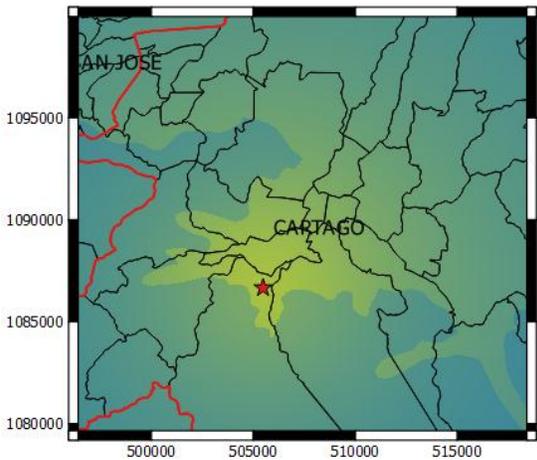
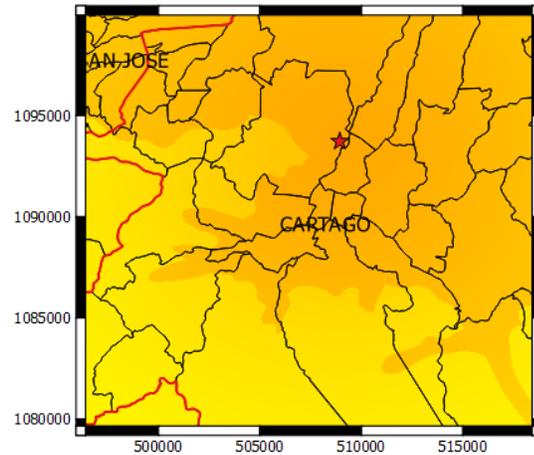
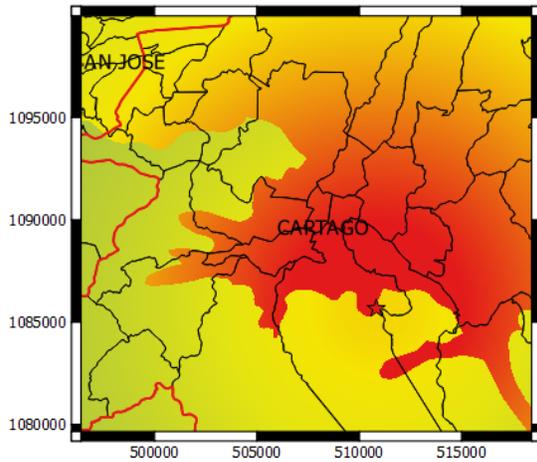


Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Cartago en los Distritos Oriental y Occidental, Costa Rica



CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Sonia Vargas Calderón, Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Adrián Chaverri Coto, Ing. Braulio Umaña Quirós, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Sonia Vargas

Ing. Sonia Vargas Calderón.
En representación del Director

AC

Ing. Adrián Chaverri Coto.
Profesor Lector

Gustavo Rojas

Ing. Gustavo Rojas Moya.
Profesor Guía

Braulio E. Umaña Q.

Ing. Braulio Umaña Quirós.
Profesor Observador

Abstract

Historically the city of Cartago has been greatly affected, even it has been destroyed on two occasions product of earthquakes, which they have killed hundreds of people. The first of these occurred in 1841, while the second occurred in 1910. Both events associated with the seismic fault of Agua Caliente. Because of the historical seismicity than suffers, it is determined that the failure of Agua Caliente is the main source of threat to the city of Cartago. To assess the seismic vulnerability of the buildings in the area, before it was necessary to conduct a study of seismic hazard for the three seismic scenarios were presented using the method deterministic, describing the potential for seismic fault. Seismic hazard maps were made in QGIS (2015), using motion intensity parameter acceleration and attenuation equation as proposed by Climent et. (1994). For stage 1 of peak accelerations they were obtained $5,29 \text{ m/s}^2$, For stage 2 the $3,35 \text{ m/s}^2$ and also for the stage 3 the $2,22 \text{ m/s}^2$. Intensities were instrumental VIII, VII and VI respectively for each scenario. A visual inspection was conducted to classify buildings as one of the types of report (ENR-CAPRA, T2-5). Seven types in total are obtained, using QGIS (2015) seismic vulnerability maps are made by evaluating seismic vulnerability functions defined by the report (ENR-CAPRA, T2-5). Finally seismic vulnerability maps are obtained in terms of % damage to each building.

Keywords: Deterministic method, attenuation seismic hazard, seismic vulnerability, maps, damage.

Resumen

Históricamente la Ciudad de Cartago ha sido muy afectada, incluso ha sido destruida en dos ocasiones producto de terremotos, los cuales han provocado la muerte de cientos de personas. El primero de estos ocurrió en 1841, mientras que el segundo ocurrió en 1910. Ambos eventos asociados a la falla de Agua Caliente. Debido a la sismicidad histórica y reciente, se determina que la falla de Agua Caliente es la principal fuente de amenaza para la Ciudad de Cartago. Para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la zona, antes fue necesario realizar un estudio de la amenaza sísmica, para esto se plantearon tres escenarios sísmicos utilizando el método determinístico, que describen el potencial de la falla. Se realizaron mapas de amenaza sísmica en QGIS (2015), utilizando como parámetro de intensidad de movimiento la aceleración y como ecuación de atenuación, la propuesta por Climent et al (1994). Se estudiaron tres escenarios, para el primero se obtuvieron aceleraciones máximas de $5,29 \text{ m/s}^2$, para el segundo de $3,35 \text{ m/s}^2$ y para el tercero de $2,22 \text{ m/s}^2$. Las intensidades instrumentales fueron de VIII, VII y VI para cada escenario respectivamente. Se realizó una inspección visual para clasificar las edificaciones según las tipologías del informe (ENR-CAPRA, T2-5). Se obtienen 7 tipologías en total, con ayuda de QGIS (2015) se realizan mapas de vulnerabilidad sísmica, evaluando las funciones de vulnerabilidad sísmica definidas en (ENR-CAPRA, T2-5). Finalmente se obtienen mapas de vulnerabilidad sísmica en términos del %Daño para cada edificación.

Palabras claves: Método determinístico, atenuación, amenaza sísmica, vulnerabilidad sísmica, mapas, daño.

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Cartago en los Distritos Oriental y Occidental, Costa Rica

JUAN CARLOS VILLANUEVA VALVERDE

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Febrero del 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Abstract.....	0
Resumen	0
Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	7
Marco Teórico.....	10
DETERMINACIÓN ZONA DE ESTUDIO	10
SISMICIDAD Y TECTÓNICA	13
AMENAZA SÍSMICA	29
VULNERABILIDAD.....	32
Metodología	45
AMENAZA SÍSMICA	45
VULNERABILIDAD SÍSMICA	49
Resultados.....	57
MAPAS DE AMENAZA SÍSMICA	57
MAPAS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	67
Análisis de Resultados	95
MAPAS DE AMENAZA SÍSMICA	95
MAPAS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	96
Conclusiones	100
Recomendaciones	102
Apéndices	103
APÉNDICE 1	104
APÉNDICE 2	108
APÉNDICE 3	115
APÉNDICE 4	129
APÉNDICE 5	133
Anexos.....	135
ANEXO 1.....	136
ANEXO 2.....	137
ANEXO 3.....	139
ANEXO 4.....	140
Referencias.....	142

Prefacio

Costa Rica es un país altamente sísmico principalmente por su ubicación, nos encontramos dentro de la zona de subducción de las placas Cocos y Caribe a lo largo de la Fosa Mesoamericana en el margen pacífico, a lo interno del territorio existe un complejo sistema de fallas que lo atraviesa, y además contamos con un sistema montañoso joven, con varios volcanes activos.

Siendo estas las tres principales fuentes de sismicidad en nuestra región, varios sismos destructivos han afectado nuestro país a lo largo de su historia, entre los más desastrosos están los terremotos que han destruido la Ciudad de Cartago, el primero de ellos en 1841 y el segundo en 1910. El último de ellos además de dejar en ruinas la ciudad, dejó un saldo 700 muertos.

Dichos eventos son asociados a la actividad sísmica de la falla de Agua Caliente, la cual se estima posee un potencial de generar sismos de una magnitud de hasta 6,5 Mw. La cual tiene su ubicación muy cerca de la Ciudad de Cartago.

Por dichas razones es la principal fuente de amenaza sísmica para la Ciudad de Cartago y poblados aledaños, en los últimos años la población en la provincia de Cartago ha crecido significativamente.

Y los principales distritos donde se ha asentado dicha población, son los distritos oriental y occidental.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) del censo 2011, dichos distritos son los que poseen la mayor cantidad de habitantes y viviendas, sus densidades varían entre los 5000-6000 hab/km², mientras que las viviendas se encuentran entre las 1500-2000 viv/km².

Por la gran cantidad de personas aglomeradas en esta zona, como por la gran amenaza sísmica que posee, y por su historia, será indispensable evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago.

Estudios de este tipo son necesarios e indispensables para instituciones como las municipalidades, encargadas del ordenamiento territorial, y las cuales en muchos casos también regulan el uso del suelo.

Para la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), institución encargada de la mitigación y prevención de desastres naturales, estudios de este tipo son necesarios para definir planes de protección y prevención en casos de terremotos.

Así como para definir las medidas necesarias para atender una eventual catástrofe, tratando de mitigarla lo más posible.

Además al evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la zona, se podrán confeccionar mapas en donde se muestren que zonas son más vulnerables que otras, así como tipos de edificaciones que no sean adecuadas para resistir las acciones de un sismo.

Como objetivo principal, un estudio de este tipo pretende poner en evidencia los sistemas estructurales existentes, así como los utilizados en la zona de estudio, y de este modo determinar cuáles de estos son más vulnerables, e incluso si ante un eventual sismo se espera el colapso o daño severo de ciertas estructuras en particular, peligrando la vida de sus ocupantes. De este modo poder tomar medidas acertadas y a tiempo para evitar en la medida de lo posible la pérdida de vidas humanas.

Mi agradecimiento es para los profesores de la Escuela de Ingeniería en Construcción del TEC, en especial al Ing. Gustavo Rojas Moya, por toda la ayuda y orientación brindada en el desarrollo del proyecto. Y muy especial a mi novia, por su apoyo incondicional en todo momento.

Resumen ejecutivo

Cartago es la tercera provincia de Costa Rica, cuenta con 8 cantones y 47 distritos. De estos el cantón de Cartago cuenta con 11 distritos y la ciudad de Cartago se ubica principalmente en los distritos Occidental y Oriental. Por su cercanía esta zona es parte del área de influencia de la falla de Agua Caliente. A la que se le atribuyen una gran sismicidad, tanto histórica como reciente.

De manera general, la falla Aguacaliente es una de las más largas del país (aproximadamente 23 km), se dice que su traza empieza al Suroeste de San José, específicamente al lado Sur de la loma Salitral y culmina en el Sur de la ciudad de Cartago, cerca del valle de Coris. Se considera de desplazamiento predominantemente sinistral y tiene, una forma sinuosa con un rumbo variable entre Este-Noreste y Oeste-Noroeste.

Geológicamente, la ciudad de Cartago se encuentra cimentada sobre suelos blandos, formados principalmente por depósitos aluviales y coluviales, con presencia de estratos arcillosos, niveles freáticos altos, entre otros.

Suelos de este tipos afectan considerablemente a las estructuras en la zona, al ocurrir un sismo, las ondas sísmicas se amplificaran según sea en medio por el que transiten, de este modo la intensidad del fenómeno será mucho mayor, en zonas con presencia de suelos.

Los motivos principales para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago, se debieron:

Primero por la gran concentración de habitantes y viviendas en la zona según datos recolectados en el Censo 2011 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC).

Segundo por el alto historial de eventos sísmicos registrados en la zona y donde la ciudad ha sido destruida casi en su totalidad en dos ocasiones,

produciendo tanto gran cantidad de pérdidas humanas como materiales.

Por último esta zona es parte de la zona de influencia de varias fallas geológicas entre la más importante esta la Falla de Agua Caliente, a la cual se le atribuyen los eventos registrados en 1910 así como varios enjambres sísmicos recientes.

Estudios de este tipo, buscan poner en evidencia las condiciones propias de las edificaciones en zonas que presenten gran amenaza sísmica, información de este tipo es indispensable para las instituciones encargadas de la planificación del crecimiento urbano, como el caso de las municipalidades.

Dichas instituciones deben tomar medidas preventivas para reducir, en la medida de lo posible, los efectos negativos que un evento sísmico podría causar.

Para una institución como la CNE, encargada de mitigación y prevención de los desastres naturales, información de este tipo será necesaria para realizar planes de la atención post-desastre, para alertar y capacitar a los habitantes en dichas zonas, así como para mantener informada a la población y evitar el caos durante un evento importante.

Además será importante para elaborar planes y procedimientos para la atención de emergencias, para saber cuáles edificaciones necesitan un reforzamiento y cuáles tipos se deben prohibir en caso de ser necesarios, inclusive, si es necesaria la reubicación en otros sitios.

Amenaza sísmica

Para el caso del presente estudio se realizó un análisis determinístico de la amenaza sísmica en los alrededores de la Ciudad de Cartago.

La metodología determinista, implica la definición de uno o varios escenarios en particular, basados en el conocimiento actual de las condiciones sismo-tectónicas de la región. Una explicación detallada se encuentra en el marco teórico.

Se definieron tres escenarios sísmicos basados en las principales fuentes sísmicas o fallas con actividad sísmica y tectónica reciente, las cuales podrían generar daños al sitio a evaluar.

Además con base en la actividad neotectónica, sismicidad histórica y longitud de la falla, se definió el potencial sísmico de cada una de ellas. Definido el potencial sísmico y las distancias de cada una de las fuentes sísmicas al sitio a evaluar, se utilizó la ecuación de atenuación propuesta por Climent et al, 1994.

De esta forma se estimó el nivel de intensidad sísmica en la zona de estudio, en este caso se utilizó el parámetro de la aceleración horizontal pico del terreno. La ecuación propuesta por Climent et al, 1994 para Centroamérica es la siguiente:

$$\ln PGA = -1,687 + 0,553 M - 0,537 \ln R - 0,00302 R + 0,327 S + \sigma_{PGA}$$

Donde:

- PGA: Aceleración pico del terreno por sus siglas en inglés Peak Ground Acceleration (m/s^2)
- M: Magnitud de momento
- R: Distancia hipo central (km)
- S: Es un parámetro indicativo de la geología del sitio de análisis (en roca $S=0$ y en suelo $S=1$)
- σ_{PGA} : Término relacionado con el error en la estimación, en este caso ($\sigma_{PGA}=0,75$)

Finalmente los valores de intensidad sísmica fueron representados mediante mapas por la aceleración horizontal pico del terreno, ésta posteriormente fue representada mediante mapas de Intensidades Instrumentales.

La Intensidad Instrumental relaciona la Escala Mercalli Modificada en términos instrumentales, es decir define una escala numérica según sea la intensidad del movimiento del terreno y establece los rangos correspondientes a cada intensidad. Mientras que la Escala Mercalli Modificada define las

intensidades según fue la percepción de la intensidad del movimiento.

El primer escenario, es un sismo de magnitud 6,5 Mw, aproximadamente a 5,4 km al Sureste de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 10 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (510815.85, 1085668.96).

El segundo escenario, es un sismo de magnitud 5,4 Mw, aproximadamente a 3,3 km al Norte de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 8 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (509043.14, 1093500.62).

El tercer escenario, es un sismo de magnitud 4,2 Mw, aproximadamente a 5,0 km al Suroeste de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 4 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (505391.89, 1086568.54).

Las siguientes figuras, son los mapas de amenaza sísmica para el escenario 1, en términos de la aceleración máxima del terreno y de la intensidad instrumental del evento.

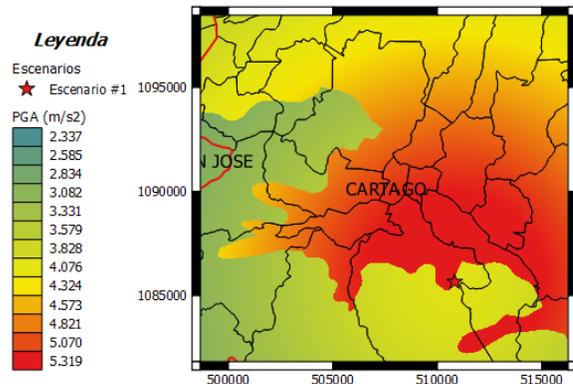


Figura 1. Mapa amenaza sísmica PGA (m/s^2).

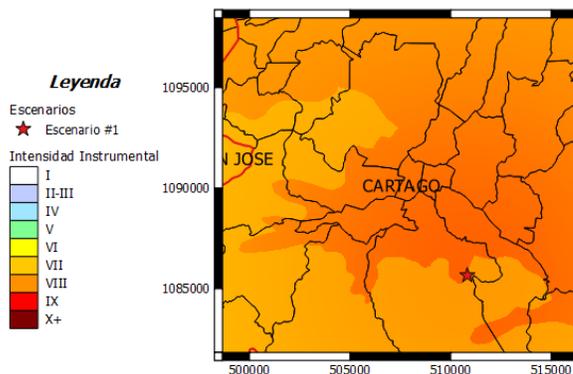


Figura 2. Mapa amenaza sísmica Intensidad Instrumental.

Para el escenario 1, las aceleraciones horizontales pico del terreno alcanzaron los 5,29 m/s² en la Ciudad de Cartago, esto representa aceleraciones de casi el 54% de la aceleración de la gravedad. En términos de la intensidad instrumental, esta llegó a ser de VIII en toda la Ciudad de Cartago así como en la zona epicentral.

Para el escenario 2, se estimó que las aceleraciones en el terreno alcancen los 3,35 m/s² en la Ciudad de Cartago, equivalente a cerca del 34% de la aceleración de la gravedad. En cuanto a la intensidad instrumental, para la Ciudad de Cartago esta se encontró en el límite entre una intensidad instrumental VII ó VIII.

Para el escenario 3, se estimó que las aceleraciones del terreno rondarían los 2,22 m/s² y los 1,84 m/s², en la Ciudad de Cartago, en términos de porcentaje de la aceleración de la gravedad, estas rondarían entre 18,8 y 22,7 %. La intensidad instrumental en la zona de estudio así como en la zona epicentral, se encontraron entre el límite de una intensidad instrumental VI ó VII.

Vulnerabilidad Sísmica

Una vez realizado el estudio de amenaza sísmica, se procedió a realizar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago.

Para esto, se definió una muestra representativa, basados en un muestreo estadístico, que permite generalizar los resultados, y se determinó su tamaño, este fue de un total de 15 lotes, los cuales fueron inspeccionados en su totalidad.

Debido a que este estudio está enfocado en evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago, se buscó entonces la tipificación de los tipos constructivos de edificaciones presentes en la zona, para posteriormente evaluar su vulnerabilidad sísmica en términos de un porcentaje de daño ante una amenaza sísmica dada, se utilizaron las funciones de vulnerabilidad sísmica definidas en el informe (ENR-CAPRA, T2-5) para Costa Rica.

Basados en un estudio similar realizado por Jiménez, D. (2012). Se utilizó un formulario de inspección visual basado en métodos cualitativos de vulnerabilidad sísmica, con el fin de clasificar las edificaciones encontradas en alguna

de las tipologías definidas en el informe (ENR-CAPRA, T2-5) para Costa Rica.

Además se clasificó dichas estructuras según su estado de conservación, y código sísmico vigente al momento de ser construidas, esto debido a que ambos parámetros también pueden determinar que una estructura sea más vulnerable que otra.

De este modo entonces, se obtuvieron 7 tipologías de las 15 en total definidas, estas se muestran en el cuadro 1, además porcentualmente se representa la cantidad presente en la zona de estudio.

El nombre detallado de cada una de las tipologías se muestra en el apartado de vulnerabilidad sísmica que se encuentra en el marco teórico, mientras que en el cuadro 1 se muestra su respectiva abreviación.

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES SEGÚN LA TIPOLOGÍA		
TIPOLOGÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
MR-RLFSB-2	92	17,76
MC-FLFSB-2	323	62,36
W-SLFLB-1	41	7,92
W-FLFLB-2	13	2,51
R-SLFLB-1	2	0,39
MR-FLFSB-2	27	5,21
PCR-RLFSM-5	20	3,86

Finalmente con ayuda de QGIS (2015), se realizaron los mapas de vulnerabilidad sísmica para cada tipología encontrada, y donde se muestra el % Daño esperado para cada nivel de intensidad planteado en la amenaza sísmica a evaluar.

Un resumen de estos resultados se muestra en la figura 3, que muestra el mapa de vulnerabilidad sísmica de todas las tipologías encontradas para el escenario 1, y donde es muestra mediante una escala de colores los daños esperados para cada edificación en particular.



Figura 3. Mapa de vulnerabilidad sísmica para el escenario 1.

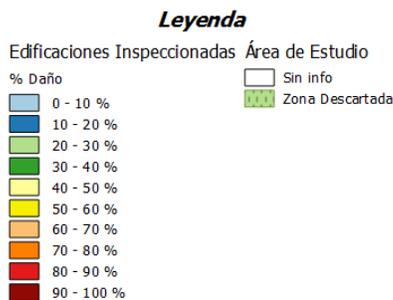


Figura 4. Simbología figura 3.

De acuerdo a un total de 15 lotes inspeccionados se obtuvo, que del total de edificaciones en la Ciudad de Cartago, el 14,09% presenta un estado de conservación excelente, el 41,12% bueno, el 38,42% regular y el 6,37% pobre.

El 29,15% son edificaciones relativamente nuevas es decir construidas después del 2001, el 60,81% que corresponde a la mayoría fueron construidas entre 1974 – 2001, y por último cerca del 10,04% son edificaciones muy viejas ya que fueron construidas antes de 1974.

Para el Escenario 1

Tipologías MR-FLFSB-2 y R-SLFLB-1: que representan un 5,6% de las edificaciones sufrirán un daño del 90 al 100% que se considera como daño severo o el colapso. Bonett, R. (2003).

Tipología MR-RLFSB-2: que representa un 17,76% de las edificaciones sufrirán un daño del 70 a 80 % que se considera como daño mayor.

Tipologías MC-FLFSB-2 y W-FLFLB-2: que representan un 64,87% de las edificaciones sufrirán un daño del 50 al 60% que se considera como daño moderado a sustancial.

Tipología PCR-RLFSM-5: que representa un 3,86% de las edificaciones sufrirán un daño del 45 al 47% que se considera como daño moderado.

Tipología W-SLFLB-1: que representa un 7,92% de las edificaciones sufrirán un daño del 16 al 18% que se considera como daño menor.

Para el Escenario 2

Tipologías MR-FLFSB-2 y R-SLFLB-1: que representan un 5,6% de las edificaciones sufrirán un daño del 47 al 68% que se considera como daño moderado a severo.

Tipologías MR-RLFSB-2, PCR-RLFSM-5 y W-FLFLB-2: que representa un 24,13% de las edificaciones sufrirán un daño del 25 a 38 % que se considera como daño de menor a moderado.

Tipologías MC-FLFSB-2 y W-SLFLB-1: que representan un 70,28% de las edificaciones sufrirán un daño del 5 al 17% que se considera como daño de no apreciable a menor.

Para el Escenario 3

Tipología R-SLFLB-1: que representa un 0,39% de las edificaciones sufrirán un daño del 33 a 38 % que se considera como daño moderado.

Tipologías MC-FLFSB-2, MR-RLFSB-2, MR-FLFSB-2, PCR-RLFSM-5, W-FLFLB-2, W-SLFLB-1: que representan un 99,61% de las edificaciones sufrirán un daño del 1 al 15% que se considera como daño de no apreciable a menor.

Ha quedado en evidencia, que la Ciudad de Cartago es una zona de alta amenaza sísmica, donde se encuentran aglomeradas una considerable cantidad de edificaciones de varios tipos, y que se ha logrado determinar 7 tipologías en total.

De estas el tugurio o ripio, así como las edificaciones de mampostería reforzadas de dos plantas con sistemas de entrepiso flexible, son las más vulnerables sísmicamente.

Por esta razón, para mitigar los posibles efectos provocados por un sismo como el escenario 1, será entonces primordial reforzar las estructuras

que lo permitan con algún sistema estructural adecuado.

Además siempre será indispensable la buena coordinación y planificación de los gobiernos locales como lo son las municipalidades en cuanto al ordenamiento territorial, que junto con instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), velen por la atención y prevención de desastres.

Mediante planes de evacuación, ubicación de zonas seguras en las ciudades, así como protocolos y procedimientos a seguir en caso de sismos, de esta manera se garantiza mantener informada a la población de cómo actuar, y así evitar mayores desastres.

Introducción

En el presente trabajo se realiza la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la Ciudad de Cartago. La vulnerabilidad sísmica se define como la predisposición de un sistema estructural, a sufrir afectación, tanto en sus elementos estructurales como en los no estructurales, ante la acción de un evento sísmico.

El área de estudio es una zona con una alta amenaza sísmica, principalmente al encontrarse dentro de la zona de influencia de la falla de Agua Caliente, a la cual se le atribuyen los terremotos históricos de Santa Mónica (4 de mayo de 1910) y el de Tres Ríos (21 de febrero de 1912), que causaron gran cantidad de daños y la pérdida de cientos de vida humanas.

La falla Agua Caliente es una de las más largas del país (aproximadamente 23 km), se dice que su traza empieza al Suroeste de San José, específicamente al lado Sur de la loma Salitral y culmina en el Sur de la ciudad de Cartago, cerca del valle de Coris. Se considera de desplazamiento predominantemente sinistral y tiene, una forma sinuosa con un rumbo variable entre Este-Noreste y Oeste-Noroeste.

Además la falla de Agua Caliente, es una de las que posee mayor actividad sísmica, según registros de actividad sísmica e histórica, se estima que posee un potencial de generar sismos someros de magnitudes de hasta 6,5 Mw. (Montero, W. et. al., 2005). Alcanzándose intensidades muy altas cerca de la zona epicentral.

Geológicamente, la ciudad de Cartago se encuentra cimentada sobre suelos blandos, formados principalmente por depósitos aluviales y coluviales, con presencia de estratos arcillosos, niveles freáticos altos, entre otros.

Suelos de este tipos afectan considerablemente a las estructuras en la zona, al ocurrir un sismo, las ondas sísmicas se amplificaran según sea en medio por el que transiten, de este modo la intensidad del fenómeno será mucho mayor, en zonas con presencia de suelos.

Además considerando según datos del INEC del censo 2011, la Ciudad de Cartago es la zona con mayor cantidad de habitantes y viviendas en sus alrededores, sus densidades varían entre los 5000-6000 hab/km², mientras que las viviendas se encuentran entre las 1500-2000 viv/km².

Estudios de este tipo, buscan poner en evidencia las condiciones propias de las edificaciones en zonas que presenten gran amenaza sísmica, siempre con el fin de salvaguardar la vida de los ocupantes.

La información obtenida en este tipo de estudios, es indispensable para las instituciones encargadas de la planificación del crecimiento y ordenamiento territorial, como el caso de las municipalidades. Además para instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), encargada de mitigación y prevención de los desastres naturales.

Este tipo de información será necesaria para realizar planes de la atención post-desastre, para alertar y capacitar a los habitantes en dichas zonas, así como para mantener informada a la población y evitar el caos durante un evento importante, siempre con el fin de mitigar en la medida de lo posible los daños que puedan causar eventos de este tipo.

También serán indispensables si se desean conocer cuáles y qué tipo de estructuras necesitaran un reforzamiento para enfrentar la amenaza sísmica inherente, además de ser necesario cuáles tipos se deben prohibir, inclusive si es necesaria la reubicación de una población en otros sitios con menor amenaza.

En consecuencia, el objetivo general de este proyecto de graduación es, evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago, ante la amenaza sísmica potencial de la falla de Agua Caliente.

Entre los objetivos específicos están:

1. Definir tres escenarios sísmicos que describan el potencial destructivo de la falla de Agua Caliente.

2. Cuantificar, por medio de mapas y utilizando un sistema de información geográfica como QGIS (2015), la amenaza sísmica de la Ciudad de Cartago y sus alrededores.
3. Determinar una muestra representativa del área que conformada por la Ciudad de Cartago.
4. Clasificar cada una de las edificaciones encontradas en el área de estudio, según alguna de las tipologías presentadas en el informe (ENR-CAPRA, T2-5).
5. Asignar la función de vulnerabilidad sísmica respectiva a cada una de las tipologías encontradas, según el informe (ENR-CAPRA, T2-5).
6. Confeccionar mapas de vulnerabilidad sísmica para cada una de las tipologías.

Antes de evaluar la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones, es indispensable conocer a la amenaza que se encuentran expuestas, esta puede ser estimada mediante dos métodos, el probabilístico y el determinístico.

Para el caso del presente estudio se realizó un análisis determinístico de la amenaza sísmica en los alrededores de la Ciudad de Cartago.

Se definieron tres escenarios sísmicos basados en las principales fuentes sísmicas o fallas con actividad sísmica y tectónica reciente, las cuales podrían generar daños al sitio a evaluar. En este caso producto de la falla de Agua Caliente.

El primer escenario, es un sismo de magnitud 6,5 Mw, aproximadamente a 5,4 km al Sureste de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 10 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (510815.85, 1085668.96).

El segundo escenario, es un sismo de magnitud 5,4 Mw, aproximadamente a 3,3 km al Norte de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 8 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (509043.14, 1093500.62).

El tercer escenario, es un sismo de magnitud 4,2 Mw, aproximadamente a 5,0 km al Suroeste de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 4 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (505391.89, 1086568.54).

Para representar la amenaza sísmica, es necesario definir algún parámetro de movimiento fuerte, como la aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento máximo, duración, entre otros.

Cada uno de ellos se calcula mediante alguna ecuación de atenuación, obtenidas de investigaciones extensas de la sismicidad, sismo tectónica y geología de una zona en específico.

Para Costa Rica, es usual utilizar la ecuación de atenuación desarrollada por Climent et. al (1994), la cual determina la intensidad del evento sísmico el función de la aceleración horizontal pico del terreno o PGA (Peak Ground Acceleration), la cual depende de la magnitud y profundidad del evento, la geología superficial y la distancia respecto al sismo.

Utilizando el software QGIS 2.8.2, el cual es un sistema de información geográfica (SIG), fue posible realizar los mapas de amenaza sísmica. Un SIP es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográfica referenciada.

Realizado el estudio de amenaza sísmica, se procedió a realizar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago. Para esto, fue necesario definir una muestra representativa, basados en un muestreo estadístico, que permite generalizar los resultados en la zona de estudio. Esto debido a que por limitaciones no se contaba con el tiempo suficiente, ni mucho menos con los recursos necesarios para realizar un censo en toda el área de estudio. Además las inspecciones únicamente fueron realizadas por una persona.

Debido a que este estudio está enfocado en evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago, se buscó entonces la tipificación de los tipos constructivos de edificaciones presentes en la zona, para posteriormente evaluar su vulnerabilidad sísmica en términos de un porcentaje daño ante una amenaza sísmica dada, para esto se utilizaron las funciones de vulnerabilidad sísmica definidas en el informe (ENR-CAPRA, T2-5) para Costa Rica.

Basados en un estudio similar realizado por Jiménez, D. (2012). Se utilizó el formulario de inspección visual ahí desarrollado, basado en métodos cualitativos de vulnerabilidad sísmica, con el fin clasificar la edificaciones encontradas

en alguna de las tipologías definidas en el informe (ENR-CAPRA, T2-5) para Costa Rica.

Para así finalmente representar mediante mapas de vulnerabilidad sísmica los daños esperados según la amenaza sísmica definida para cada uno de las edificaciones encontradas en la zona.

Además se clasificó dichas estructuras según su estado de conservación, y código sísmico vigente al momento de ser construidas, esto debido a que ambos parámetros también pueden determinar que una estructura sea más vulnerable que otra.

En el país, se conoce que se hayan realizado dos estudios de vulnerabilidad sísmica, el primero de ellos en la ciudad de Cañas, Guanacaste y el segundo en Cartago, ambos utilizados como referencia para el presente proyecto de graduación.

La principal diferencia entre estos dos y el aquí presentado, es la recolección de la información en la zona del estudio, así como la cantidad de personas que participaron. Para el primero de ellos, este fue realizado en conjunto con la Comisión Nacional de Emergencias y la Municipalidad de Cañas, y en este se realizó un censo de toda la población de estudio, por lo que el detalle y precisión de los resultados es muy elevado.

El segundo abarco un área considerable pero para esto fue necesario extrapolar la información a partir de unas pocas edificaciones que caracterizan áreas muy grandes, por lo que los mapas de vulnerabilidad representan un estimado de la realidad.

Mientras que para el presente estudio, se utilizó definir un tamaño de muestra que se considerara representativa, de acuerdo a toda una metodología estadística definida en la literatura, en estas zonas se detalla el total de las edificaciones ahí encontradas. El área inspeccionada representó cerca del 10% de la población, además el nivel de detalle fue mucho mayor al primer estudio realizado en Cartago.

En términos del cálculo de la amenaza sísmica, en los tres estudios se utilizó la misma metodología determinista así como la misma ecuación de atenuación.

En cuanto a la vulnerabilidad sísmica en este estudio, se utilizó una metodología un poco distinta a la utilizada por estos otros dos. La diferencia está en la determinación de la vulnerabilidad o daño esperado para los eventos

sísmicos planteados, en el presente estudio se evaluó mediante funciones de vulnerabilidad confeccionadas para los principales tipos de sistemas estructurales presentes en Costa Rica, utilizando como referencia los encontrados en la ciudad de San José.

Dichas funciones de vulnerabilidad sísmica se obtienen a partir de métodos cuantitativos, que consideran el comportamiento particular de cada sistema estructural. Lo cual asemeja mucho más el comportamiento real de las estructuras ante eventos sísmicos. Mientras que para los otros se realizó mediante una metodología cualitativa.

Marco Teórico

Determinación Zona de Estudio

Costa Rica cuenta con un alto historial de eventos sísmicos, muchos de estos han sido bien documentados en González Víquez (1994). Los primeros eventos de los que se tiene mención se remontan a 1638, para esta fecha se mencionan los daños causados a parroquias y templos de Cartago producto de la actividad sísmica del país.

Desde esa fecha hasta principios del siglo XX (Período Pre-instrumental 1638-1903) no se tienen registros cuantitativos y precisos de la intensidad o magnitud, ni siquiera de la ubicación de estos eventos.

A pesar de la falta de instrumentación para ese periodo se tiene información de los numerosos daños causados a las viviendas y edificaciones de la época, así como registros de la pérdida de vidas humanas producto de los daños ocasionados por la actividad sísmica del país. Es hasta 1904 que mediante la instrumentación se logra recolectar información más detallada de la sismicidad en el país, información que desde los últimos años hasta la actualidad es sumamente precisa.

Históricamente la ciudad de Cartago ha sido una de las más afectadas, el 4 mayo de 1910 ocurrió un terremoto con proporciones catastróficas, causando la destrucción de la ciudad de Cartago y con esto la pérdida de numerosas vidas humanas, entre 400 y 700.

El evento tuvo una magnitud de $M_s=6,5$ en la escala de Richter, con una profundidad de

6,7 km. Sin embargo este no es el primer hecho del que se tiene registro, el 2 de setiembre de 1841 se presentó un sismo que ocasionó la primera destrucción de Cartago, provocando 38 muertos además de un gran pánico en la población.

El más reciente que ha ocasionado gran afectación se dio el 22 de agosto de 1951, fue un sismo fuerte que se originó al sur de Cartago causando gran cantidad de daños en Paraíso y Orosí, y asimismo produciendo daños en San José.

La fuerte amenaza que ha presentado la ciudad de Cartago ante eventos de esta naturaleza no la exime de otros sismos de gran magnitud en el futuro.

Por esta razón será de suma importancia evaluar las condiciones actuales de las edificaciones en la zona y determinar la vulnerabilidad sísmica de los sistemas de construcción que se utilizan actualmente ante un evento de tales proporciones.

Cartago es la tercera provincia de Costa Rica, cuenta con 8 cantones y 47 distritos. De estos el cantón de Cartago cuenta con 11 distritos y la ciudad de Cartago se ubica principalmente en los distritos Occidental y Oriental, el área de estudio a la que dirige esta investigación es a la abarcada por la unión de ambos distritos en mención; como se muestra en la Figura 6.

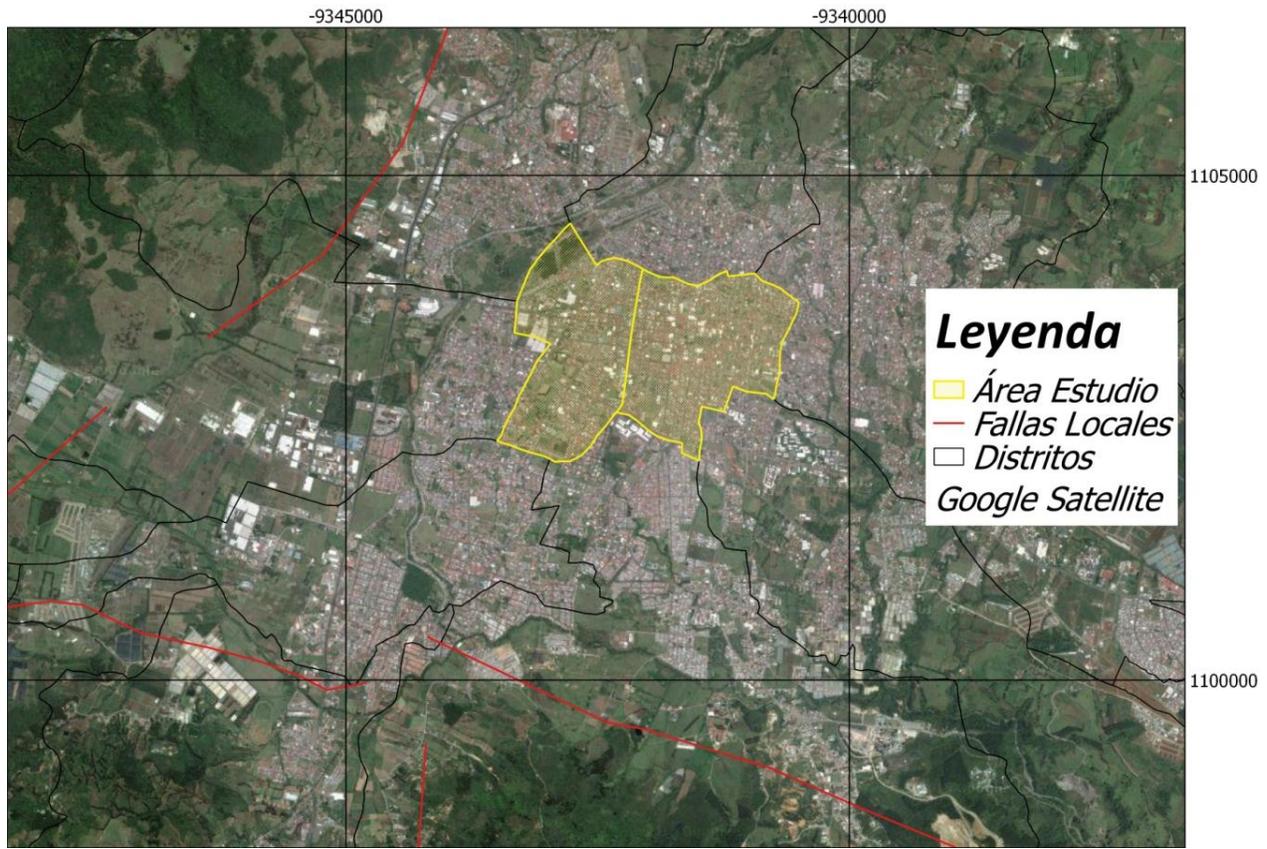


Figura 6. Área de estudio y ubicación de las fallas locales aledañas a la zona de estudio.

Justificación

Los motivos principales para determinar esta zona como el área de estudio se debieron:

Primero a la gran concentración de habitantes y viviendas en la zona según datos recolectados en el Censo 2011 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC).

Segundo por el alto historial de eventos sísmicos registrados en la zona y donde la ciudad ha sido destruida casi en su totalidad en dos ocasiones, produciendo tanto gran cantidad de pérdidas humanas como materiales.

Por último esta zona es parte de la zona de influencia de varias fallas geológicas entre la más importante esta la Falla de Agua Caliente, a la cual se le atribuyen los eventos registrados en 1910 así como varios enjambres sísmicos recientes, se hablara de esto más adelante.

La distribución de los habitantes así como la cantidad de viviendas y su respectiva densidad se muestran en el Cuadro 2 para los 11 distritos del cantón de Cartago (INEC, 2011).

CUADRO 2. DATOS RELACIONADOS A LA POBLACIÓN Y VIVIENDAS UBICADAS EN LOS DISTRITOS DEL CANTÓN DE CARTAGO OBTENIDOS DEL CENSO 2011.

CANTÓN	DISTRITO	EXTENSIÓN TERRITORIO (km ²)	POBLACIÓN		VIVIENDAS	
			CANTIDAD HABITANTES	DENSIDAD (hab/km ²)	CANTIDAD VIVIENDAS	DENSIDAD (viv/km ²)
Cartago	Oriental	2,03	12228	6016,86	3927	1932,30
Cartago	Occidental	2,00	9901	4944,74	2983	1489,76
Cartago	Carmen	4,35	17425	4007,97	4891	1124,99
Cartago	San Nicolás	29,33	25948	884,55	6988	238,22
Cartago	Agua caliente	98,87	31789	321,52	8258	83,52
Cartago	Guadalupe	13,32	14618	1097,28	4081	306,34
Cartago	Corralillo	34,09	10647	312,30	3134	91,93
Cartago	Tierra Blanca	12,78	5103	399,41	1136	88,91
Cartago	Dulce Nombre	33,19	10548	317,81	3189	96,08
Cartago	Llano Grande	30,25	4342	143,52	1076	35,57
Cartago	Quebradilla	17,44	5349	306,69	1506	86,35

De los 11 distintos en cuestión, los distritos Oriental y Occidental poseen la mayor concentración de habitantes y viviendas.

Su densidad varía entre los 5000-6000 habitantes por kilómetro cuadrado, mientras que las viviendas oscilan entre las 1500-2000 viviendas por kilómetro cuadrado. Siendo esta la zona con mayor aglomeración de personas en un área determinada.

Como se abordará en los siguientes capítulos la gran amenaza que presenta la ciudad de Cartago producto a su formación geológica y tectónica, así como la sismicidad debida a la gran cantidad de fallas aledañas.

Además del asentamiento importante de habitantes en sus alrededores, hace que la ciudad de Cartago sea objeto de estudio.

Sismicidad y Tectónica

Para definir la amenaza sísmica a la cual están expuestas las edificaciones en la zona de estudio, será indispensable conocer y entender un poco acerca del origen y la interacción de las placas tectónicas en el país, las cuales han sido bien estudiadas por geólogos y profesionales en dichas áreas.

En nuestro país existen varias instituciones encargadas del estudio de dichos fenómenos como lo son: Red Sismológica Nacional (RSN), Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG), Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI-UNA) y Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS).

La tectónica es parte de la geología estructural que estudia los plegamientos, deformaciones y fallas en la corteza terrestre así como las fuerzas internas que los originan.

Producto de esta interacción en la corteza terrestre pueden darse distintos fenómenos, estos inclusive podrían ocasionar desastres naturales como: terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis, entre otros.

Estos eventos son de suma importancia para instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), encargada de la prevención y atención de desastres naturales.

Además serán de interés para instituciones encargadas en el ordenamiento territorial como el caso de las municipalidades, mediante planes de protección y prevención dichas instituciones restringen el uso del suelo, evitando que se desarrollen cierto tipo de construcciones en áreas que presenten una gran amenaza y puedan ser muy afectadas por estos fenómenos naturales.

Para los Ingenieros Civiles es esencial conocer la interacción que hay entre las estructuras y el suelo con el fin de salvaguardar la vida de sus ocupantes, en caso de un eventual sismo los ingenieros deben garantizar que estas tengan un comportamiento adecuado y sean capaces de resistir las deformaciones que puedan sufrir producto del movimiento del suelo.

Por estas razones a continuación se presentaran cuales son las distintas placas tectónicas que afectan a Costa Rica, las cuales serán descritas y se conocerá la interacción entre las mismas, asimismo se describirá el fallamiento

local en los alrededores de la zona de estudio. Posteriormente junto con un historial de eventos sísmicos en los alrededores se definirá la amenaza sísmica, la cual será determinada en los siguientes capítulos.

A continuación se definirán algunos conceptos necesarios para una mejor comprensión de los temas que se abordaran en los siguientes apartados.

Dentro de la geología estructural existen tres estructuras geológicas importantes estas son: diaclasas, fallas y pliegues.

La principal diferencia entre ellos es movimiento, las diaclasas son rocas fracturadas donde los bloques no presentan desplazamiento relativo entre ellos, mientras que las fallas con rocas fracturadas donde sus bloques si presentan un desplazamiento relativo entre ellos.

Los pliegues son ondulaciones en las capas producto a una deformación plástica, es decir a una deformación sin fracturamiento o rompimiento.

De estas tres estructuras geológicas nos interesara conocer el comportamiento de las fallas debido a que producto de este movimiento entre boques es como se originan los sismos. Existen diferentes tipos de fallas, estas se muestran en la figura 7.

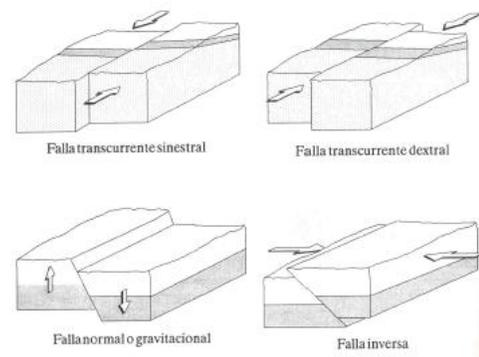


Figura 7. Tipos de fallas

Fuente: Denyer, P; Kussmaul, S. (1994)

Cada uno de estos tipos de se pueden definir como:

Falla transcurrente sinistral: causada por un esfuerzo cortical horizontal, nótese los estratos inclinados, que han sido desplazados por la falla.

Falla transcurrente dextral: al igual que la sinistral este tipo de fallamiento es causado por esfuerzos horizontales; se indican estratos inclinados para mostrar el efecto del fallamiento en la disposición de las rocas sedimentarias.

Falla normal: se forma por la fuerza de gravedad por lo que se le llama también falla gravitacional. El estrato horizontal se utiliza para mostrar el desplazamiento vertical de la falla.

Falla inversa: formada por esfuerzos de compresión horizontal, durante el cual se produce un acortamiento cortical como se observa con el movimiento de los bloques. El desplazamiento se observa en el estrato horizontal.

En cuanto a la sismicidad podemos definir algunos conceptos importantes y se muestran en la figura 8, se conoce como hipocentro o foco al lugar donde inicia el movimiento de una falla y es desde este punto donde se propagan las ondas sísmicas, se encuentra por debajo de la superficie.

El epicentro es la proyección vertical del hipocentro sobre la superficie terrestre y es el lugar geográfico donde ocurre el temblor.

El plano a lo largo del cual se mueven los bloques de corteza se le llama falla.

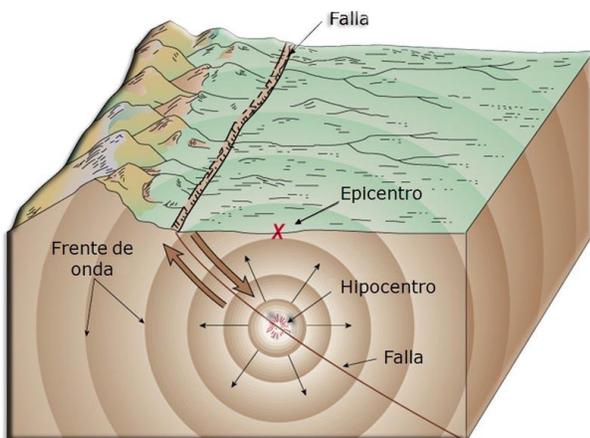


Figura 8. Esquema que muestra los puntos de origen de un sismo en una falla.
Fuente: Google Imágenes.

Como se mencionó anteriormente al ocurrir un sismo, las ondas sísmicas se propagan en todas sus direcciones partiendo del hipocentro.

