experimentado según la zona del mapa 4. En el recuadro aparece el total de estaciones de bomberos por intensidad. Para este sismo, 8 estaciones de los bomberos pudieron haber experimentado una intensidad de grado II-III en Mercalli, mientras que 55 experimentaron un grado I en la misma escala.

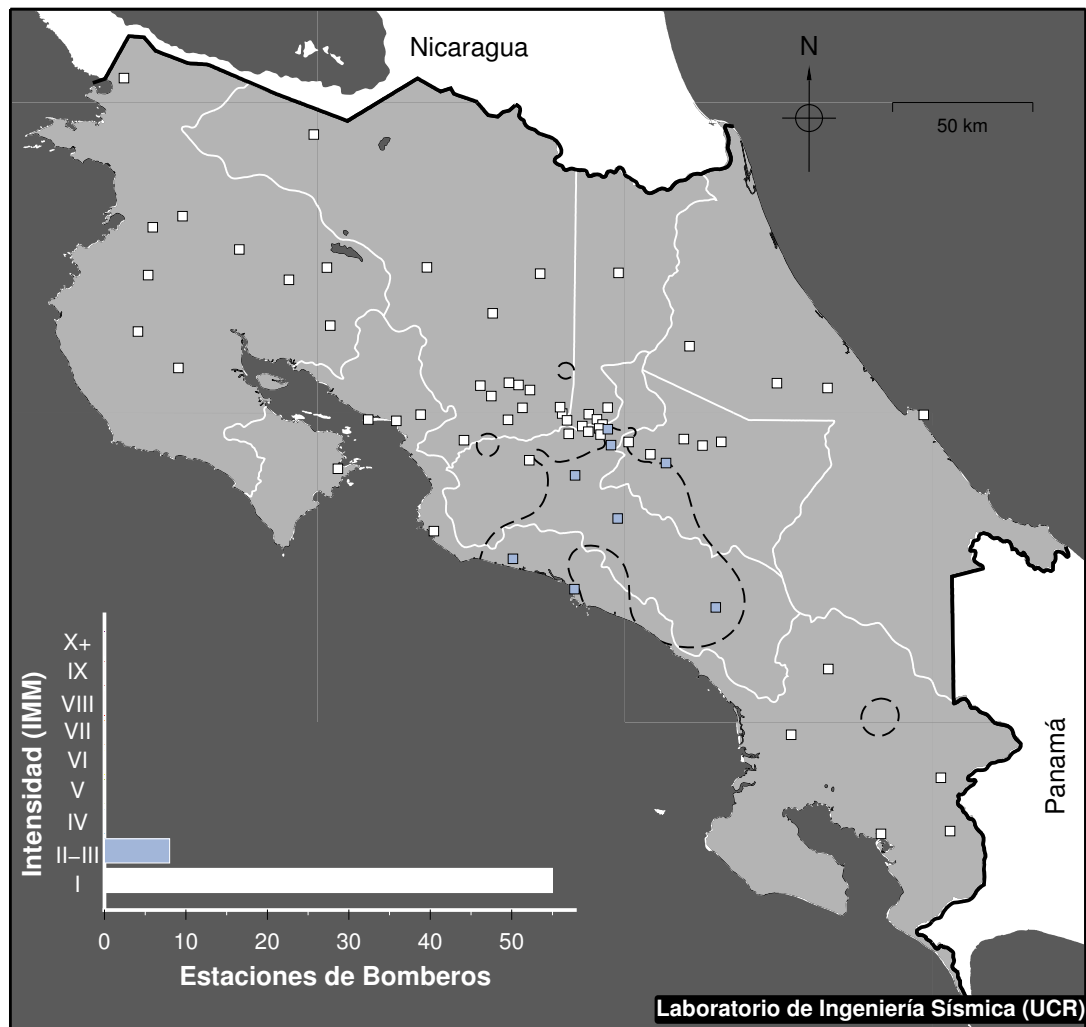


Figura 8. Estaciones del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica expuestas a diferentes grados de intensidad sísmica.