Existen dos tipos principales de ondas sísmicas: las ondas que se propagan a través de un medio sólido en el interior de la tierra, denominadas ondas internas o de cuerpo y las

ondas superficiales que se propagan por la superficie terrestre.

Debido a que las ondas superficiales no tienden a penetrar en capas profundas, estas únicamente quedan registradas por los sismogramas cuando suceden terremotos donde sus hipocentros no han sido muy profundos.

Mientras que las ondas de cuerpo siempre quedan registradas por los sismogramas.

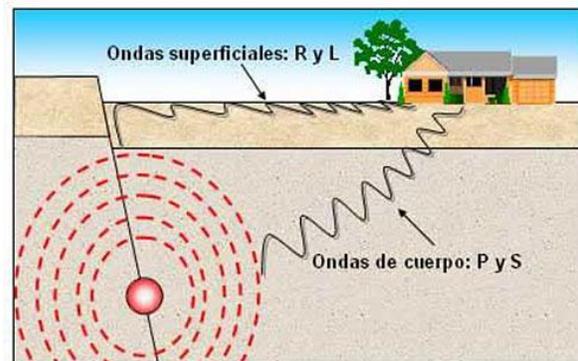


Figura 9. Tipos de ondas sísmicas.
Fuente: Google Imágenes.

Las ondas de cuerpo a su vez se subdividen en dos tipos: las ondas primarias u ondas P y las ondas secundarias u ondas S.

Las ondas primarias u ondas P son las que hacen vibrar una partícula en el sentido de propagación de las ondas, su movimiento es similar al de las ondas sonoras, comprimiendo y dilatando alternativamente el medio sólido a través del cual vibra. También se les denomina ondas longitudinales, primarias o de compresión.

Las ondas secundarias u ondas S hacen vibrar una partícula en sentido perpendicular a la trayectoria de las ondas, produciendo esfuerzos de cizalla en el medio sólido donde se propagan. También se les denomina ondas transversales, secundarias o de cizalla.

Las ondas superficiales a su vez también se subdividen en dos tipos: las ondas Love u ondas L y las ondas Rayleigh u ondas R.

Las ondas Love u ondas L poseen un movimiento similar al de las ondas S, haciendo vibrar la partícula horizontalmente en sentido perpendicular a la dirección de propagación, sin movimiento vertical.

Las ondas Rayleigh o ondas R poseen un movimiento similar al de las ondas en la superficie del agua, haciendo vibrar una partícula sobre un plano que apunta en dirección de la

trayectoria de las ondas, con movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente.

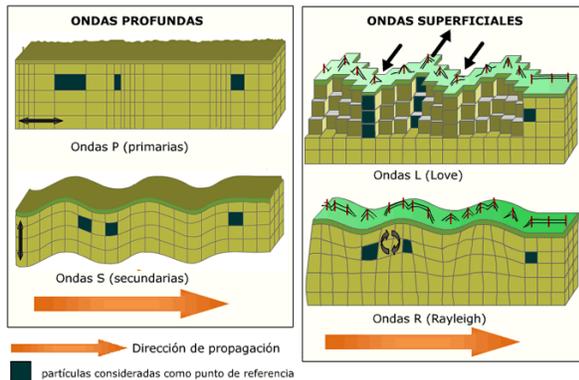


Figura 10. Esquema de propagación de las ondas de cuerpo y las ondas superficiales.
Fuente: Google Imágenes.

Existen dos parámetros importantes para designar el tamaño y fuerza de un sismo, que son la magnitud e intensidad.

La magnitud es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura de la falla.

Esta se determina midiendo la máxima amplitud de las ondas registradas en el sismograma correspondiente al evento. Existen varias escalas de magnitud, según el tipo de onda en que se basa la medición de la amplitud. Sin embargo la escala desarrollada por Charles Richter en 1935 es de las más utilizadas.

CUADRO 3. ESCALA DE RICHTER, MAGNITUD Y EFECTOS DEL TERREMOTO.	
MAGNITUD	EFECTOS DEL TERREMOTO
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	Se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

La intensidad es una medida de la fuerza de movimiento del terreno, es decir del grado en que la liberación es registrada y sentida en una determinada localidad, así como los efectos y daños causados por el sismo.

Dado a esto la intensidad dependerá del sitio de observación, generalmente es mayor en el área epicentral y disminuye en función de la distancia a la fuente sísmica. Existen dos formas para describir y medir la intensidad:

1. Mediante una apreciación subjetiva.
2. Mediante una medida instrumental de la amplitud del movimiento del terreno, empleando parámetros tales como la aceleración, velocidad y desplazamiento que se obtienen de los acelerógrafos.

De igual forma existen varias escalas de intensidad, la más difundida es la escala de Mercalli Modificada (MM), que va del grado I al XII. El grado VII en la escala MM corresponde a la transición del temblor a terremoto.

Una descripción detallada de la intensidad de la escala de MM para cada grado se muestra a continuación:

CUADRO 4. ESCALA MERCALLI MODIFICADA	
GRADO	DESCRIPCIÓN
I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable.
IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.

V	Sacudida sentida por mucha gente; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
VI	Sacudida sentida por muchas personas; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.
IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.

X +	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes. Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas. Destrucción total.
-----	---

El temblor corresponde a aquellos eventos sísmicos que son percibidos por el hombre sin que estos causen daño en las localidades, mientras que a los sismos de alta intensidad se les denomina terremotos. Estos si causan daños considerables incluso la destrucción.

Es importante resaltar que la actividad sísmica o sismicidad puede ser causada principalmente por cuatro procesos, según Magallón y Segura (1991) estos son:

1. Por movimiento de las placas tectónicas
2. Por acción volcánica
3. Por la ruptura local de la corteza terrestre
4. Por un hecho humano

Debido a que este estudio se dirige particularmente analizar un área bastante pequeña como lo es la Ciudad de Cartago, y dado a que los principales eventos sísmicos de los que se tiene registros han sido producto del fallamiento local, es decir producto de la ruptura local de la corteza terrestre. La amenaza sísmica que se determinara en los siguientes capítulos será debida a la acción del fallamiento local en los alrededores de la zona de estudio, aun así no se pueden descartar los demás procesos ya que esos podrían provocar sismicidad en esta zona, por supuesto unos en menor medida que otros.

Marco Tectónico Regional

Las placas tectónicas son grandes segmentos ya sea de material continental o de fondo oceánico que componen la litosfera, las mismas flotan sobre una capa en estado plástico a altas temperaturas a la cual se le conoce como astenósfera, siendo esta parte superior del manto. (Magallón y Segura, 1991).

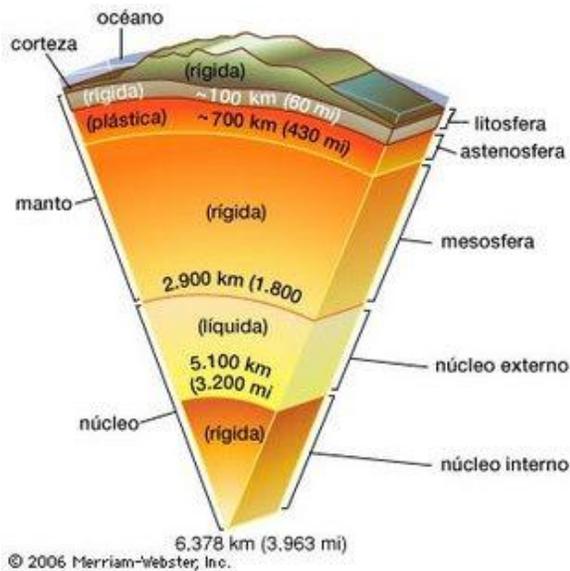


Figura 11. Capas de la Tierra.
Fuente: Google Imágenes.

Costa Rica se encuentra dentro de la zona de interacción de las Placas Coco y Caribe, siendo esta una zona tectónicamente activa caracterizada por el proceso de subducción de la Placa Coco bajo la Placa Caribe, en el margen Pacífico de América Central a lo largo de la Fosa Mesoamérica, como se muestra en la figura 12.

En este proceso se generan sismos por subducción que en muchos casos han activados fallas locales hacia el centro del país.

Artorga et al., (1991) propone la existencia de un importante sistema de fallas que atraviesa la parte central país, el cual divide al país en dos grande bloques denominados Bloque Norte y Bloque Sur, según Montero (2001) este sistema de fallas se forma entre el límite de la micro placa de Panamá y la placa Caribe al que

denomina Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR) (Figura 12).

Hacia el sureste de Costa Rica la subducción de la placa Coco debajo de la placa Caribe termina en el punto triple, llamado así por la interacción de la placas Coco, Nazca y la micro placa de Panamá.

Además al límite entre la placa Coco y la placa Nazca en la costa pacífica se le llama la Zona de Fractura de Panamá (ZFP), según Fernández (1996) esta zona se compone de fallas transcurrentes de orientación Norte-Sur.

Frente a las costas del Caribe de Costa Rica y Panamá se encuentra el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP).

La micro placa de Panamá limita al norte con la placa Caribe a lo largo del CDNP, al este con la placa suramericana a lo largo del Cinturón Deformado del Este de Panamá (CDEP), al sur con la placa Nazca a lo largo del Cinturón Deformado del Sur de Panamá.

“La ubicación del límite oeste de la micro placa de Panamá ha sido localizado en diferentes sectores entre el oeste de Panamá y Costa Rica” Montero, (2001).

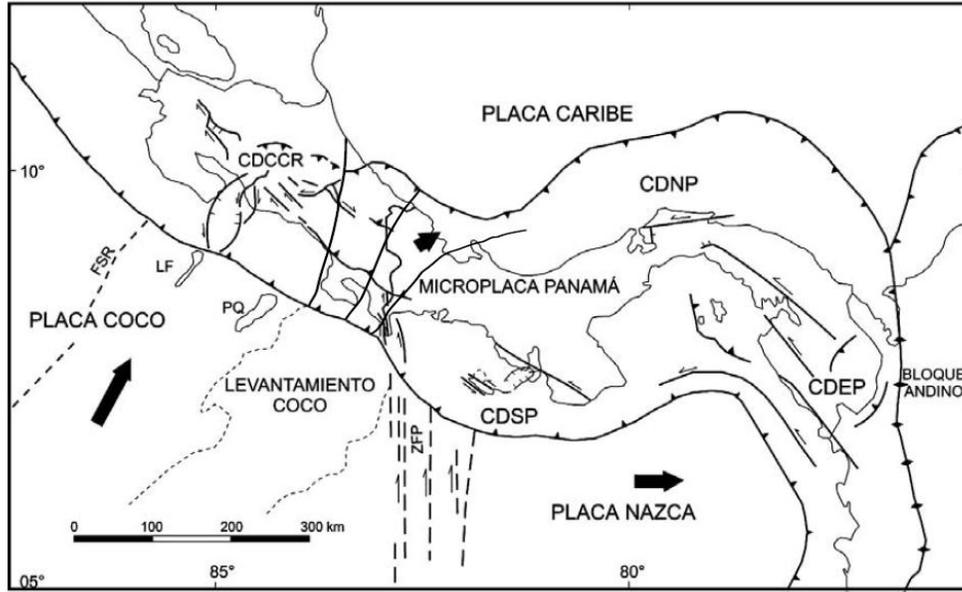


Figura 12. Marco Tectónico Regional del Sur de Centro América entre Costa Rica y Panamá.
Fuente: Montero, 2001.

Por esta razón, a nivel regional la tectónica en el país está regida por dos grandes sistemas que interactúan entre sí:

1. El proceso de subducción de la placa Coco bajo la placa Caribe.
2. El sistema de fallamiento local a lo interno del país dentro de la corteza continental.

Según Montero (2001), el sistema de fallas que atraviesa Costa Rica denominado CDCCR se puede subdividir en tres grandes sectores, estos son: el ante arco central, el arco interno y el tras arco. Cada uno de estos está conformado por un grupo o sistemas de fallas locales.

Cartago se encuentra dentro de la zona conformada por el arco interno, precisamente en la zona del Valle Central y el borde norte de la cordillera de Talamanca, esta zona a su vez está formada por un grupo de fallas, tal y como se muestra a continuación:

ARCO INTERNO

- a) Zona Arenal – Tilarán
- b) Cordillera Volcánica Central

c) Valle Central y borde norte de la cordillera de Talamanca

- Sistema de fallas Puriscal y alrededores
- Sistema de fallas de los montes del Aguacate y la falla La Garita
- Falla Jaris
- Sistema de fallas Escazú – Belo Horizonte – Aserrí – Jericó
- Falla Frailes
- Sistema de fallas Agua Caliente – Río Azul – Cipreses
- Falla Navarro
- Falla Atirro
- Sistema de fallas transtensionales de Simari
- Falla Buenavista

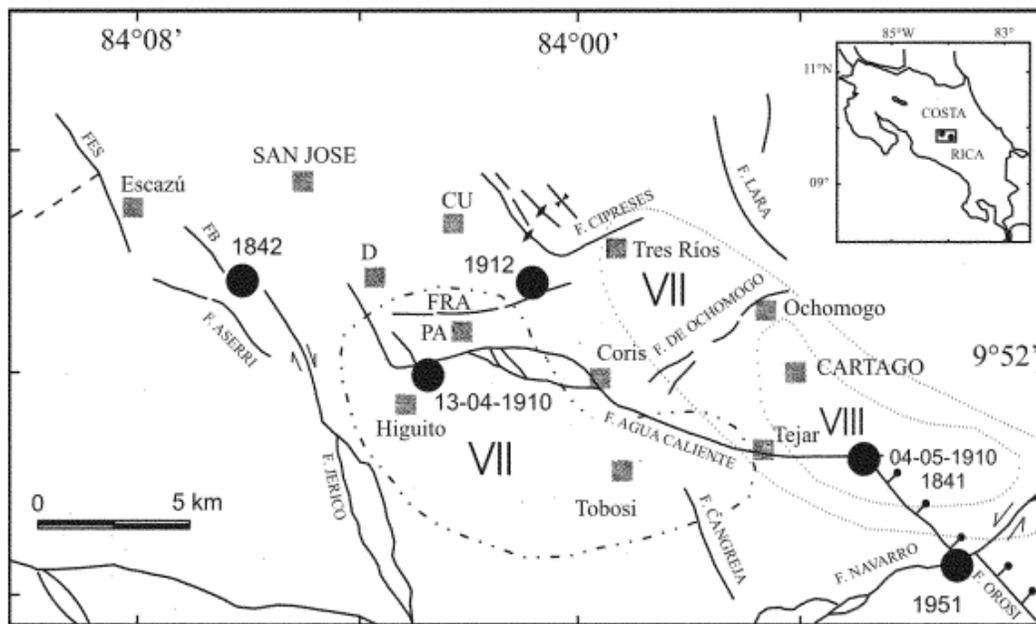


Figura 14. Fallamiento neo tectónico entre San José y Cartago.
Fuente: Montero, 2001

Como se muestra en la figura 14, la ciudad de Cartago se encuentra rodeada hacia el norte-este por las fallas de Ochomogo, hacia el sur por la falla de Agua Caliente y falla Cangreja, y más hacia el sur-oeste por las fallas de Navarro y Orosí.

Otras fallas cercanas y las cuales podrían producir afectación son la falla Río Azul y la Falla Cipreses, que junto con la falla de Agua Caliente conforman el Sistema de Fallas Agua Caliente-Río Azul-Cipreses. (Montero, 2001).

En esta misma figura también se muestra con puntos negros y a la par con su respectiva fecha, los principales terremotos destructivos de los cuales tiene registro y que han ocurrido a lo largo de la historia.

A continuación se describen cada una de estas fallas:

Sistema de Fallas de Ochomogo

Es un sistema de lineamientos cortos de rumbo NE que se localizan al pie de los cerros de la Carpintera en su sector este.

Falla Cangreja

Tiene un rumbo NW y una extensión de 6 km. Al noroeste se inicia cerca de Barrancas, al este de Tobosi y al sureste termina al este del poblado de

Cangreja. Se encuentra comprendida entre las fallas Agua Caliente y Navarro.

Geomorfológicamente se caracteriza por un trazo rectilíneo, lo cual indica que es de inclinación vertical a sub vertical.

Falla Orosí

Es una falla de rumbo NW con una expresión geomórfica prominente en el sector al sur de la falla Navarro, donde muestra un escarpe de falla que mira al este y que posteriormente está asociado con una falla de desplazamiento normal.

Falla Navarro

Falla de movimiento sinistral de rumbo ENE que se localiza del lado norte del valle del río Navarro, el cual se puede considerar un valle de falla.

Sistema de Fallas Agua Caliente – Río Azul – Cipreses

Es un sistema de fallas con rumbos variables entre ENE y WNW que incluye las fallas de Agua Caliente, Río Azul y Cipreses.

La falla Agua Caliente se considera de desplazamiento predominante sinistral (Fernández y Montero, 2002). Además, se le

atribuye el terremoto de Cartago del 4 de mayo de 1910.

Según Montero; Kruse, (2006), la traza de la falla Agua Caliente tiene en general, una forma sinuosa con un rumbo variable entre ENE y WNW. Al sur de San José, el trazo principal de la falla pasa del lado sur de la loma Salitral y continua hacia el este con un rumbo cercano al E-W hasta salir al valle de Coris. Más al este, la falla se ubica del lado sur de la ciudad de Cartago.

La traza de la falla Río Azul es de rumbo este-noreste y tiene una longitud cercana a los 5

km. Se caracteriza por la presencia de un valle profundo lineal al pasar por la quebrada Quebradas.

La falla Cipreses, corresponde en su extremo oeste y sur con una serie de superficies geomorfológicas abovedadas de rumbo NW a EW, que se ubican entre Granadilla y Tres Ríos.

A continuación se muestra la ubicación de dichas fallas en una serie de mapas obtenidos de la página web del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica: www.lis.ucr.ac.cr.

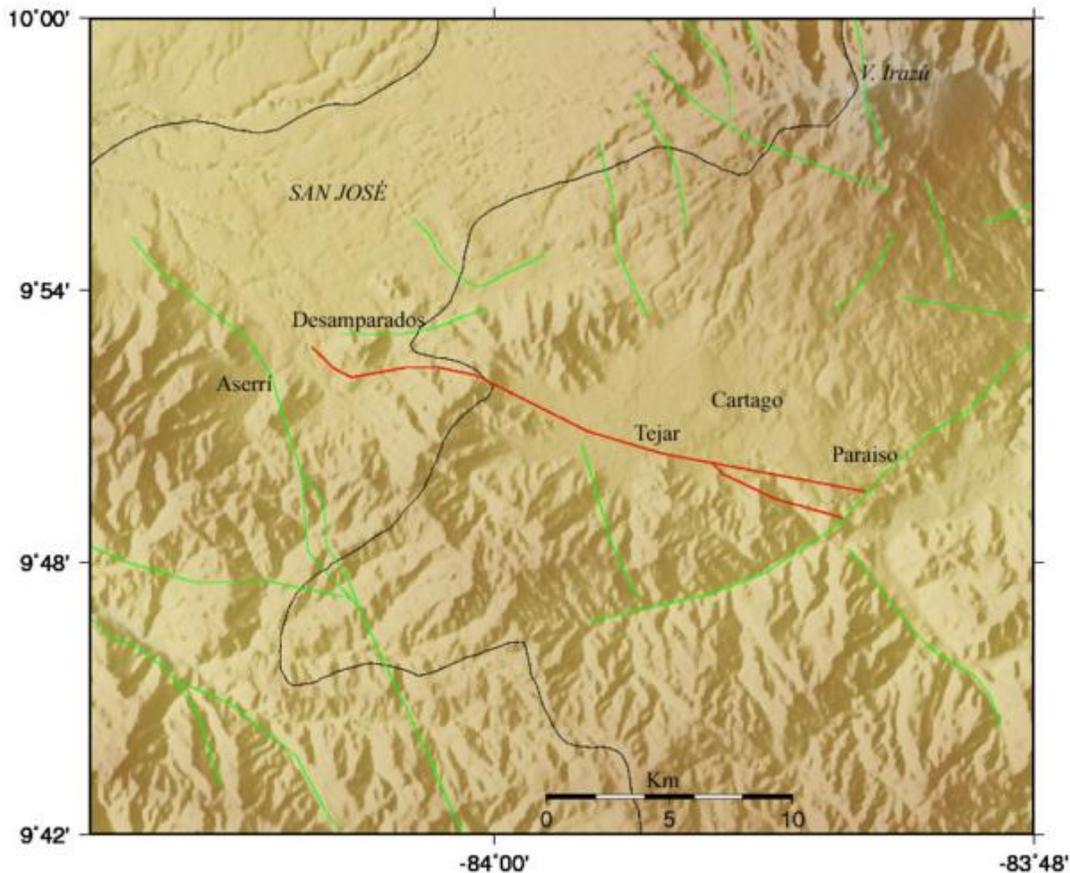


Figura 15. Ubicación falla Agua Caliente, longitud aproximada 23 km.

Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

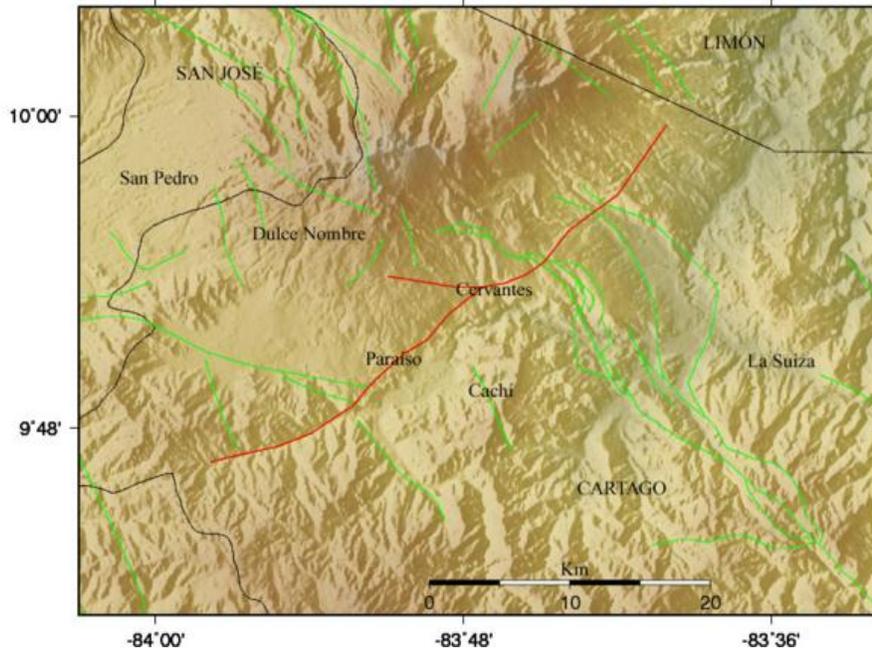


Figura 16. Ubicación falla Navarro, longitud aproximada 40 km.
 Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

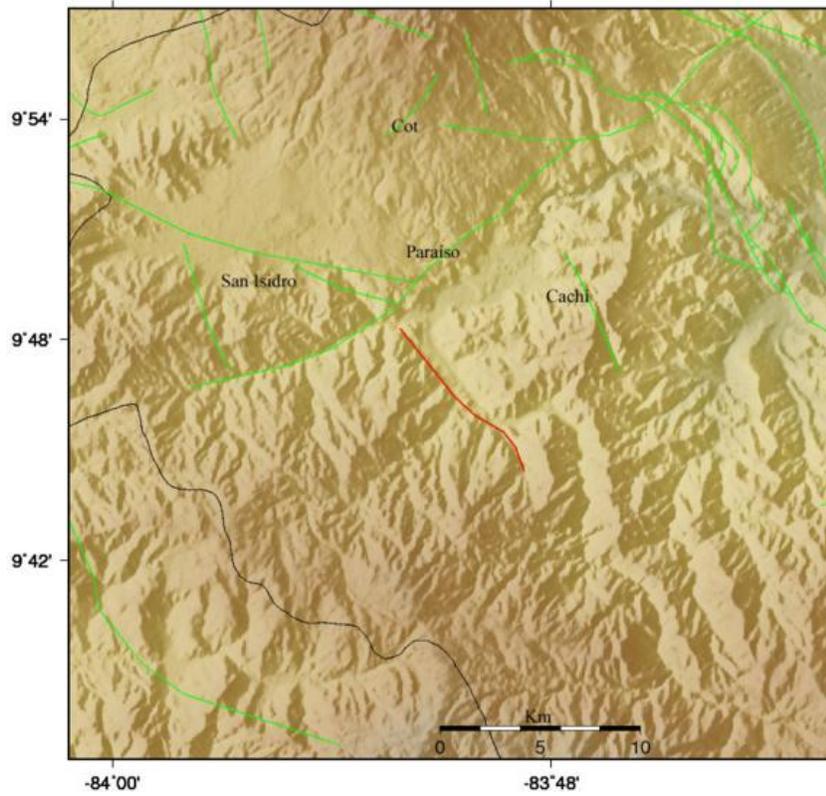


Figura 17. Ubicación falla Oroquí, longitud aproximada 10 km.
 Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

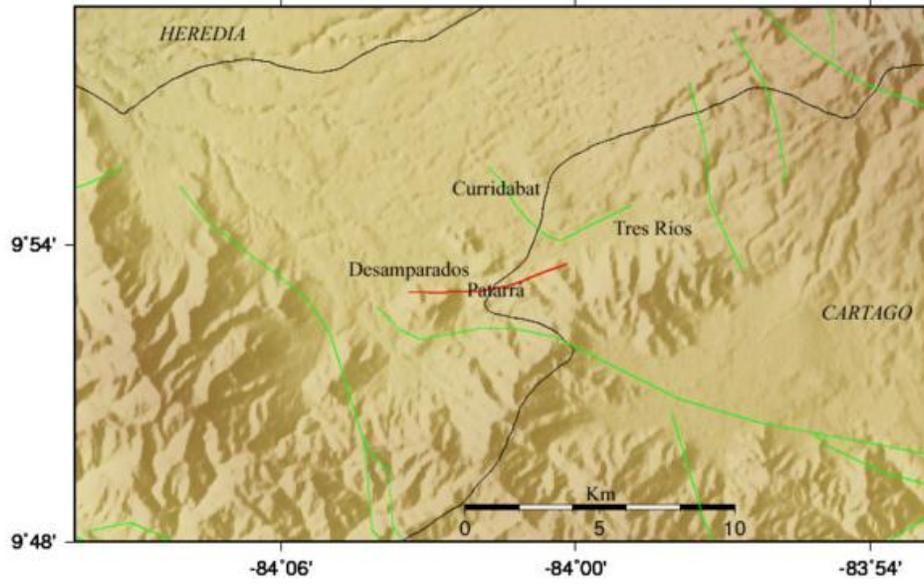


Figura 18. Ubicación falla Río Azul, longitud aproximada 5 km.
Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

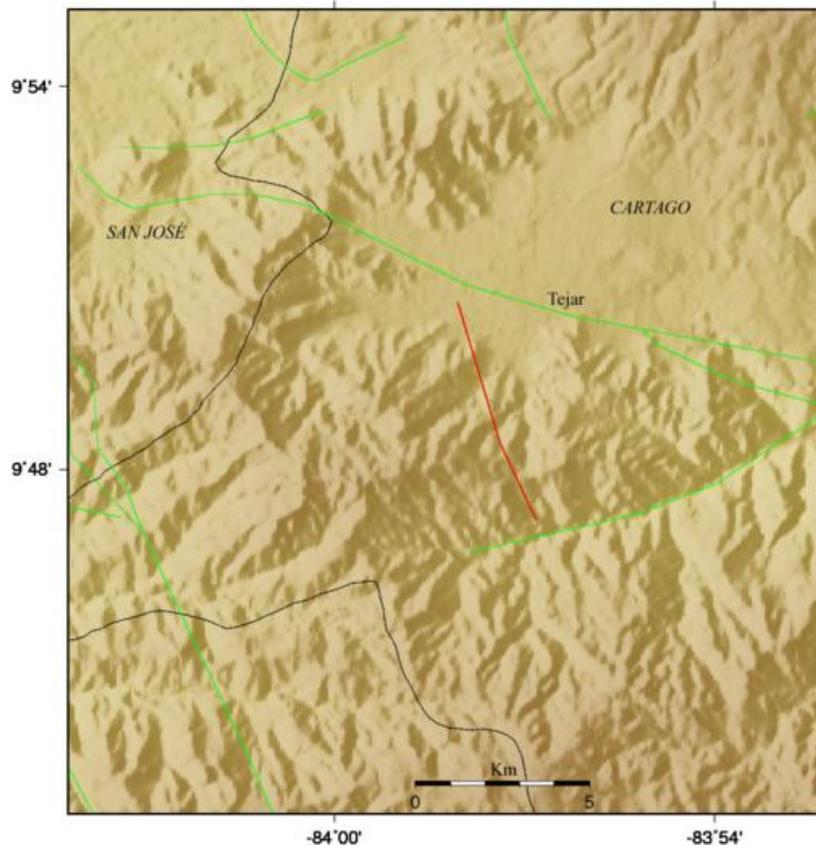


Figura 19. Ubicación falla Cangreja, longitud aproximada 6 km.
Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

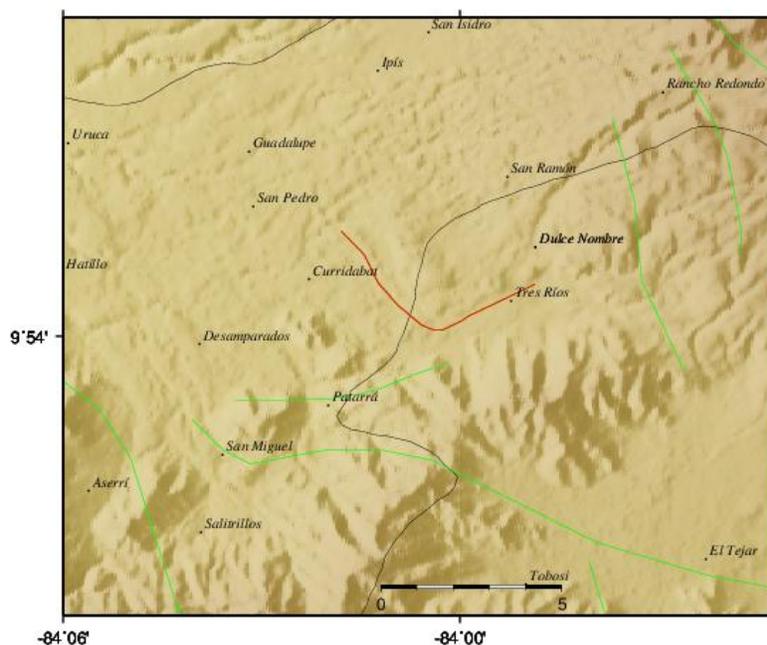


Figura 20. Ubicación falla Cipreses, longitud aproximada 8,5 km.
Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

Sismicidad

Costa Rica es un país altamente sísmico, la gran área metropolitana ha sido de las zonas más afectadas a lo largo de la historia del país.

Terremotos históricos han tenido su epicentro en esta zona y dos de ellos causaron severos daños e incluso la muerte de cientos de personas.

Estos fueron los terremotos que destruyeron Cartago el 2 de setiembre de 1841 y el 4 de mayo de 1910, con un saldo de 38 muertos para el primer evento y de 400 a 700

muertos para el segundo. González Viquez (1994).

Otros sismos importantes fueron el temblor de Alajuelita del 21 de marzo de 1842, el temblor del Tablazo el 13 de abril de 1910, el de Tres ríos del 21 de febrero de 1912 y el de Paraíso del 22 de agosto de 1951.

Según Fernández y Montero (2002), todos estos sismos han tenido su epicentro al sur y sureste de la Capital, en zonas de fallamiento reconocido, la mayoría de ellos más cerca de Cartago que de San José.

El siguiente cuadro muestra las magnitudes y daños causados por dichos sismos.

CUADRO 5. SISMOS HISTÓRICOS ENTRE SAN JOSÉ Y CARTAGO			
NOMBRE	AÑO	MAGNITUD (Ms)	DAÑOS
T. Cartago	1841	6,0 - 6,5	Destrucción Cartago, 38 muertos
T. Alajuelita	1842	5,0 - 5,5	Daños Alajuelita
T. Tablazo	1910	5,8	Daños Desamparados
T. Cartago	1910	6,4	Destrucción Cartago y Paraíso, 600 muertos
T. Tres Ríos	1912	5,0 - 5,5	Daños Tres Ríos
T. Paraíso	1951	5,4	Daños Paraíso y Orosí

Fuente: Rojas, 1993.

Como se mencionó en capítulos anteriores los sismos pueden ser causados por cuatro procesos, de los cuales el fallamiento local es la principal causa que origina sismicidad en la zona de estudio.

Como se mostro en el apartado Marco Tectónico local, la gran cantidad de fallas activas en los alrededores de la Ciudad de Cartago, así como a lo largo y ancho del Valle Central, hacen de estas zonas propensas a ser afectadas por la constante actividad sísmica que presenta el país.

Para tener una idea más clara de la amenaza sísmica a la cual está sujeta la Ciudad de Cartago, será necesario realizar un historial de eventos sísmicos desde sus inicios hasta la actualidad.

A su vez también será indispensable asociar dichos eventos a cada una de las fallas ya descritas en el apartado anterior.

A continuación se presenta cronológicamente los principales eventos sísmicos que han ocurrido en los alrededores de la Ciudad de Cartago, así como los daños causados a la edificaciones en ese momento.

Sismicidad Histórica

2 de setiembre de 1841

Conocido como el terremoto de San Antolín, ocurrió a las 6:30 a.m. Fue la primera destrucción de Cartago, causando grandes daños en las localidades de Paraíso, Tres Ríos, Curridabat, San José, Alajuela y Heredia.

Los muertos ascienden a 38, las casas destruidas a 2480 y las casas inutilizables a 1725 (González Víquez, 1994).

La intensidad de Mercalli Modificada máxima calculada se estima en VII o VIII. Además el epicentro se supone al Noreste y noroeste de Tres Ríos y Cartago respectivamente, se sugiere que la falla Lara fue la posible fuente de este terremoto, también suponen una profundidad de 10 km. y una magnitud de 6,5 Ms. (Perlado, 2005)

21 de marzo de 1842

Conocido como el terremoto de Alajuelita. Se estima que el evento tuvo una magnitud de 5,4 Ms a una profundidad de 10 km. La IMM fue de VII en la localidad de Alajuelita.

Además el sismo se asocia con el sistema de fallas de Higuito-Belo Horizonte, que se localiza ligeramente al sur de Alajuelita.

13 de abril de 1910

Conocido como el terremoto del Tablazo, ocurrió a las 12:37 p.m. Su nombre se debe a su localización al sureste de San José, cerca del Tablazo.

Fue un sismo somero de magnitud 5,8 Ms de origen tectónico por fallamiento local. La sacudida provoco muchos daños principalmente en el centro de la Ciudad de Cartago así como en las poblaciones vecinas.

No existen el reporte de muertos pero si el daño a varias viviendas, edificios públicos e iglesias en la zona, que incluso muchas de estas fueron declaradas inhabitables.

En Cartago cerca de 115 casa resultaron destruidas total o parcialmente, mientras que en las localidades de Llano grande, San Rafael y Tejar unas 40 casas resultan en ruinas y la iglesia con daños considerables.

Es importante mencionar que este día da inicio al peor ciclo de temblores que se conoce en la historia del país y finaliza el 4 de mayo de 1910.

4 de mayo de 1910

El terremoto de Cartago ocurrió a las 6:50 pm. Fue la segunda destrucción de Cartago, su magnitud fue de 6,4 Ms, su profundidad fue somera y fue localizado en Cartago.

Se estima que la cifra de muertos pudo llegar a 700, muchas de estas personas fueron enterradas casi de inmediato para evitar la proliferación de pestes.

El número de heridos se desconoce pero se estima en miles, la mayoría de estos fueron trasladados a San José para ser atendidos.

Producto del terremoto del 13 de abril de 1910, la Ciudad de Cartago ya había sufrido muchos daños y con este sismo quedo totalmente destruida.

Las construcciones que habían quedado en pie luego del terremoto de 13 de abril colapsaron totalmente, incluyendo iglesias, conventos, escuelas y otros edificios públicos.

Agua Caliente fue muy afectada incluso el puente sobre el río Agua Caliente colapso y cayó al río, Paraíso fue devastada. En San José,

Heredia y Alajuela se reportaron caída de objetos y algunos daños en repellos de edificios y casas.

Por ser la segunda vez en que la Ciudad de Cartago era destruida y por la gran cantidad de daños estructurales, el gobierno de ese momento del presidente Cleto González Víquez, propone la implementación de un nuevo código sísmico de construcción para evitar situaciones como estas en el futuro.

21 de febrero de 1912

Conocido como el terremoto de Tres Ríos, ocurrió a las 2:20 a.m. El evento tuvo una magnitud de 5,7 Mw, se registro por el Observatorio Nacional con una duración de tres minutos cinco segundos.

La dirección predominante fue Noroeste a Sureste en dirección del Poas y la IMM alcanzo los VII. Se reportaron la caída de objetos así como algunos daños en San José, Tres Ríos y Cartago y sus alrededores.

Tres Ríos fue la más afectada muchos de los edificios públicos como escuelas y municipalidad se debieron destruir.

Así como el cementerio sufrió graves daños y las casas a excepción de las de madera sufrieron daños comparables con el terremoto de 1910.

21 de agosto de 1951

El terremoto causo daños considerables en Paraíso y Orosi, se estima que su magnitud fue de 5,9 Mw.

Además fue sentido fuerte al sur de Cartago y se estima que la IMM máxima fue de VII. Es evento está asociado a la falla de Agua Caliente por su localización.

Sismicidad reciente

La sismicidad superficial registrada en los últimos años, en los alrededores de la Ciudad de Cartago principalmente hacia el sur y sureste del Valle Central, se caracteriza por sismos de una moderada a baja magnitud ($M = 2 - 4$), con profundidades por lo general menores a 20 km.

De la actividad sísmica más importante registrada en los últimos años esta la ocurrida en 1990, año en que se produjeron varios enjambres sísmicos al sur de Tejar del Guarco, disparados

por el terremoto de Cóbano del 25 de marzo de 1990 y posteriormente por el de Limón del 22 de abril de 1991.

Los principales sismos ocurridos para el periodo de 1985-2005 se muestran en las figuras 21 y 22, como se puede observar la gran mayoría de estos sismos se ubican sobre las trazas de las fallas de Agua Caliente, Navarro y Orosi.

Fallas que fueron descritas en capítulos anteriores y que presentan una fuerte amenaza sísmica dada la cercanía a la Ciudad de Cartago además de su historial.

Para el periodo del 2005-2015 los sismos registrados han sido sismos de modera a baja magnitud, en el apéndice 1 se muestra un registro de los sismos más importantes registrados en los últimos años por el OVSICORI-UNA.

Mientras que en la figura 24 se muestra la ubicación de los epicentros junto con algunos de los sismos históricos mencionados anteriormente.

Es importante mencionar que varios enjambres sísmicos han ocurrido en los últimos años en los alrededores del área de estudio, uno de estos fue el enjambre sísmico de Tobosi de Cartago en el 2011.

Los sismos ocurridos se registraron entre el 01 de mayo del 2011 y el 06 de enero del 2012, como se muestra en la figura 23, la magnitud de estos eventos fue de 2 a 3,6 Mw.

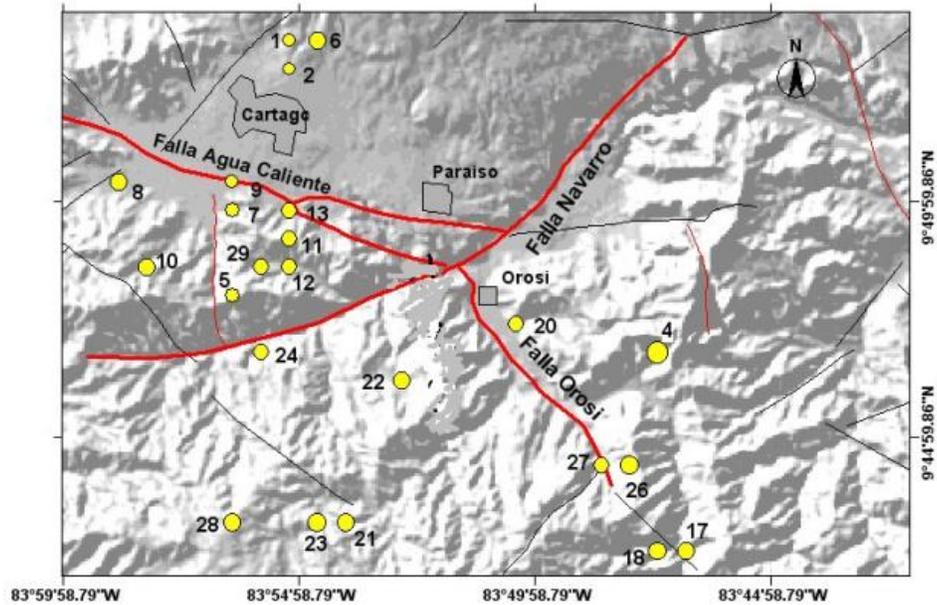


Figura 21. Principales sismos de la zona sur de Cartago, periodo (1985-2005).
Fuente: Barquero, R. 2010

No.	Fecha	Lat	Long	Mag	Prof	Epicentro
1	06/01/1987	9.89	-83.92	2,0	2	Cartago
2	06/01/1987	9.88	-83.92	2,0	2	Cartago
3	22/09/1987	9.66	-83.80	3,8	4	19 km S Cachi Cartago
4	31/01/1988	9.78	-83.79	5	14	20 km S Juan Viñas
5	27/06/1988	9.8	-83.94	2,8	6	Navarro
6	23/10/1988	9.89	-83.91	3,6	9	2 km N Cartago
7	23/10/1988	9.83	-83.94	2,6	5,1	Tejar
8	29/09/1989	9.84	-83.98	3,4	5	2 km NW Tobosi
9	17/04/1990	9.84	-83.94	2,3	6,8	Tejar
10	10/07/1990	9.81	-83.97	3,3	14,2	Tejar
11	30/07/1990	9.82	-83.92	3,1	3,6	Tejar
12	31/07/1990	9.81	-83.92	3,1	4,4	Tejar
13	01/08/1990	9.83	-83.92	2,8	15,6	Tejar
14	29/04/1991	9.76	-83.91	4,7	22,5	10 km SE Tejar
15	30/06/1991	9.31	-83.80	4,1	4	16 km SE Cartago
16	21/07/1992	9.65	-83.71	4	15	Orosi
17	14/07/1993	9.71	-83.78	3,5	11	12 km SW Orosi
18	14/07/1993	9.71	-83.79	3,9	13	14 km SE Orosi
19	25/09/1994	9.72	-84.02	3,4	7	15 km SW Cartago
20	03/11/1994	9.79	-83.84	3,3	6	Orosi
21	27/04/1995	9.72	-83.9	3,9	11	8 km SW Orosi
22	17/11/1995	9.77	-83.88	3,5	10	5 km SW Orosi
23	08/10/1997	9.72	-83.91	3,8	13	15 km Sur Cartago
24	20/05/1999	9.78	-83.93	3,1	20	10 km SSW Cartago
25	03/06/1999	9.81	-84.02	2,8	13	12 km SSW Guarco
26	16/10/2003	9.735	-83.799	4	10	9 km SW Orosi
27	16/10/2003	9.742	-83.811	3,1	14	8 km SW Orosi
28	02/06/2004	9.721	-83.938	3,7	11	15 km Sur Cartago
29	25/10/2005	9.813	-83.935	3,1	10	6 km S Cartago

Figura 22. Sismos locales sentidos de la zona sur de Cartago, periodo (1985.2005).
Fuente: Barquero, R. 2010

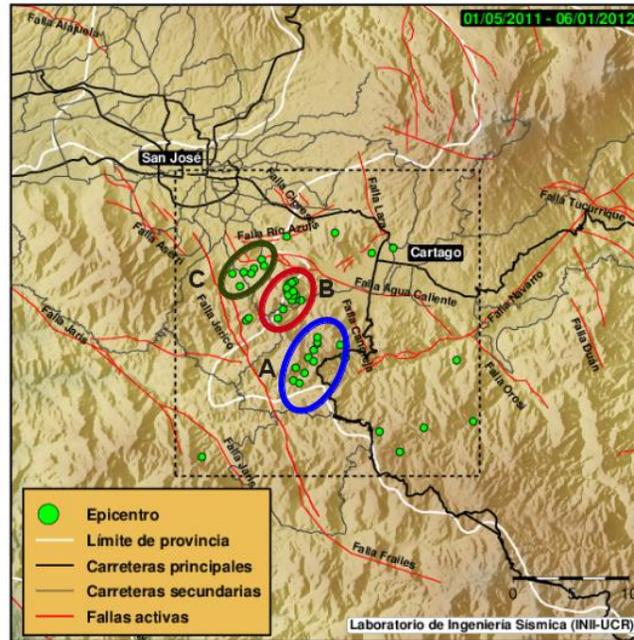


Figura 23. Enjambre sísmico de Tobosí de Cartago en el 2011.
Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

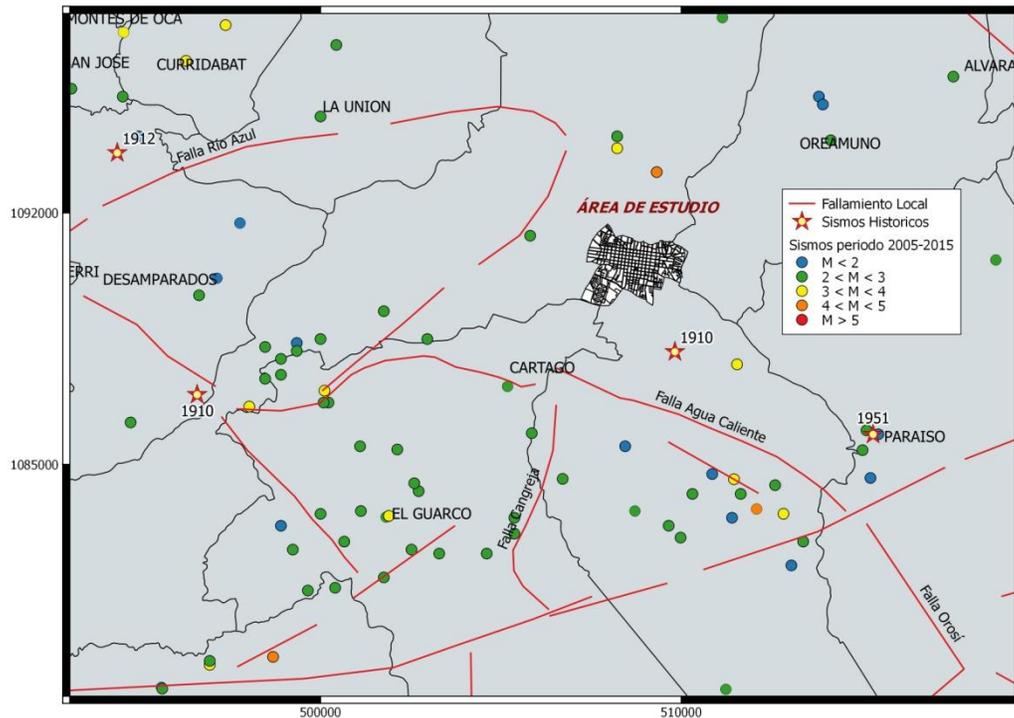


Figura 24. Sísmos locales de los últimos años alrededor del área de estudio, periodo (2005-2015). Elaborada en QGIS, proyección CRTM05.
Fuente: Apéndice 1, datos del OVSICORI-UNA.

Amenaza Sísmica

La actividad sísmica en los alrededores de poblaciones o asentamientos humanos, ha incentivado a establecer parámetros que definen el nivel de amenaza e incluso a definir metodologías para estimar dichos parámetros.

“Los parámetros que definen el nivel de peligro en un modelo de amenaza sísmica se conocen como parámetros de movimiento fuerte” (ERN-CAPRA, T1-3). Estos definen la intensidad del movimiento en el sitio de análisis. La forma de estimarlos se hace por medio de ecuaciones de atenuación, también conocidas como funciones de atenuación.

Las cuales dependen principalmente de la distancia de la fuente sismogénica, la magnitud sísmica, y el tipo de mecanismo focal de ruptura.

Existe una relación directa entre la magnitud y intensidad de un sismo, al ocurrir un sismo gran parte de la energía se libera en forma de ondas de esfuerzo, que se desplazan por la corteza terrestre.

La magnitud está relacionada con la cantidad de energía liberada, mientras que la intensidad de dicha ondas se encuentra relacionada con la magnitud.

“A medida que las ondas se desplazan por el medio rocoso, estas son absorbidas parcial y progresivamente por los materiales por los que transitan” (ERN-CAPRA, T1-3).

De este modo la energía liberada por unidad de volumen varía en función de la distancia.

Debido a que la intensidad está relacionada con la energía de las ondas, esta también se encuentra relacionada con la distancia.

Las funciones de atenuación relacionan la intensidad en términos de algún parámetro de movimiento fuerte, pero estos a su vez se relacionan con alguna de las distancias que se muestran en la figura 25.

Es importante mencionar que el uso de una u otra distancia depende particularmente del parámetro de movimiento fuerte a inferir, debido a que una u otra se relaciona mejor con uno o varios parámetros en particular.

D1 es la distancia del sitio a la proyección en superficie del plano de falla. D2 es la distancia a la superficie de falla. D3 es la distancia epicentral. D4 es la distancia hasta la zona en la

superficie de falla que libero la mayor cantidad de energía. Por último D5 es la distancia hipocentral.

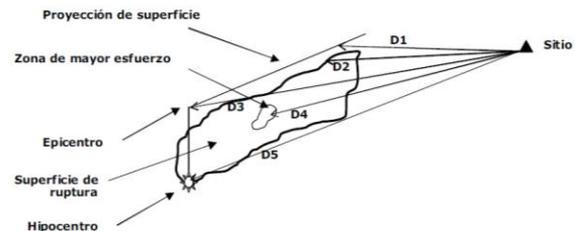


Figura 25. Diferentes distancias usadas en las funciones de atenuación.

Fuente: (ERN-CAPRA, T1-3)

Entre los parámetros más comunes utilizados para definir la amenaza sísmica se encuentran:

- Aceleración máxima
- Velocidad máxima
- Desplazamiento máximo
- Amplitud del espectro de Fourier
- Duración

En este proyecto, se utiliza el parámetro de aceleración máxima debido a que el parámetro más empleado para representar el movimiento del terreno en los estudios de amenaza sísmica.

Es importante resaltar que únicamente se utilizará este parámetro debido a que el objetivo principal de este proyecto es evaluar la vulnerabilidad sísmica de la Ciudad de Cartago, y no el realizar un estudio detallado de la amenaza sísmica en zona. Sino más bien se busca generar un mapa de las aceleraciones pico del suelo para los distintos escenarios, que se definirán más adelante.

De este modo conociendo las aceleraciones esperadas en la zona, se determinará la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, la cual se definirá en el siguiente capítulo.

Se han propuesto diversos modelos de atenuación para el parámetro de aceleración máxima, donde se relaciona con la distancia, la magnitud, así como con el tipo de material por donde se transmiten las ondas sísmicas.

Para Costa Rica existen varias funciones de atenuación propuestas por distintos autores, pero la más utilizada y la cual se utilizará en este estudio, es la propuesta por Climent et al, 1994.

La ecuación propuesta por Climent et al, 1994 para Centroamérica es la siguiente:

$$\ln PGA = -1,687 + 0,553 M - 0,537 \ln R - 0,00302 R + 0,327 S + \sigma_{PGA}$$

Donde:

- PGA: Aceleración pico del terreno por sus siglas en inglés Peak Ground Acceleration (m/s²)
- M: Magnitud de momento
- R: Distancia hipo central (km)
- S: Es un parámetro indicativo de la geología del sitio de análisis (en roca S=0 y en suelo S=1)
- σ_{PGA} : Término relacionado con el error en la estimación, en este caso ($\sigma_{PGA}=0,75$)

En Taylor (1994), se determinaron varias ecuaciones de atenuación para la Ciudad de Cartago y alrededores, según el tipo de suelo encontrado en la zona, ya sea suelo blando, suelo firme o roca.

A pesar de que son ecuaciones determinadas específicamente para la zona de análisis de este estudio, no se utilizarán debido a que las mismas fueron calculadas con muy pocos datos (16 valores de aceleración pico máxima para suelo blando, 6 para suelo firme y 10 para roca) por esta razón no representa una fuente confiable. Además poseen una desviación estándar de 0,35, por lo que deben ser mejoradas.

Mientras que la ecuación de Climent et al, 1994. Se determinó de varios registros de diferentes acelerógrafos de estaciones ubicadas en Centroamérica, 155 registros de Costa Rica y el resto de Nicaragua y El Salvador. Para un total de 218 registros, además se emplearon 62 registros de magnitud elevada provenientes de la red acelerográfica de Guerrero en México.

Es importante mencionar que esta ecuación ya ha sido utilizada en estudios de amenaza sísmica y vulnerabilidad física como los realizados por Climent, A. et al. (2003) y Jiménez, D. (2012).

Metodologías de Cálculo

Existen principalmente dos metodologías para el cálculo de la amenaza sísmica, la determinista o la probabilista, ambas permiten integrar el conocimiento sismo-tectónico de una región para determinar el grado de intensidad sísmica probable que podría ocurrir en la misma.

La principal diferencia, es que el método probabilístico permite asociarle probabilidades de ocurrencia a estos niveles de intensidad, mientras que con el método determinístico se obtienen valores absolutos al evaluar diferentes escenarios sísmicos.

Análisis determinístico de amenaza sísmica (DSHA)

Para definir la amenaza sísmica en la Ciudad de Cartago se utilizó la metodología determinista, la cual implica la definición de uno o varios escenarios en particular, basados en el conocimiento actual de las condiciones sismo-tectónicas de la región.

Los escenarios se definen como sismos de magnitud conocida, los que suceden en un sitio determinado. Según (ERN-CAPRA, T1-3) los pasos a seguir para llevar a cabo un DSHA, son:

1. Caracterización de las fuentes generadoras de terremotos con influencia en el sitio de análisis. Se requiere definir cada fuente en términos de su geometría y sismicidad.
2. Selección de la distancia de la fuente al sitio. Generalmente se toma la menor distancia existente entre la fuente y el lugar de análisis.
3. Selección del sismo de análisis, el cual representa de la mejor manera el potencial sísmico de la fuente en consideración, en términos de la intensidad en el sitio bajo estudio. Se debe escoger a partir de comparación de los niveles de intensidad generados por sismos históricos de la región, o de otras regiones con características neo tectónicas similares, de tal manera que sea posible definir una magnitud del

sismo de análisis para las distancias anteriormente definidas.

- Selección de las funciones de atenuación que permitan caracterizar completamente la amenaza en el sitio. Según el alcance del análisis se requerirán funciones de atenuación de aceleración, velocidad, desplazamiento, componentes espectrales de los anteriores parámetros, duración, o cualquier otro parámetro.

Es importante mencionar que el DSHA indica el peor caso posible del efecto sísmico en el sitio de análisis. Pero este no considera la probabilidad de ocurrencia de ese evento, es decir, si es probable o no que ocurra en el sitio escogido, o que probabilidad hay de que ocurra un periodo determinado, ni mucho menos la incertidumbre asociada a las variables involucradas.

En la figura 26, se muestra un esquema simplificado de la metodología de análisis determinista.

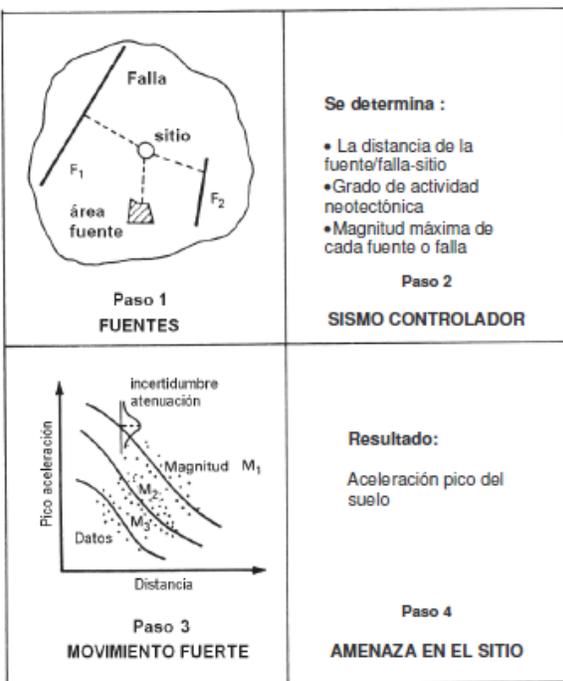


Figura 26. Esquema simplificado del DSHA.
Fuente: Climent, A. et al. (2003)

Análisis probabilista de amenaza sísmica (PSHA)

En cuanto a la metodología probabilista, esta busca involucrar de manera más analítica la incertidumbre asociada con las variables de un estudio de amenaza sísmica de una región.

Parámetros como la frecuencia de ocurrencia de un determinado sismo, la probabilidad de que ocurra en un sitio específico, así como probabilidades de excedencia de intensidades sísmicas; son incluidos en los modelos de cálculo.

Según (ERN-CAPRA, T1-3) los pasos a seguir para llevar a cabo un PSHA, son:

- Caracterización de las fuentes generadoras de terremotos con influencia en el sitio de análisis, en términos de su geometría y distribución de probabilidad de puntos de inicio de la ruptura en el área de falla definida. Es usual asumir una distribución de probabilidad uniforme, lo cual implica que la ocurrencia de sismos se espera con igual probabilidad en cualquier lugar de la geometría de la fuente definida. Determinación de la sismicidad de las fuentes consideradas, a partir del registro histórico de eventos ocurridos sobre la geometría anteriormente definida (catálogo sísmico), y de información y estudios de neotectónica y paleosismología para la fuente. La sismicidad se establece por medio de una curva de recurrencia de magnitudes, la cual es una relación específica de cada fuente, que indica cual es la tasa de excedencia de una magnitud sísmica particular.
- Selección de las funciones de atenuación que permitan caracterizar completamente la amenaza en el sitio. Según el alcance del análisis se requerirán funciones de atenuación de aceleración, velocidad, desplazamiento, componentes espectrales de los anteriores parámetros, duración, etc. Debe involucrarse la incertidumbre asociada a la estimación

de los parámetros, generalmente indica en cada modelo de atenuación.

3. Finalmente se combinan las incertidumbres asociadas a localización, tamaño y atenuación y se obtiene una curva de amenaza, la cual indica la probabilidad que una intensidad específica sea igualada o excedida en un periodo de tiempo determinado.

Vulnerabilidad

“La vulnerabilidad se define como la predisposición de un sistema, elemento, componente, grupo humano o cualquier tipo de elemento, a sufrir afectación ante la acción de una situación de amenaza específica.” (ERN-CAPRA, T1-5)

Es importante hacer una clara diferencia entre vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad humana, debido a que este estudio está enfocado a determinar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago.

Ahora bien, se entiende como vulnerabilidad estructural al daño o afectación que sufrirá un activo determinado ante una amenaza. Por lo general se mide en términos de un porcentaje medio de daño y la incertidumbre asociada.

Mientras que la vulnerabilidad humana se refiere al nivel de afectación de los ocupantes de una edificación en términos del número de víctimas esperado, heridos o cualquier otro nivel de afectación que se defina, en función de la intensidad del fenómeno amenazante.

Existen dos tipos de métodos para determinar la vulnerabilidad estructural, los métodos cuantitativos o analíticos y los métodos cualitativos.

Según Caballero, 2007. Los métodos cuantitativos tienen su fundamento en un modelo calibrado que tiene en cuenta el análisis dinámico inelástico de la estructura, de ese modo permite conocer el proceso de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura.

Algunos de los métodos cuantitativos más utilizados a nivel mundial son: NSR-98, FEMA 178, ATC-14 y FEMA 273.

Mientras que los métodos cualitativos, pretenden realizar un estudio de vulnerabilidad de

En resumen la amenaza sísmica puede representarse mediante mapas de aceleraciones, velocidades y desplazamientos para diferentes periodos de retorno o para determinados escenarios sísmicos (según la metodología utilizada) y de manera más específica, mediante espectros de aceleraciones, velocidades o desplazamientos para considerar la eventual respuesta de cualquier tipo de componente de infraestructura.

un conjunto de edificaciones de una forma más rápida y sencilla.

“Estos métodos son usados para obtener un estimado de la vulnerabilidad de las edificaciones, lo que permite conocer el comportamiento de una zona urbana ante la ocurrencia de algunos fenómenos naturales” Caballero, 2007. Además resultan ser una herramienta importante para realizar planes de prevención y mitigación de desastres.

Entre los métodos cualitativos que han sido desarrollados se encuentran: Técnicas de Screening, método ATC-21 (FEMA 154), método NAVFAC, métodos Japoneses, método Venezolano, método ISTC, método del Índice de Vulnerabilidad y el método de la AIS.

Una breve explicación de los métodos cuantitativos y cualitativos se describe en los anexos 1 y 2 respectivamente.

Además la vulnerabilidad se puede expresar en términos de una función, que se le conoce como función de vulnerabilidad. Esta función define una curva que relaciona el valor esperado de daño y desviación estándar del daño con la intensidad del fenómeno amenazante.

“La función de vulnerabilidad define la distribución de probabilidad de las pérdidas como función de la intensidad producida durante un escenario específico.” (ERN-CAPRA, T1-5).

Según (ERN-CAPRA, T1-5) las funciones de vulnerabilidad pueden evaluarse mediante diferentes técnicas incluyendo:

1. Observaciones del comportamiento de diferentes tipos estructurales ante fenómenos que producen desastres.

2. Estudios experimentales de componentes estructurales particulares sometidos a acciones externas que modelan los efectos de las amenazas a considerar.
3. Estudios analíticos de componentes estructurales o de estructuras completas particulares sometidos a acciones externas que modelan los efectos de las amenazas a considerar.
4. Experiencia acumulada de expertos.
5. Funciones publicadas en la bibliografía internacional.

- b) Estructuras de altura en sistemas rígidos o flexibles tales como sistemas aporticados, combinados o sistemas de muros estructurales en edificios de varios pisos, el daño se correlaciona normalmente con la deriva espectral inelástica de la edificación.

Cuando hablamos de la mitigación de desastres producto de terremotos, nos referimos a las acciones que tienen como principal objetivo mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones en una zona en particular, con el fin de reducir los daños esperados durante un terremoto. Los cuales se traducen en un costo de reparación de la estructura.

Es decir, para mitigar el riesgo sísmico en una zona, entonces será necesario ya sea disminuir la amenaza o la Vulnerabilidad de esa estructura en particular.

Para el caso de estructuras existentes poco o nada se puede realizar para disminuir la amenaza en la zona, es decir, la amenaza a la cual está expuesta una estructura en una zona en particular siempre será la misma y siempre estará ahí presente.

Caso contrario de una estructura que aun no se encuentre construida, ubicando el sitio de construcción en una zona con una menor amenaza se logra disminuirla, es decir la misma estructura en dos sitios distintos, esta tendrá diferente amenaza (ya sea más o menos) en una zona que en la otra.

En caso de la vulnerabilidad, como se menciono anteriormente, esta será única para cada tipo de estructura en particular, y dependen principalmente sus características como: sistema constructivo, tipo de materiales utilizados, componentes estructurales que la conforman, su comportamiento en general, entre otros. Que hacen que cada estructura tenga una vulnerabilidad sísmica en particular.

De este modo conociendo el comportamiento de las estructuras ante ciertas amenazas, en nuestro caso la actividad sísmica en los alrededores de la Ciudad de Cartago, se podrá evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones en esta zona.

Contando con este tipo de información, instituciones como las municipalidades, Comisión Nacional de Emergencias, entre otras encargadas en prevención y protección contra

Vulnerabilidad Sísmica

Las funciones de vulnerabilidad sísmica para tipos de construcciones o sistemas constructivos en particular, se expresan mediante curvas que relacionan la Relación Media de Daño, RMD, con una medida de intensidad del evento.

La RMD corresponde en general, al costo de recuperación de la estructura para llevarla a un estado equivalente al que tenía antes de la ocurrencia del evento, medida como porcentaje de su valor de reposición total.

De los estudios de amenaza se obtienen los parámetros de intensidad demandados a la estructura. Por lo general estos están dados en términos de aceleración, velocidad o desplazamientos máximos del terreno o incluso valores espectrales, es decir para diferentes periodos estructurales dominantes de vibración. (ERN-CAPRA, T1-5).

Es importante mencionar que la medida de intensidad que seleccione corresponde en general al parámetro que mejor se ajuste a la representación de daño de cada construcción en particular.

De este modo se utilizan las siguientes representaciones:

- a) Estructuras rígidas, de poca altura, en mampostería estructural, adobe y materiales similares, el daño se correlaciona normalmente en términos de la aceleración espectral inelástica. Para el caso de estructuras muy rígidas, el parámetro que se utiliza normalmente es la aceleración máxima del terreno.

desastres naturales, podrán tomar decisiones acertadas en el ordenamiento territorial, en la reubicación de estructural en zonas de alta amenaza sísmica, y en la prohibición de sistemas constructivos muy vulnerables que pongan en peligro la vida de sus ocupantes.

Funciones de Vulnerabilidad sísmica para Costa Rica

Para el caso de Costa Rica en particular, en el informe T2-5, Caracterización local de la vulnerabilidad de edificaciones, realizado por ERN-CAPRA, se clasificaron los tipos estructurales de edificaciones dominantes en Costa Rica, según las edificaciones encontradas en la ciudad de San José.

En este informe se realiza una clasificación de cada uno de los tipos constructivos dominantes en la ciudad de San José, mediante visitas de inspección y documentación existente.

Para cada uno de los tipos identificados, se realizó un levantamiento detallado de información propia de las edificaciones representativas, y se muestra mediante formatos que resumen las características principales, descripción de elementos principales y conexiones, además de un registro fotográfico.

Del mismo modo se incluye información relacionada con el sistema estructural, material dominante en dicho sistema, características generales tales como tipo de entresijos y cubierta, altura, luces típicas, geometría, entre otras.

Al final cada uno de los tipos constructivos se caracteriza de acuerdo con:

- Características generales de la edificación (rango tipo de número de pisos, luces típicas, luces máximas de cubierta, otras).
- Sistema estructural principal.
- Material de la estructura principal.
- Material y tipo de cubierta.
- Material y sistema de entresijo.

De esta clasificación se obtiene, que para Costa Rica existen 8 tipos constructivos dominantes y estos son:

TUGURIO-RIPIO (R)

Es una tipología propia de asentamientos de extrema pobreza, donde se utiliza cualquier tipo de material de desecho para edificar las viviendas, de un piso con altura inferior a 3.00 m, luz aproximada de 3.00 m. no presenta sistema estructural definido, por lo tanto posee un comportamiento impredecible.

ADOBE (A)

Edificaciones de un piso de albañilería, con piezas de arcilla cocidas al sol, unidas con barro, sin elementos de liga. Los techos de tiras de madera apoyadas en largueros, llevan encima la cubierta presentándose con cubiertas livianas o pesadas.

En las edificaciones de dos niveles, el entresijo en madera se comporta como un diagrama flexible. Se encuentra con muy poca frecuencia y las existentes tienen muchos años de construcción.

En la actualidad no se construye con este tipo de material, debido a que se encuentra prohibido. Las edificaciones de adobe corresponden en general a edificaciones con relativa alta vulnerabilidad sísmica. Esto significa que es de esperarse daño estructural importante para niveles de aceleración relativamente bajos.

Para este tipo de construcciones la falla del sistema normalmente ocurre por colapso parcial o en total dirección perpendicular a los muros y por pérdida de apoyo de los elementos de cubierta.

Pórticos en concreto resistentes a momento (PCR)

Son conformadas por vigas y columnas en concreto, pueden ser de uno o más niveles, las cubiertas varían entre ligeras, pesadas o losas de concreto.

Para las estructuras de más de un nivel el diafragma de entresijo es en general rígido.

El comportamiento de las estructuras de pórticos de concreto reforzado se caracteriza por la flexibilidad asociada a la disposición de los elementos que la conforman sin tener algún tipo

de contravientos o riostras. Estas edificaciones son en general de vulnerabilidad intermedia.

Mampostería confinada (MC)

Dentro de la mampostería prevalecen las edificaciones de mampostería confinada, presentan relativa baja vulnerabilidad sísmica, esto significa que es de esperarse daño estructural importante sólo para altos niveles de demanda sísmica en términos de deriva estructural.

Para este tipo de construcciones la falla del sistema ocurre normalmente por figuración avanzada en dirección paralela al plano de los muros principales y deterioro progresivo consecuente de los muros de mampostería.

Por su extrema rigidez, estas edificaciones están normalmente sometidas a aceleraciones para periodos estructurales muy bajos que son en general aceleraciones relativamente menores en comparación con las que pudieran actuar en edificaciones de rigidez intermedia.

El comportamiento esperado de este sistema estructural puede variar según el tipo de diafragma y la disposición de elementos de confinamiento en concreto reforzado.

Muros de madera (W)

Es una tipología en la que predomina la madera como elemento estructural principal, están conformados por marcos de madera y muros en madera, aunque en algunos casos pueden ser láminas de otro material.

Las edificaciones de madera corresponden en general a edificaciones de uno o dos pisos con entre pisos de diafragma rígido o flexible y con vulnerabilidad sísmica intermedia, se presentan variaciones en los materiales de cubierta, clasificándose en cubiertas ligeras o pesadas.

En general la calidad de construcción en madera no es buena ya que las técnicas de producción, industrialización y construcción no están tan desarrolladas.

Por esta razón las funciones de vulnerabilidad corresponden a estructuras de madera de regular y baja calidad. A pesar de esto, el sistema no es en general susceptible de daños grandes principalmente porque, considerando sus características, la intensidad

sísmica de entrada no es muy alta por tratarse de un sistema relativamente flexible, dúctil y de bajo peso.

Se encuentra principalmente en zonas suburbanas, o barrios antiguos y asentamientos. En la actualidad se emplea muy rara vez.

Mampostería Simple (MS)

Las edificaciones de mampostería simple están conformadas por muros en bloque de concreto o arcilla, generalmente son edificaciones de uno o dos pisos con cubierta ligera en la mayoría de los casos.

Para las edificaciones de dos pisos se observa en la mayoría de los casos diafragmas de entrepiso flexibles conformados por vigas en madera o metálicas con losa en madera.

Estas edificaciones presentan vulnerabilidad sísmica alta, con niveles de daño estructural importante.

Para este tipo de construcciones la falla del sistema ocurre normalmente por figuración avanzada en dirección paralela al plano de los muros principales y deterioro progresivo de los muros de mampostería.

Se encuentra principalmente en zonas de barrios antiguos y asentamientos. En la actualidad se emplea muy rara vez.

Mampostería reforzada (MR)

Las edificaciones de mampostería reforzada están conformadas por muros en bloques de concreto perforado con algunas celdas rellenas de concreto y con acero de refuerzo, generalmente son edificaciones de uno o dos pisos con cubierta ligera en la mayoría de los casos.

Las edificaciones de dos o más pisos presentan en la mayoría de los casos diafragmas de entrepiso rígidos conformados por vigas metálicas con losa de concreto.

También se observan casos de diafragmas de entrepisos flexibles conformados por vigas en madera o metálicas con losa en madera. Estas edificaciones presentan una vulnerabilidad sísmica baja.

Para este tipo de construcciones la falla del sistema ocurre normalmente por figuración avanzada en dirección paralela al plano de los muros principales y deterioro progresivo consecuente de los muros de mampostería.

Es el sistema de mampostería más utilizado en la actualidad.

Muros en concreto prefabricado (CP)

Es un sistema de muros estructurales prefabricados sobre los que se apoyan placas prefabricadas también de concreto. Típicamente se encuentran estructuras de uno o dos pisos con

cubiertas ligeras. En estructuras de dos niveles el diafragma de entrepiso se idealiza como diafragma flexible.

A su vez de esta clasificación general se obtiene una clasificación más detallada de las tipologías constructivas para Costa Rica, según T2-5, ERN-CAPRA, son 15 las tipologías las cuales se muestran en el siguiente cuadro.

CUADRO 6. TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS PARA COSTA RICA	
TIPO	CARACTERÍSTICAS
A-SLFSB-1	Adobe - Sin diafragma, Cubierta Ligera, Fachada frágil sin dilatar, Bajos - 1 piso
PCR-RLFLM-5	Pórticos en concreto RM - Diafragma rígido, Cubierta Ligera, Fachada Flexible, Medios - 5 pisos.
MC-FLFSB-2	Mampostería confinada - Diafragma flexible, Cubierta Ligera, Fachada frágil sin dilatar, Bajos - 2 pisos.
W-SLFLB-1	Muros en madera - Sin diafragma, Cubierta Ligera, Fachada Flexible, Bajos - 1 piso.
W-FLFLB-2	Muros en madera - Diafragma flexible, Cubierta Ligera, Fachada Flexible, Bajos - 2 pisos.
MR-FLFSB-2	Mampostería Reforzada - Diafragma flexible, Cubierta Ligera, Fachada frágil sin dilatar, Bajos - 2 pisos.
MR-RLFSB-2	Mampostería Reforzada - Diafragma rígido, Cubierta Ligera, Fachada frágil sin dilatar, Bajos - 2 pisos.
MS-SLFSB-1	Mampostería sin refuerzo - Sin diafragma, Cubierta Ligera, Fachada frágil sin dilatar, Bajos - 1 piso.
MS-FLFSB-2	Mampostería sin refuerzo - Diafragma flexible, Cubierta Ligera, Fachada frágil sin dilatar, Bajos - 2 pisos.
MS-RLFSB-2	Mampostería sin refuerzo - Diafragma rígido, Cubierta ligera, Fachada frágil sin dilatar, Bajos - 2 pisos
PCR-RLFSM-5	Pórticos en concreto RM - Diafragma rígido, Cubierta Ligera, Fachada frágil sin dilatar, Medios - 5 pisos.
PCR-RCFSM-5	Pórticos en concreto RM - Diafragma rígido, Cubierta en concreto, Fachada frágil sin dilatar, Medios - 5 pisos.
PCM-RCFSM-5	Pórticos y muros en concreto - Diafragma rígido, Cubierta en concreto, Fachada frágil sin dilatar, Medios - 5 pisos.
R-SLFLB-1	Ripio - Sin diafragma, Cubierta Ligera, Fachada Flexible, Bajos - 1
CPM-RCFSB-2	Concreto prefabricado - Diafragma rígido, Cubierta en concreto, Fachada frágil sin dilatar, Bajos - 2

Finalmente utilizando la metodología propuesta en el Informe (ERN-CAPRA, T1-5) Vulnerabilidad de Edificaciones e Infraestructura, se obtienen para cada una de estas tipologías mostradas en el Cuadro 6 su respectiva curva de vulnerabilidad sísmica.

Cada una de estas funciones relaciona el porcentaje de daño con una medida de intensidad del evento en este caso la aceleración pico máxima del terreno.

Dichas funciones de vulnerabilidad sísmica para cada tipología respectiva se muestran a continuación.

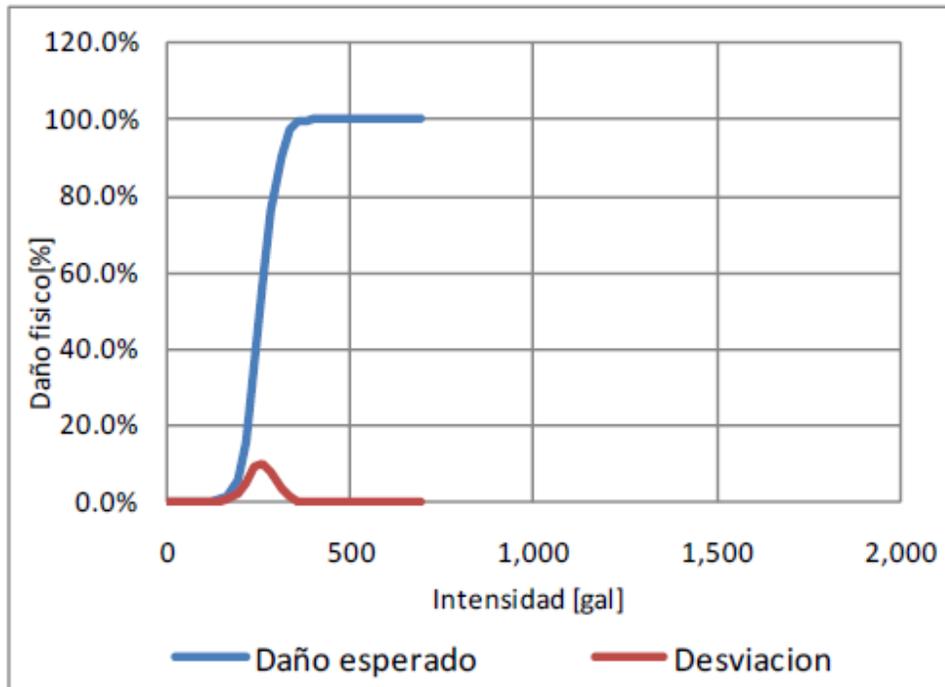


Figura 27. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo A-SLFBB-1.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

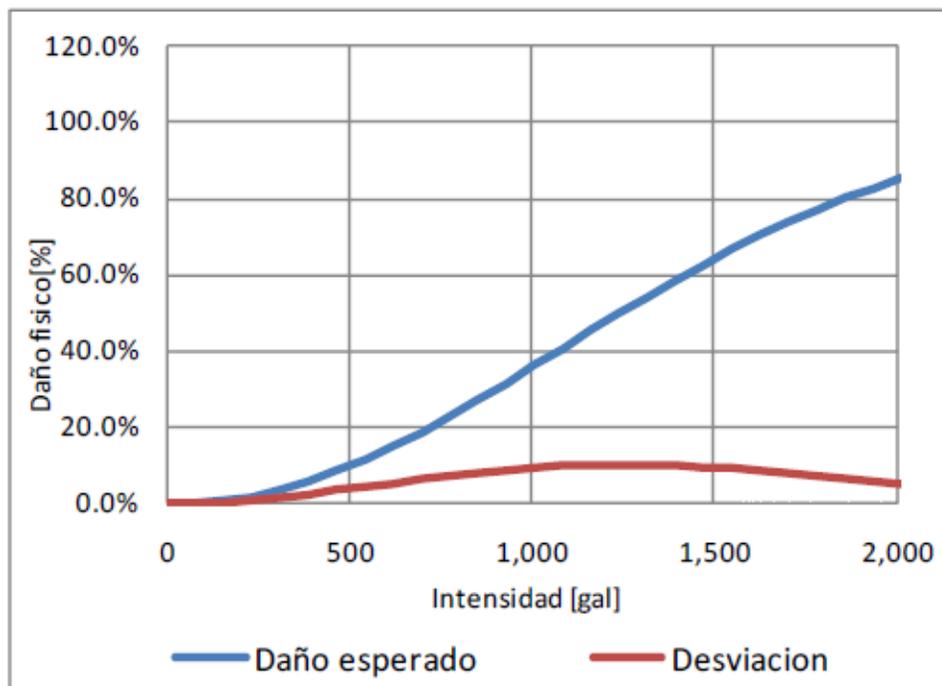


Figura 28. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCR-RLFLM-5.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

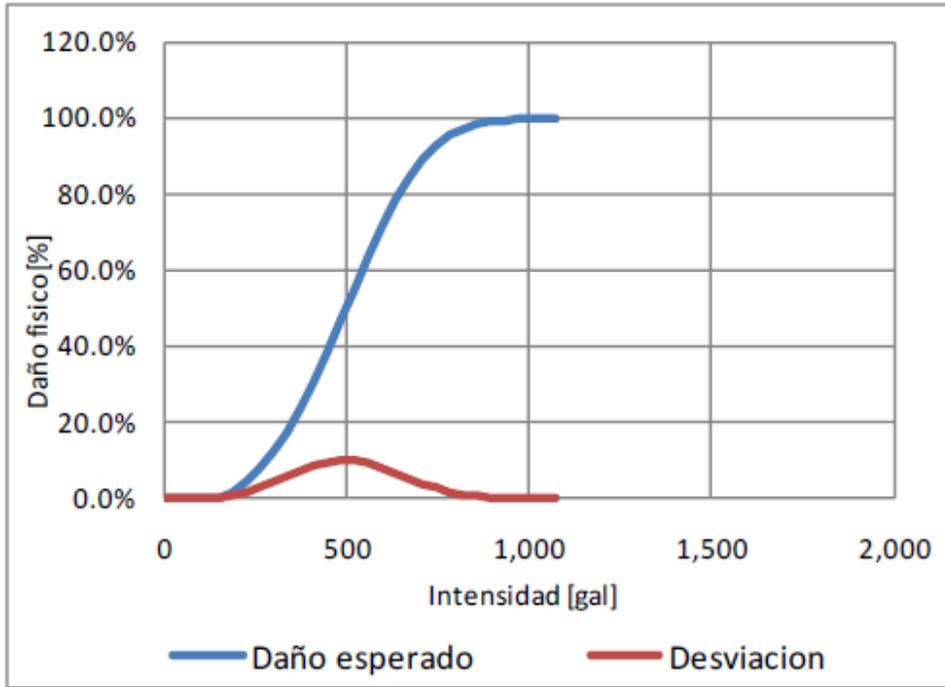


Figura 29. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MC-FLFSB-2.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

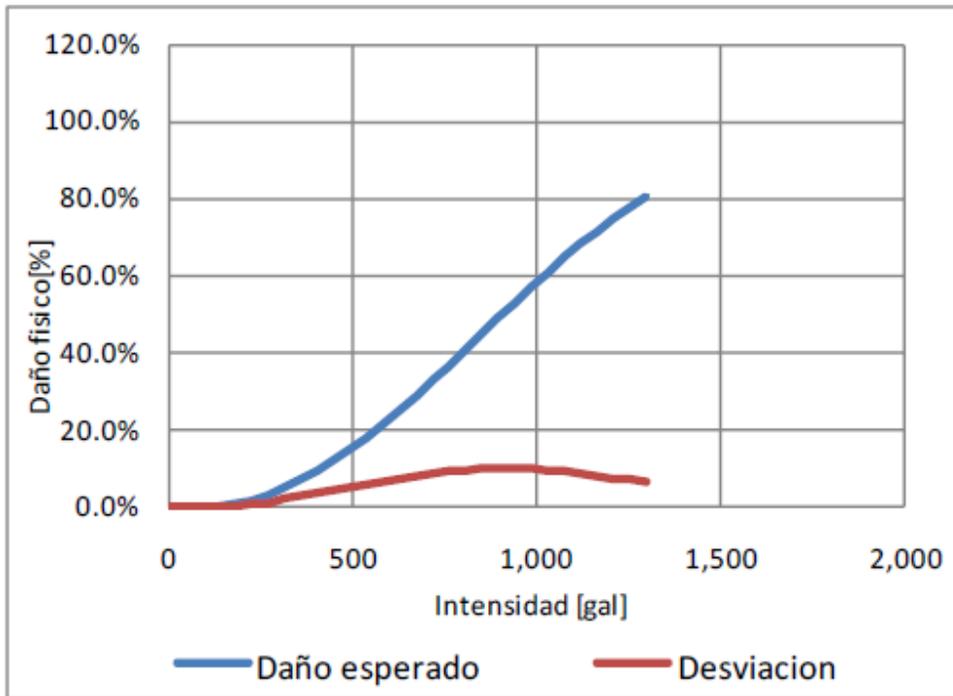


Figura 30. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo W-SLFLB-1.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

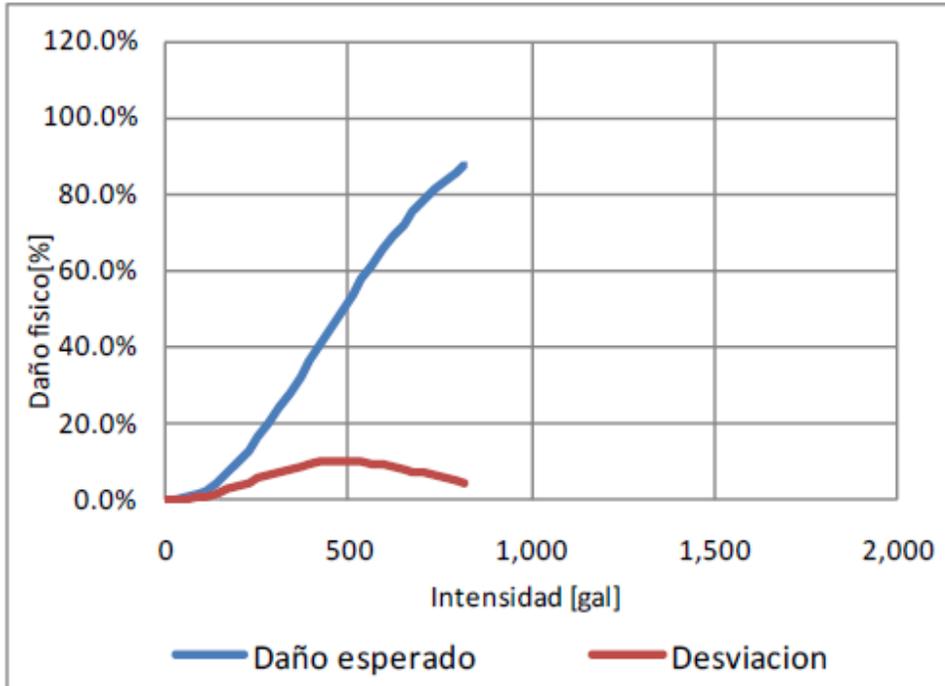


Figura 31. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo W-FLFLB-2.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

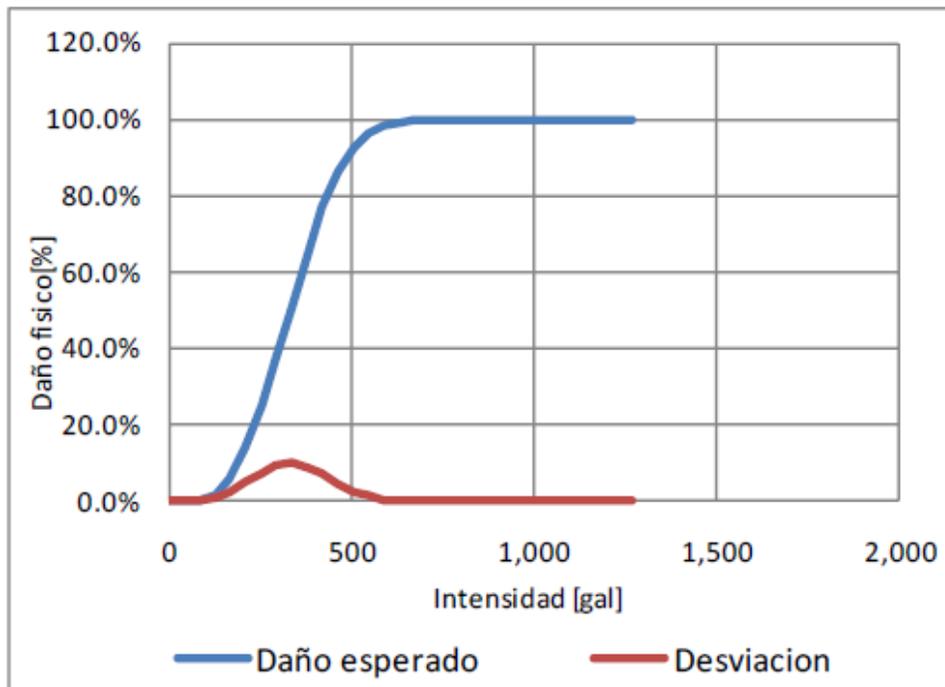


Figura 32. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MR-FLFSB-2.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

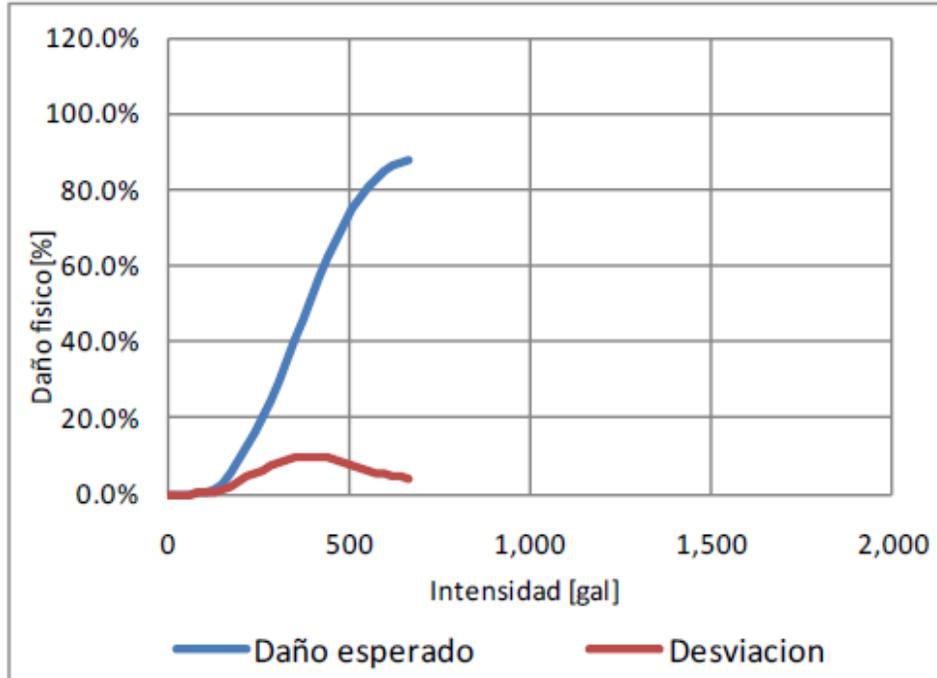


Figura 33. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MR-RLFSB-2.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

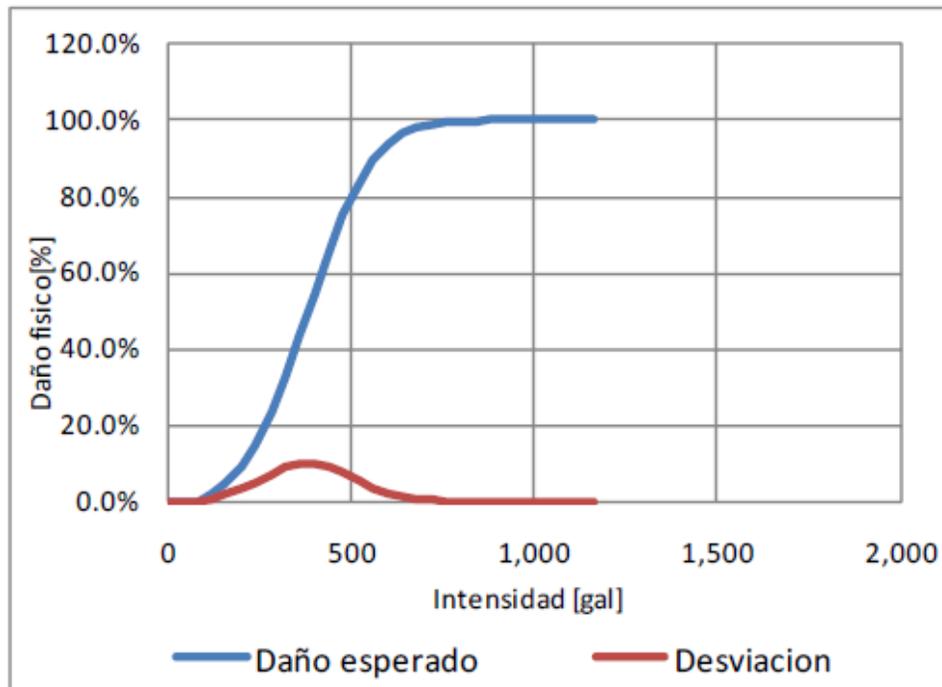


Figura 34. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MS-SLFSB-1.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

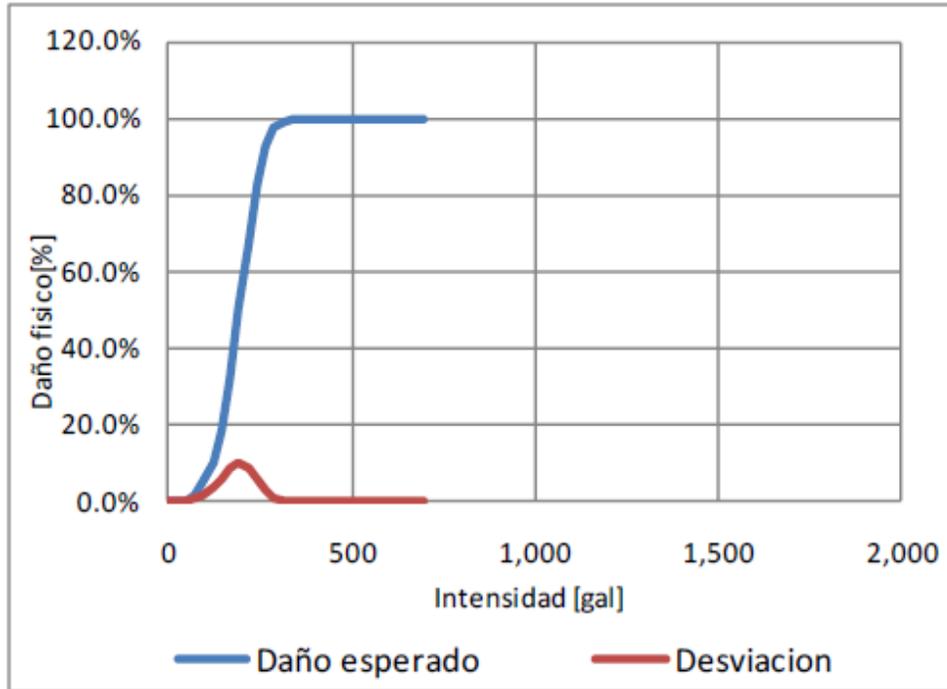


Figura 35. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MS-FLFSB-2.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

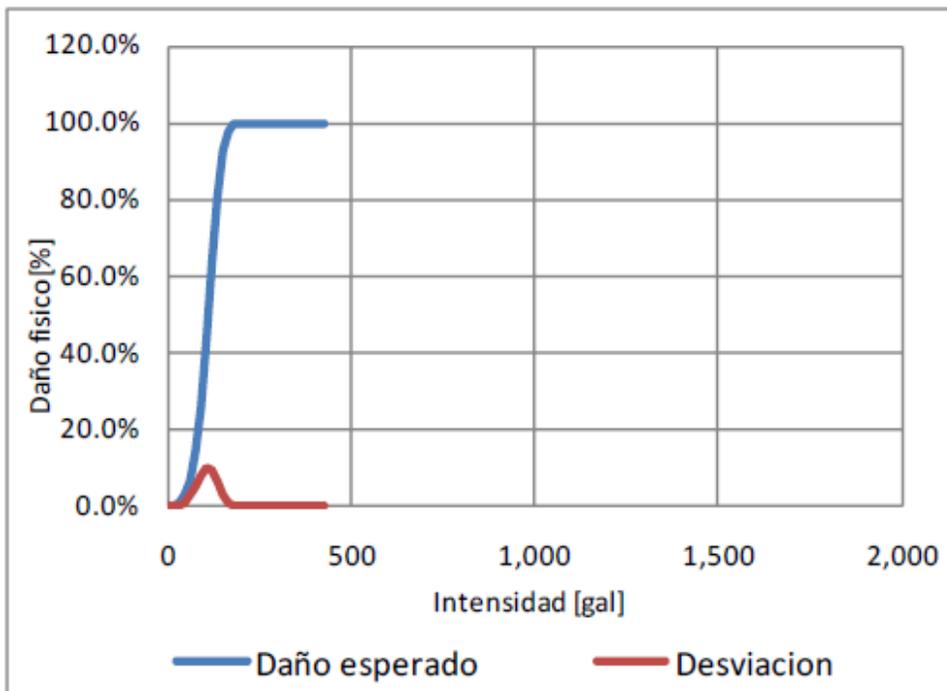


Figura 36. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MS-RLFSB-2.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