⁵Ubicación tomada del sitio web <http://www.bomberos.go.cr>

En la tabla 4 se listan los sitios de los bomberos. Las estaciones de San Vito, Puriscal, Ciudad Neily y Quepos son las únicas que cuentan con un acelerógrafo. Los sitios de Quepos y Puriscal son los que han tenido un acelerógrafo instalado durante más tiempo. Un mismo sitio podría aparecer dos veces en la tabla por encontrarse cerca del límite entre dos grados de intensidad.

Tabla 4. Valores de intensidad en estaciones del Cuerpo de Bomberos debidos al sismo de Mw 4.2 del 09-09-2016 a las 23:28:09.

[II-III] Paraíso	[I] Tilarán de Tilarán
[II-III] Parrita	[I] Las Juntas de Abangares
[II-III] Quepos de Aguirre	[I] Nicoya de Nicoya
[II-III] Guadalupe	[I] Santa Cruz de Santa Cruz
[II-III] Damas de Desamparados	[I] Filadelfia
[II-III] San Ignacio de Acosta	[I] Guápiles de Pococí
[II-III] San Marcos de Tarrazú	[I] Siquirres de Siquirres
[II-III] San Isidro de El General	[I] Batán de Matina
[I] Aeropuerto Juan Santamaría	[I] Limón de Limón
[I] Atenas	[I] Coronado
[I] Orotina	[I] San Juan de Tibás
[I] Poás	[I] Barrio México
[I] San Ramón	[I] San José Centro
[I] Pital de San Carlos	[I] Santa Ana
[I] Quesada de San Carlos	[I] Aeropuerto Tobías Bolaños
[I] Grecia	[I] Pavas de San José
[I] Sarchí Norte de Valverde Vega	[I] Santiago de Puriscal
[I] Alajuela Centro	
[I] Naranjo	
[I] Palmares de Palmares	
[I] La Fortuna de San Carlos	
[I] Upala	
[I] San Antonio de Belén	
[I] Heredia Centro	
[I] Santo Domingo	
[I] Puerto Viejo de Sarapiquí	
[I] Juan Viñas de Jiménez	
[I] Turrialba de Turrialba	
[I] Pacayas	
[I] Tres Ríos	
[I] Cartago Centro	
[I] Puntarenas Centro	
[I] Jacó de Garabito	
[I] Paquera de Puntarenas	
[I] Buenos Aires de Buenos Aires	
[I] Palmar de Osa	
[I] El Roble de Puntarenas	
[I] Esparza	
[I] San Vito de Coto Brus	
[I] Ciudad Neily	
[I] Golfito	
[I] La Cruz de La Cruz	
[I] Liberia de Liberia	
[I] Aeropuerto Liberia	
[I] Bagaces	
[I] Cañas	

3.5. Hospitales de la CCSS

La Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) cuenta con 10 acelerógrafos que se encuentran distribuidos entre centros hospitalarios y administrativos de esa entidad. En este mapa se muestra la ubicación de los principales centros hospitalarios de la CCSS⁶ y la de los centros administrativos y de salud que albergan un acelerógrafo como los Ebais de Ciudad Colón y el de San Rafael de Oreamuno y la Clínica de Hatillo.