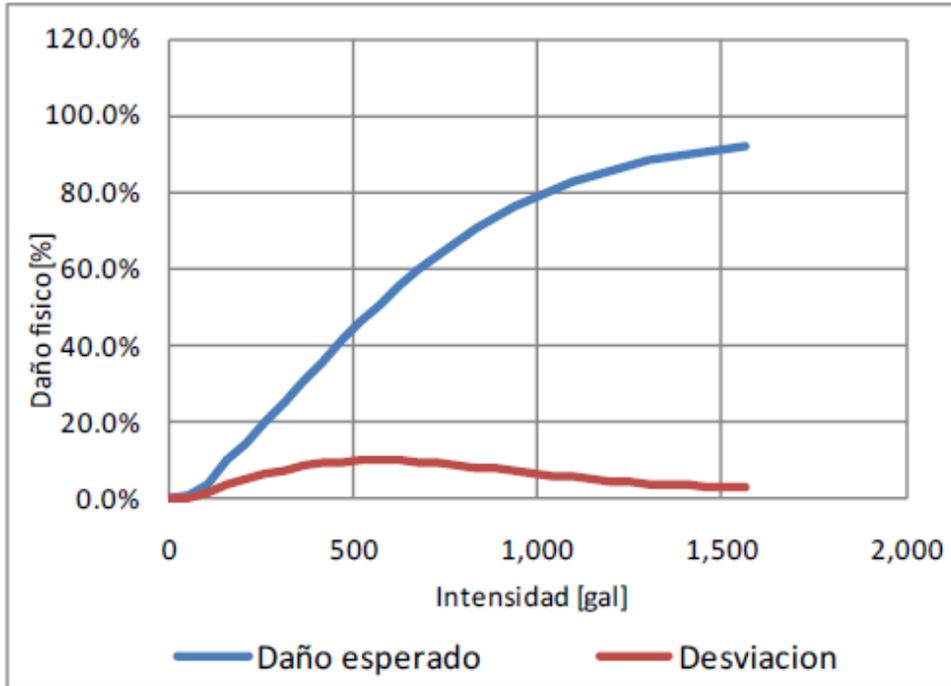


Figura 37. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCR-RLFSM-5.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

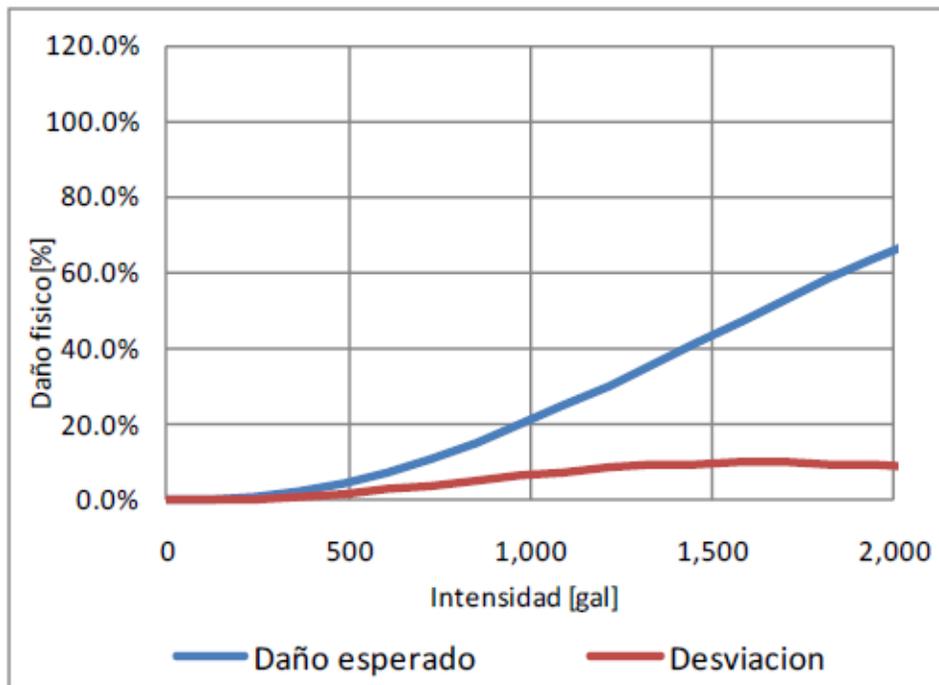


Figura 38. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCR-RCFSM-5.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

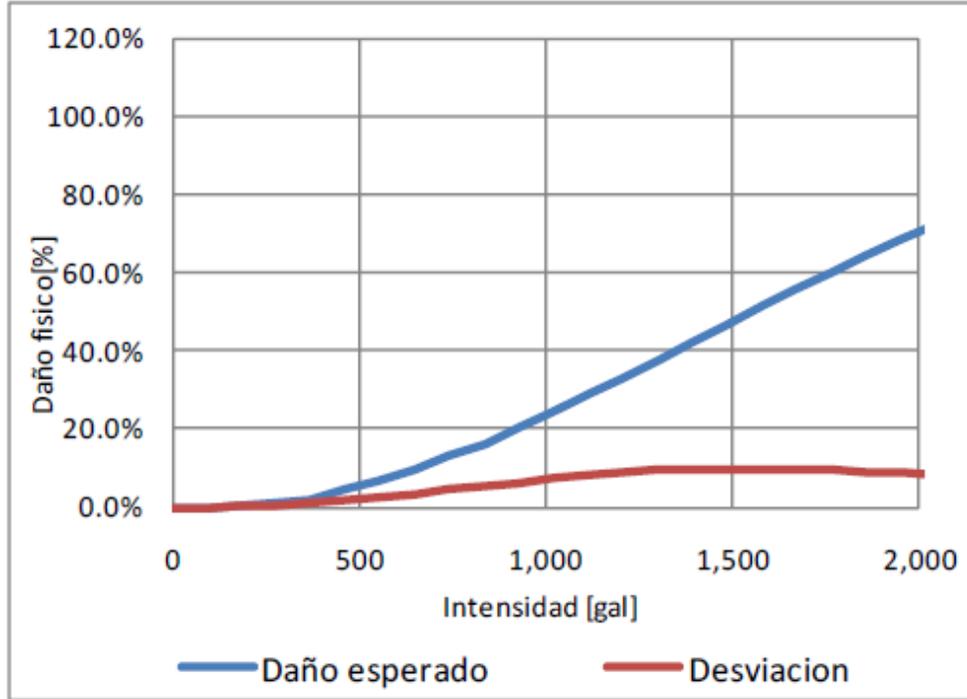


Figura 39. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCM-RCFSM-5.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

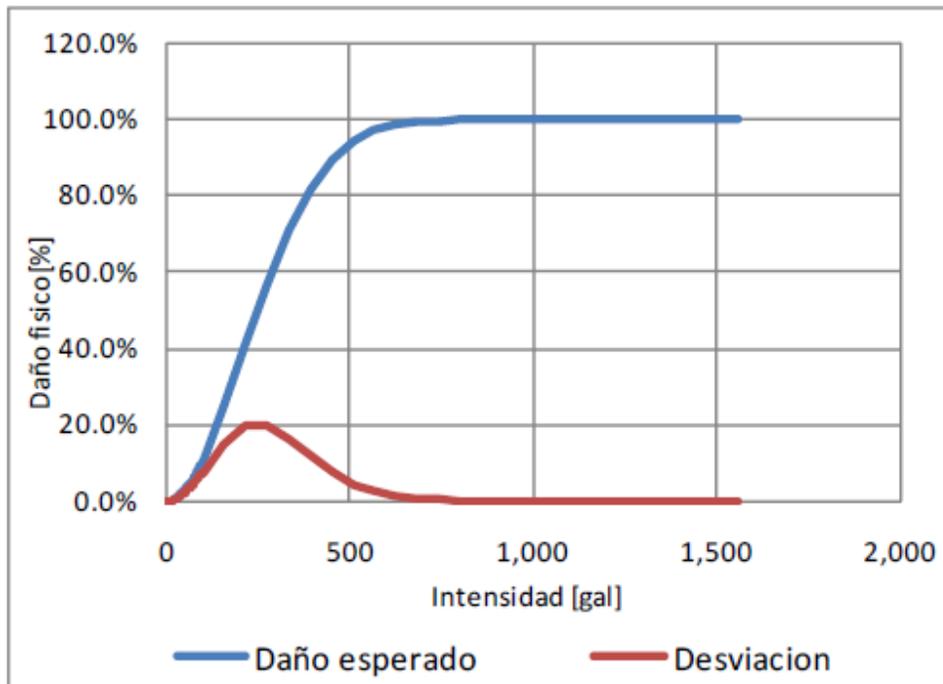


Figura 40. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo R-SLFLB-1.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

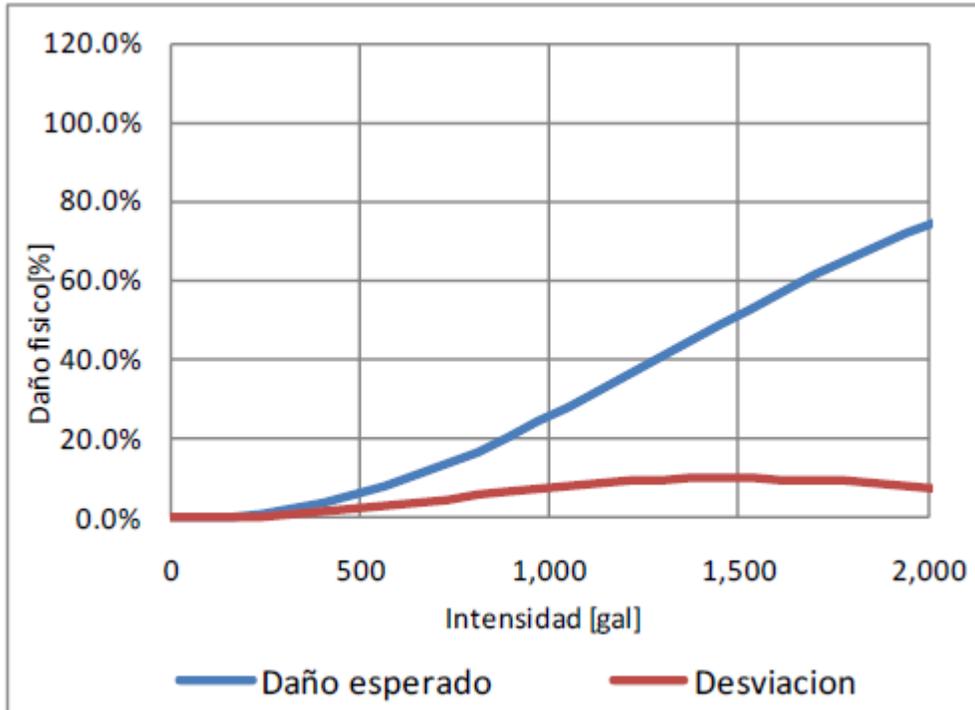


Figura 41. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo CPM-RCFSB-2.
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5).

Metodología

Amenaza Sísmica

Para el caso del presente estudio se realizará un análisis determinístico de la amenaza sísmica en los alrededores de la Ciudad de Cartago.

Se definirán tres escenarios sísmicos basados en las principales fuentes sísmicas o fallas con actividad sísmica y tectónica reciente, las cuales podrían generar daños al sitio a evaluar, en nuestro caso la Ciudad de Cartago.

Además con base en la actividad neo tectónica, sismicidad histórica y longitud de la falla, se define el potencial sísmico de cada una de ellas.

Una vez definido el potencial sísmico y las distancias de cada una de las fuentes sísmicas al sitio a evaluar, se utiliza la ecuación de atenuación propuesta por Climent et al, 1994. Para así estimar el nivel de intensidad sísmica en la zona de estudio, dado a que ocurran tres sismos con ciertas características determinadas.

Finalmente los valores de intensidad sísmica serán representados mediante mapas por la aceleración horizontal pico del terreno, esta posteriormente se relacionará con la Escala Mercalli Modificada, para presentar un mapa de Intensidades Instrumentales.

Para realizar los mapas, fue necesario utilizar algún sistema de información geográfica, conocidos como SIG, para este estudio se utilizó del software QGIS 2.8.2. QGIS es un SIG libre y de código abierto. Este puede ser descargado de su sitio oficial: www.qgis.org

Un SIP es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográfica referenciada. Utilizados por distintos profesionales para resolver diversos tipos de problemas.

Para definir el potencial sísmico, fue necesario definir el marco tectónico regional del país, para posteriormente entender el

comportamiento de la tectónica a nivel local, es decir en los alrededores de la zona de estudio.

En el capítulo de Tectónica y Sismicidad se detalla y caracteriza cada una de las fallas activas que afectan la zona de estudio, así como la sismicidad asociada a cada una de ellas.

Producto a la evidencia con que se cuenta, se determinó que la falla de Agua Caliente, por su geometría, ubicación, y sismicidad histórica, es la principal fuente de amenaza sísmica para la Ciudad de Cartago.

Además con ayuda de los registros sísmicos del OVSICORI-UNA, RSN y LIS-UCR, se realizó un historial de eventos sísmicos importantes registrados en los últimos años, este se muestra en el apéndice 1. El registro cuenta con la fecha cuando ocurrió el evento, así como: su magnitud, profundidad y ubicación geográfica del epicentro (en términos de latitud y longitud), además de un detalle de la zona donde ocurrió el movimiento.

Con dicha información y utilizando la metodología determinista que se resume en la figura 26, fue posible determinar tres escenarios sísmicos importantes, los cuales pueden afectar directamente a la Ciudad de Cartago. Dichos escenarios se muestran en la figura 42.

Es importante mencionar, que debido a los distintos tipos de magnitudes sísmicas reportadas por dichas instituciones según su escala de medición, fue necesario homogenizar las magnitudes de los sismos a magnitud de momento (Mw).

Esto se debe principalmente a que la magnitud a evaluar en la ecuación de atenuación seleccionada debe ser Mw, para esto fue necesario utilizar las ecuaciones que se presentan en el Anexo 3, que permiten convertir las magnitudes sísmicas de una a otra escala.

De este modo los tres escenarios definidos para realizar el estudio de amenaza sísmica son los mostrados en la figura 42.

El primer escenario, es un sismo de magnitud 6,5 Mw, aproximadamente a 5,4 km al Sureste de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 10 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (510815.85, 1085668.96).

El segundo escenario, es un sismo de magnitud 5,4 Mw, aproximadamente a 3,3 km al

Norte de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 8 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (509043.14, 1093500.62).

El tercer escenario, es un sismo de magnitud 4,2 Mw, aproximadamente a 5,0 km al Suroeste de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 4 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (505391.89, 1086568.54).

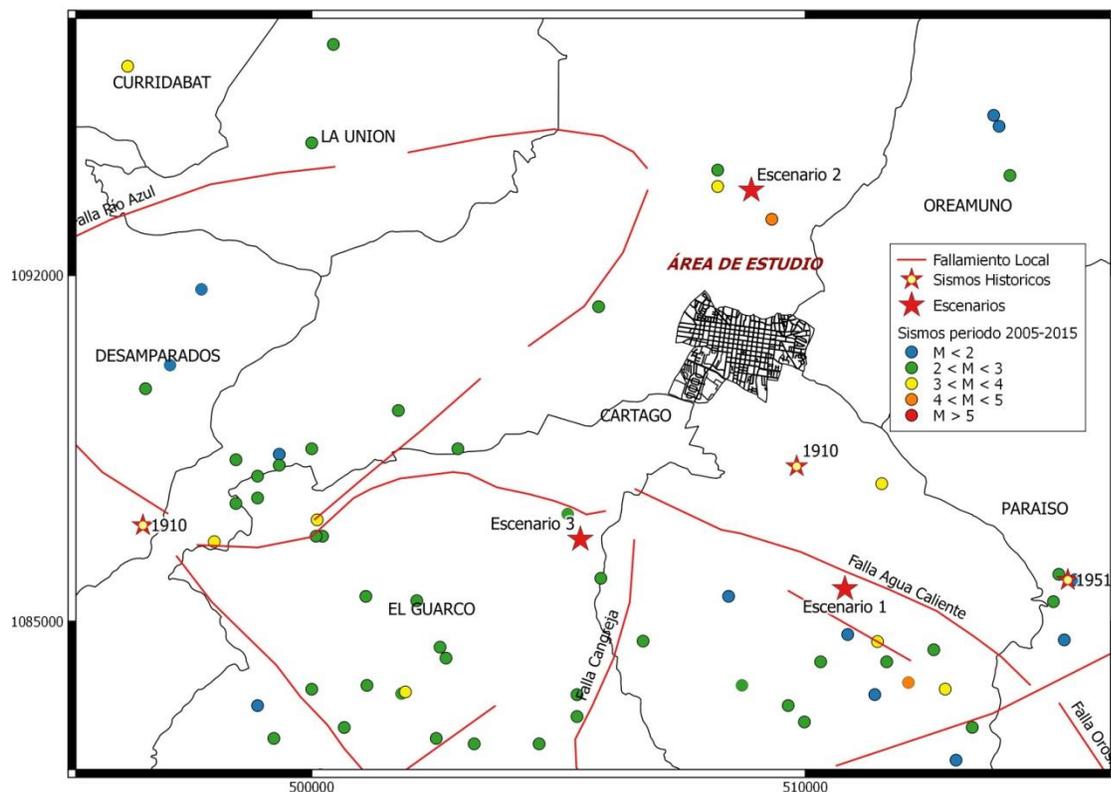


Figura 42. Escenarios sísmicos planteados para estudio de amenaza sísmica.

Los tres escenarios planteados son sismos someros, los cuales son producto del fallamiento local en la zona, específicamente la falla de Agua Caliente, el primero de ellos considera uno de los escenarios más críticos y pretende evaluar el potencial destructivo que posee esta falla en específico, debido a su alta sismicidad, así mismo producto de los terremotos ocurridos en la historia.

El segundo de ellos es un escenario relativamente cerca a la zona de estudio, con una magnitud alta 5,4 Mw, sismos de esta magnitud

han ocurrido en el paso pero no son tan comunes, de igual existe una alta posibilidad de que estos ocurran en el futuro.

Mientras que el tercer escenario, es un sismo de moderada magnitud, los cuales son sumamente comunes a lo largo del año en esta zona.

De esta forma se pretende evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la zona, considerando varios escenarios en específico y a su vez considerar el principal rango

de amenazas a las que se enfrenta la Ciudad de Cartago.

Una vez planteados dichos escenarios, se debe proseguir con la metodología definida, en este caso será utilizar ecuación de atenuación de propuesta por Climent, A. et al. (2003), para estimar el nivel de intensidad sísmica en términos de la aceleración horizontal pico del terreno (tanto en la zona de estudio como en sus alrededores).

Antes de evaluar la ecuación de atenuación, será indispensable tener definidas cada una de las variables involucradas.

Del marco teórico se tiene que, la ecuación propuesta por Climent et al, 1994 para Centroamérica es la siguiente:

$$\ln PGA = -1,687 + 0,553 M - 0,537 \ln R - 0,00302 R + 0,327 S + \sigma_{PGA}$$

Para el caso de la PGA, este será el valor que deseamos determinar, en cuanto a M sus valores ya fueron definidos una vez planteados los escenarios. Mientras que R se calcula como una medida indirecta a partir de la profundidad y la distancia epicentral respecto a un punto en específico, utilizando el teorema Pitágoras. El termino σ_{PGA} siempre será el mismo ($\sigma_{PGA}=0,75$)

Por último S es parámetro indicativo de la geología del sitio de análisis (en roca S=0 y en suelo S=1).

Este parámetro es de suma importancia ya que define en gran parte la atenuación o amplificación de las ondas sísmicas según sea el medio por el cual transiten.

De este modo para definir la geología del sitio se utilizaron las capas de geología para Costa Rica, que se encuentran en el Atlas de Costa Rica 2014.

Estas pueden ser manipuladas en cualquier sistema de información geográfica. De acuerdo a su descripción y composición se puede clasificar la geología encontrada tanto en la zona de estudio como sus alrededores, ya sea como suelo o roca.

En la figura 43 se muestra la geología presente en la zona de estudio como en sus alrededores. Mientras que en el Cuadro 7 se muestra la clasificación utilizada para definir que es suelo y que es roca.

Una vez clasificada la geología se realiza un mapa tipo raster de la geología en la zona de interés, con ayuda de QGIS, posteriormente este será utilizado para realizar el cálculo de los mapas de amenaza sísmica para cada escenario en particular.

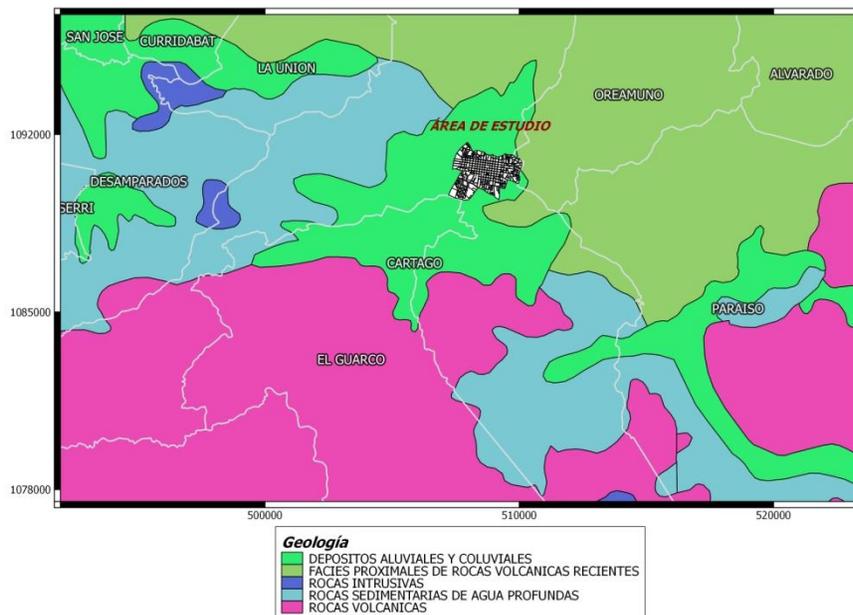


Figura 43. Geología alrededores de la zona de estudio.
Fuente: Ortiz, E.; Soto C. (2014).

CUADRO 7. CLASIFICACIÓN DE LA GEOLOGÍA EN LOS ALREDEDORES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

COLOR	DESCRIPCIÓN	EDADES	COMPOSICIÓN	S
	Rocas volcánicas	Terciario	Coladas, tobas y brechas tobáceas andesitas	0
	Facies proximales de rocas volcánicas recientes	Cuaternario	Coladas de lava, aglomerados, lahar y ceniza volcánica	1
	Depósitos aluviales y coluviales	Cuaternario	Incluye depósitos de deslizamiento, fanglomerado, pantanoso y playa	1
	Rocas intrusivas	Terciario	Desde gravo hasta granito y riolita sub volcánica	0
	Rocas sedimentarias de agua profundas	Cretáceo a plioceno	Caliza, arenisca, lutita y turbidita	0

Definida la geología del sitio de análisis, se procede a realizar los mapas de aceleración horizontal pico del terreno.

Antes de poder confeccionar dichos mapas será necesario elaborar varios mapas para luego poder combinarlos y así obtener un mapa de la amenaza sísmica.

Dichos mapas serán de tipo raster y confeccionados utilizando QGIS, el primer paso entonces será confeccionar un mapa de distancias epicentrales para cada uno de los escenarios en específico.

Seguidamente a partir de los mapas de distancias epicentrales, se calculan y confeccionan los mapas de distancias hipo centrales utilizando la siguiente fórmula para cada uno de los escenarios.

$$R = \sqrt{\text{distancia epicentral}^2 + \text{profundidad}^2}$$

Para estos últimos, los valores asignados a cada pixel deben estar en unidades de km. Además es importante mencionar que cada uno de estos mapas se debe realizar para un área en específico, es decir, se debe definir un área que conformara la zona delimitada para presentar los mapas finales.

Para esto es común utilizar una capa vectorial que sirva como mascara, de este modo nos garantizamos que cada uno de los mapas tenga las mismas dimensiones. Esto con el fin hacer cálculos a partir de varios raster.

Obtenidos estos mapas junto con el de la geología del sitio, se procede a realizar los mapas de amenaza sísmica, para esto se combinaran dichos mapas según la ecuación de atenuación.

Para este estudio se presentan los mapas de amenaza sísmica de la siguiente forma:

1. PGA expresado (m/s²)
2. PGA expresado como porcentaje de la aceleración de la gravedad

Posteriormente se relaciona la amenaza sísmica en PGA con la Escala de Mercalli Modificada, para esto se utilizó un manual técnico para realizar mapas de sacudida del terreno desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en ingles).

En este manual se definen algunas relaciones que han sido propuestas por varios autores en los últimos años, que relacionan la aceleración pico y velocidad del terreno con la intensidad instrumental. Estas relaciones se muestran a continuación:

- Para PGA donde las intensidades de Mercalli Modificada se encuentre entre, V ≤ I_{mm} ≤ VIII, se tiene:

$$I_{mm} = 3.66 \log(PGA) - 1.66$$

- Para PGV donde las intensidades de Mercalli Modificada se encuentren entre, V ≤ I_{mm} ≤ IX, se tiene:

$$I_{mm} = 3.47 \log(PGV) + 2.35$$

- Para PGA y PGV cuando se tienen valores baja de intensidad, se tienen las siguientes relaciones:

$$I_{mm} = 2.20 \log(PGA) + 1.00$$

$$I_{mm} = 2.10 \log(PGV) + 3.40$$

De este modo se pueden relacionar los valores de PGA obtenidos del estudio de amenaza sísmica para así determinar cuál será la intensidad instrumental que se espera. Y de esta forma presentar los mapas obtenidos

anteriormente en términos de la intensidad instrumental.

En la figura 44 se muestra los valores obtenidos del despeje de las formulas presentadas anteriormente para PGA y PGV, se observa que se tiene un rango de clasificación, así como el daño potencial y la percepción de la sacudida para cada una de las intensidades.

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<.17	.17-14	1.4-39	3.9-92	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Figura 44. Escala de Intensidad Instrumental.

Fuente: Wald, et al. 2006.

Con dichos rangos definidos en la figura 44, se procede a realizar los mapas de intensidad instrumental para cada uno de los escenarios en específico.

Los resultados de estos mapas se presentan en el apartado de resultados, mientras que los mapas necesario para la confección de estos se muestran en el apéndice 2.

Vulnerabilidad Sísmica

Una vez realizado el estudio de amenaza sísmica, se procede a realizar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago.

Debido a que por cuestiones de tiempo, así mismo recursos queda fuera del alcance poder evaluar el área de estudio ya definida en su totalidad. Será necesario definir una muestra representativa, basados en un muestreo estadístico, que permita generalizar los resultados.

Para nuestro caso con ayuda de QGIS y de imágenes satelitales, así mismo con el Mapa Oficial de Cartago en formato A1 5000, obtenido de la página oficial de la municipalidad de Cartago: www.muni-carta.go.cr.

Se digitaliza y geo referencia en coordenadas CRTM05 cada uno de los lotes que componen los distritos occidental y oriental, que ambos unidos conforman el área de estudio.

Una vez digitalizada y geo referenciada el área de estudio, con ayuda de imágenes satelitales se procede a descartar algunos lotes y zonas dentro de dicha área.

Estas zonas descartadas quedan fuera del alcance de este debido, ya sea:

1. Son zonas o lotes donde no se encuentren edificaciones como: lotes baldíos, plazas, parques, entre otros.
2. Son lotes con edificaciones complejas que necesiten de un estudio de vulnerabilidad detallado y particular en cada caso para así poder ser evaluadas, como lo son: iglesias, escuelas, ruinas, entre otras.

Realizado esto, se procede entonces a numerar cada uno de los lotes, esta numeración no tiene ninguna clasificación en particular, sino únicamente pretende asignarle un número en específico a cada lote que lo identifique.

En la figura 45, se muestra el área de estudio en general, así como los lotes y zonas descartadas que quedan fuera del alcance de este estudio.

Además como se puede apreciar en la figura 45, existe una gran cantidad de lotes, y estos a su vez de distintos tamaños, es decir, existen unos muy pequeños mientras que hay algunos son mucho más grandes. Por esta razón

en la figura 46, se muestra una clasificación preliminar de los lotes según su tamaño.

Debido a que se desea determinar una muestra representativa, esta clasificación servirá para luego definir el tamaño de la muestra, así como para seleccionar los lotes que conformen la muestra según el tipo de muestro.

En color verde se muestran los lotes pequeños que van de los 0 a los 10000 m², en color amarillo los lotes medianos que van de los 10000 a los 20000 m², y por último los lotes grandes que van de los 20000 a los 50000 m².



Figura 45. Numeración de cada uno de los lotes que conforman el área de estudio.

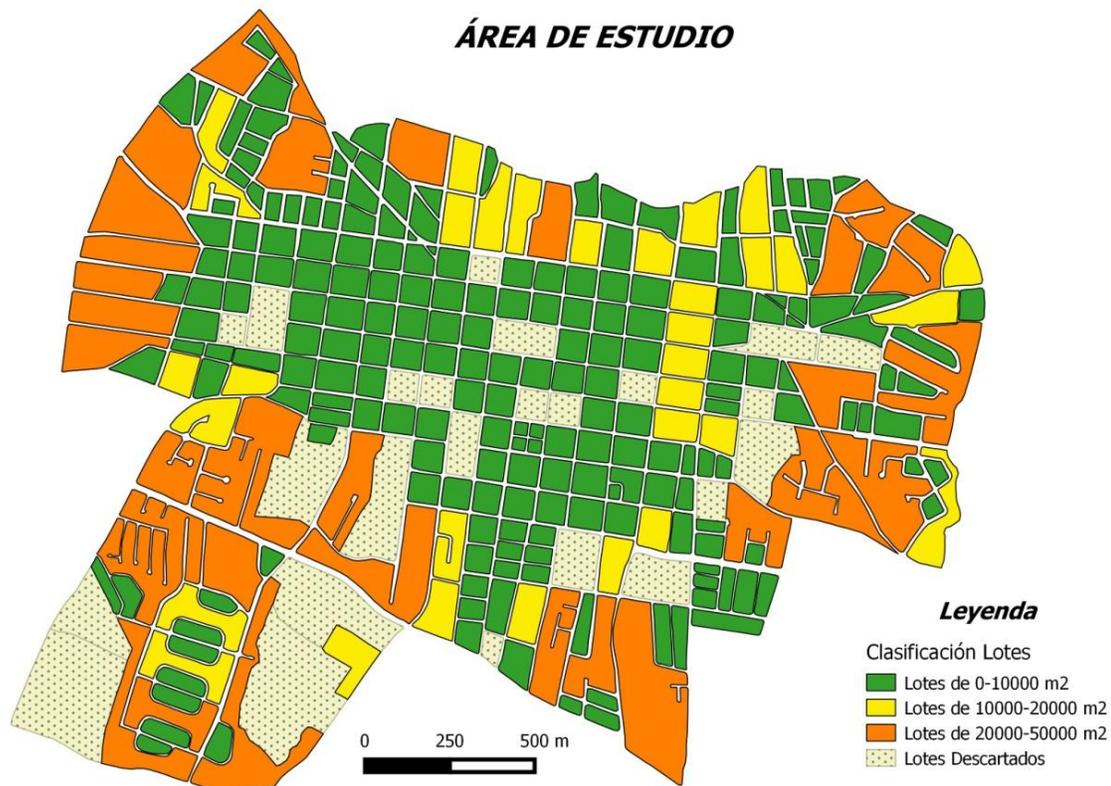


Figura 46. Clasificación de los lotes según su tamaño.

El tipo de muestreo utilizado es el muestreo aleatorio simple, en el cual todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos o formar parte de la muestra. Poch, A. (1972). Por esta razón fue necesaria la numeración de cada uno de los lotes.

En total se tienen 271 lotes que conforman la población de estudio, lo cual representa unas 274 hectáreas aproximadamente.

Debido a que en términos del área existe mucha variabilidad entre los lotes, como se muestra en la figura 46, se cuenta con lotes muy pequeños mientras que otros son mucho grandes.

Esto resulta en que utilizar el área como medida para determinar el tamaño de muestra no sea la lo más conveniente, debido a que se obtendría una muestra sumamente grande. Por dichas razones, se utiliza los datos obtenidos en el VI censo de vivienda 2011, dichos resultados se muestran en los Resultados

Generales para el X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011 realizado por el INEC.

En el cuadro 8, se muestra los resultados obtenidos para los distritos oriental y occidental de la provincia de Cartago, que conforman nuestra zona de estudio y población.

Es importante mencionar que dichos resultados únicamente contemplan las viviendas, ya sea de uso colectivo o individual, así como las ocupadas o desocupadas.

Lo cual no representa al 100% las edificaciones que se vayan a encontrar en la zona de estudio, es decir, existen otras edificaciones de distintos usos como comerciales, oficinas, entre otros. Además que fueron datos obtenidos para el año 2011.

Aun así pueden ser utilizados como parámetro inicial para estimar el tamaño de la muestra.

CUADRO 8. RESUMEN DE LA CANTIDAD DE VIVIENDAS DEL CENSO 2011.					
DISTRITOS DEL CANTÓN DE CARTAGO	VIVIENDAS				
	TOTAL	VIVIENDAS INDIVIDUALES			VIVIENDAS COLECTIVAS
		TOTAL	OCUPADAS	DESOCUPADAS	
Oriental	3927	3919	3642	277	8
Occidental	2983	2979	2839	140	4
Total	6910	6898	6481	417	12

Las ecuaciones utilizadas para determinar el tamaño de muestra son las siguientes, las mismas fueron obtenidas de Walpole et al (2012).

Cuando se desconoce el tamaño de la Población de estudio:

$$n = \frac{z^2 \times p \times q}{e^2}$$

Cuando se conoce el tamaño de la Población de estudio:

$$n = \frac{N \times z^2 \times p \times q}{e^2 \times (N - 1) + z^2 \times p \times q}$$

Donde:

- N: Tamaño de la población
- Z: Valor de z, z=1,96 para $\alpha=0,05$
- P: Prevalencia esperada del parámetro a evaluar. En caso de desconocerse p=0,5
- Q: 1-p
- E: Porcentaje de error

Para nuestro caso se parte de una población conocida, como se menciono anteriormente se partirá de una primera estimación, así la población será N= 6910 viviendas. A continuación se muestran los parámetros utilizados para determinar de muestra:

N=	6910	viviendas
z=	1,96	Nivel de confianza 95%
p=	0,5	No se conoce
q=	0,5	
e=	0,04	Suponiendo e = 4%
n=	552,35	

De este modo se determina entonces que será necesaria la inspección de al menos 553 edificaciones en la zona de estudio, es decir, este es nuestro tamaño de muestra.

Debido a que no se cuenta con certeza la cantidad de viviendas o edificaciones por lote, entonces se procede a determinarlo a partir de los datos mostrados en el Cuadro 8.

Se sabe que para el 2011 había un total de 6910 viviendas repartidas en 271 lotes, es decir un aproximado de 25,5 viviendas por lote en la zona de estudio.

Producto a que contamos con una cantidad definida de lotes será entonces necesario determinar la cantidad de lotes que representen el tamaño de muestra calculada, de los datos obtenidos se determina que será necesario entonces la inspección de 22 lotes con un área aproximada de 10115 m², área promedio de cada lote. Es decir, se deberá inspeccionar un área total aproximada de 23 hectáreas.

Como se mostro en la figura 46, existen lotes de todos los tamaños, por lo cual al momento de seleccionar los lotes a inspeccionar se debe considerar esto. Por dicha razón la cantidad de lotes a inspeccionar de cada tamaño será determinado proporcionalmente, para así garantizar la mayor representatividad posible.

Finalmente en cualquier estudio estadístico siempre será indispensable verificar si el tamaño de muestra calculado se encuentra cubierto por las limitaciones y recursos con los que se cuenta.

En este caso en particular, no se cuenta con muchos recursos, para realizar las inspecciones estas únicamente serán realizadas por una persona, además no se cuenta con mucho tiempo para ser realizadas, únicamente se dispone de cerca de un mes.

De este modo producto de las limitaciones propias del estudio se determina que únicamente podrán ser inspeccionados 15 lotes en total, por lo que será necesario verificar si estos 15 lotes cubren el tamaño de muestra definido anteriormente.

Para esto entonces se determina proporcionalmente la cantidad de lotes a inspeccionar de cada tamaño con base al Cuadro 9, partiendo de una muestra de 15 lotes en total.

CUADRO 9. CANTIDAD DE LOTES A INSPECCIONAR SEGÚN SU TAMAÑO.				
LOTES	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE	TOTALES
Área Total (m ²)	1263478,46	404303,52	1073112,99	2740894,97
Total Lotes	211	30	30	271
# Lotes Inspeccionados	6,91	2,21	5,87	15
# Lotes Inspeccionados	7	2	6	15

Una vez determinado la cantidad de lotes necesarios a inspeccionar según su tamaño, con ayuda de Excel se realiza un muestreo aleatorio simple, en donde se escogen al azar la cantidad de lotes a inspeccionar para cada grupo en específico, con base en la numeración definida anteriormente.

De este modo se obtiene, que la muestra la conforma los siguientes lotes:

Lote	Área (m ²)
243	4446,12
34	3503,99
194	7064,71
222	7174,47
48	8518,17
45	6584,85
158	6910,29
20	11796,51
116	17427,97
248	27064,6
193	48345,75
98	34424,29
250	23916,2
129	21725,01
111	29858,18

Área total: 258761,11

Simbología

	Pequeños
	Medianos
	Grandes

Comparando estos resultados con el tamaño de muestra determinado inicialmente, se comprueba que el planteado según las limitaciones propias un poco mayor, es decir eran necesarios al menos abarcar un área aproximada de 23 hectáreas en el estudio, pero esta mas bien será de cerca de 25,9 hectáreas en total.

Por lo tanto habrá mayor representatividad en los resultados obtenidos y a su vez estamos garantizando un nivel de confianza de al menos un 95% con un porcentaje de error del 4%.

En la figura 47, se muestra los lotes a inspeccionar que representan la muestra.



Figura 47. Tamaño de muestra, lotes a inspeccionar.

Como ya se ha mencionado, este estudio está enfocado en evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la Ciudad de Cartago, por esta razón lo que se busca es la tipificación de los tipos constructivos de edificaciones presentes en la zona, para posteriormente evaluar su vulnerabilidad sísmica en términos de un porcentaje daño ante una amenaza sísmica dada, utilizando las funciones de vulnerabilidad descritas en el apartado de Funciones de Vulnerabilidad para Costa Rica descritas en el Marco Teórico.

Por esta razón se parte de un estudio similar ya realizado en la zona en donde se ha definido un formulario de inspección visual basados en métodos cualitativos de vulnerabilidad sísmica, realizado por Jiménez, D. (2012). Este formulario se encuentra en el Anexo 4.

La inspección de cada uno de cada una de las edificaciones encontradas en dichos lotes, tiene como principal objetivo clasificarlas en

alguna de las tipologías definidas en el informe (ERN-CAPRA, T2-5) para Costa Rica.

Además de clasificar dichas estructuras según su estado de conservación, y código sísmico vigente al momento de ser construidas, esto debido a que ambos parámetros también pueden determinar que una sea más vulnerable que otra.

Las inspecciones se realizaron del 07 de setiembre del 2015 al 02 de octubre del 2015, una distribución de las fechas cuando se realizaron las visitas, así como la cantidad de edificaciones inspeccionadas se muestra en el cuadro 10.

CUADRO 10. NÚMERO DE EDIFICACIONES INSPECCIONADAS POR SEMANA.

SEMANA	# EDIFICACIONES	LOTES
07/09/15 - 11/09/15	119	222-193
14/09/15 - 18/09/16	140	250-248-243
21/09/15 - 25/09/17	132	111-98-158-116-194
28/09/15 - 02/10/18	127	129-45-34-48-20
Total	518	15

La metodología de inspección seguida fue la siguiente, con ayuda de un GPS se tomo la ubicación geográfica para cada uno de los 518 formularios aplicados, esto con el fin de digitalizar cada uno de las edificaciones en QGIS para así asignarles mediante una tabla de atributos cada una de las características tomadas con el formulario de inspección.

La digitalización de cada lote se hace con base a imágenes geo referenciadas de google earth. Además los polígonos representan tanto el área de la propiedad como la de la edificación inscrita en ellos, esto se menciona debido a que, en algunos lotes el área de la propiedad no es la misma que la de la edificación, lo cual se puede interpretar como una edificación muy grande, pero no es así. Sino más bien se realizo de esta manera para que no quedaran áreas sin información dentro de los lotes inspeccionados.

El formulario utilizado evalúa principalmente las características propias del sistema estructural de las edificaciones, como lo son: tipo sistema estructural, numero de pisos, tipo de entepiso, la configuración tanto en planta como en elevación.

Además caracteriza el estado general de la estructura como lo es el estado de conservación y tipo de cubierta.

Y por último clasifica la estructura según su uso y se estima visualmente el código sísmico vigente al momento de su construcción, además de considerar alguna observación adicional se procede a realizar su anotación y se adjunta una foto de la edificación.

Un resumen de la información determinada para cada formulario se muestra en el apéndice 3.

Finalmente con dicha información es posible clasificar cada una de las edificaciones inspecciones según la tipología definida por (ERN-CAPRA, T2-5).

En el cuadro 11, se muestran la clasificación de las edificaciones según su tipología, además de la cantidad respectiva para cada tipo.

CUADRO 11. CLASIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES SEGÚN LA TIPOLOGÍA

TIPOLOGÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
MR-RLFSB-2	92	17,76
MC-FLFSB-2	323	62,36
W-SLFLB-1	41	7,92
W-FLFLB-2	13	2,51
R-SLFLB-1	2	0,39
MR-FLFSB-2	27	5,21
PCR-RLFSM-5	20	3,86

De este modo, para la Ciudad de Cartago se tienen 7 tipologías, para estas tipologías en específico se determinaron las funciones de vulnerabilidad sísmica, a partir de las mostradas en el Marco Teórico.

Para esto entonces fue necesario ubicar manualmente varios puntos para cada una de las funciones, una vez obtenidos con ayuda de Excel se grafican dichas funciones y se obtiene la ecuación, que es la representación de curva de mejor ajuste.

Cada una de estas funciones, así como su ecuación se muestran en el apéndice 4 para cada una de las tipologías clasificadas.

Los valores de la aceleración horizontal pico del terreno para cada uno de los escenarios se obtuvieron de los mapas de amenaza sísmica confeccionados.

Mediante la ubicación de los centroides de cada polígono que representa las edificaciones inspeccionadas, se le asignan los

valores de aceleración y estos a su vez se le asignan a cada polígono como un nuevo atributo.

Finalmente en misma tabla de atributos se agregan nuevos atributos, que representan el porcentaje de daño para cada edificación según la amenaza a la que se encuentran estas, dependiendo de cada uno de los escenarios planteados.

De esto modo se evalúa la vulnerabilidad sísmica de cada sistema estructural, evaluando la aceleración para cada uno de los tres escenarios.

Estos resultados son expresados mediante mapas de vulnerabilidad sísmica para cada tipo de edificación en particular, y también

para cada escenario en particular. Los cuales me muestra en el apartado de resultados.

A su vez se muestra un mapa para el estado de conservación y otro para el código sísmico vigente de construcción, para cada una de las edificaciones.

Finalmente se muestra varios cuadros que describen en términos numéricos cada uno de los mapas de vulnerabilidad sísmica, resultados que son importantes para comprender la situación a la que estaría expuesta la Ciudad de Cartago.

La ubicación de cada uno de los formularios aplicados se muestra en la figura 48.



Figura 48. Total de formularios aplicados en la muestra.

Resultados

Mapas de Amenaza Sísmica

A continuación, se muestran cada uno de los mapas de amenaza sísmica confeccionados para cada uno de los tres escenarios sísmicos planteados.

Se presentan los mapas de amenaza sísmica en términos de la aceleración horizontal pico del terreno en unidades de m/s^2 .

Además se realizaron otros donde la aceleración horizontal pico del terreno se expresa como porcentaje de la aceleración de la gravedad.

Otra forma de expresar los mapas de amenaza sísmica, es en términos de la intensidad instrumental.

Es importante mencionar que dichos mapas se realizaron para un área mucho mayor a la zona de estudio, debido a que se quería mostrar cómo se atenúa o amplifica la aceleración con relación a la distancia, así como al medio por el cual transitan las ondas sísmicas.

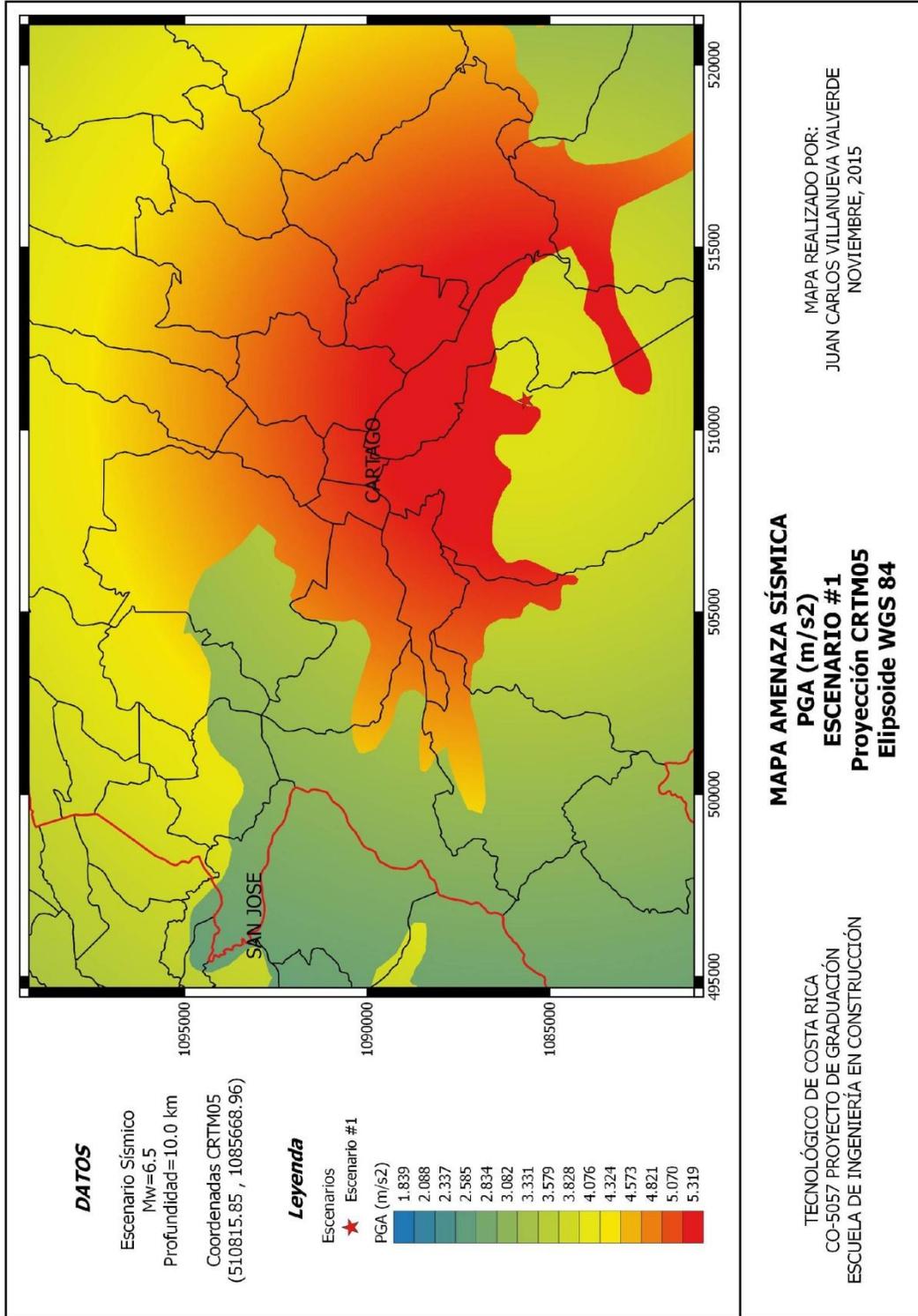


Figura 49. Mapa amenaza sísmica del escenario 1 en términos de PGA (m/s²).

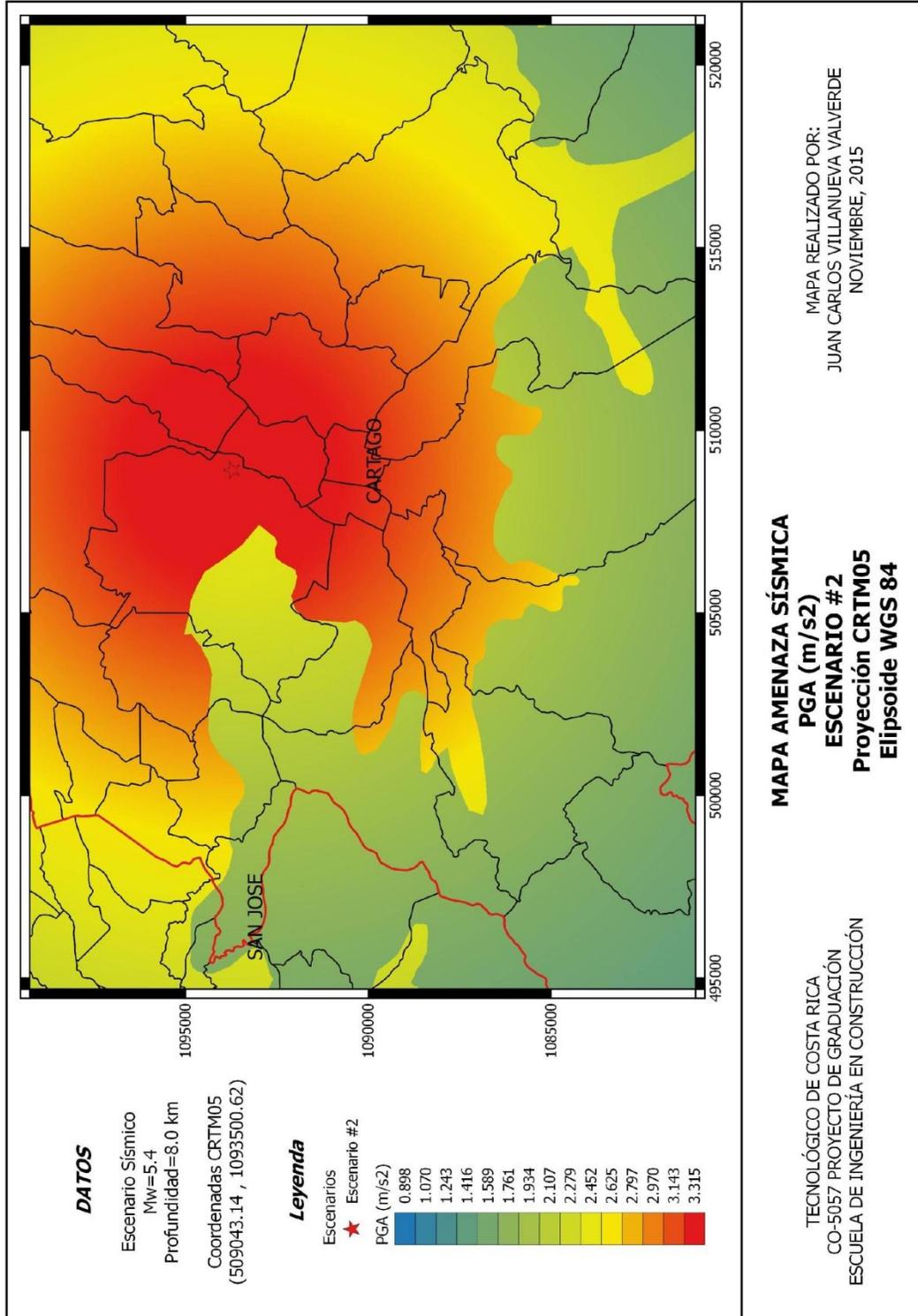


Figura 50. Mapa amenaza sísmica del escenario 2 en términos de PGA (m/s²).

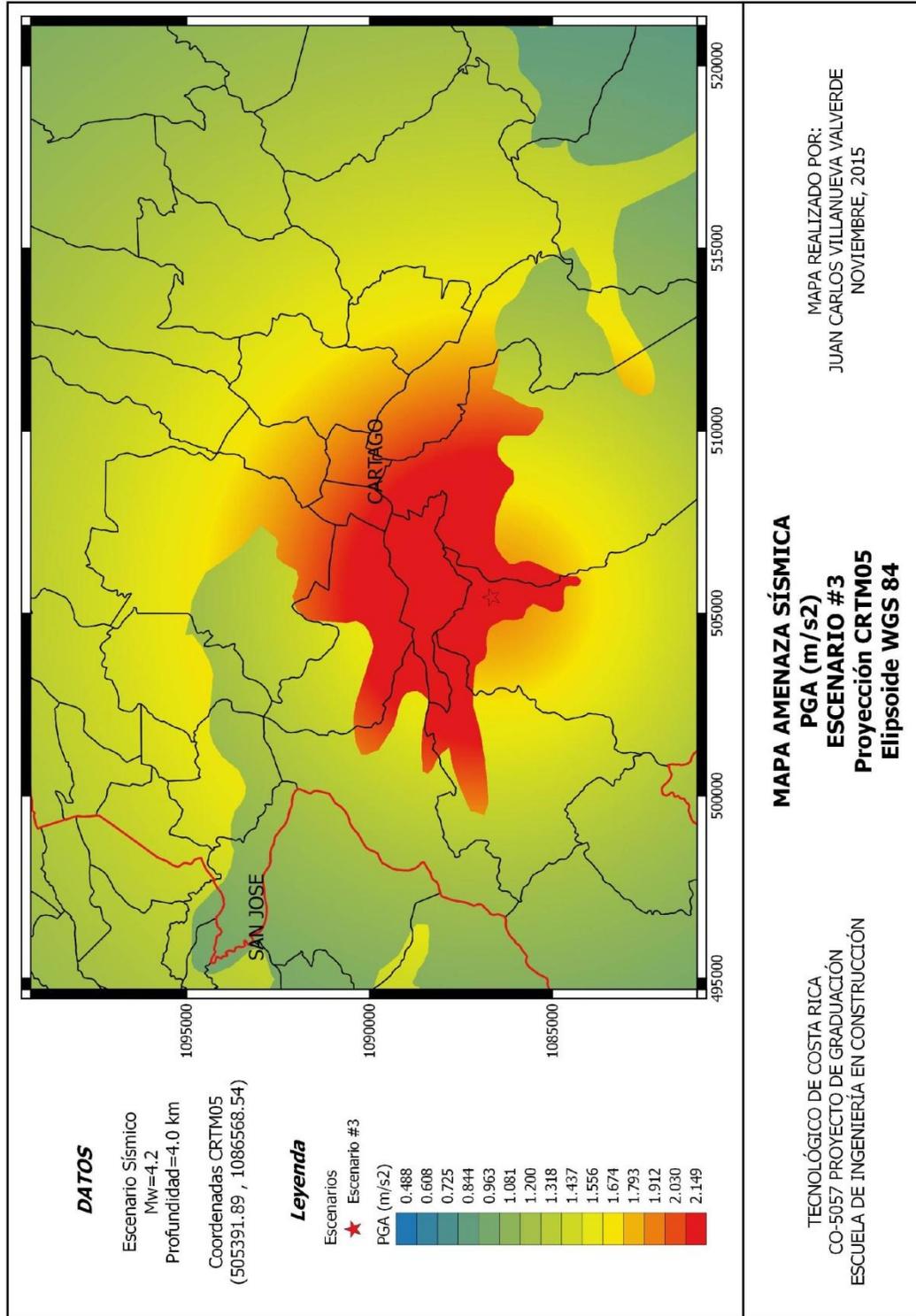


Figura 51. Mapa amenaza sísmica del escenario 3 en términos de PGA (m/s²).

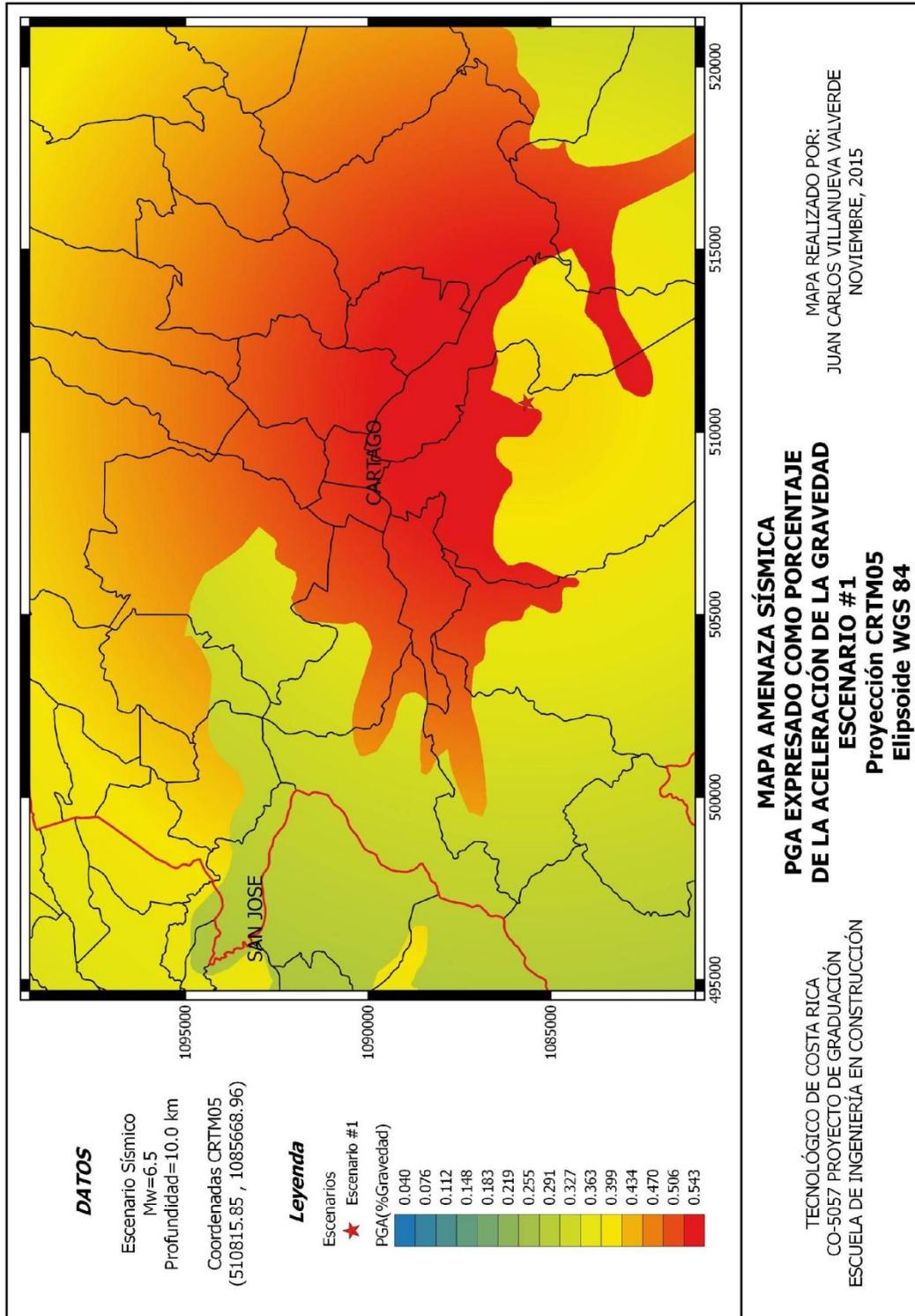


Figura 52. Mapa amenaza sísmica del escenario 1 en términos de PGA expresado como porcentaje de la aceleración de la gravedad.

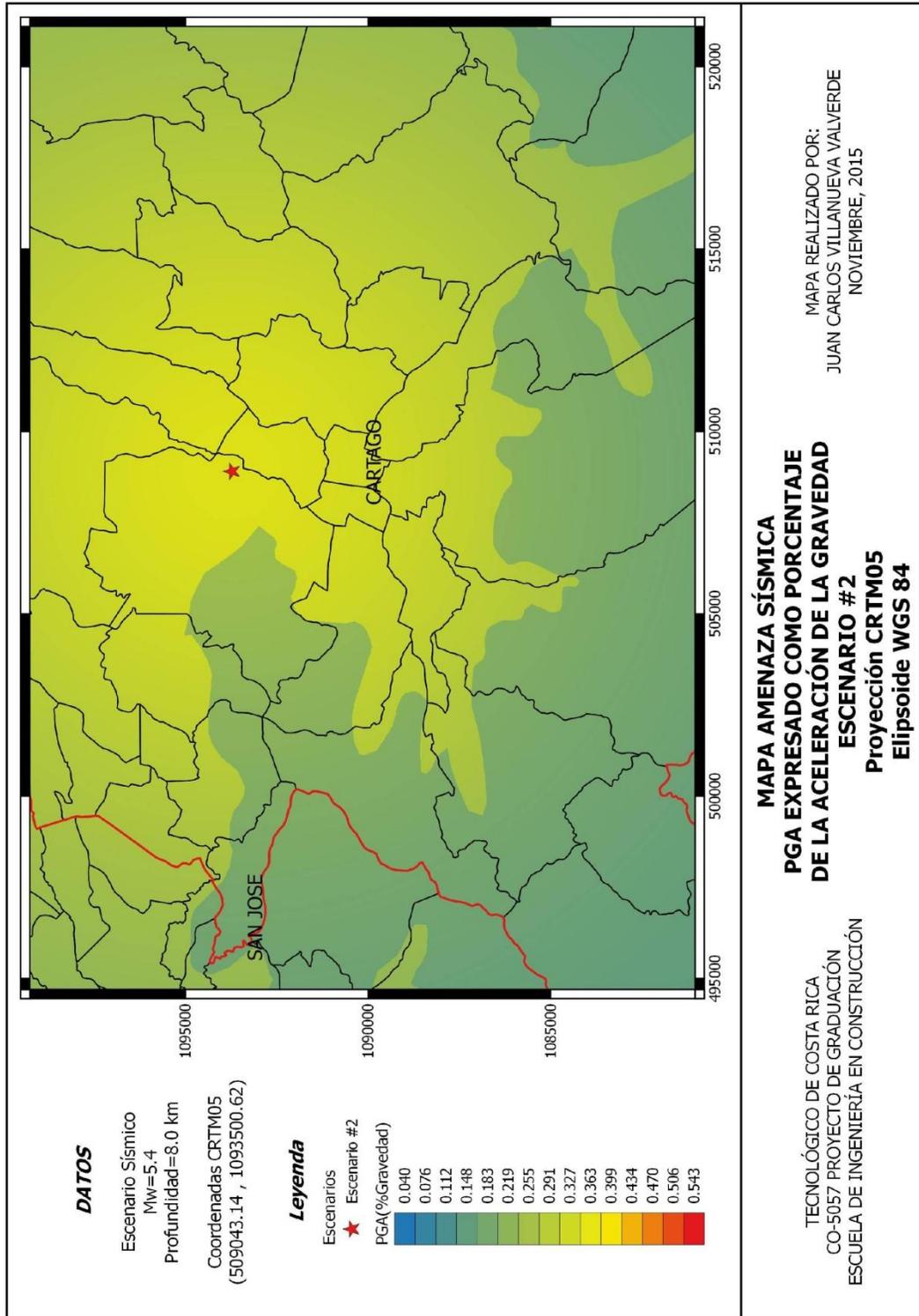


Figura 53. Mapa amenaza sísmica del escenario 2 en términos de PGA expresado como porcentaje de la aceleración de la gravedad.

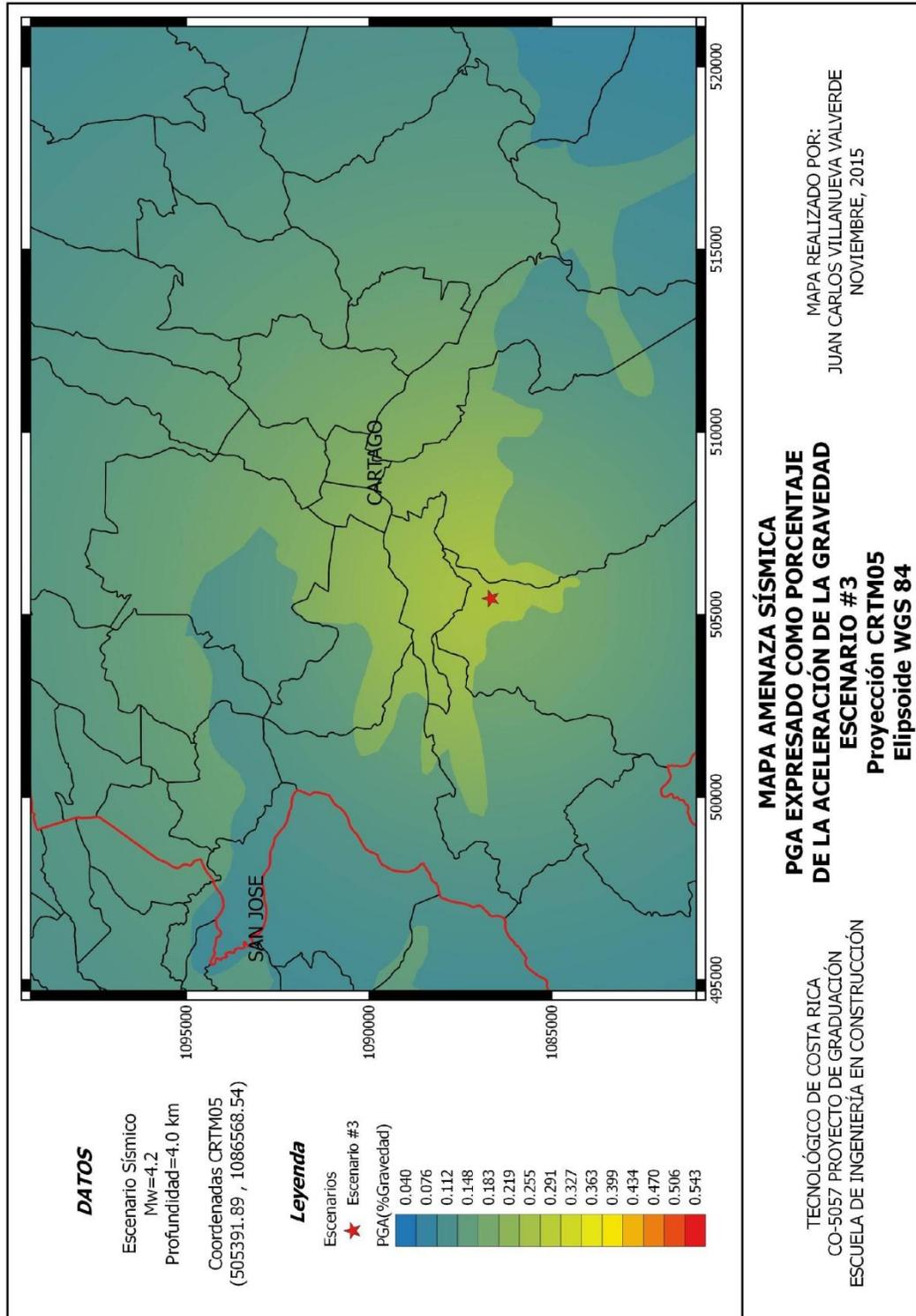


Figura 54. Mapa amenaza sísmica del escenario 3 en términos de PGA expresado como porcentaje de la aceleración de la gravedad.

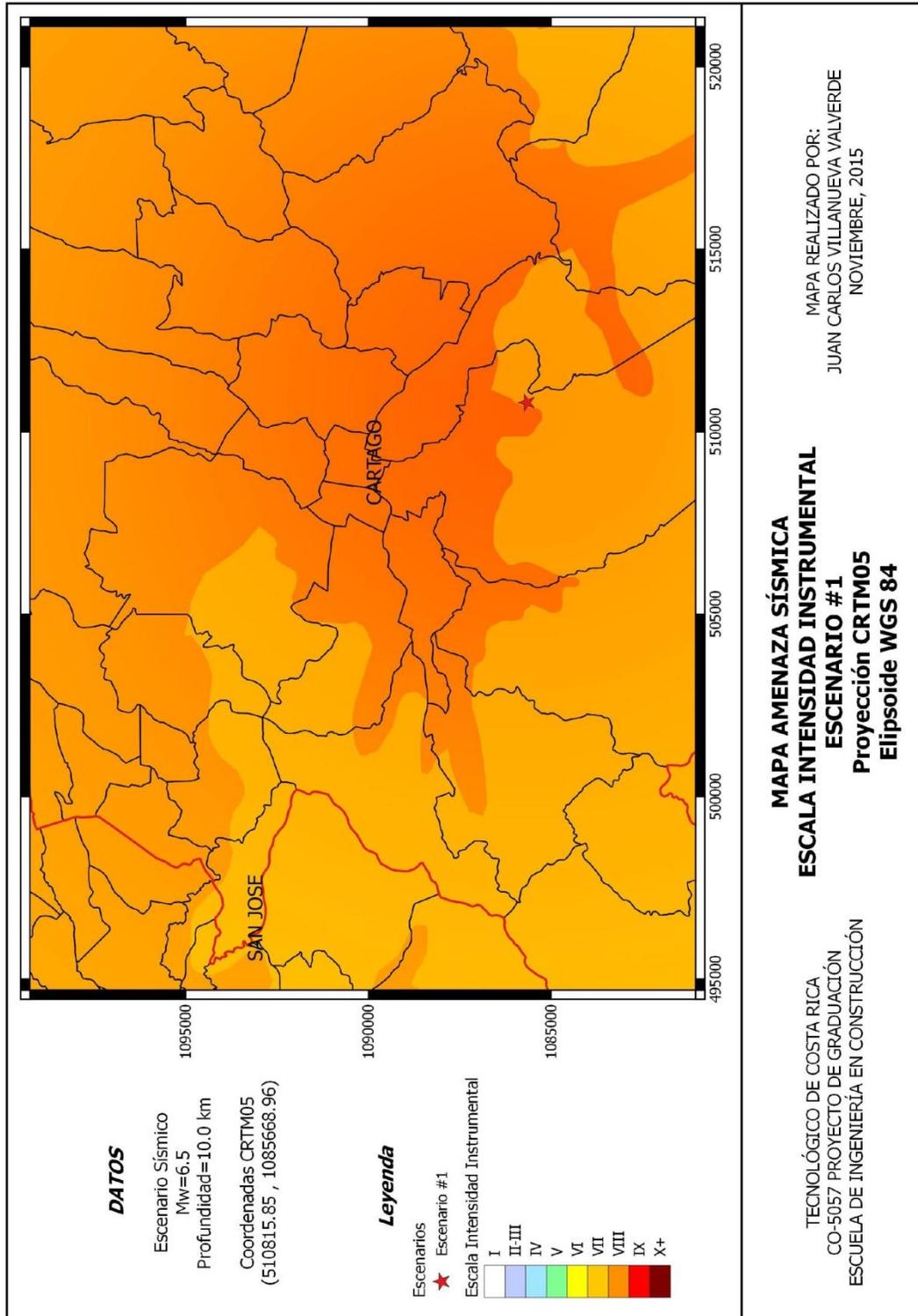


Figura 55. Mapa amenaza sísmica del escenario 1 en términos de la Intensidad Instrumental.

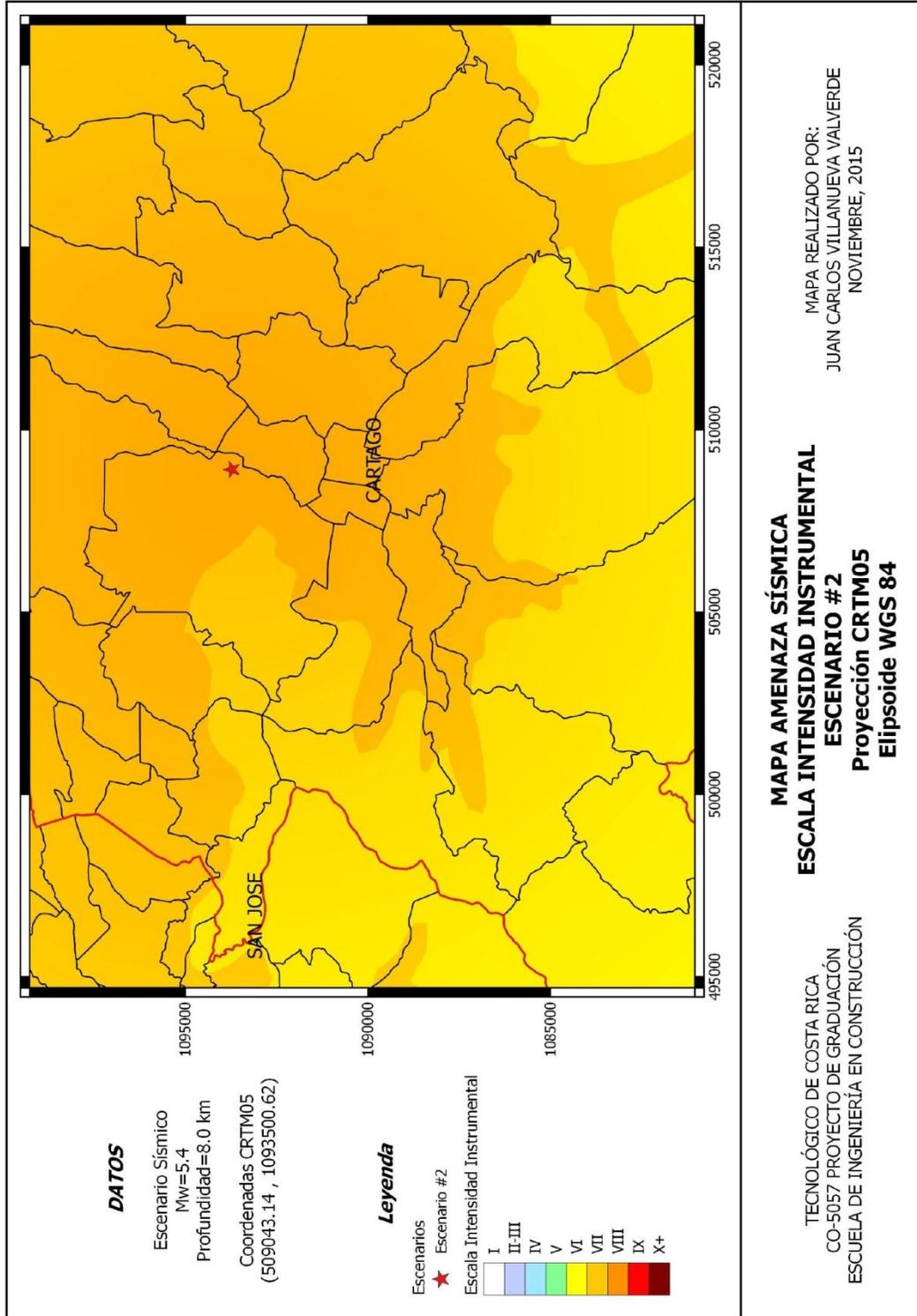


Figura 56. Mapa amenaza sísmica del escenario 2 en términos de la Intensidad Instrumental.

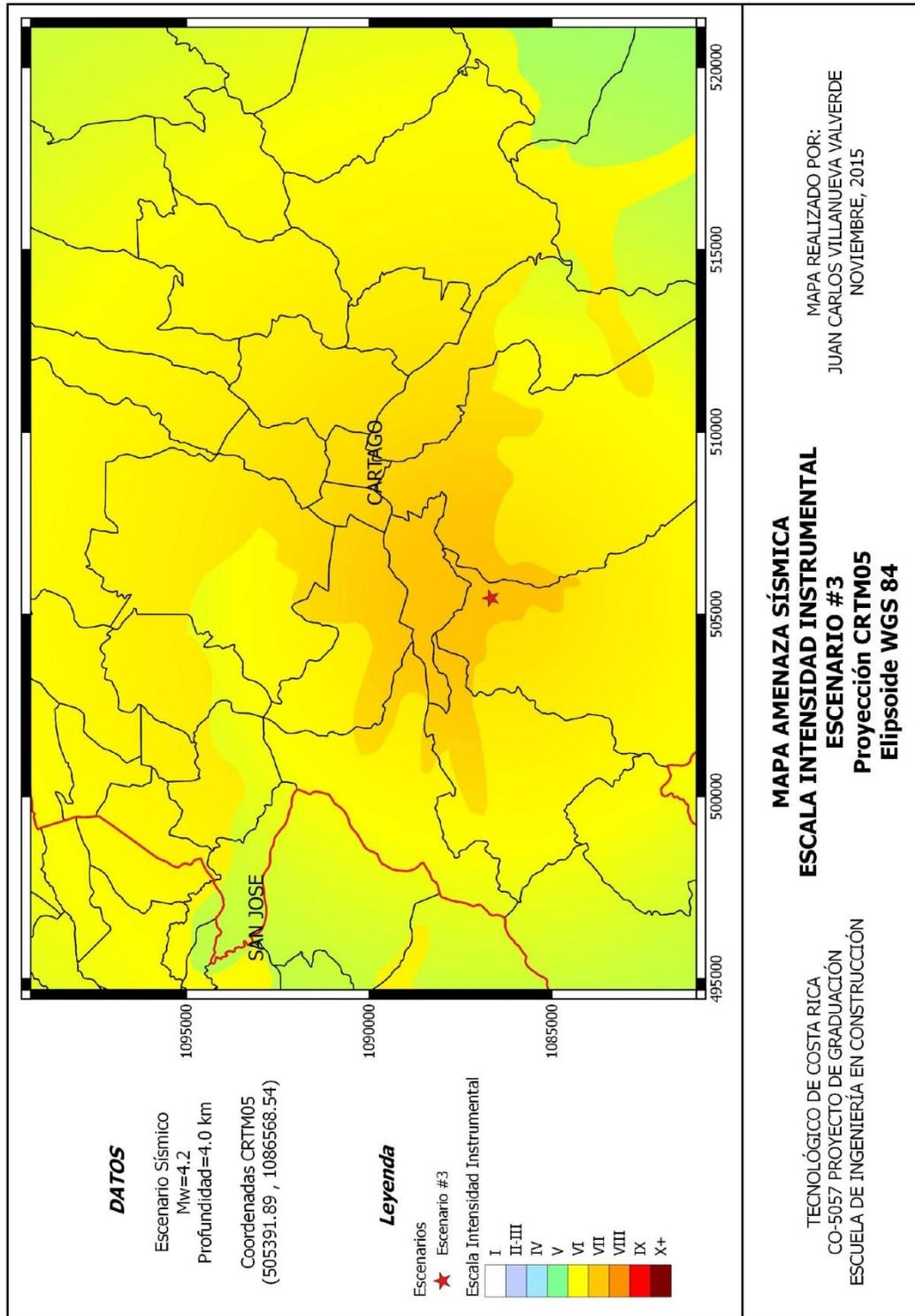


Figura 57. Mapa amenaza sísmica del escenario 3 en términos de la Intensidad Instrumental.

Mapas de Vulnerabilidad Sísmica

De igual forma que para el caso de los mapas de amenaza sísmica, los mapas de vulnerabilidad sísmica son presentados para cada uno de los escenarios planteados.

Primero se muestran los mapas de vulnerabilidad sísmica que contemplan todas las tipologías encontradas.

Luego se muestran los mapas de vulnerabilidad sísmica para cada tipología por separado, es decir se muestra el daño obtenido para cada tipo constructivo, el total son 7 tipologías.

Posteriormente se muestran los mapas de vulnerabilidad según el estado de conservación y el código sísmico vigente al momento de construidas cada edificación.

Por último se muestran una serie de cuadros que relacionan numéricamente los datos obtenidos.

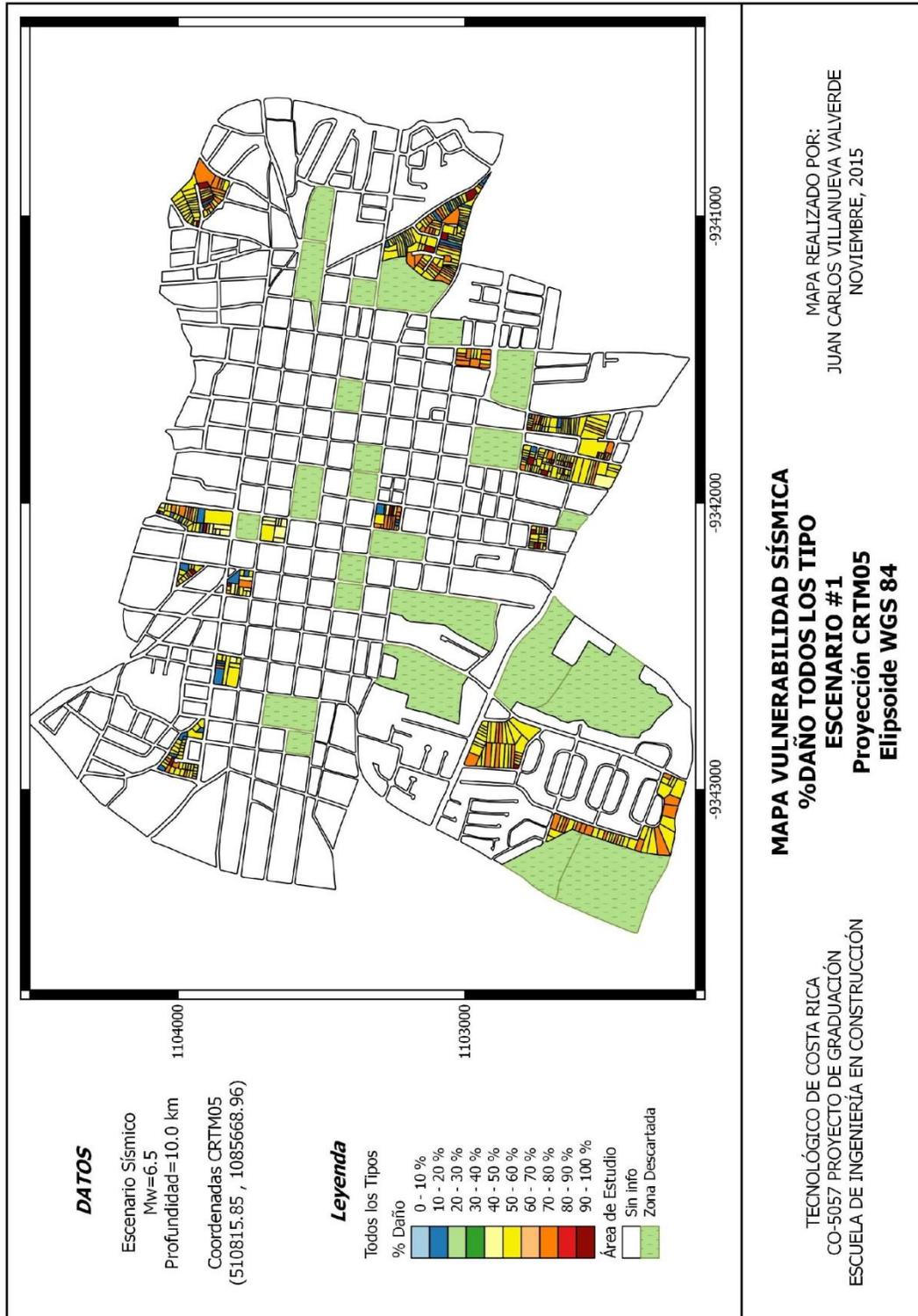


Figura 58. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 1 para todos los tipos constructivos.

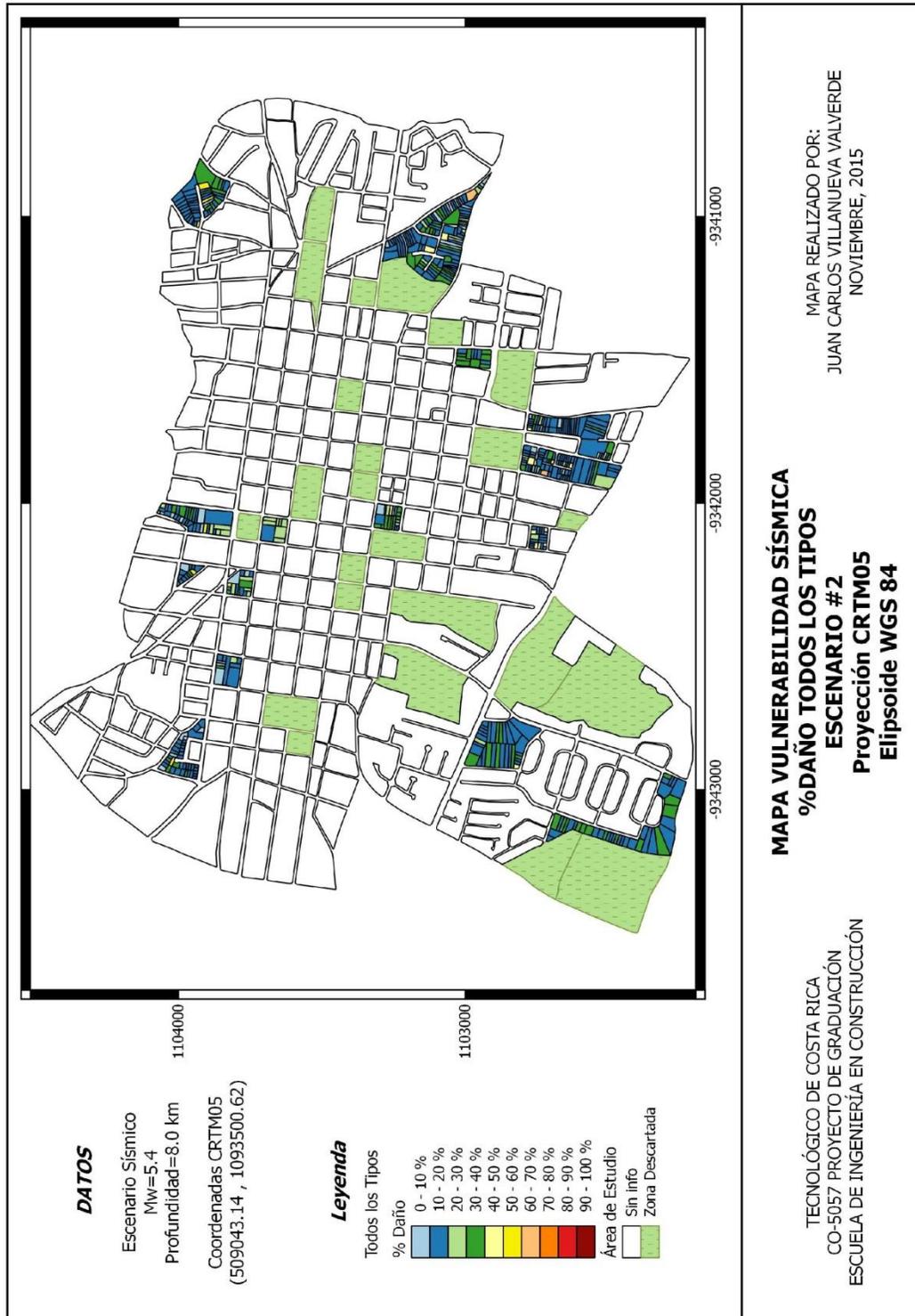


Figura 59. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 2 para todos los tipos constructivos.

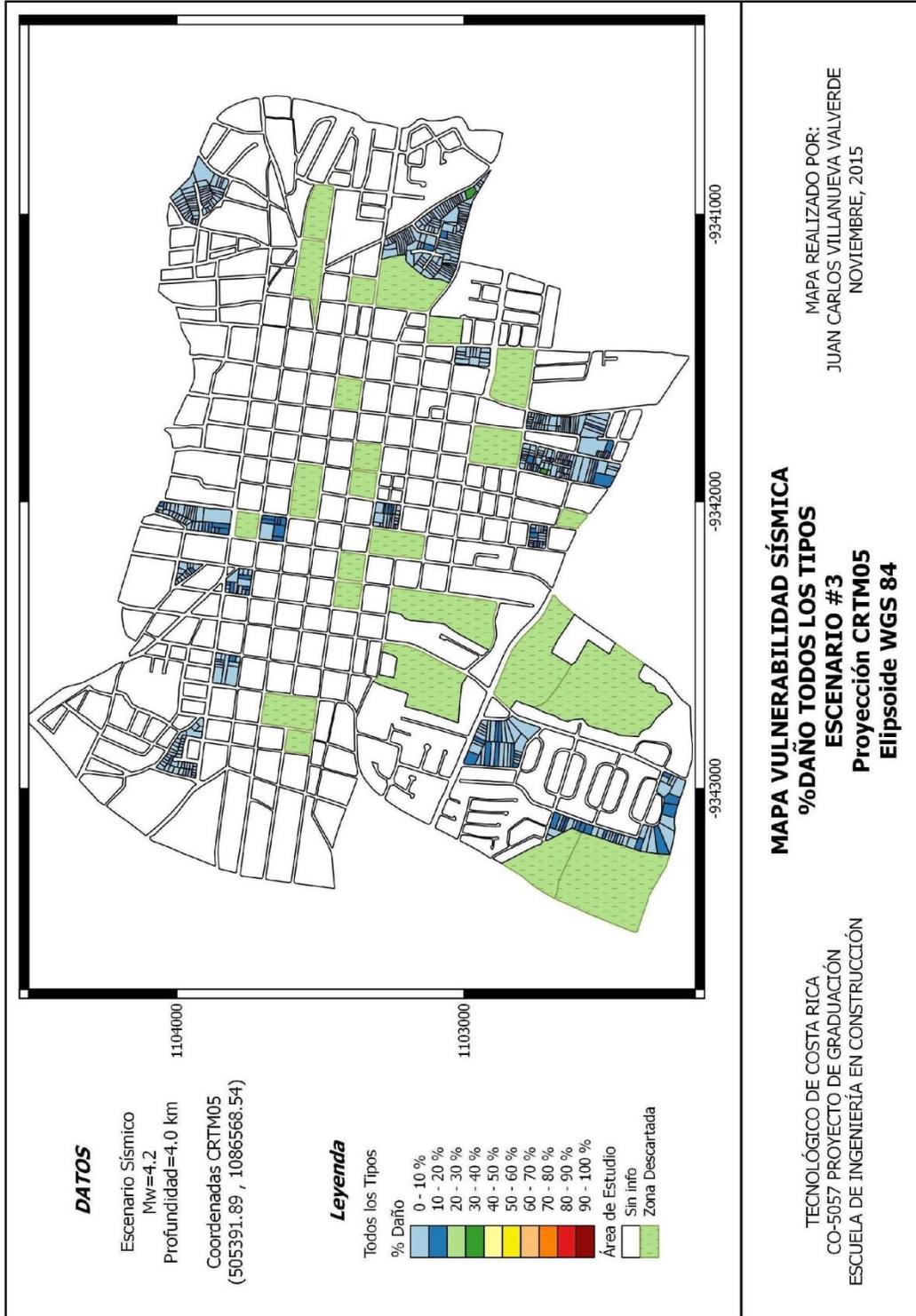


Figura 60. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 3 para todos los tipos constructivos.

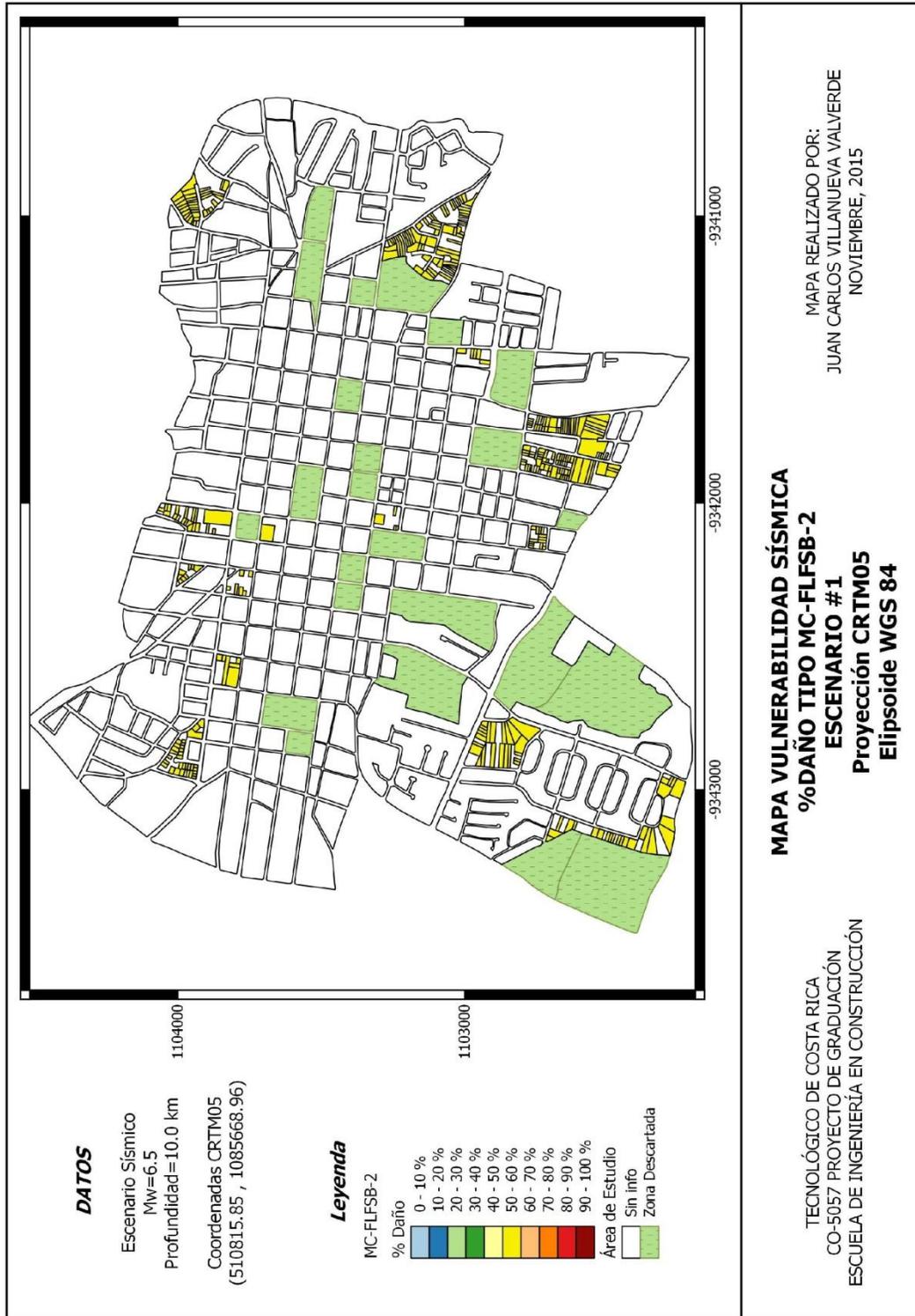


Figura 61. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 1 para Mampostería Confinada con diafragma flexible bajos 2 pisos.

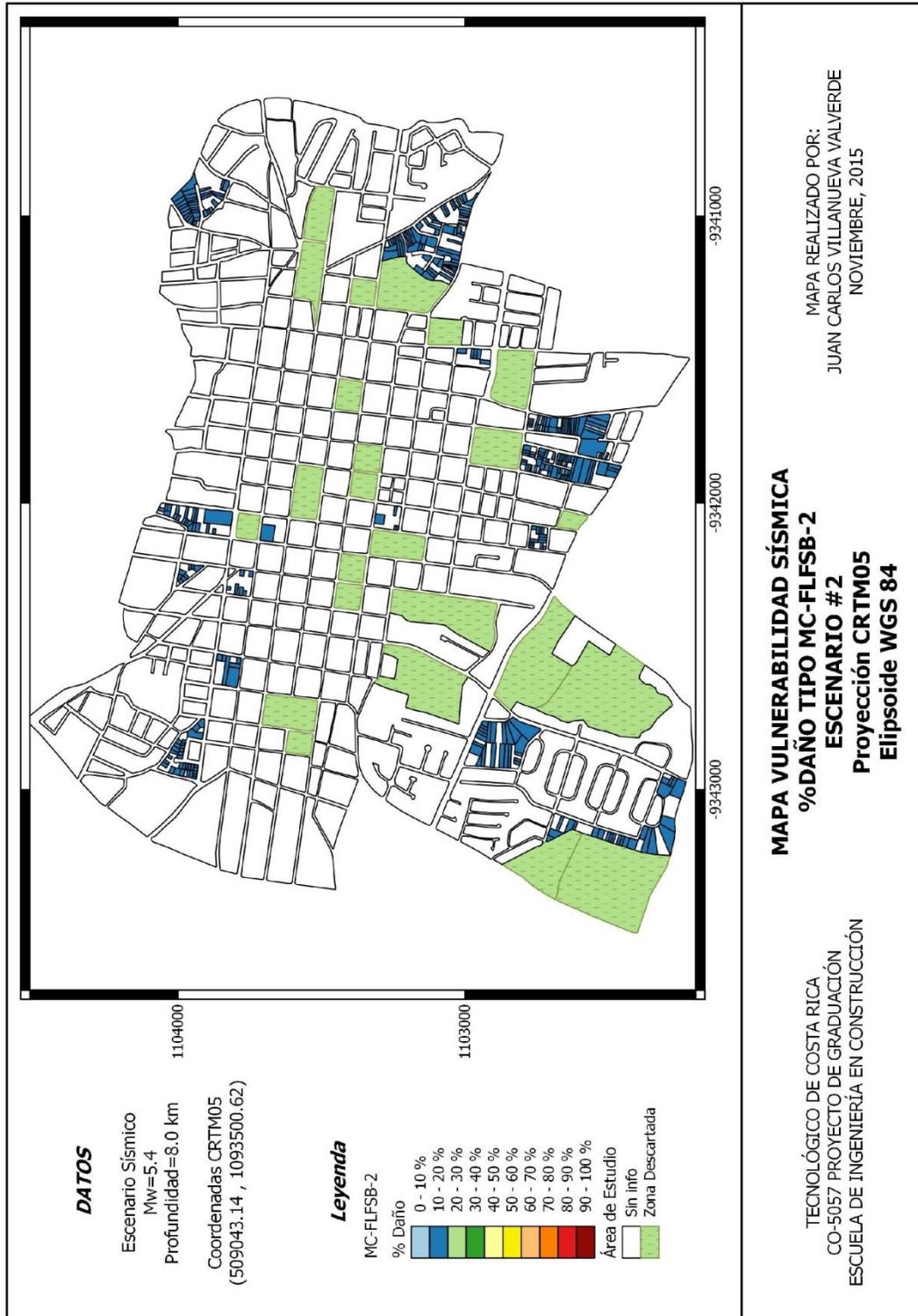


Figura 62. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 2 para Mampostería Confinada con diafragma flexible bajos 2 pisos.