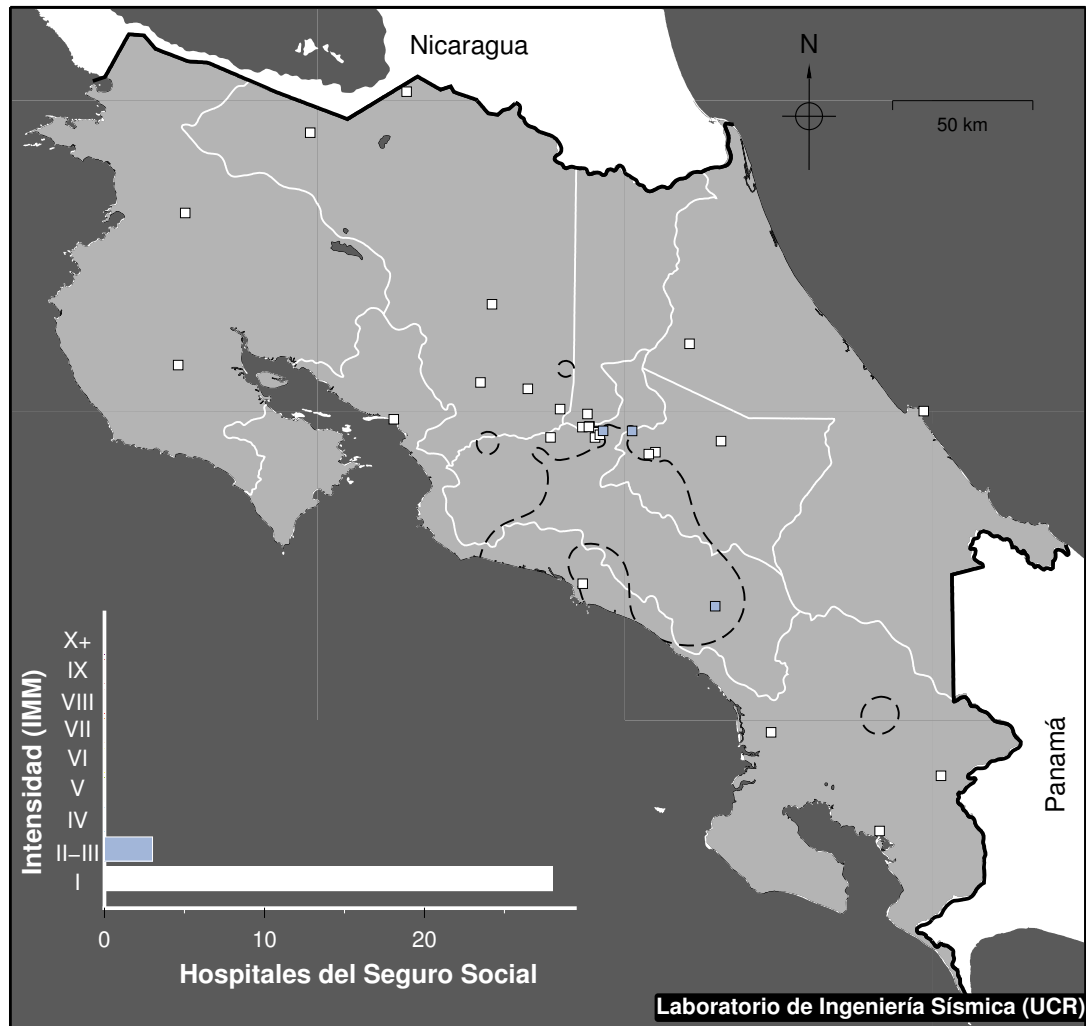


Figura 9. Hospitales de la CCSS expuestos a diferentes grados de intensidad sísmica.

Durante la ocurrencia de este sismo, 3 centros de salud pudieron haber experimentado una intensidad de grado II-III en Mercalli, mientras que 28 experimentaron un grado I en la misma escala. Un mismo sitio podría aparecer dos veces en la tabla por encontrarse cerca del límite entre dos grados de intensidad.

⁶Según la información suministrada en el sitio http://www.ccss.sa.cr/lista_hospitales

Tabla 5. Valores de intensidad en varios de los centros hospitalarios de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) debidos al sismo de Mw 4.2 del 09-09-2016 a las 23:28:09.