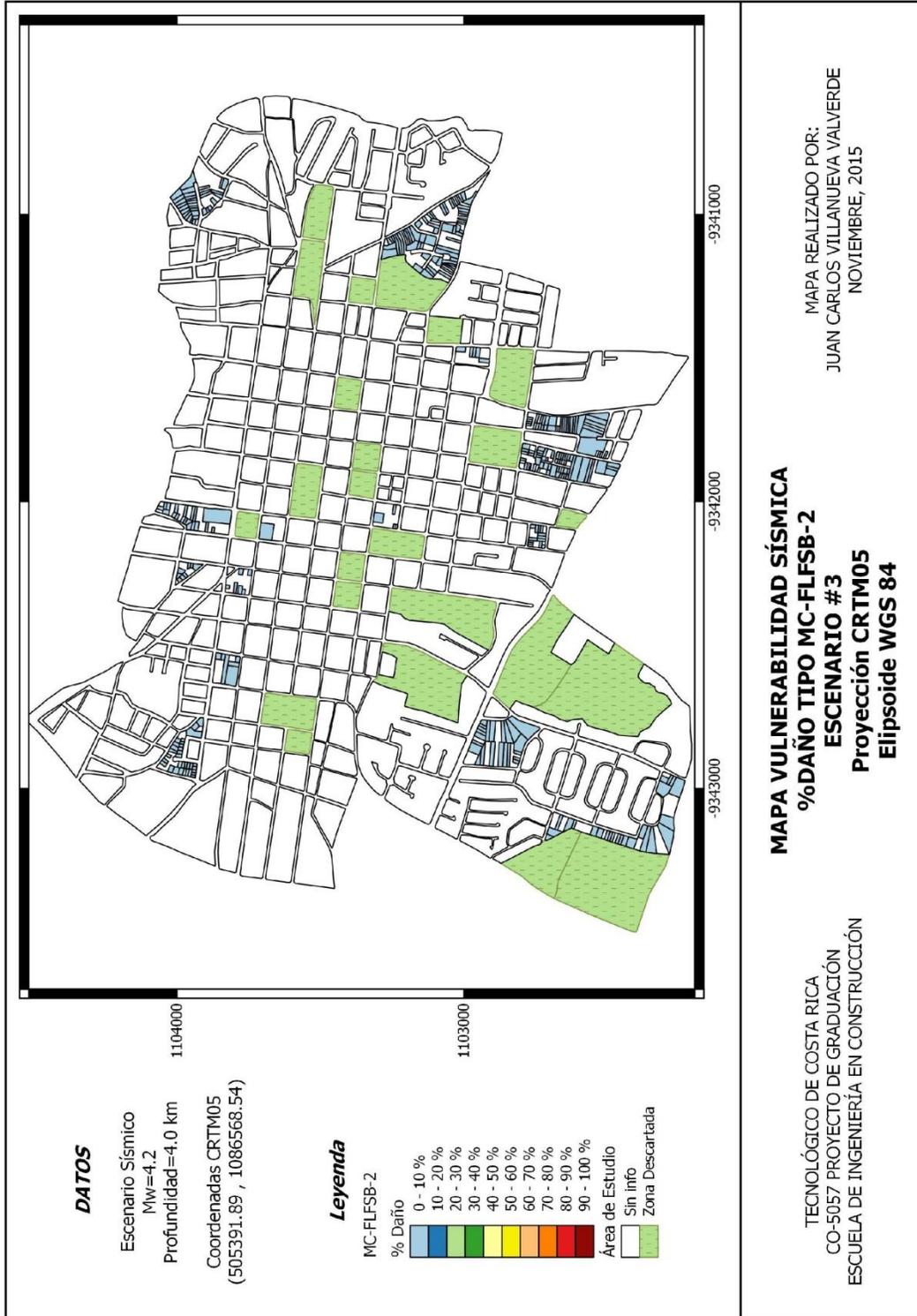


Figura 63. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 3 para Mampostería Confinada con diafragma flexible bajos 2 pisos.



Figura 64. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 1 para Mampostería Reforzada con diafragma flexible bajos 2 pisos.



Figura 65. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 2 para Mampostería Reforzada con diafragma flexible bajos 2 pisos.

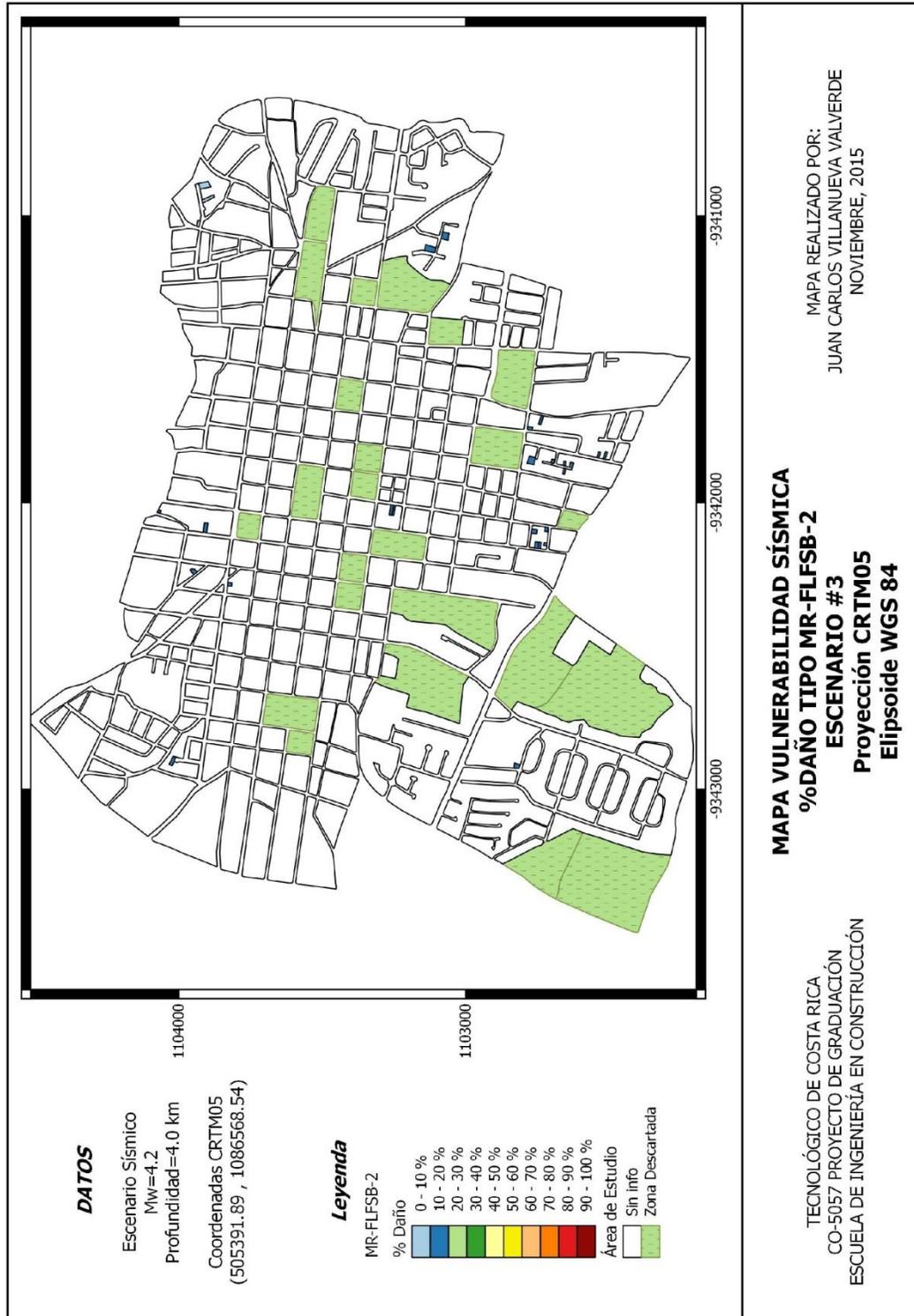


Figura 66. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 3 para Mampostería Reforzada con diafragma flexible bajos 2 pisos.

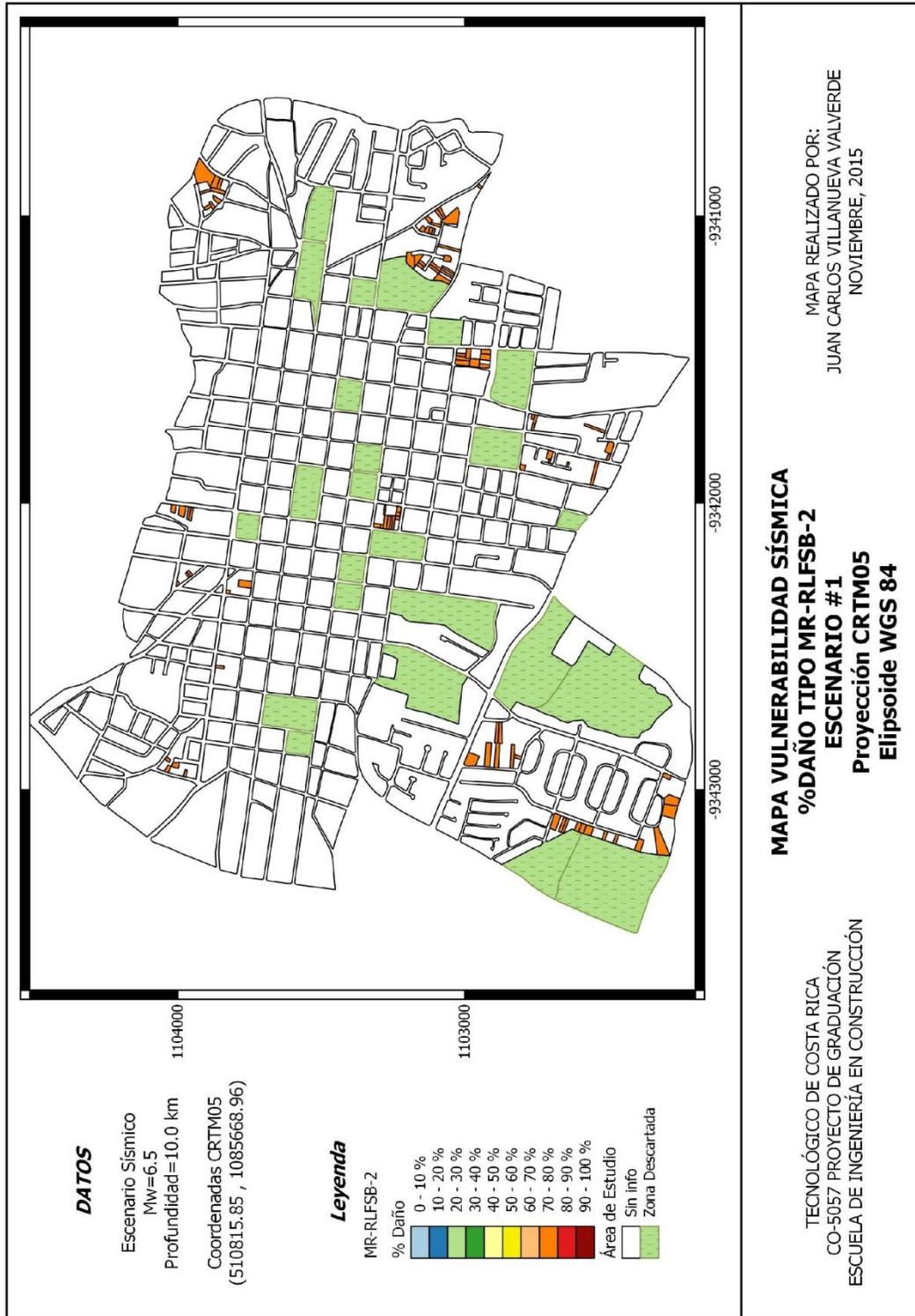


Figura 67. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 1 para Mampostería Reforzada con diafragma rígido bajos 2 pisos.



Figura 68. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 2 para Mampostería Reforzada con diafragma rígido bajos 2 pisos.

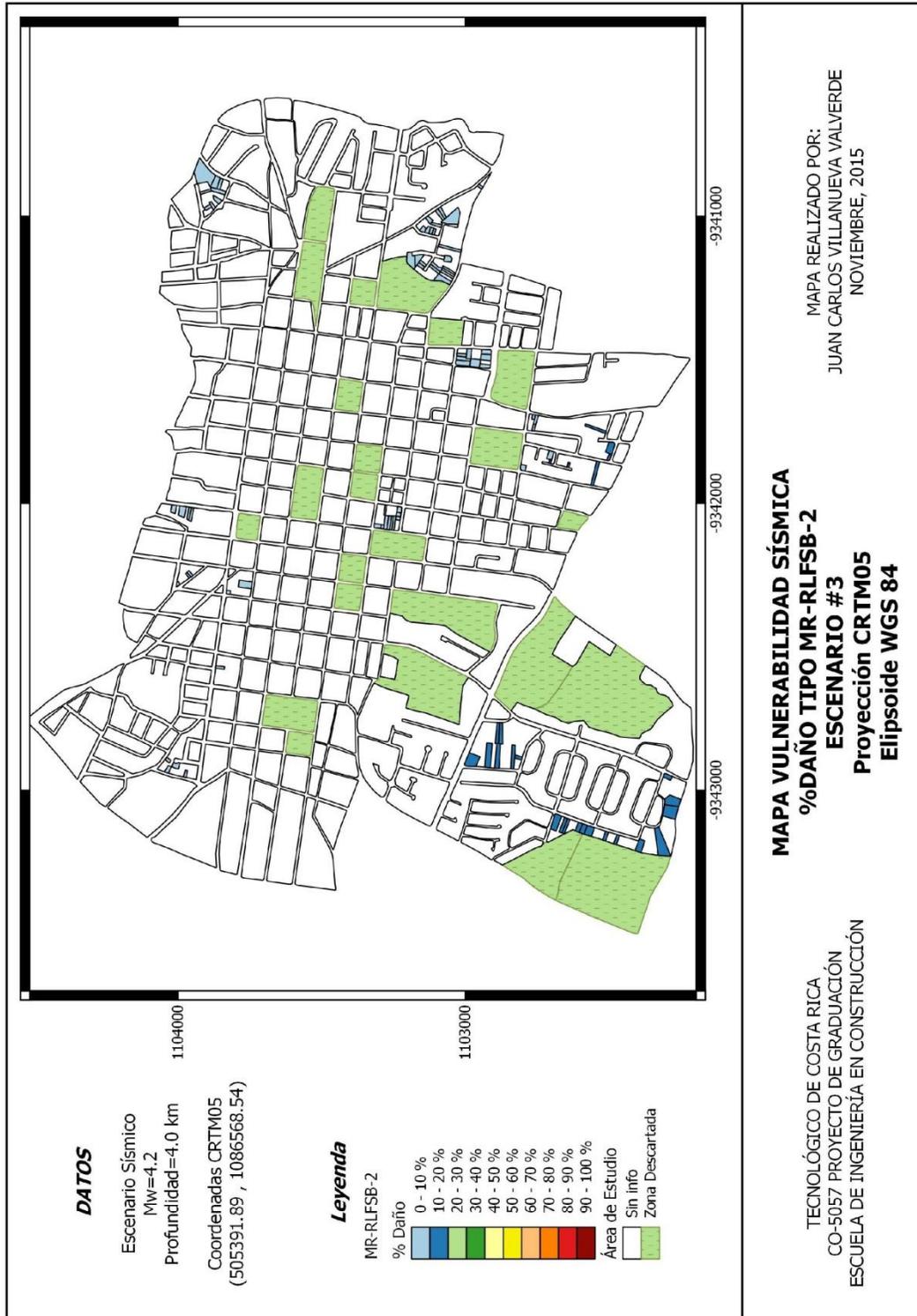


Figura 69. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 3 para Mampostería Reforzada con diafragma rígido bajos 2 pisos.

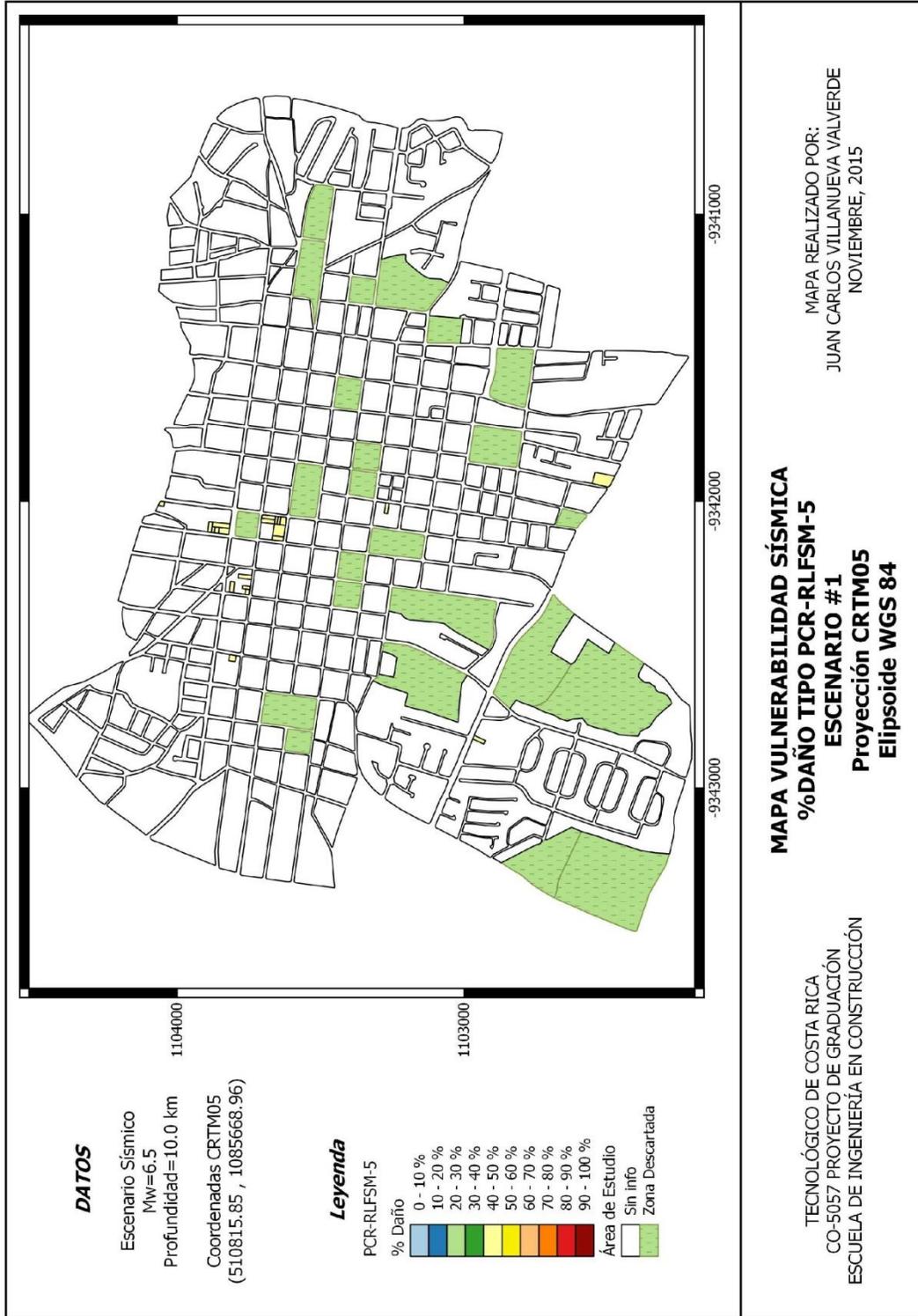


Figura 70. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 1 para Pórticos de Concreto Reforzado con diafragma rígido medios 5 pisos.

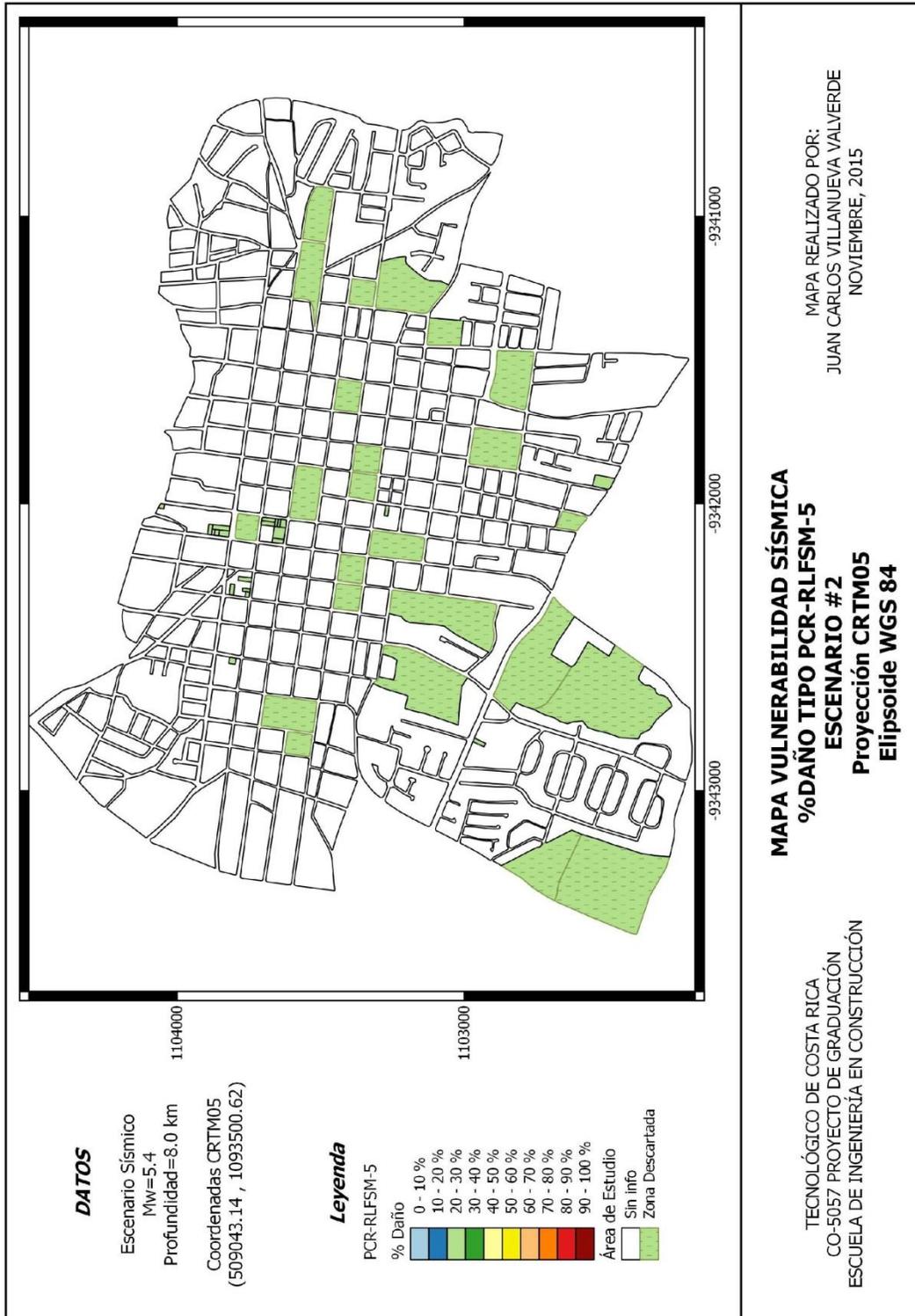


Figura 71. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 2 para Pórticos de Concreto Reforzado con diafragma rígido medios 5 pisos.

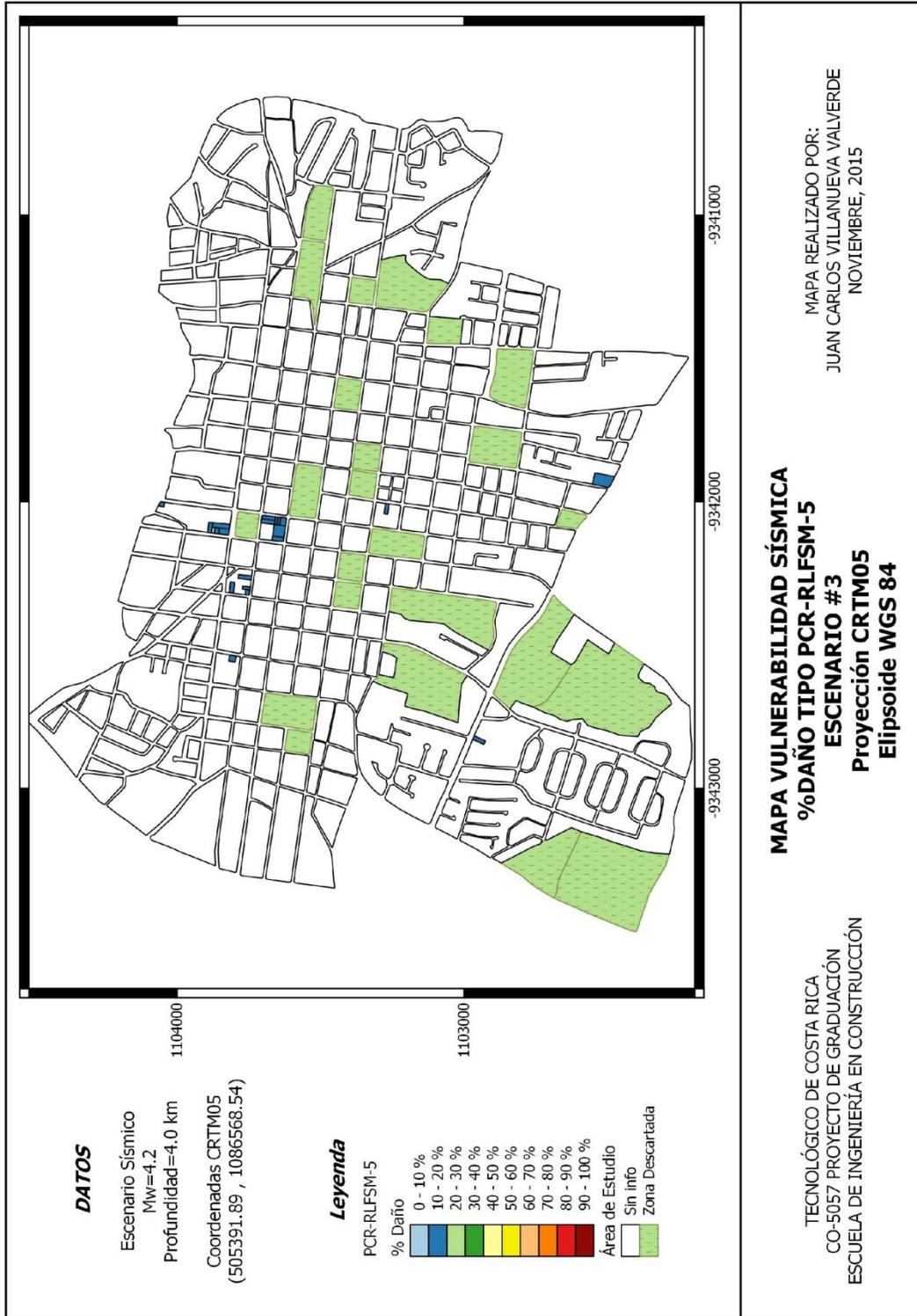


Figura 72. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 3 para Pórticos de Concreto Reforzado con diafragma rígido medios 5 pisos.



Figura 73. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 1 para Ripio sin diafragma bajos 1 piso.



Figura 74. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 2 para Ripio sin diafragma bajos 1 piso.



Figura 75. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 3 para Ripio sin diafragma bajos 1 piso.



Figura 76. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 1 para Muros de Madera con diafragma flexible bajos 2 pisos.

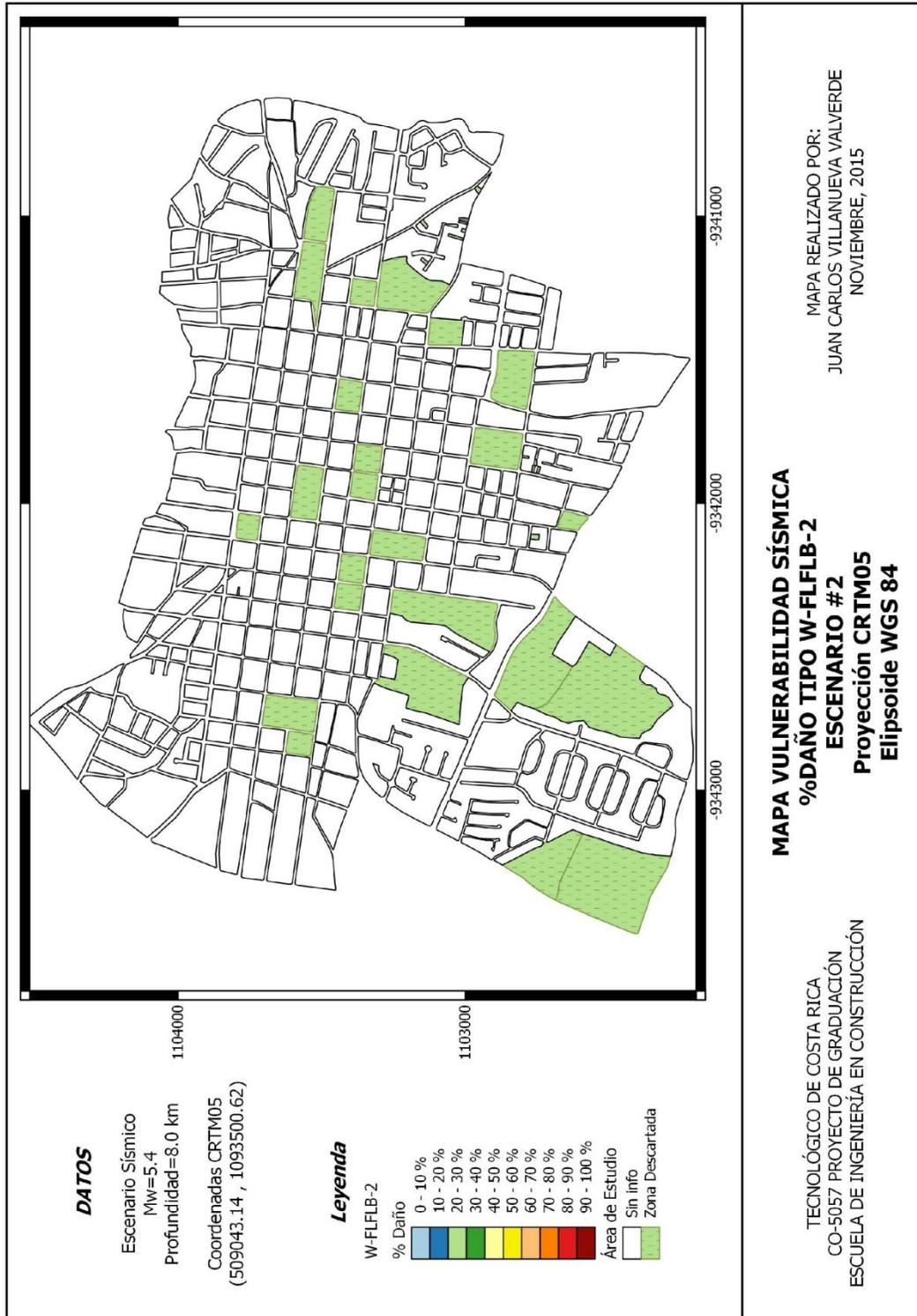


Figura 77. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 2 para Muros de Madera con diafragma flexible bajos 2 pisos.

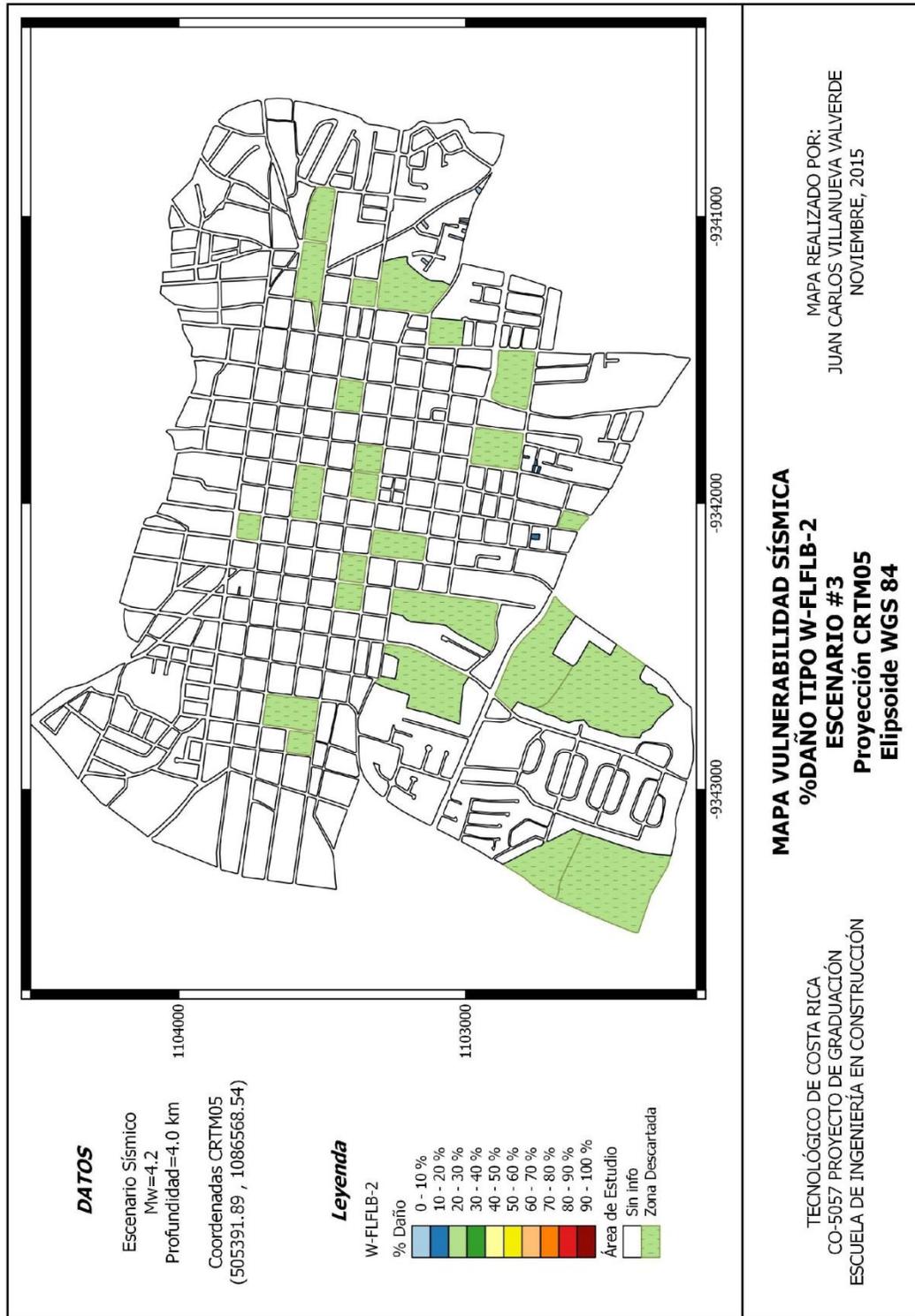


Figura 78. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 3 para Muros de Madera con diafragma flexible bajos 2 pisos.

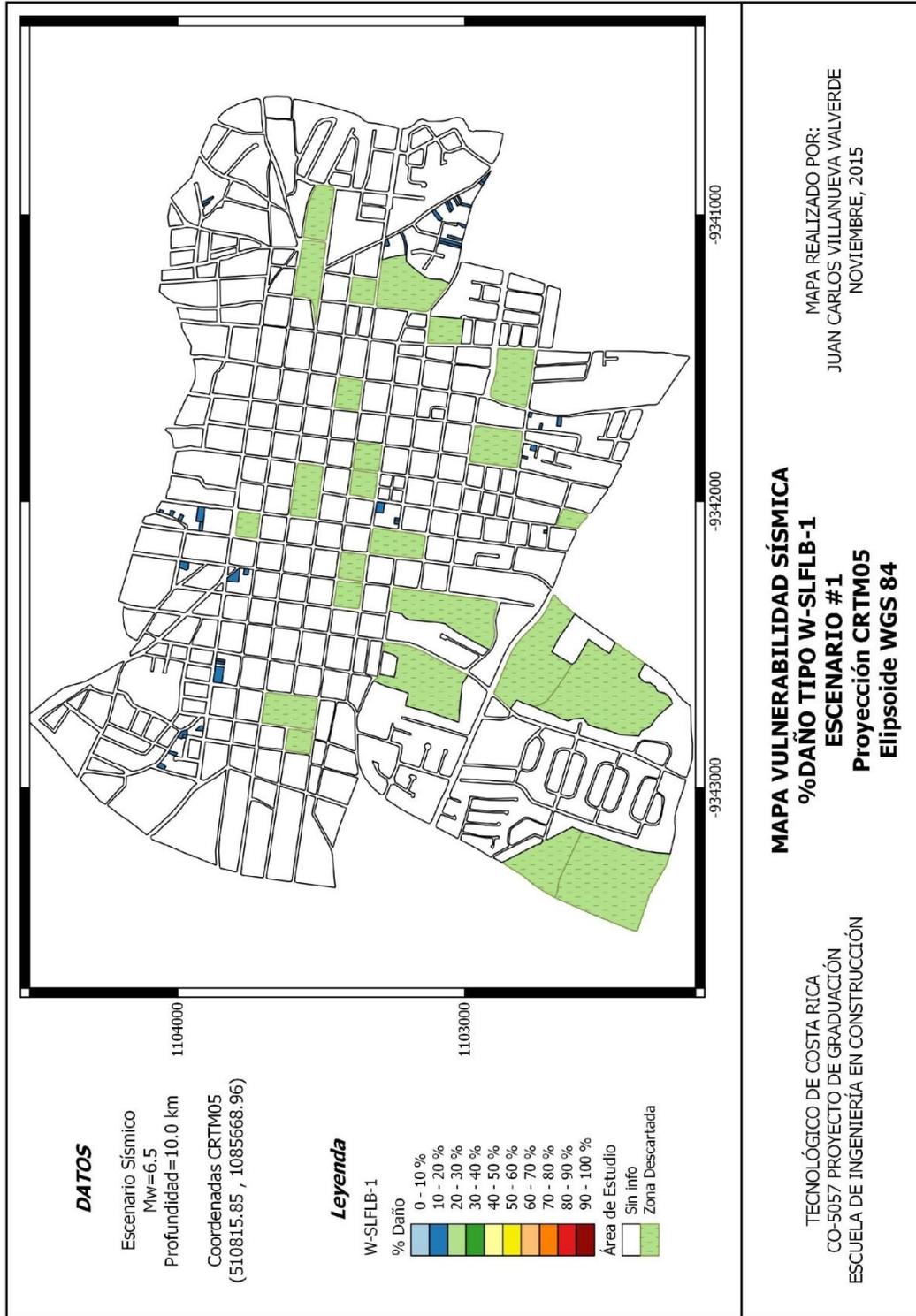


Figura 79. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 1 para Muros de Madera sin diafragma bajos 1 piso.



Figura 80. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 2 para Muros de Madera sin diafragma bajos 1 piso.

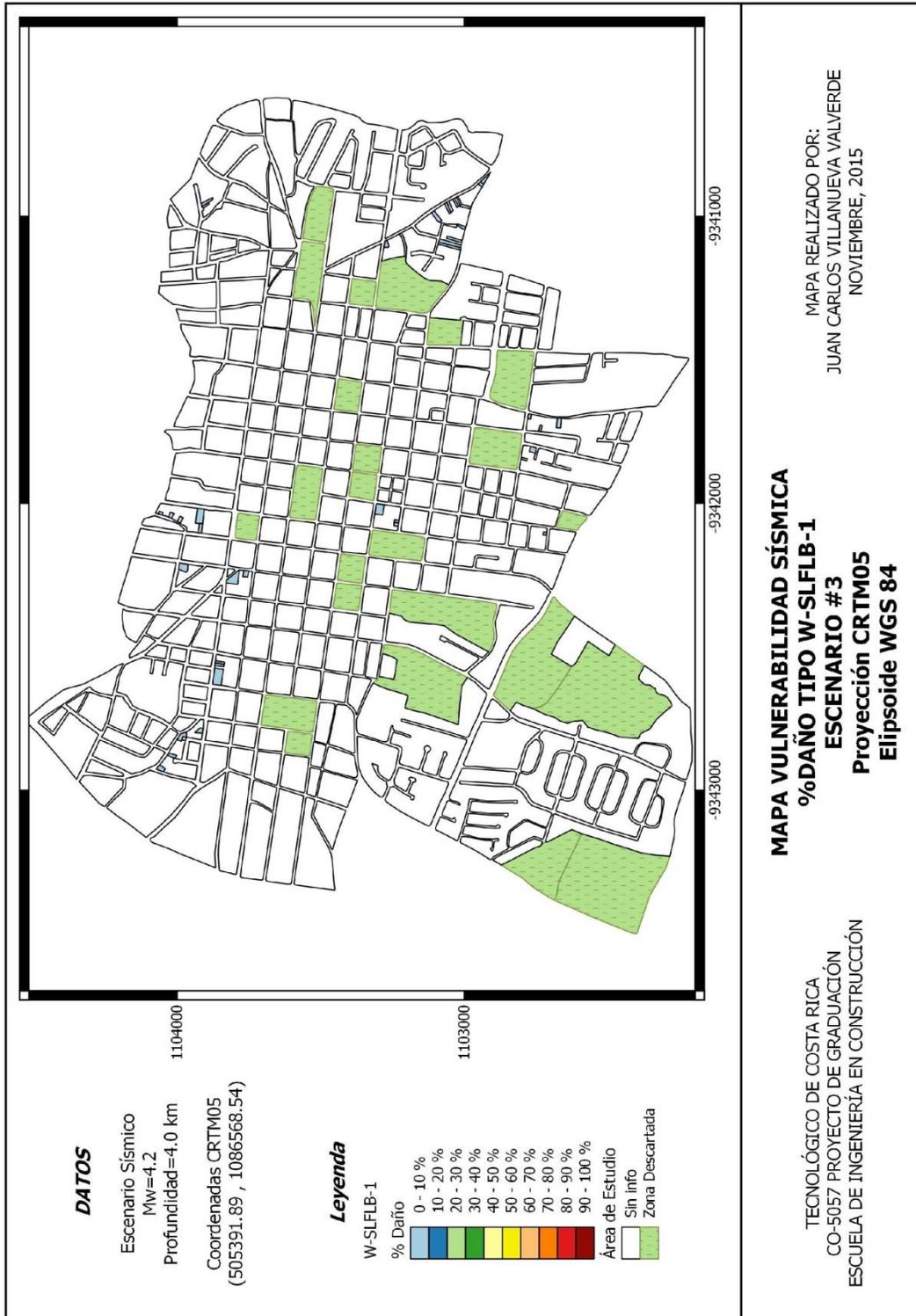


Figura 81. Mapa de vulnerabilidad sísmica del escenario 3 para Muros de Madera sin diafragma bajos 1 piso.

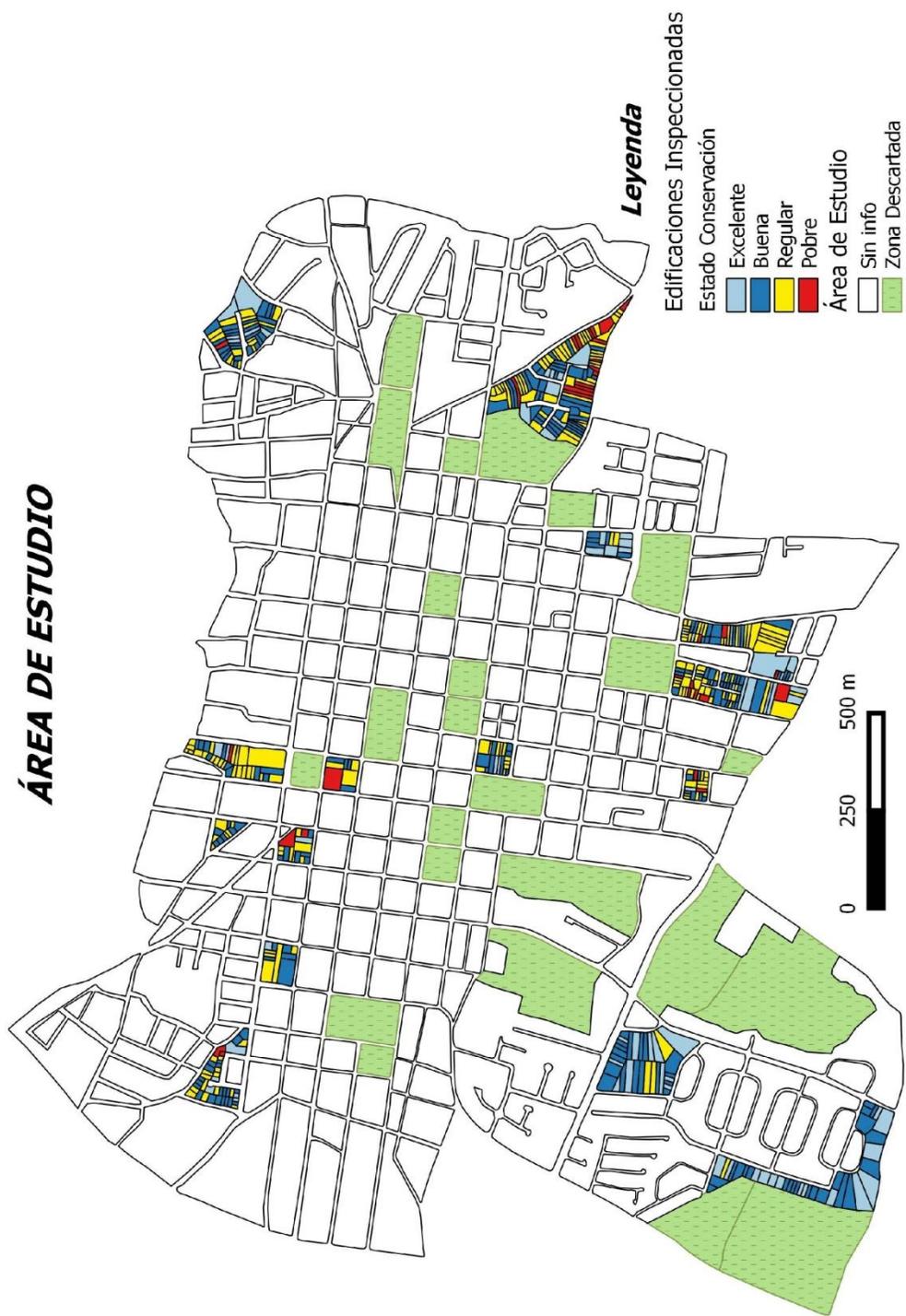


Figura 82. Estado de conservación para cada una de edificaciones inspeccionadas.

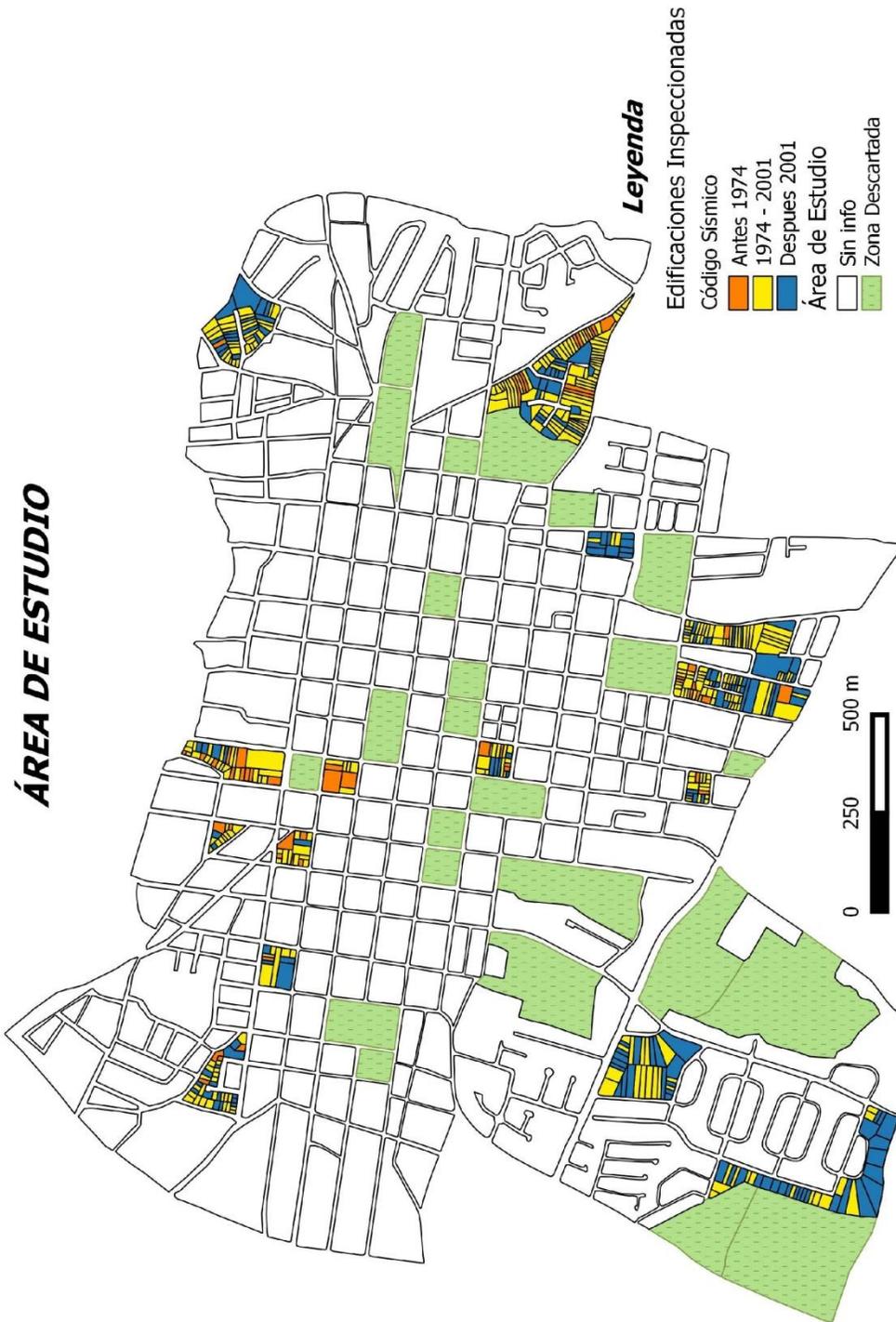


Figura 83. Código sísmico vigente al momento de su construcción para cada una de edificaciones inspeccionadas.

CUADRO 12. RESULTADOS EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE EDIFICACIONES SEGÚN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN Y CÓDIGO SÍSMICO VIGENTE.

TIPO EDIFICACIÓN	ESTADO DE CONSERVACIÓN				CÓDIGO SÍSMICO VIGENTE		
	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	POBRE	DESPUÉS 2001	1974 - 2001	ANTES 1974
MC-FLFSB-2	39	150	126	8	88	222	13
MR-FLFSB-2	1	8	17	1	6	18	3
MR-RLFSB-2	32	41	18	1	55	36	1
PCR-RLFSM-5	1	13	6	0	2	15	3
R-SLFLB-1	0	0	0	2	0	0	2
W-FLFLB-2	0	0	8	5	0	8	5
W-SLFLB-1	0	1	24	16	0	16	25
TOTALES	73	213	199	33	151	315	52

CUADRO 13. RESULTADOS EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE EDIFICACIONES SEGÚN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN Y CÓDIGO SÍSMICO VIGENTE.

TIPO EDIFICACIÓN	ESTADO DE CONSERVACIÓN				CÓDIGO SÍSMICO VIGENTE		
	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	POBRE	DESPUÉS 2001	1974 - 2001	ANTES 1974
MC-FLFSB-2	12,07	46,44	39,01	2,48	27,24	68,73	4,02
MR-FLFSB-2	3,70	29,63	62,96	3,70	22,22	66,67	11,11
MR-RLFSB-2	34,78	44,57	19,57	1,09	59,78	39,13	1,09
PCR-RLFSM-5	5,00	65,00	30,00	0,00	10,00	75,00	15,00
R-SLFLB-1	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
W-FLFLB-2	0,00	0,00	61,54	38,46	0,00	61,54	38,46
W-SLFLB-1	0,00	2,44	58,54	39,02	0,00	39,02	60,98
TOTALES	14,09	41,12	38,42	6,37	29,15	60,81	10,04

CUADRO 14. RESULTADOS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN TÉRMINOS DEL % DAÑO PARA LOS DISTINTOS ESCENARIOS.

TIPO EDIFICACIÓN	% DAÑO (MÍNIMO - MÁXIMO)						% CANTIDAD DE EDIFICACIONES	ÁREA DEL ESTUDIO (m ²)	% ÁREA ESTUDIO
	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3				
MC-FLFSB-2	52,49	57,53	14,31	16,88	2,14	3,79	62,36	163396	62,29
MR-FLFSB-2	93,25	95,48	47,11	51,04	9,42	15,26	5,21	7948,84	3,03
MR-RLFSB-2	75,32	78,69	33,52	37,33	7,19	12,77	17,76	55611,8	21,20
PCR-RLFSM-5	45,25	46,84	26,94	28,19	12,98	14,98	3,86	13069,7	4,98
R-SLFLB-1	94,2	94,25	68,24	68,53	33,91	37,21	0,39	1473,03	0,56
W-FLFLB-2	53,13	55,25	25,62	26,74	9,24	10,72	2,51	3469,76	1,32
W-SLFLB-1	16,13	17,67	5,69	6,17	1,17	1,66	7,92	17363,4	6,62

Análisis de Resultados

Mapas de Amenaza Sísmica

Si ocurriera un sismo de magnitud 6,5 Mw a 5,4 km al Sureste de la Ciudad de Cartago, y a una profundidad de 10 km, las aceleraciones horizontales pico del terreno alcanzarían los 5,29 m/s² en la Ciudad de Cartago, esto representaría aceleraciones de casi el 54% de la aceleración de la gravedad. Mientras que para la zona epicentral estas alcanzarían cerca del 57% de la aceleración de la gravedad.

Por otro lado, en términos de la intensidad instrumental, esta llegaría a ser de VIII en toda la Ciudad de Cartago así como en la zona epicentral.

La sacudida se percibirá como severa por todas las personas en la zona, además se esperaría que el daño potencial producto del evento sea de moderado a fuerte. Según la relación entre la intensidad instrumental, aceleración del terreno, daño potencial y percepción de la sacudida propuesta por el USGS, que se muestra en la figura 44.

Para el escenario 2, donde se plantea un sismo de magnitud 5,4 Mw a 3,3 km al norte de la Ciudad de Cartago, y a una profundidad de 8 km, se estima que las aceleraciones en el terreno alcancen los 3,35 m/s² en la Ciudad de Cartago, equivalente a cerca del 34% de la aceleración de la gravedad. Para la zona epicentral estas crecerían solo un poco siendo prácticamente la mismas, del 35% de g.

En cuanto a la intensidad instrumental, para la Ciudad de Cartago esta se encontrarían en el límite entre una intensidad instrumental VII u VIII, el daño potencial se espera que sea moderado, mientras que la percepción de la sacudida será muy fuerte.

Mientras que para el tercer escenario, un sismo de magnitud 4,2 Mw, a 5,0 km al Suroeste de la Ciudad de Cartago, y con una profundidad de 4 km, se estima que las aceleraciones del terreno rondarían los 2,22 m/s² y los 1,84 m/s²,

en la Ciudad de Cartago, en términos de porcentaje de la aceleración de la gravedad estas rondarían entre 18,8 y 22,7 %. Mientras que para la zona epicentral estas alcanzarían los 26,5% de la aceleración de la gravedad.

La intensidad instrumental en la zona de estudio así como en la zona epicentral, se encontraría entre el límite de una intensidad instrumental VI u VII, de este modo la percepción de la sacudida será de fuerte a muy fuerte por los pobladores del lugar, mientras que el daño potencial se espera que sea de bajo a moderado.

Como se muestra en los mapas de amenaza sísmica, así como en el mapa de geología mostrado en el apéndice 2, la Ciudad de Cartago se encuentra cimentada sobre suelos blandos, por lo cual en esta zona como es de esperar, la aceleración del terreno se va amplificar, debido al fenómeno de la amplificación de las ondas sísmicas, producto del medio por el cual transitan.

Dicho efecto es bien considerado en la ecuación de atenuación determinada por Climent et al, 1994 para Centroamérica.

De igual forma en cada uno de los mapas de amenaza sísmica confeccionados para los escenarios planteados, se pueden observar la atenuación de la intensidad sísmica conforme se aumenta la distancia de la zona epicentral.

Si comparamos los resultados obtenidos del estudio de amenaza sísmica, con los obtenidos en otros estudios, como es el caso del Diagnóstico de vulnerabilidad sísmica de Cartago, Costa Rica. Realizado por Jiménez, D. (2012). Se tiene entonces, que para dicho estudio en particular se plantearon dos escenarios sísmicos hipotéticos utilizando la misma metodología utilizada en este estudio, dichos escenarios presentan magnitudes similares a las evaluadas por los escenarios 1 y 2 de este proyecto.

Para el sismo magnitud 6,5 Mw planteado por Jimenez, D. (2010), se puede comparar al escenario 1 planteado en el presente estudio como:

Es un sismo de igual magnitud solamente que está ubicado hacia el norte de la Ciudad de Cartago, muy cerca de esta, con una ubicación similar a la planteada en el escenario 2 de este estudio.

Las aceleraciones del terreno alcanzarían cerca del 70% de la aceleración de la gravedad en la zona epicentral, y serán un poco menores en la Ciudad de Cartago. Mientras que en este estudio se estimaron aceleraciones de hasta 54% en la Ciudad de Cartago.

En términos de las intensidades de MM para dicho estudio se obtiene una intensidad máxima de VIII, de igual forma la intensidad instrumental determinada por este estudio fue de VIII.

Si consideramos el escenario de magnitud 5,5 Mw ubicado hacia el Sureste del centro de Tejar se tiene que los datos obtenidos por el escenario 2 de este estudio son similares, se muestra que las aceleraciones hacia el centro

de Cartago serían las mayores y alcanzarían los $3,43 \text{ m/s}^2$ y este caso se obtuvieron que estas alcanzarías los $3,35 \text{ m/s}^2$, prácticamente las mismas.

En cuanto a la intensidad de MM para dicho estudio y la intensidad instrumental de este fueron las mismas, se esperan en la Ciudad de Cartago intensidades máximas de hasta VII.

En síntesis, cualquier sismo similar a alguno de los planteados en este estudio de amenaza sísmica, afectara directamente a la Ciudad de Cartago, por esto será indispensable evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la zona, como quedo en evidencia, de acuerdo a las intensidades sísmicas obtenidas se esperan daños considerables en la zona.

Por dicha razón estudios de este tipo son necesarios e indispensables en centros de población que cuenten con una amenaza considerable como lo es la Ciudad de Cartago, producto a la activa y reciente actividad sísmica de la falla de Agua Caliente, además de los terremotos históricos con la que se asocia.

Mapas de Vulnerabilidad Sísmica

Al realizar el estudio de vulnerabilidad sísmica se partió de la necesidad, de determinar un tamaño de muestra que fuera representativo estadísticamente, y que a su vez fuera realista, esto considerando las limitaciones propias del estudio, así como los recursos con los que se contaba para llevar a cabo el desarrollo del mismo con éxito.

De este modo, mediante un muestreo aleatorio simple, se determinaron un total de 15 lotes como una muestra representativa, los cuales se muestran en la figura 47, estos representan 9,44% de la población total.

Estos se determinaron con una ecuación de tamaño muestral, por lo tanto para los datos presentados a continuación, existe un nivel de confianza del 95% de que dichos datos representa el total de la población, además el error de la estimación se definió en un 4%.

Como se mostro en el capítulo anterior, la Ciudad de Cartago presenta una amenaza sísmica alta. Para los tres escenarios sísmicos planteados, la aceleración pico del terreno en dicha zona va desde los 222 cm/s^2 a los 529

cm/s^2 , en términos de intensidades instrumentales estas van desde los VI a los VIII.

Según un estudio similar realizado por Jiménez, D. (2012), se utilizo un formulario de inspección visual de edificaciones, este se muestra en el anexo 4, el mismo fue aplicado a cada una de las edificaciones encontradas en el área a inspeccionar.

Dichos resultados se muestran en el apéndice 3, con dicha información se clasifican las edificaciones inspeccionadas, en total fueron 518, y estas se clasificaron en 7 de las 15 tipologías definidas por (ENR-CAPRA, T2-5), para Costa Rica.

En el apéndice 4, se muestran las funciones de vulnerabilidad sísmica, con su respectiva ecuación, para cada una de las 7 tipologías encontradas en la Ciudad de Cartago.

En cuanto a la vulnerabilidad sísmica, será indispensable poder clasificarla de acuerdo a una escala que considera tanto los daños estructurales como no estructurales.

Según Bonett, R. (2003), los elementos estructurales que componen los sistemas

resistentes de cargas verticales y cargas laterales, como lo son: vigas, columnas, muros, entrepisos, marcos, entre otros.

Mientras que los elementos no estructurales están conformados por: elementos arquitectónicos (muros divisorios, ventanas, etc.), instalaciones (tuberías de agua, electricidad) y contenidos (maquinas, equipos, moviliarios).

En el cuadro 11, se muestra la cantidad de edificaciones encontradas para cada una de las 7 tipologías, mientras que el cuadro 14, se muestra un resumen de los daños esperados para cada escenario según la tipología de las edificaciones.

Es importante mencionar que dichos daños esperados en las edificaciones para cada escenario en particular consideran tanto los daños estructurales como no estructurarles, es decir dicho porcentaje estima el daño general que espera en la estructura.

Para el caso de las edificaciones de mampostería confinada con diafragma flexible-bajas de 2 pisos (MC-FLSSB-2), estas representan el 62,36% de las edificaciones en la zona de estudio, es decir son la mayoría, por esta razón será importante hacer énfasis en los daños obtenidos al evaluar su vulnerabilidad sísmica para cada uno de los escenarios.

Si evaluamos el escenario 1, entonces se obtiene que el 62,36% de la edificaciones sufrirán un %daño entre el 50 y 60%, lo que representa 62,29 % del área de estudio. Según el estudio de amenaza sísmica, se determino que para un nivel de intensidad instrumental VIII el daño potencial sería de moderado a fuerte.

Por lo tanto relacionando los valores obtenidos con lo esperado según la escala instrumental, se determina que los daños que sufrirían este tipo de estructuras son similares y congruentes a los daños esperados de acuerdo a la intensidad de la amenaza.

Es decir, estas edificaciones presentaran daños estructurales considerables una vez finalizado el evento, las estructuras necesitaran ciertas reparaciones incluso podría necesitar el reforzamiento de alguno de sus elementos estructurales.

Mientras que para los escenarios 2 y 3, el %Daño esperado será de un 14 a un 16% para el escenario 2, mientras que para el escenario 3 este será de un 2 a un 4%.

Según Bonett, R. (2003) estos daños pueden representar un daño estructural menor

para el escenario 2 y un daño estructural no apreciable o incluso ninguno para el escenario 3.

Mientras que en términos de los daños no estructurales estos pueden puntuales o incluso distribuidos dependiendo del escenario.

Aun así, no todos los tipos de estructuras o sistemas constructivos poseen el mismo comportamiento, ante las acciones que se transmiten a la estructura producto del movimiento del terreno, es decir, hay ciertos materiales que poseen un mejor comportamiento, debido a sus propiedades.

Por ejemplo, estructuras conformadas por muros de concreto o muros de mampostería, poseen una rigidez muy alta y además no son estructuras tan dúctiles como el caso de las conformadas por marcos y muros de madera o incluso las conformadas por marcos de acero, estos sistemas estructurales son mucho más flexibles, por lo que al momento del movimiento del terreno, producto de un sismo fuerte, estas tendrán un mejor comportamiento, lo que se traduce en estructuras que permiten mayores desplazamientos, sin que se acumulen deformaciones en los elementos estructurales.

De este modo, lo que muestran las funciones de vulnerabilidad sísmica propias de cada sistema constructivo, es caracterizar el comportamiento de la estructura, para distintos niveles de intensidad sísmica, es decir, estas describen el comportamiento desde niveles muy bajos de intensidad, en los cuales la estructura no sufre ningún tipo de daño, hasta niveles de intensidad muy altos que terminan por colapsar a la estructura.

Por esta razón, se encontraran estructuras que incluso posean un mejor comportamiento, por lo que los % Daño obtenidos para una intensidad en particular podrán ser mucho menores a los esperados según la escala Mercalli Modificada.

Otros parámetros que son de suma importancia tener en consideración, lo son el estado de conservación de las estructuras, así como el código vigente utilizado en su construcción.

Estas características propias de cada edificación podrían alterar la vulnerabilidad sísmica significativamente, todos sabemos que una vez construida una edificación esta debe recibir un mantenimiento y cuidado constante a lo largo de su vida útil, y se hace cada vez más

necesario con forme avanza en edad la estructura.

Esto se debe principalmente a que los materiales presentan un deterioro conforme transcurren los años de su vida útil, así según sean las condiciones en las que se encuentre, por esta razón sus propiedades cambian, y sus resistencias se ven afectadas.

Para evaluar estas condiciones son necesarios modelos de deterioro.

En este caso en particular no se evalúa ese comportamiento que tienen los materiales en las estructuras, debido a que queda completamente fuera del alcance del estudio. Aun así es importante mencionarlo y tenerlo en consideración.

No obstante uno de los parámetros tomados durante las inspecciones fue el estado de conservación general de la estructura, aun así no se sabe numéricamente en cuanto pueda afectar la vulnerabilidad de las edificaciones, pero si se sabe que la vulnerabilidad sísmica será mayor a las obtenidas de las funciones de vulnerabilidad sísmica definidas por (ENR-CAPRA, T2-5).

Esto se debe a que dichas funciones son determinadas considerando los sistemas estructurales como si estuvieran recién construidos, es decir, con las propiedades físicas y mecánicas, considerando los materiales de la estructura como si fuesen nuevos.

De igual forma el código sísmico vigente durante la construcción de la edificación es un parámetro importante a considerar, debido a que este también puede afectar significativamente la vulnerabilidad sísmica.

Esto se debe a que en Costa Rica las normativas que regulan la construcción, así como sistemas constructivos que son permitidos, han cambiado en gran medida en los últimos 60 años.

Del total de edificaciones en la Ciudad de Cartago, el 14,09% presenta un estado de conservación excelente, el 41,12% bueno, el 38,42% regular y el 6,37% pobre.

El 29,15% son edificaciones relativamente nuevas es decir construidas después del 2001, el 60,81% que corresponde a la mayoría fueron construidas entre 1974 – 2001, y por ultimo cerca del 10,04% son edificaciones muy viejas ya que fueron construidas antes de 1974.

En esta medida los valores de % Daño obtenidos que se muestran en los mapas de

vulnerabilidad sísmica, los cuales se resumen en el Cuadro 14, podrán variar si por ejemplo alguna de las edificaciones presenta un estado de conservación pobre e incluso en caso extremo haya sido construida antes de 1974. Lo cual es evidente debido a los porcentajes mostrados anteriormente.

En el cuadro 13, se puede observar de manera más clara como puede aumentar la vulnerabilidad sísmica de cada tipología, según las proporciones ahí mostradas.

Para los sistemas constructivos de mampostería reforzada con diafragma flexible-bajos 2 pisos (MR-FLFSB-2), que representan el 5,21% del área de estudio, al evaluar la vulnerabilidad para el escenario 1 se obtiene, que dichas edificaciones sufrirán un %daño del 90 al 100%, es decir posteriormente del evento algunas colapsaran y otras quedaran completamente inhabilitables con daños estructurales en sus principales elementos sismo resistentes.

En el caso del sistemas constructivos de ripio o tugurio sin diafragma-bajos 1 piso(R-SLFLB-1), que representan 0,39% del área de estudio, para el escenario 1 se obtienen %Daño del 90 al 100%, estas estructuras colapsaran ante dicho evento.

Para el caso de los sistemas constructivos pórticos de concreto RM con diafragma rígido-medios 5 pisos (PCR-RLFSM-5) y muros de madera con diafragma flexible-bajos 2 pisos (W-FLFLB-2), los cuales representan respectivamente un 3,86% y 2,51% del área de estudio, para el escenario 1 quedaran con daños del 40 al 60%, los cuales se consideran daños estructurales considerables según Bonett, R. (2003).

En resumen, se tiene:

Para el Escenario 1

- Tipologías MR-FLFSB-2 y R-SLFLB-1: que representan un 5,6% de las edificaciones sufrirán un daño del 90 al 100% que se considera como daño severo o el colapso.
- Tipología MR-RLFSB-2: que representa un 17,76% de las edificaciones sufrirán un daño del 70 a 80 % que se considera como daño mayor.
- Tipologías MC-FLFSB-2 y W-FLFLB-2: que representan un 64,87% de las

edificaciones sufrirán un daño del 50 al 60% que se considera como daño considerable a sustancial.

- Tipología PCR-RLFSM-5: que representa un 3,86% de las edificaciones sufrirán un daño del 45 al 47% que se considera como daño considerable.
- Tipología W-SLFLB-1: que representa un 7,92% de las edificaciones sufrirán un daño del 16 al 18% que se considera como daño menor.

Para el Escenario 2

- Tipologías MR-FLFSB-2 y R-SLFLB-1: que representan un 5,6% de las edificaciones sufrirán un daño del 47 al 68% que se considera como daño considerable a sustancial.
- Tipologías MR-RLFSB-2, PCR-RLFSM-5 y W-FLFLB-2: que representa un 24,13% de las edificaciones sufrirán un daño del 25 a 38 % que se considera como daño de menor a moderado.
- Tipologías MC-FLFSB-2 y W-SLFLB-1: que representan un 70,28% de las edificaciones sufrirán un daño del 5 al 17% que se considera como daño de no apreciable a menor.

Para el Escenario 3

- Tipología R-SLFLB-1: que representa un 0,39% de las edificaciones sufrirán un daño del 33 a 38 % que se considera como daño moderado.
- Tipologías MC-FLFSB-2, MR-RLFSB-2, MR-FLFSB-2, PCR-RLFSM-5, W-FLFLB-2, W-SLFLB-1: que representan un 99,61% de las edificaciones sufrirán un daño del 1 al 15% que se considera como daño de no apreciable a menor.

Ha quedado en evidencia, que la Ciudad de Cartago es una zona de alta amenaza sísmica, donde se encuentran aglomeradas una considerable cantidad de edificaciones de varios tipos, y que se ha logrado determinar 7 tipologías en total.

De estas el tugurio o ripio, así como las edificaciones de mampostería reforzadas de dos plantas con sistemas de entrepiso flexible, son las más vulnerables sísmicamente.

Por esta razón, para mitigar los posibles efectos provocados por un sismo como el escenario 1, será entonces primordial reforzar estas estructuras con algún sistema estructural adecuado.

Además siempre será indispensable la buena coordinación y planificación de los gobiernos locales como lo son las municipalidades en cuanto al ordenamiento territorial, que junto con instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), velen por la atención y prevención de desastres.

Mediante planes de evacuación, ubicación de zonas seguras en las ciudades, así como protocolos y procedimientos a seguir en caso de sismos, de esta manera se garantiza mantener informada a la población de cómo actuar, y así evitar mayores desastres.

Por último, como ingenieros en construcción debemos respetar y garantizar el cumplimiento del Código Sísmico de Costa Rica 2010, además de siempre aplicar buenas prácticas en la construcción, así como siempre contar un el personal capacitado, utilizar materiales de buena calidad y siempre respetar el cumplimiento de todas las especificaciones de diseño.

Conclusiones

La Ciudad de Cartago posee una amenaza sísmica alta, debido a su ubicación se encuentra dentro de la zona de influencia de varias fallas activas, siendo la falla de Agua Caliente la que posee en mayor potencial destructivo, de acuerdo a su sismicidad histórica. Se estima que dicha falla podría generar sismos de magnitudes de hasta los 6,5 Mw.

La amenaza sísmica en la zona de estudio, se describe de acuerdo a tres escenarios sísmicos que consideren el potencial de destructivo de la falla de Agua Caliente, estos son: Escenario 1, sismo de magnitud 6,5 Mw, aproximadamente a 5,4 km al Sureste de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 10 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (510815.85, 1085668.96). Escenario 2, sismo de magnitud 5,4 Mw, aproximadamente a 3,3 km al Norte de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 8 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (509043.14, 1093500.62). Escenario 3, sismo de magnitud 4,2 Mw, aproximadamente a 5,0 km al Suroeste de la Ciudad de Cartago, con una profundidad de 4 km, ubicado específicamente en las coordenadas CRTM05 (505391.89, 1086568.54).

Los mapas de amenaza sísmica, logran cuantificar y mostrar la amenaza sísmica de una manera más clara tanto en la zona de estudio como en sus alrededores. Los mismos muestran un comportamiento típico con forme el fenómeno se aleja de la zona epicentral, y de igual forma cómo afecta la geología del sitio en la amplificación o atenuación de la intensidad del evento.

De los mapas de amenaza sísmica y vulnerabilidad sísmica se concluye que:

Ante un eventual sismo como el planteado en el escenario 1, La Ciudad de Cartago experimentaría aceleraciones máximas del

terreno que alcanzarían los 5,29 m/s², lo que representa casi el 54% de la aceleración de la gravedad, mientras que la intensidad instrumental será de VIII, siendo este el fenómeno de mayor intensidad.

Ante un eventual sismo como el planteado en el escenario 2, La Ciudad de Cartago experimentaría aceleraciones máximas del terreno que alcanzarían los 3,35 m/s², lo que representa cerca del 34% de la aceleración de la gravedad, mientras que la intensidad instrumental será de entre VII y VIII.

Ante un eventual sismo como el planteado en el escenario 3, La Ciudad de Cartago experimentaría aceleraciones máximas del terreno que alcanzarían los 2,22 m/s², lo que representa cerca del 22,7% de la aceleración de la gravedad, mientras que la intensidad instrumental será de entre VI y VII.

Tipologías como las MR-FLFSB-2 y R-SLFLB-1, serán las más afectadas y para el caso del escenario 1, se esperaría que estas colapsaran o quedaran inhabilitarles luego del evento.

Tipología como las MR-RLFSB-2, MC-FLFSB-2 y W-FLFLB-2 sufrirán daños considerables y altos para el escenario 1, mientras que tipologías como las PCR-RLFSM-5 y W-SLFLB-1 son las menos vulnerables y incluso ante un evento como el escenario 1, estas podrían sufrir un daño moderado y menor respectivamente.

Para el caso del escenario 2, tipologías como MC-FLFSB-2 y W-SLFLB-1, que representan un 70,28% del total, se estiman que sufran un daño menor o incluso imperceptible, siendo esta las estructuras menos vulnerables.

Para el caso del escenario 3, únicamente se esperaría que tipologías R -SLFLB-1, que representa un 0,39% de las edificaciones sufran un daño del 33 a 38 % considerado como

moderado. Mientras que el resto no sufrirán daños perceptibles o el daño será menor.

Para mitigar los posibles efectos provocados por un sismo como el escenario 1, será entonces primordial reforzar estas estructuras con algún sistema estructural adecuado. Además siempre será indispensable la buena coordinación y planificación de los gobiernos locales como lo son las municipalidades en cuanto al ordenamiento territorial, que junto con instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), velen por la atención y prevención de desastres.

Mediante planes de evacuación, ubicación de zonas seguras en las ciudades, así como protocolos y procedimientos a seguir en caso de sismos, de esta manera se garantiza mantener informada a la población de cómo actuar, y así evitar mayores desastres.

Por último, como ingenieros en construcción debemos respetar y garantizar el cumplimiento del Código Sísmico de Costa Rica 2010, además de siempre aplicar buenas prácticas en la construcción, así como siempre contar un el personal capacitado, utilizar materiales de buena calidad y siempre respetar el cumplimiento de todas las especificaciones de diseño.

Recomendaciones

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta indispensable a la hora de realizar tanto, estudios de amenaza sísmica como de vulnerabilidad sísmica, debido a que, facilitan la creación de bases de datos con atributos geo referenciados, además permiten la confección de mapas que ayudan a comprender mejor la información recolectada y obtenidas de los estudios.

Para tener una idea más clara y precisa del comportamiento real de las estructuras ante un evento sísmico será indispensable poder integrar a las funciones de vulnerabilidad parámetros como su estado de conservación y incluso el código sísmico vigente de construcción, para así considerar tanto la edad de la estructura como el deterioro que esta presenta con ayuda de algún modelo de deterioro.

El ordenamiento territorial y la planificación urbana en ciudades densamente pobladas, deben de ir de la mano con los estudios de amenaza y vulnerabilidad sísmica. Es importante, que se dé un esfuerzo por parte de las municipalidades, para fiscalizar el crecimiento de las ciudades en zonas con alto riesgo sísmico y además, informar a los habitantes del peligro al que se exponen y las medidas preventivas que deben de realizar, con el fin de mitigar los daños estructurales y principalmente la pérdida de vidas humanas.

Estudios de esta naturaleza son de suma importancia en zonas con gran concentración de habitantes y que presenten una alta amenaza sísmica. Por esta razón deben ser objeto de estudio ciudades a lo largo y ancho del país que presenten estas características, con el objetivo de mitigar los desastres que un terremoto pueda causar en esas zonas.

Se recomienda utilizar métodos cada vez más refinados y que traten de describir de una manera

más realista el comportamiento de las estructuras ante fenómenos de esta naturaleza.

Instituciones como las universidades deben de destinar recursos y personal a la investigación, mediante estudios de vulnerabilidad sísmica en zonas de alta amenaza sísmica, para así contar con información más detallada, actualizada y precisa de los sistemas constructivos actuales en el país. Información necesaria para implementar mejoras en el Código Sísmico de Costa Rica, así como medidas de reforzamiento de las estructuras actuales que lo necesiten y planes de prevención y mitigación de desastres producto de terremotos.

Apéndices

Apéndice 1. Registro de eventos sísmicos para el periodo del 2005 al 2015 en los alrededores de la Ciudad de Cartago.

Apéndice 2. Mapas de distancias epicentrales, hipo centrales y geología de la zona para calculo de mapas de amenaza sísmica.

Apéndice 3. Resumen tabla de atributos obtenidos de la inspección para cada uno de los formularios.

Apéndice 4. Funciones de vulnerabilidad sísmica y con sus respectivas ecuaciones para las 7 tipologías clasificadas.

Apéndice 5. Ejemplo de formulario completado para una de las edificaciones inspeccionadas.

Apéndice 1

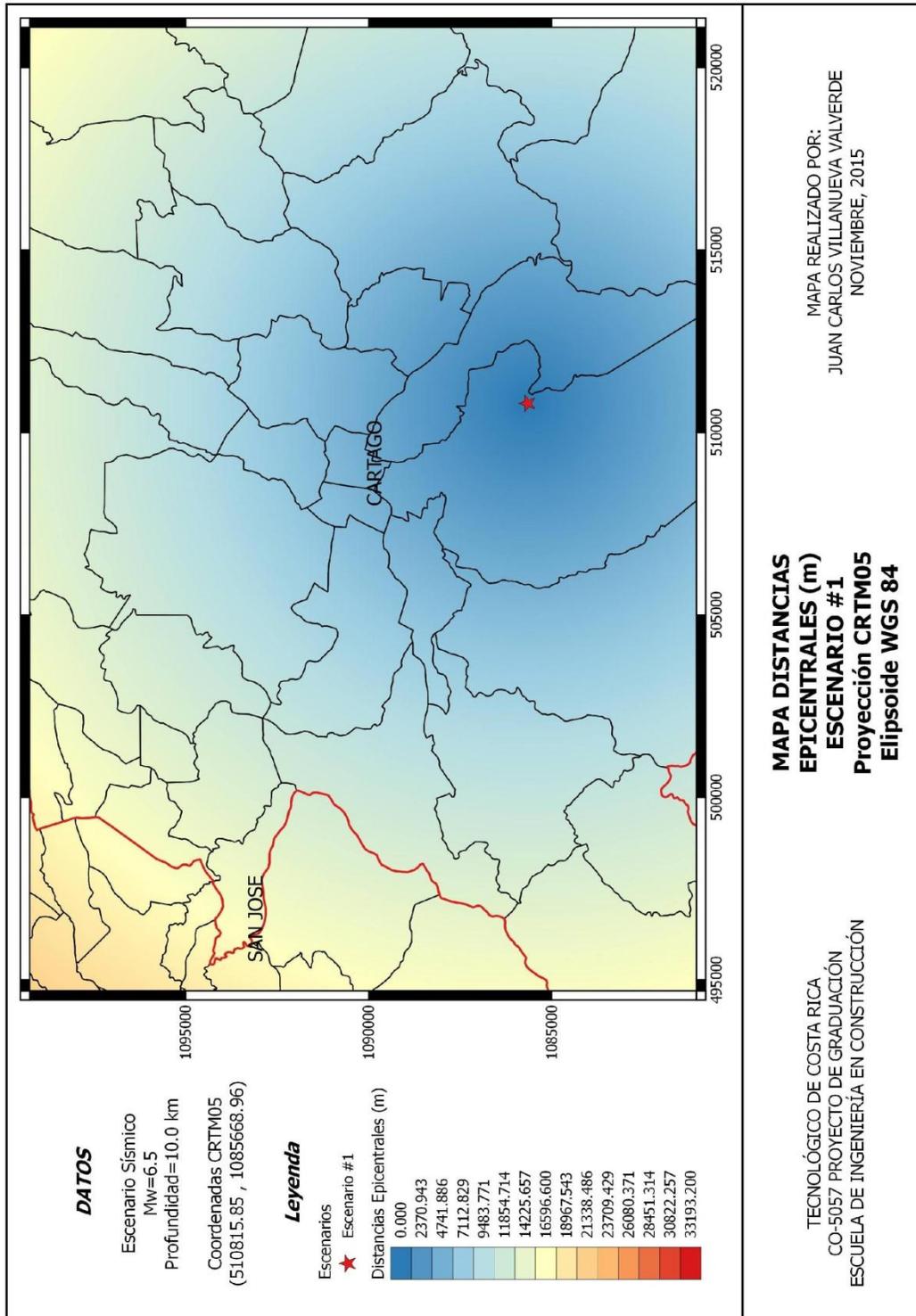
Fecha	Hora Local	Magnitud	Profundidad (km)	Latitud	Longitud	Localización
06/10/2015	00:50:00	2,5	5	9,910	-83,840	3.4 Kms Sureste de Pacayas , Cartago
04/10/2015	14:00:58	1,6	3,5	9,905	-83,874	1 km Norte de Cot de Oreamuno, Cartago
04/10/2015	13:08:00	1,5	3,2	9,903	-83,873	Cot, Oreamuno, Cartago
04/10/2015	12:55:00	2,3	1	9,894	-83,871	Cot, Oreamuno, Cartago
18/07/2015	00:17:18	3,1	2	9,959	-83,869	1.2 Km al Noreste de Tierra Blanca de Cartago
18/07/2015	00:19:41	1,9	1	9,949	-83,862	0.3 Km al Noreste de Potrero Cerrado de Cartago
17/07/2015	23:50:20	2	1	9,951	-83,852	1.1 Km al Norte de Santa Rosa , Cartago
17/07/2015	23:47:24	3,2	2	9,957	-83,863	1.1 Km al Norte de Potrero Cerrado de Cartago
17/07/2015	00:00:23	1,8	1	9,956	-83,860	1 Km al Noreste de Potrero Cerrado de Cartago
22/06/2015	12:47:00	3,2	4	9,762	-84,028	4 km Sur de Corralillo. Cartago
17/06/2015	01:24:00	2,4	3	9,940	-83,875	4 km Este de Llano Grande
25/05/2015	20:50:28	4	3,5	9,957	-83,883	2 km NO de San Juan de Chicué, Cartago
18/05/2015	21:00:00	2,1	2	9,791	-83,977	5 km Sur de Tobosi
17/05/2015	09:12:00	2	1	9,953	-83,836	4 km Sur Volcán Irazú
12/05/2015	23:39:00	2,3	4	9,823	-84,048	3 km Norte de Corralillo. Cartago
07/05/2015	15:26:00	2	5	9,950	-83,837	3 km Sur del Volcán Irazú
06/05/2015	13:24:00	2	3	9,787	-83,881	3 km Oeste de Orosi. Cartago
16/04/2015	18:27:00	2,8	4,5	9,820	-83,947	1.4 km sur de Tejar, Cartago
09/04/2015	22:16:00	2,2	4	9,816	-83,981	3 km al sur de Tobosi
21/02/2015	14:56:00	2,2	4	9,905	-84,050	Ubicado en Desamparados. San José
11/02/2015	09:25:00	2,3	3	9,960	-83,853	6 km Nor Este de Tierra Blanca. Cartago
06/02/2015	11:33:00	1,9	3	9,809	-83,861	1 km nor oeste de Orosi. Cartago
26/01/2015	01:06:00	2	10	9,871	-84,069	2 km Sur Este del Cementerio de San Juan de Dios de Desamparados.
11/12/2014	09:04:00	2,2	9	9,910	-84,068	1 km Sur del parque de la Paz
11/12/2014	07:39:00	2,8	9	9,901	-84,070	1 km norte del Parque El Bosque en San Francisco de Dos Ríos
11/12/2014	07:13:00	2,7	10	9,907	-84,063	1 km norte de Multicentro Desamparados
03/12/2014	10:20:00	3,3	8	9,886	-84,084	2km al SO de Desamparados Centro
01/11/2014	03:27:00	3,6	12	9,883	-84,084	Desamparados

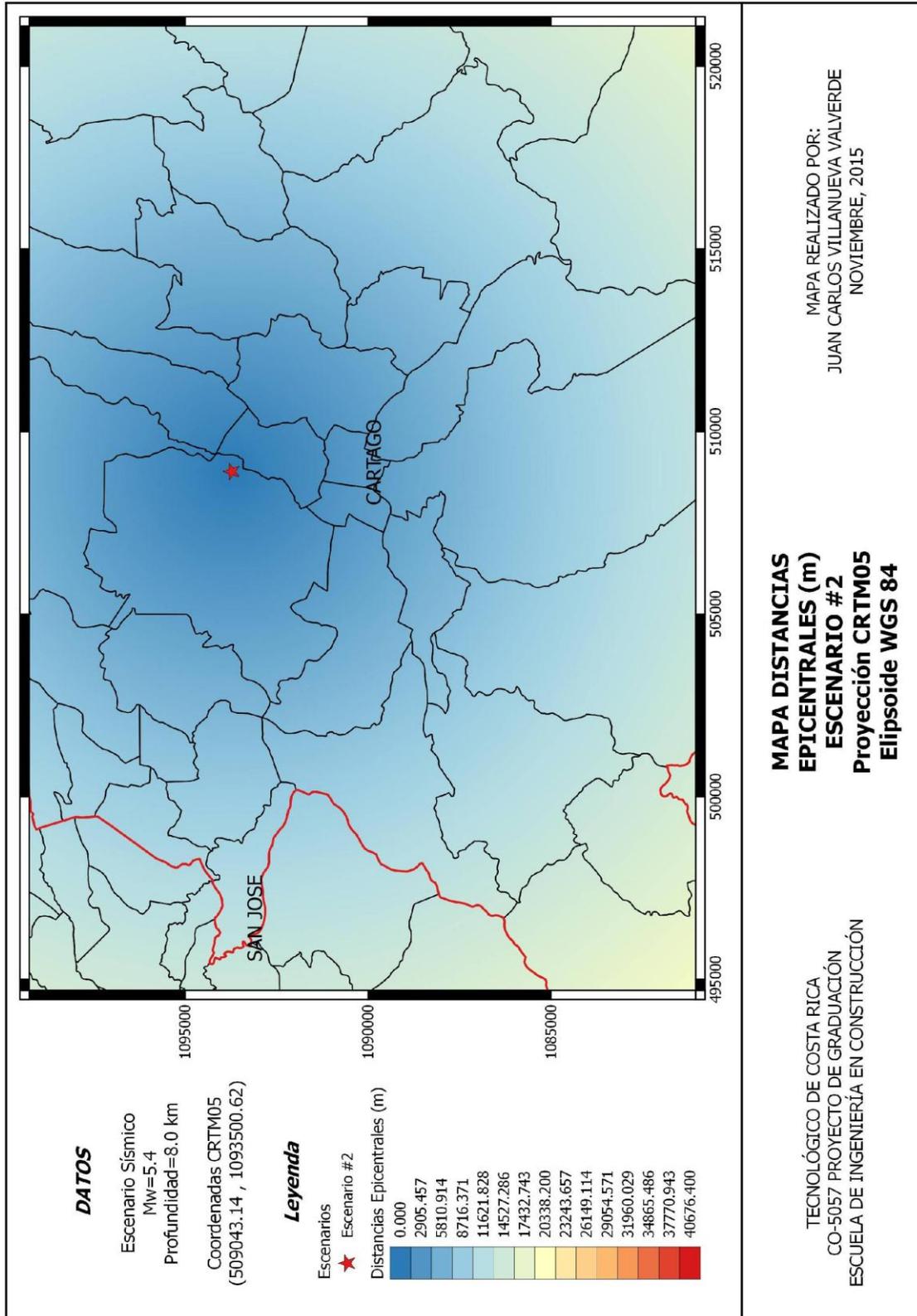
Fecha	Hora Local	Magnitud	Profundidad (km)	Latitud	Longitud	Localización
01/11/2014	01:23:00	4,2	11	9,883	-84,078	Desamparados Centro
01/11/2014	12:52:00	2,3	4	9,886	-84,082	1 Oeste de Calle Fallas de Desamparados
27/08/2014	09:57:00	2,3	4	9,793	-83,878	3 km Oeste de Orosi. Cartago
29/07/2014	02:04:00	3,1	3	9,892	-83,925	2 km este de RECOPE. Cartago
27/07/2014	22:05:00	2,7	4	9,895	-83,925	2 km Este de RECOPE. Cartago
25/07/2014	23:49:00	4,5	10	9,886	-83,915	Cercanías ciudad de Cartago
23/03/2014	06:24:00	2	1	9,919	-83,794	1 Km Nor Oeste de Capellades de Alvarado. Cartago
20/03/2014	07:25:00	2,8	5	9,851	-83,984	1 Nor Este de Quebradillas de Cartago
06/03/2014	13:33:00	2,8	3	9,805	-83,894	4 km al sur oeste de Paraíso de Cartago
20/02/2014	23:56:00	2,5	4	9,763	-84,028	1 Km Norte de San Cristóbal Sur
10/12/2013	06:24:00	2,4	8	9,844	-83,973	3 km Oeste Tejar de Cartago
02/12/2013	23:55:00	2,7	4	9,828	-83,998	1 km al Suroeste de Bermejo de Cartago
13/11/2013	09:26:00	4,2	37	9,933	-83,744	5 Km Sur Oeste de San Isidro del General.
04/11/2013	11:09:00	2,2	4	9,817	-83,990	1 km este de Tablón, Cartago
01/11/2013	03:28:00	2,4	15	9,791	-84,007	3km al E de Corralillo de Cartago
31/10/2013	16:04:00	1,8	0,2	9,797	-84,010	1.8 sur de Tablón de Cartago
23/10/2013	22:10:00	3,6	6	9,831	-83,999	6 Km Oeste de Tejar del Guarco. Cartago
23/10/2013	21:49:00	2,5	5	9,828	-83,999	6 km al Oeste de Tejar del Guarco de Cartago
13/10/2013	23:16:00	2,5	1	9,793	-83,994	1,6 Km Nor Oeste de Casa Mata. Cartago
10/10/2013	12:03:00	1,9	4	9,895	-84,046	Dos Cercas de Desamparados
31/07/2013	20:45:00	2,6	7	9,870	-83,947	La Lima de Cartago. 4 Km Oeste de la Basílica.
08/06/2013	13:52:00	2	1	9,820	-83,859	2km al SE de Paraíso de Cartago
08/06/2013	01:51:00	3,3	3	9,800	-83,883	4km al NO de Orosi
07/06/2013	23:12:00	2,8	2	9,816	-83,863	3km al NO de Orosi
07/06/2013	20:55:00	2,5	1	9,821	-83,862	2km al SE de Paraíso de Cartago
05/05/2013	15:57:00	3	8	9,806	-83,975	6 km al sur oeste de Tejar del Guarco
05/05/2013	03:04:00	3,7	8	9,800	-83,983	6 km al sur oeste de Tejar del Guarco
28/02/2013	04:20:00	2,6	9	9,781	-83,996	8km al SO del Tejar del Guarco, Cartago
05/02/2013	07:19:00	1,5	1	9,817	-83,923	3 km Sur Este del Volcán Irazú
21/01/2013	14:25:00	2,4	3	9,809	-83,939	4km al Sur del Tejar del Guarco

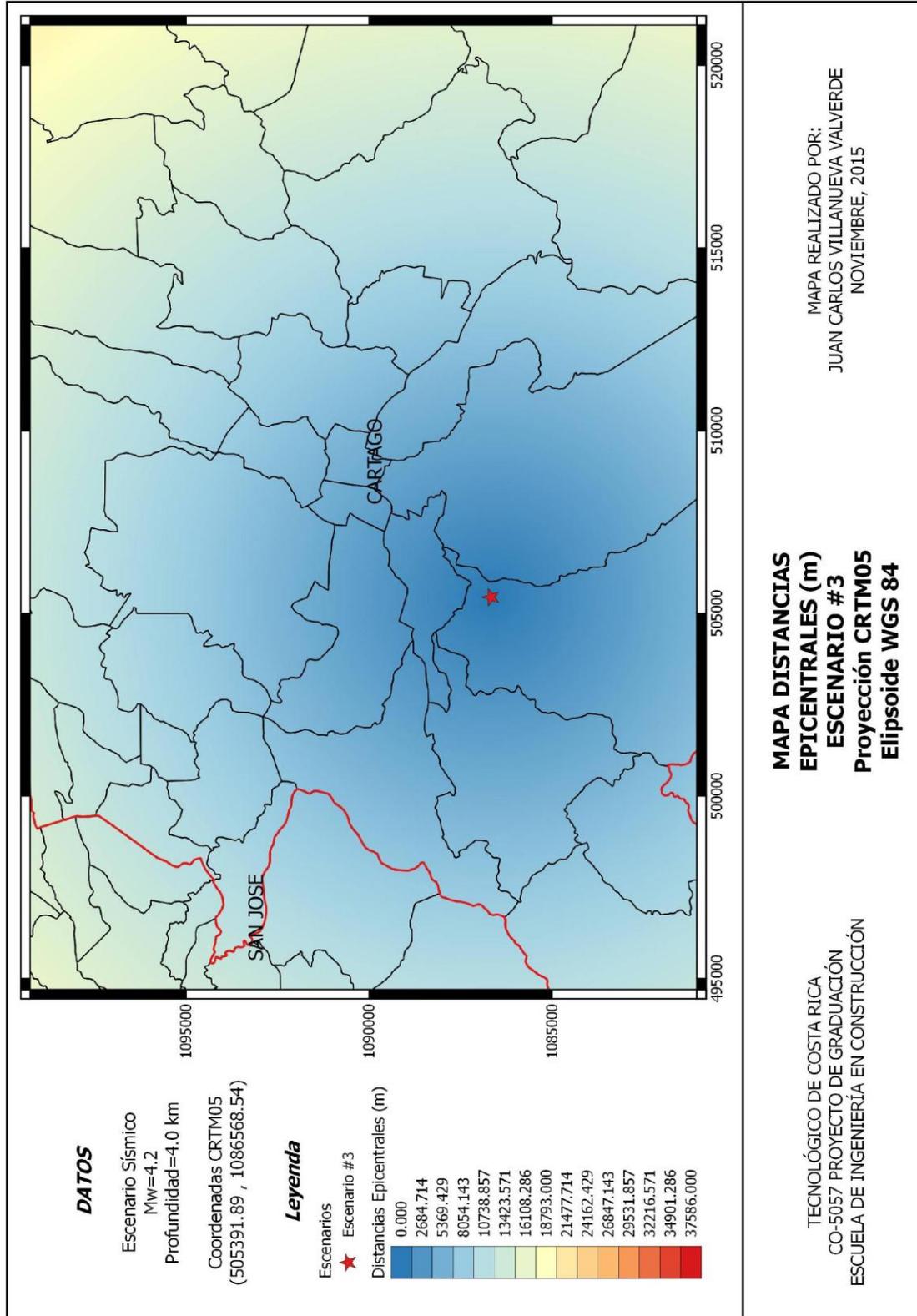
Fecha	Hora Local	Magnitud	Profundidad (km)	Latitud	Longitud	Localización
14/01/2013	07:32:00	2,5	10	9,895	-84,065	Desamparados Centro
18/11/2012	22:41:00	4	5	9,838	-83,895	3km al Oeste de Paraíso de Cartago
17/11/2012	17:45:00	3	7	9,807	-83,885	4km SO de Paraíso de Cartago
17/11/2012	14:17:00	3,4	4	9,809	-83,896	4km al SO de Paraíso de Cartago
12/11/2012	15:30:00	3	2	9,781	-84,003	6km al Sur de Tobosi de Cartago
08/11/2012	21:23:00	3	5	9,806	-83,786	3 km al sur este de Cachi de Cartago
03/11/2012	15:08:00	2,8	2	9,805	-83,906	4 km Sur de Agua Caliente de Cartago.
26/10/2012	04:22:00	1,9	3	9,799	-83,896	5 km Sur Oeste de Paraíso. Cartago.
26/10/2012	04:06:00	2,2	1	9,797	-83,912	7 km Sur Oeste de Paraíso. Cartago
26/10/2012	04:04:00	1,2	1	9,810	-83,901	5 km Sur Oeste de Paraíso. Cartago.
24/10/2012	12:43:00	2,2	1	9,794	-83,909	7 Km Sur de Cartago
26/09/2012	03:30:00	2,5	1	9,958	-83,802	5 km al sureste del cráter del volcán Irazú
16/09/2012	16:02:00	2	3	9,865	-84,070	4 km sur Oeste de Desamparados
15/09/2012	15:22:00	2,9	1	9,795	-83,951	4 Km Sur de San Isidro del Guarco
15/09/2012	06:52:00	2,7	1	9,790	-83,958	4 Km Sur de San Isidro del Guarco
15/09/2012	06:42:00	2,3	2	9,799	-83,951	1 Km Este de Orosi
09/09/2012	03:31:00	2,3	2	9,945	-83,797	3 km Nor Este de Pacayas
09/09/2012	03:30:00	2,1	1	9,940	-83,793	3 km Norte de Pacayas
11/08/2012	00:44:00	2,9	10	9,801	-83,990	2 km al sur de Tobosi de Cartago
05/05/2012	17:18:00	2,7	14	9,940	-83,900	1 km Este de Llano Grande de Cartago
01/03/2012	18:54:00	2,7	17	9,800	-84,000	8 km al SW del Tejar del Guarco, Cartago
28/02/2012	09:48:00	2,6	8	9,808	-83,976	4 km al sur de Tobosi de Cartago
26/12/2011	03:22:00	1,6	4	9,843	-84,006	2.2 km Oeste de Tobosi de Cartago
25/12/2011	20:51:28	3,4	4	9,827	-84,018	4 km Suroeste de Tobosi de Cartago
25/12/2011	21:37:00	2,4	4	9,835	-84,010	2.8 km suroeste de Tobosi de Cartago
25/12/2011	21:21:00	2,2	4	9,842	-84,014	Quebradillas de Cartago
25/12/2011	20:51:21	2,8	3	9,839	-84,010	2.4 kn suroeste de Tobosi de Cartago
22/12/2011	14:22:00	2,6	4	9,841	-84,006	2 Kilómetros al Suroeste de Tobosi , Cartago
09/12/2011	05:50:00	3	3	9,834	-84,014	6 km al oeste de Tejar del Guarco, Cartago.