[II-III]	Hospital Rafael Angel Calderón Guardia de San José
[II-III]	Hospital Roberto Chacón Paut de Tres Ríos, Cartago
[II-III]	Hospital Escalante Pradilla de San Isidro de Pérez Zeledón
[I]	Hospital México de San José
[I]	Hospital San Juan de Dios de San José
[I]	Hospital Nacional de Niños Carlos Sáenz Herrera de San José
[I]	Hospital Psiquiátrico Manuel Antonio Chapuí de Pavas
[I]	Hospital de Geriátría Gerontología Raúl Blanco Cervantes de San José
[I]	Hospital de San Carlos de Ciudad Quesada, Alajuela
[I]	Hospital Tony Facio de Limón
[I]	Hospital Monseñor Sanabria de Puntarenas
[I]	Hospital San Rafael de Alajuela de Alajuela
[I]	Hospital Enrique Baltodano de Liberia, Guanacaste
[I]	Hospital Max Terán de Quepos de Aguirre, Puntarenas
[I]	Hospital William Allen de Turrialba, Cartago
[I]	Centro Nacional de Rehabilitación Humberto Araya Rojas de San José
[I]	Ebais Ciudad Colón de Ciudad Colón de Mora, San José
[I]	Clínica de Hatillo de Hatillo, San José
[I]	San Rafael de Oreamuno de Oreamuno, Cartago
[I]	Hospital Manuel Mora Valverde de Golfito, Puntarenas
[I]	Hospital de San Vito de San Vito, Puntarenas
[I]	Hospital Tomás Casas Casajús de Ciudad Cort{e}s de Osa, Puntarenas
[I]	Hospital Carlos Luis Valverde Vega de San Ramón, Alajuela
[I]	Hospital San Francisco de Asís de Grecia, Alajuela
[I]	Hospital San Vicente de Paúl de Heredia
[I]	Hospital Max Peralta Jiménez de Cartago
[I]	Hospital de La Anexión de Nicoya, Guanacaste
[I]	Hospital de Upala de Upala, Alajuela
[I]	Hospital de Guápiles de Guápiles, Limón
[I]	Hospital de Los Chiles de Los Chiles, Alajuela
[I]	Hospital de las Mujeres Adolfo Carit Eva de San José

3.6. Estaciones de RECOPE

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) posee cinco acelerógrafos instalados en los sitios de Moín, Turrialba, El Alto, La Garita y Barranca. En el mapa de la figura 10 se muestra la ubicación de cada uno de ellos. También aparece el valor de la aceleración máxima registrada por cada equipo al momento del sismo en cm/s^2 . El sitio con mayor aceleración fue con un total de cm/s^2 .

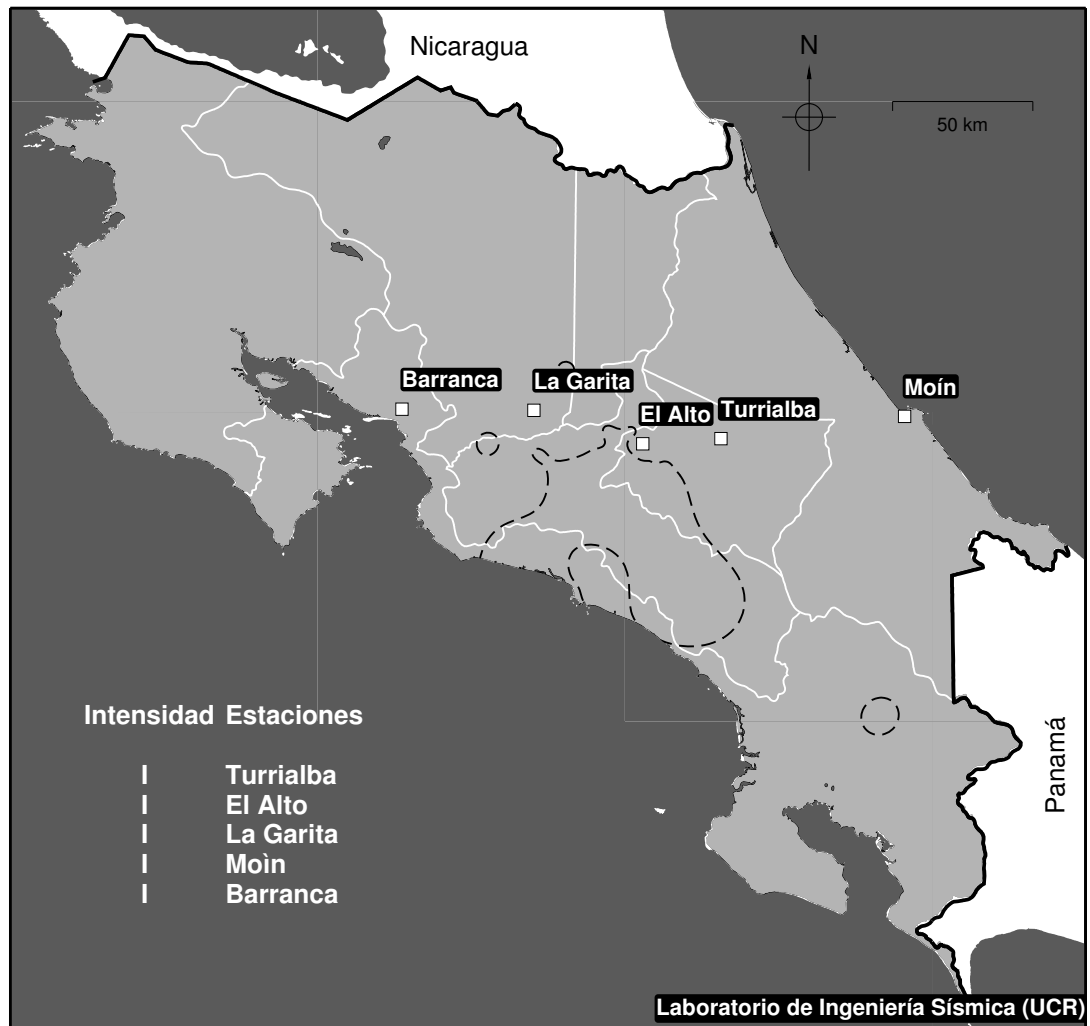


Figura 10. Estaciones de RECOPE expuestas a diferentes grados de intensidad sísmica y su correspondiente valor de aceleración máxima registrada en cada lugar.

4. Instituciones que colaboran con la red acelerográfica del LIS

El programa de Monitoreo de Sismos Fuertes en Costa Rica es posible gracias a la colaboración de las siguientes instituciones públicas y privadas.

- Acueducto de Naranjo en Laurel de Corredores (1)
- Area de Conservación de Guanacaste, Parque Nacional Santa Rosa (1)
- Asociación Cristiana la Casa del Pan (1)
- Asociación Integral de Desarrollo de Monterrey (1)
- Banco Central de Costa Rica en Museos (1)
- Biblioteca Pública de Atenas (1)
- Biblioteca Pública David Kitson de Nosara (1)
- Biblioteca Pública de Cartago (1)
- Biblioteca Pública Municipal de Ciudad Quesada (1)
- Biblioteca Pública Municipal de Cañas (1)
- Caja Costarricense del Seguro Social (10)
- Ciudad de los Niños, Agustinos Recoletos (1)
- Colegio Técnico Profesional de Aguas Zarcas (1)
- Colegio Técnico Profesional de Cóbano (1)
- Colegio Técnico Profesional de Orosi (1)
- Colegio Técnico Profesional de Puerto Jiménez (1)
- Colegio Técnico Profesional de Talamanca (1)
- Comisión Nacional de Emergencias, Pavas (1)
- Consultoría Técnica para Diseño y Edificios en San Miguel de Heredia (1)
- Cruz Roja Costarricense (14)
- Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (4)
- Escuela Cecilio Piedra Gutiérrez de Frailes (1)
- Escuela Guatuso, Patarrá (1)
- Escuela-Liceo María Auxiliadora de San José (1)
- Holcim Costa Rica S.A. en Cartago (1)
- Ingenio Taboga S.A. (1)
- Represa de Cachí (1)
- Instituto Costarricense del Deporte (ICODER) en La Sabana (1)

- Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP) en Caldera (1)
- Instituto Nacional de Seguros (INS) (4)
- Junta de Administración Portuaria y Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA) (1)
- Liceo de Cascajal de Coronado (1)
- Liceo de Santa Cruz de Guanacaste (1)
- Liceo Experimental Biling. Nuevo Arenal, Arenal (1)
- Municipalidad de Buenos Aires (1)
- Municipalidad de Nandayure (1)
- Municipalidad de Sarapiquí (1)
- Municipalidad de Upala (1)
- Municipalidad de Puerto Cortés (1)
- Saint Jude High School (1)
- Teatro Nacional (1)
- Tecnológico de Costa Rica (1)
- Universidad de Costa Rica (13)
- Zona Franca El Coyoil de Alajuela (1)

Así mismo, la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) cuenta con 5 acelerógrafos digitales en los sitios de refinería y estaciones de bombeo cuya información forma parte de esta red.