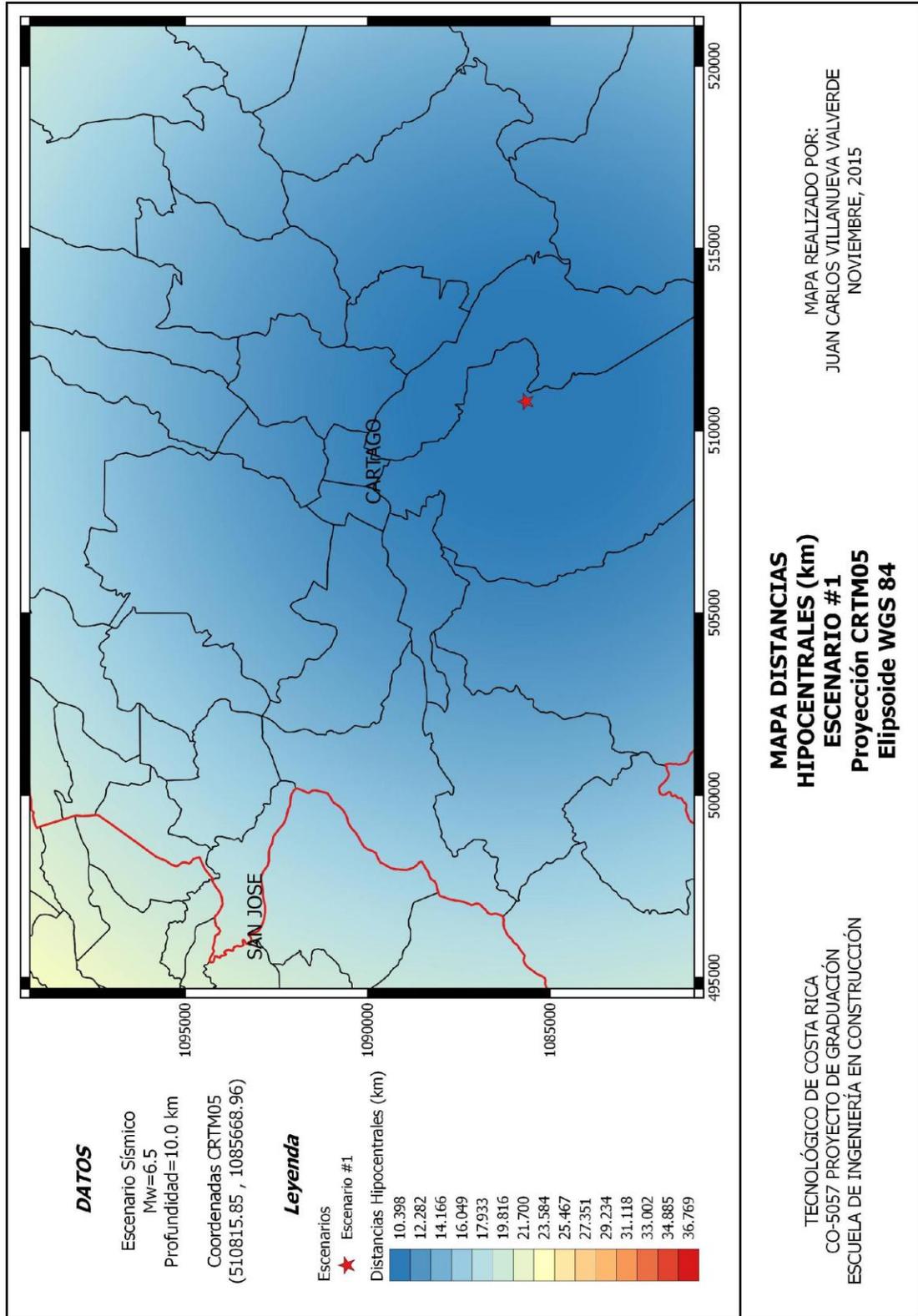
Fecha	Hora Local	Magnitud	Profundidad (km)	Latitud	Longitud	Localización
09/12/2011	10:45:00	2,8	4	9,844	-84,000	6 km al oeste de Tejar del Guarco, Cartago.
29/09/2011	20:02:00	2,5	18	9,855	-84,031	2 km al este de Higuito de Desamparados, San José
28/07/2011	03:24:00	2,5	5	9,784	-83,984	15 km Sur Este de Desamparados.
28/07/2011	10:17:00	2,4	5	9,790	-83,970	15 km Sur Este de Desamparados.
26/01/2011	19:53:00	2,5	3	9,918	-83,996	2 km Norte de Tres Ríos
24/09/2010	09:03:00	3,7	73	9,914	-84,034	3 km Sur Este de Curridabat
03/08/2010	20:56:00	3	12	9,953	-83,837	3 km al sureste del cráter del volcán Irazú
22/07/2010	05:50:00	3,1	5	9,960	-83,880	4 km Sur Oste del cráter del V. Irazú
30/06/2010	13:36:00	3	5	9,953	-83,856	5 km Nor Oeste de Pacayas
30/06/2010	13:35:00	2,5	1	9,956	-83,843	5 km Nor Oeste de Pacayas
29/04/2010	02:40:00	2,6	5	9,857	-83,795	13 km Este de Paraíso de Cartago.
13/03/2010	23:20:00	2,2	4	9,900	-84,000	1 km al NE de Curridabat
05/03/2010	22:49:00	4,3	7,5	9,933	-84,032	2 km Sur de Sabanillas de Monte de Oca
01/03/2010	19:15:00	1,5	1	9,959	-83,834	3km NE del V. Irazú
19/11/2009	16:02:00	4,8	73	9,764	-84,012	9 km Sur Oeste del Tejar del Guarco
28/09/2009	08:15:00	2,5	1	9,928	-83,827	Pacayas de Cartago
01/09/2009	20:57:00	2,4	3,5	9,950	-83,800	4 km NE Pacayas
31/05/2009	19:32:00	1,6	0,2	9,959	-83,877	5 km NE Llano Grande
20/05/2009	08:59:00	3,9	75	9,923	-84,024	7 km al Este de San José
03/08/2008	-	2,1	23	-	-	2 km al sur este de cervantes
18/03/2008	-	3,2	12	-	-	10 km al sur de Paraíso de Cartago
16/04/2005	-	2,9	8	-	-	5 kms al sur este de Corralillo de Cartago
16/04/2005	-	2,6	3,5	-	-	5 kms al sur este de Corralillo de Cartago
25/10/2005	-	2,6	5	-	-	5 km al sur oeste de la ciudad de Cartago

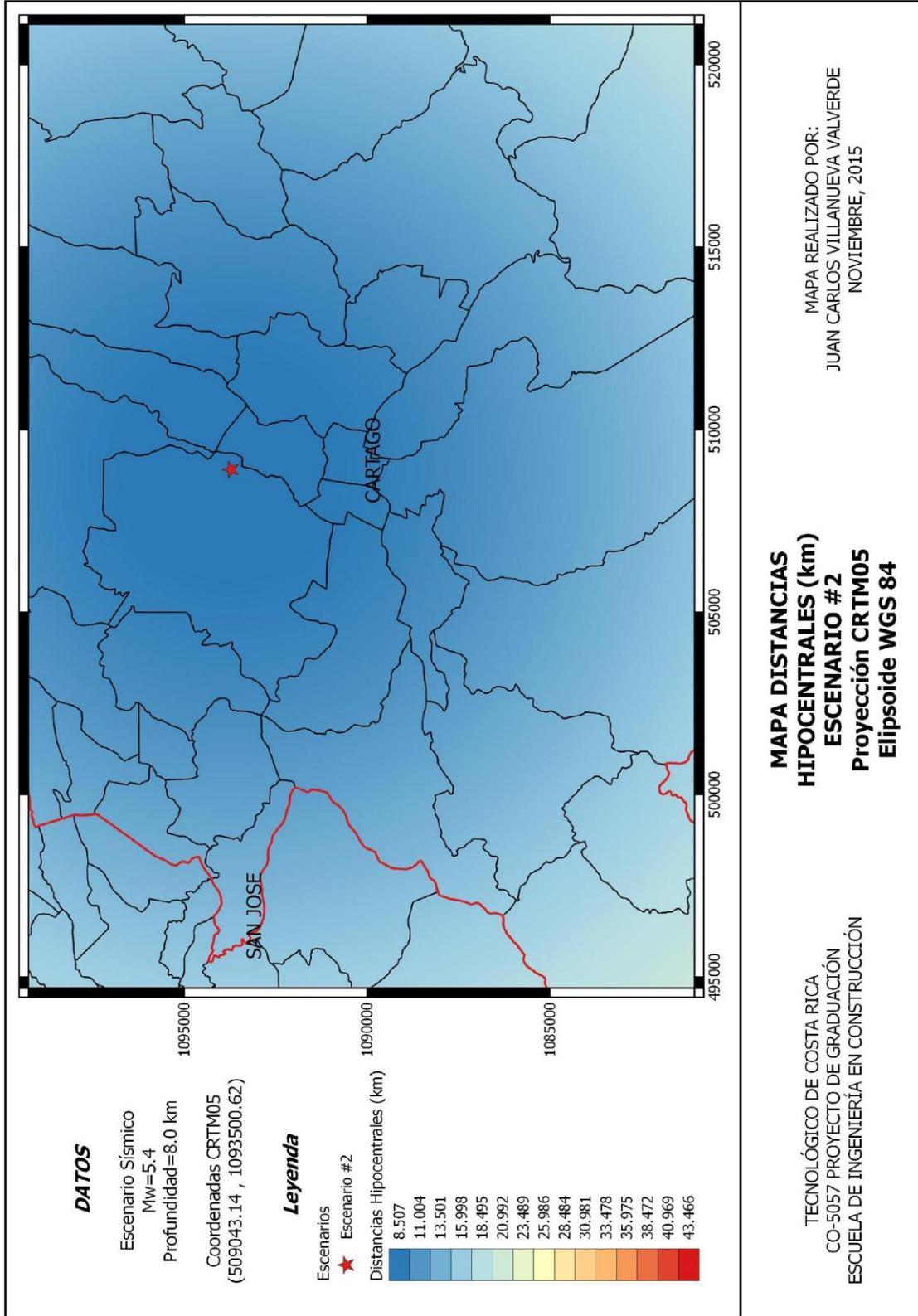
Apéndice 2

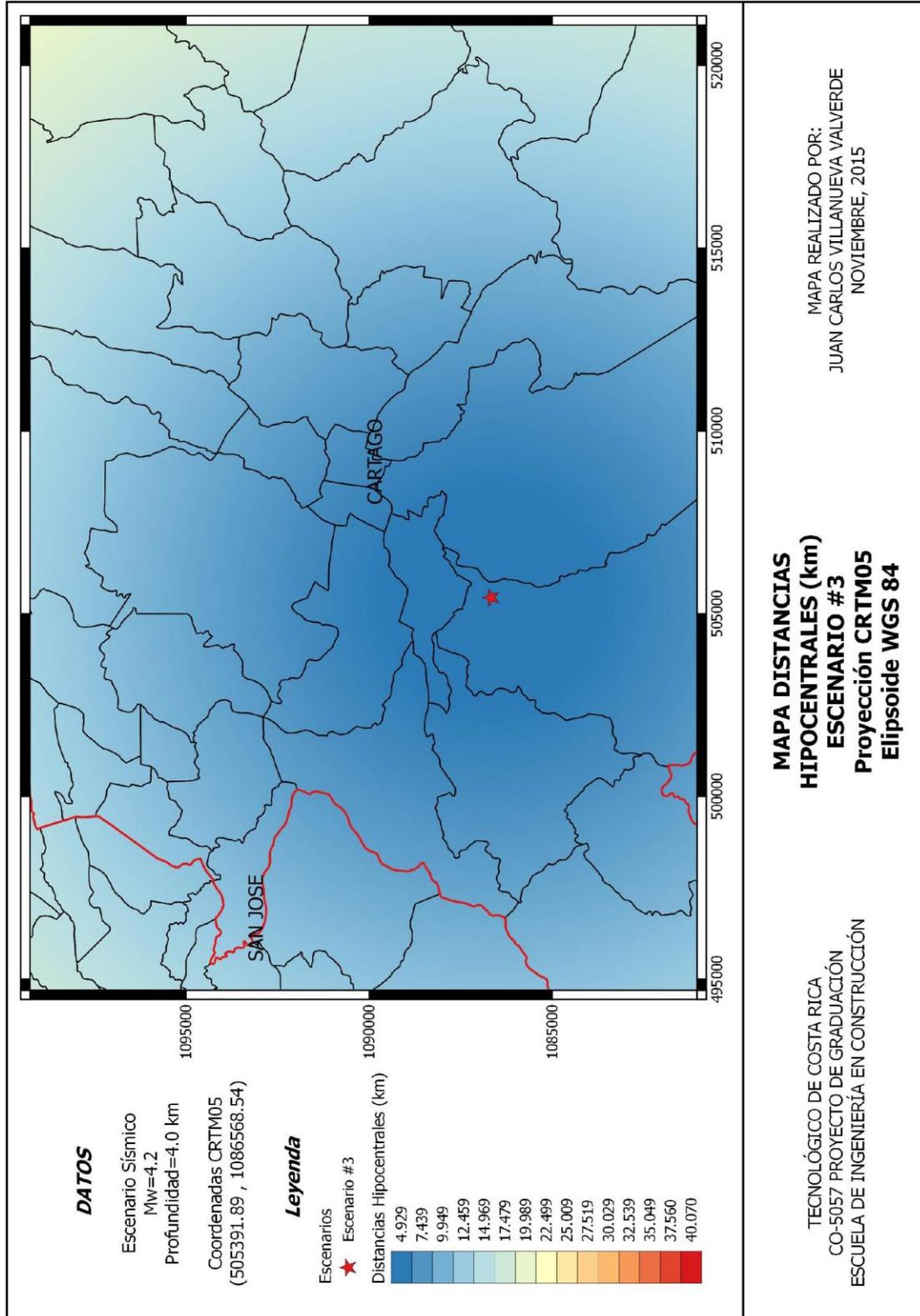


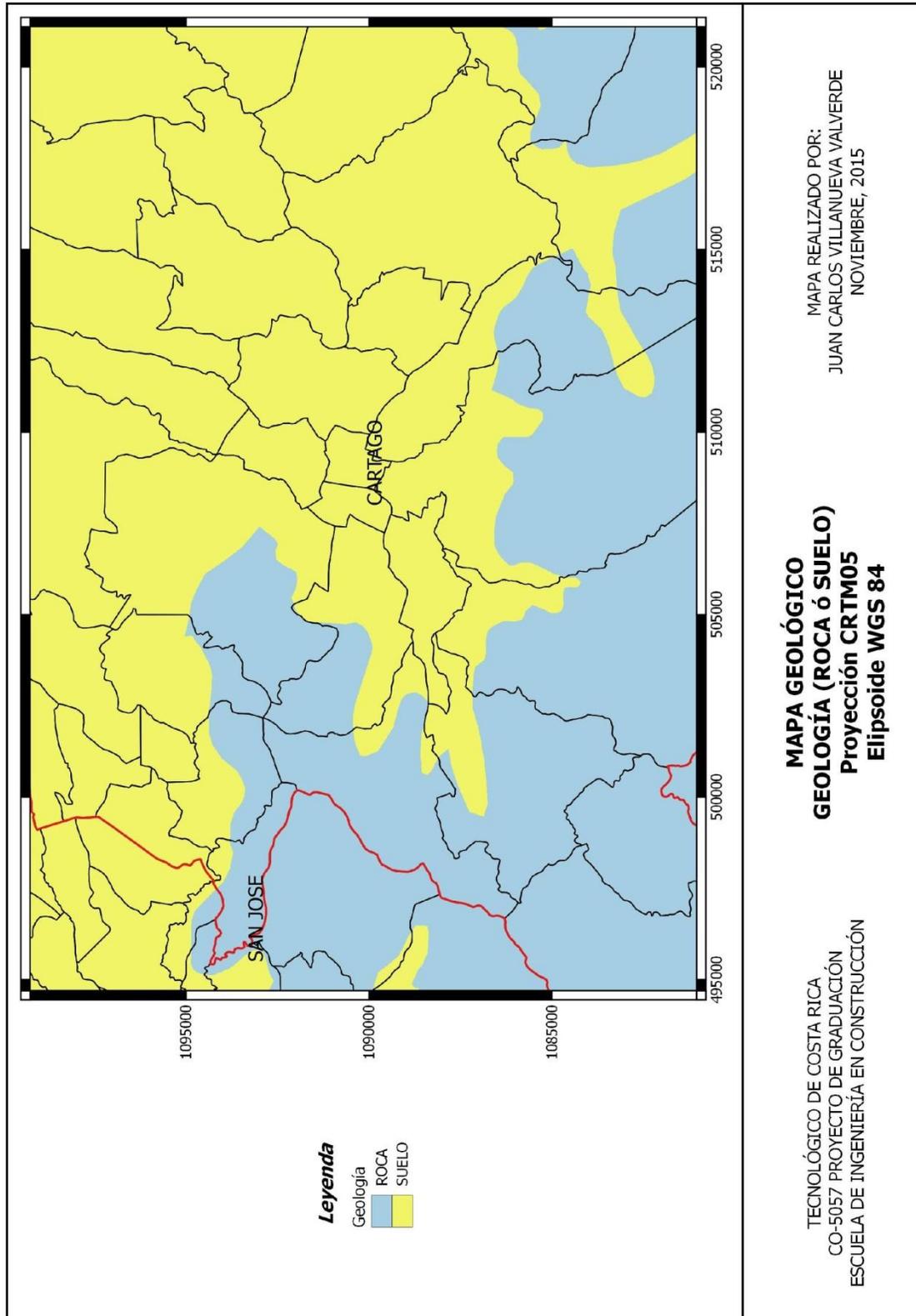












Apéndice 3

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
222	F0001	3	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
222	F0002	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
222	F0003	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
222	F0004	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
222	F0005	3	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
222	F0006	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
222	F0007	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
222	F0008	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
222	F0009	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
222	F0010	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
222	F0011	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
222	F0012	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
222	F0013	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
193	F0014	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0015	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0016	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0017	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0018	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0019	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0020	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0021	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0022	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0023	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0024	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0025	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0026	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0027	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
193	F0028	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
193	F0029	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Pobre	1974 - 2001
193	F0030	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	1974 - 2001
193	F0031	2	Flexible	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
193	F0032	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0033	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0034	2	Flexible	Muros Madera	Pobre	1974 - 2001
193	F0035	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
193	F0036	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0037	2	Flexible	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
193	F0038	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Pobre	1974 - 2001
193	F0039	2	Flexible	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
193	F0040	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0041	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974 - 2001
193	F0042	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0043	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0044	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	1974 - 2001
193	F0045	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974 - 2001
193	F0046	2	Flexible	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
193	F0047	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0048	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
193	F0049	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	1974 - 2001
193	F0050	1	Sin Diafragma	Tugurio	Pobre	Antes 1974
193	F0051	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0052	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Pobre	Antes 1974
193	F0053	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
193	F0054	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0055	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
193	F0056	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0057	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0058	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
193	F0059	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
193	F0060	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0061	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0062	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0063	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0064	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
193	F0065	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0066	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Buena	Después 2001
193	F0067	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0068	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0069	2	Flexible	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
193	F0070	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0071	3	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0072	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
193	F0073	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
193	F0074	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0075	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
193	F0076	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0077	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0078	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Buena	Después 2001
193	F0079	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
193	F0080	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0081	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0082	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0083	2	Flexible	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974 - 2001
193	F0084	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0085	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0086	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
193	F0087	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0088	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0089	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0090	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0091	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0092	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0093	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
193	F0094	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0095	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
193	F0096	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
193	F0097	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0098	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0099	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0100	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
193	F0101	2	Flexible	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974 - 2001
193	F0102	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0103	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0104	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974 - 2001
193	F0105	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
193	F0106	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0107	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0108	2	Flexible	Muros Madera	Regular	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
193	F0109	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0110	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
193	F0111	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0112	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
193	F0113	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0114	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0115	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0116	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
193	F0117	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
193	F0118	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
193	F0119	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
250	F0120	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
250	F0121	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0122	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
250	F0123	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0124	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0125	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0126	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0127	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0128	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0129	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
250	F0130	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
250	F0131	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0132	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0133	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0134	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0135	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0136	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
250	F0137	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
250	F0138	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
250	F0139	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0140	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0141	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
250	F0142	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0143	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Pobre	1974 - 2001
250	F0144	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0145	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0146	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
250	F0147	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0148	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Excelente	Después 2001
250	F0149	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0150	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0151	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
250	F0152	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0153	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0154	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0155	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
250	F0156	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
250	F0157	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
250	F0158	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	1974 - 2001
250	F0159	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974 - 2001
250	F0160	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
250	F0161	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0162	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0163	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0164	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
250	F0165	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
250	F0166	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0167	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0168	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
248	F0169	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0170	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0171	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0172	2	Flexible	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
248	F0173	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0174	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0175	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0176	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0177	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0178	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0179	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0180	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0181	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0182	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
248	F0183	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Buena	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
248	F0184	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0185	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0186	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0187	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0188	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0189	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0190	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0191	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0192	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974 - 2001
248	F0193	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0194	3	Flexible	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0195	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0196	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
248	F0197	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0198	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0199	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0200	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0201	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0202	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0203	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0204	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0205	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0206	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0207	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0208	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0209	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0210	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
248	F0211	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
248	F0212	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Pobre	Antes 1974
248	F0213	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
248	F0214	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0215	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
248	F0216	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Regular	1974 - 2001
248	F0217	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
248	F0218	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
248	F0219	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0220	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
248	F0221	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0222	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0223	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
248	F0224	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0225	1	Sin Diafragma	Tugurio	Pobre	Antes 1974
248	F0226	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0227	2	Flexible	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
248	F0228	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0229	2	Flexible	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
248	F0230	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0231	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0232	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0233	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0234	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0235	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
248	F0236	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
248	F0237	2	Flexible	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
248	F0238	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
248	F0239	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
243	F0240	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
243	F0241	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Pobre	Antes 1974
243	F0242	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
243	F0243	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
243	F0244	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
243	F0245	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
243	F0246	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
243	F0247	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974 - 2001
243	F0248	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Pobre	Antes 1974
243	F0249	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
243	F0250	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
243	F0251	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
243	F0252	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
243	F0253	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
243	F0254	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
243	F0255	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
243	F0256	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
243	F0257	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
243	F0258	2	Flexible	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
243	F0259	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0260	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0261	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0262	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0263	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0264	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0265	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0266	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0267	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
111	F0268	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0269	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
111	F0270	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0271	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0272	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0273	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0274	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
111	F0275	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0276	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0277	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
111	F0278	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
111	F0279	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0280	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0281	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0282	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
111	F0283	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Excelente	Después 2001
111	F0284	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0285	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0286	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
111	F0287	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	Después 2001
111	F0288	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
111	F0289	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
111	F0290	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
111	F0291	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0292	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0293	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0294	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
98	F0295	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0296	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0297	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
98	F0298	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
98	F0299	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0300	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
98	F0301	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0302	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0303	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0304	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
98	F0305	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0306	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0307	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0308	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0309	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0310	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0311	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0312	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
98	F0313	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
98	F0314	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0315	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
98	F0316	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0317	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0318	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0319	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0320	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0321	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0322	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
98	F0323	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0324	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0325	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
98	F0326	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
98	F0327	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
98	F0328	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
158	F0329	3	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
158	F0330	3	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
158	F0331	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
158	F0332	3	Rígido	Pórticos Concreto RM	Regular	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
158	F0333	1	Sin Diafragma	Pórticos Concreto RM	Regular	Antes 1974
158	F0334	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
158	F0335	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Pobre	Antes 1974
158	F0336	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Regular	Antes 1974
116	F0337	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
116	F0338	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Regular	Antes 1974
116	F0339	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
116	F0340	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0341	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
116	F0342	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
116	F0343	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
116	F0344	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
116	F0345	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0346	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
116	F0347	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
116	F0348	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
116	F0349	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0350	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0351	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
116	F0352	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0353	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
116	F0354	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
116	F0355	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0356	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
116	F0357	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
116	F0358	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0359	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Regular	1974 - 2001
116	F0360	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
116	F0361	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
116	F0362	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
116	F0363	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0364	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
116	F0365	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
116	F0366	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
116	F0367	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Pobre	Antes 1974
116	F0368	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0369	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
116	F0370	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
116	F0371	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
194	F0372	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
194	F0373	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
194	F0374	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
194	F0375	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
194	F0376	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
194	F0377	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
194	F0378	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
194	F0379	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
194	F0380	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
194	F0381	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
194	F0382	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
194	F0383	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
194	F0384	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
194	F0385	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
194	F0386	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
194	F0387	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
194	F0388	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
194	F0389	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
194	F0390	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
194	F0391	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0392	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
129	F0393	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0394	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0395	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0396	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0397	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0398	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0399	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0400	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
129	F0401	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0402	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0403	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0404	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0405	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0406	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0407	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
129	F0408	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Buena	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
129	F0409	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
129	F0410	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0411	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0412	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0413	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0414	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0415	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
129	F0416	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0417	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0418	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0419	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0420	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
129	F0421	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
129	F0422	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0423	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0424	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0425	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0426	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0427	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0428	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0429	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0430	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
129	F0431	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0432	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0433	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Pobre	Antes 1974
129	F0434	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
129	F0435	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0436	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
129	F0437	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
45	F0438	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
45	F0439	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
45	F0440	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
45	F0441	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Excelente	Después 2001
45	F0442	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
45	F0443	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
45	F0444	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
45	F0445	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
45	F0446	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
45	F0447	2	Flexible	Muros Madera	Regular	Antes 1974
45	F0448	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
45	F0449	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
45	F0450	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
45	F0451	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
45	F0452	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
45	F0453	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
34	F0454	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
34	F0455	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
34	F0456	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
34	F0457	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
34	F0458	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
34	F0459	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
34	F0460	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
34	F0461	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
34	F0462	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
34	F0463	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
34	F0464	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
34	F0465	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
34	F0466	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
48	F0467	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
48	F0468	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
48	F0469	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
48	F0470	2	Rígido	Pórticos Concreto RM	Buena	1974 - 2001
48	F0471	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
48	F0473	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
48	F0473	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
48	F0474	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
48	F0475	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
48	F0476	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
48	F0477	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
20	F0478	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0479	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
20	F0480	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
20	F0481	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
20	F0482	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0483	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
20	F0484	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001

Lote	Formulario	#Pisos	Tipo Entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
20	F0485	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0486	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0487	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
20	F0488	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0489	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
20	F0490	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0491	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
20	F0492	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0493	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0494	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0495	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
20	F0496	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
20	F0497	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
20	F0498	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0499	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0500	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0501	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Buena	1974 - 2001
20	F0502	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
20	F0503	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
20	F0504	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0505	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0506	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0507	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	1974 - 2001
20	F0508	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0509	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
20	F0510	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0511	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001
20	F0512	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Regular	Antes 1974
20	F0513	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0514	1	Sin Diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Buena	Después 2001
20	F0515	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	1974 - 2001
20	F0516	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974 - 2001
20	F0517	1	Sin Diafragma	Muros Madera	Pobre	Antes 1974
20	F0518	1	Sin Diafragma	Mampostería Reforzada	Buena	Después 2001

Apéndice 4

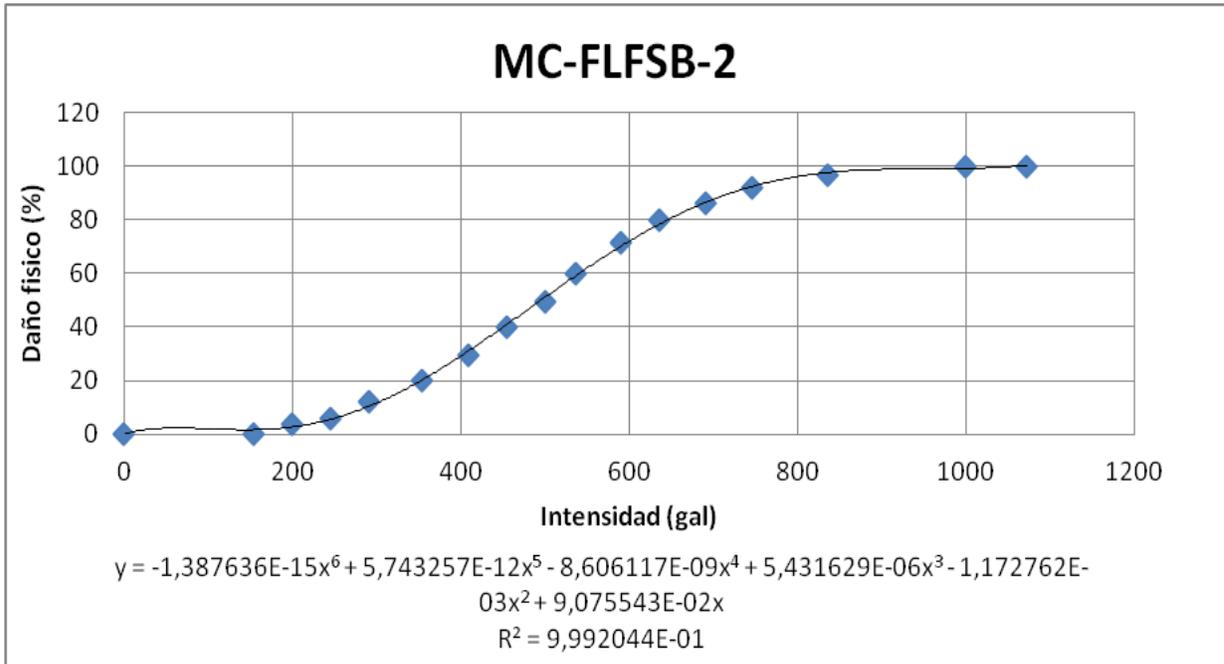


Figura 84. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MC-FLFSB-2.

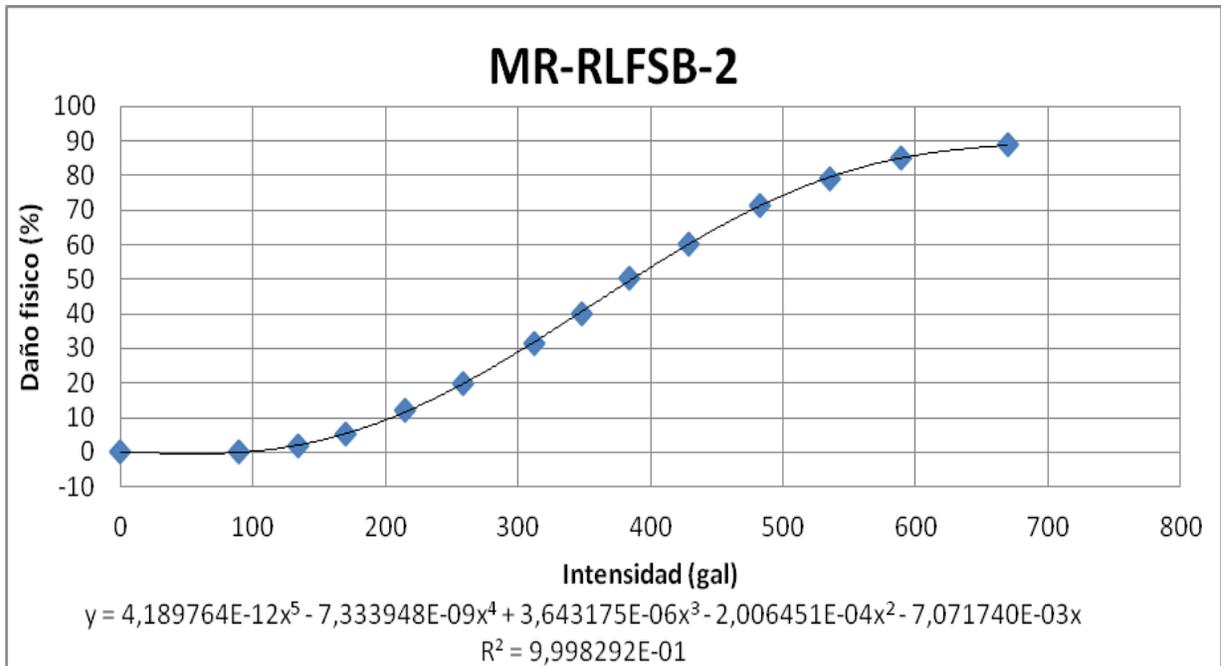


Figura 85. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MR-RLFSB-2.

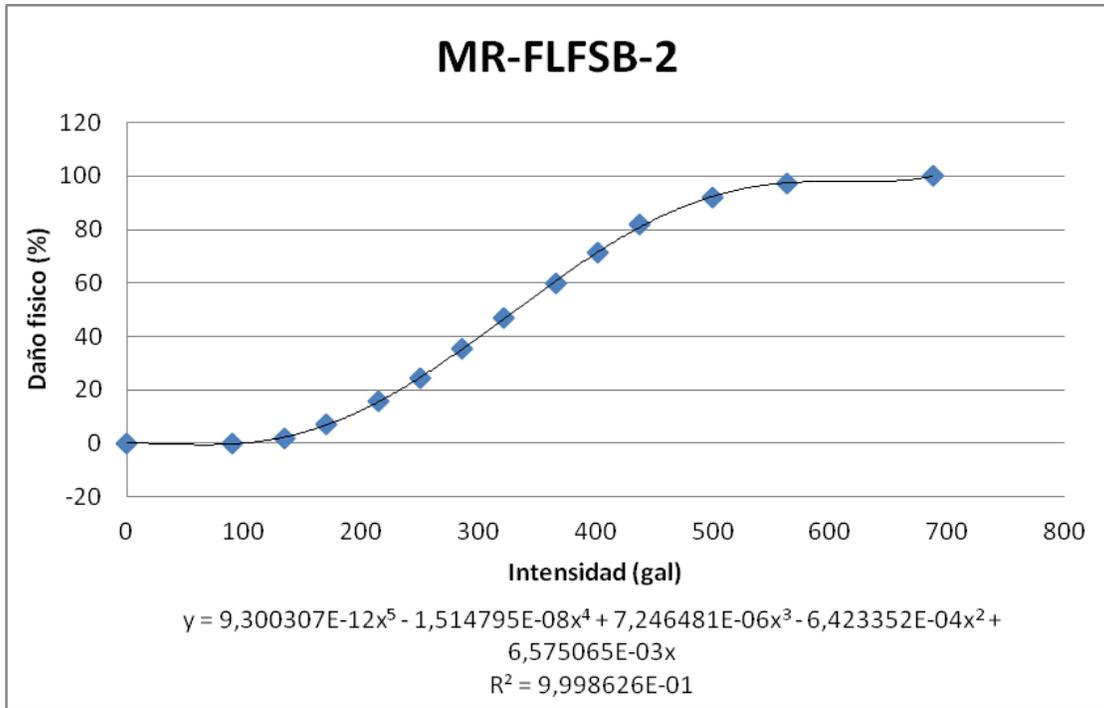


Figura 86. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MR-FLFSB-2.

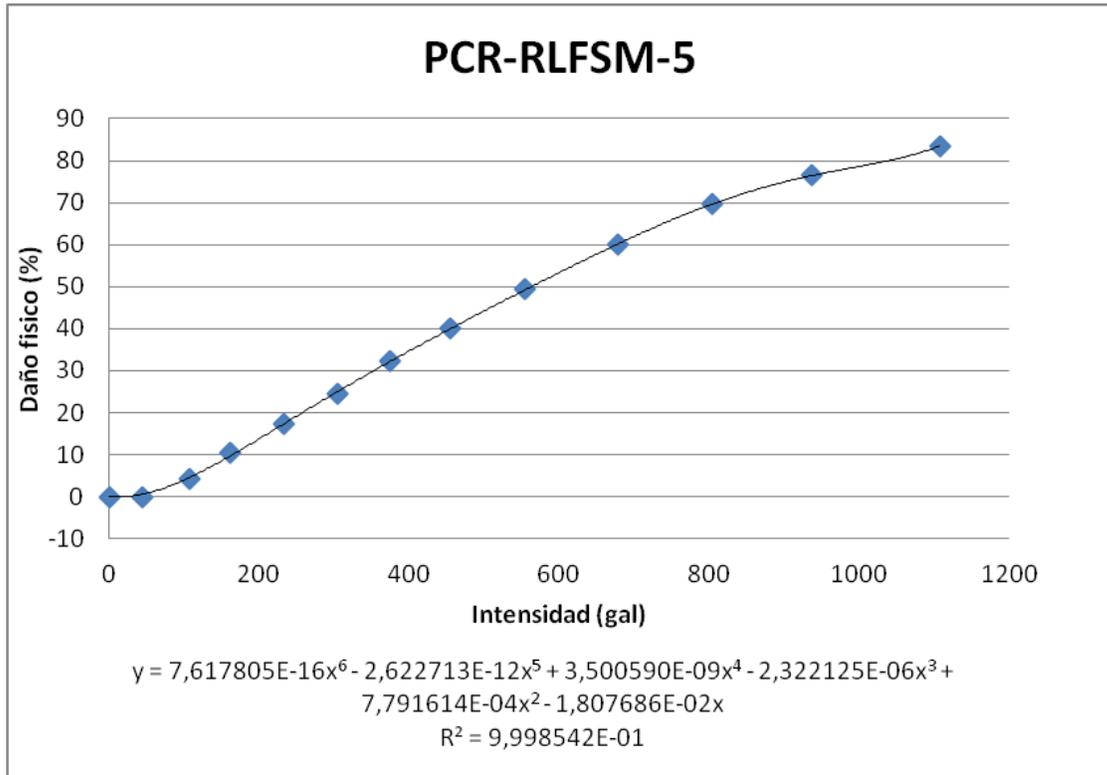


Figura 87. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCR-RLFSM-5.

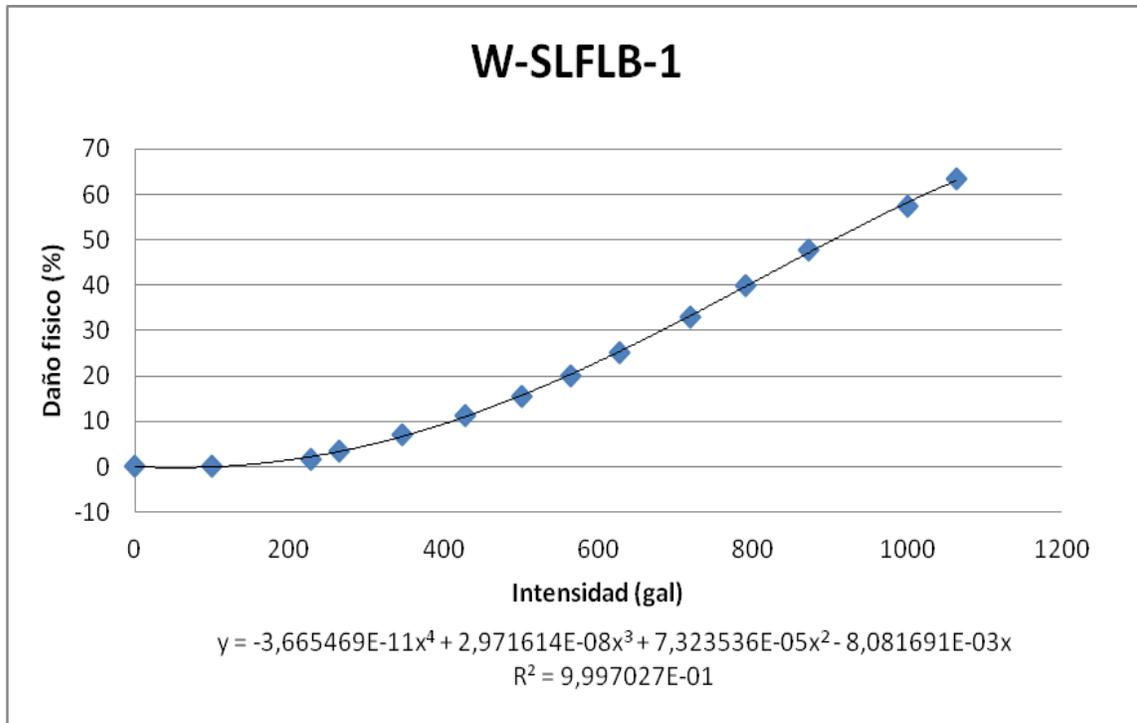


Figura 88. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo W-SLFLB-1.

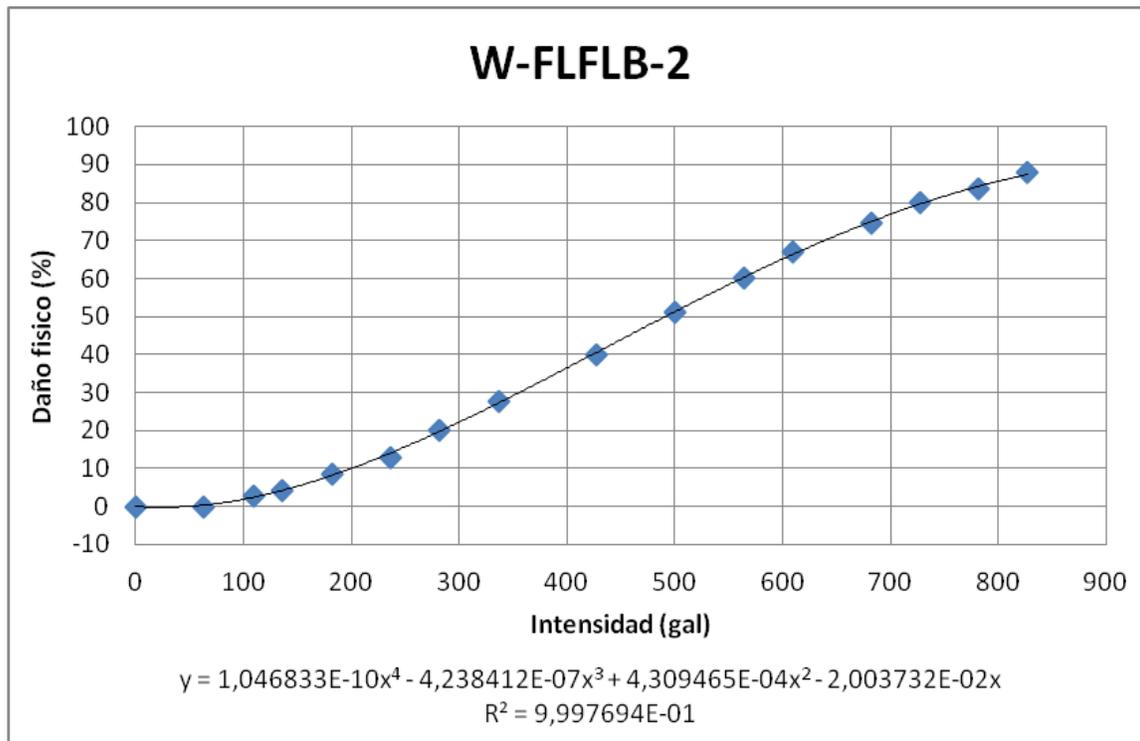


Figura 89. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo W-FLFLB-2.

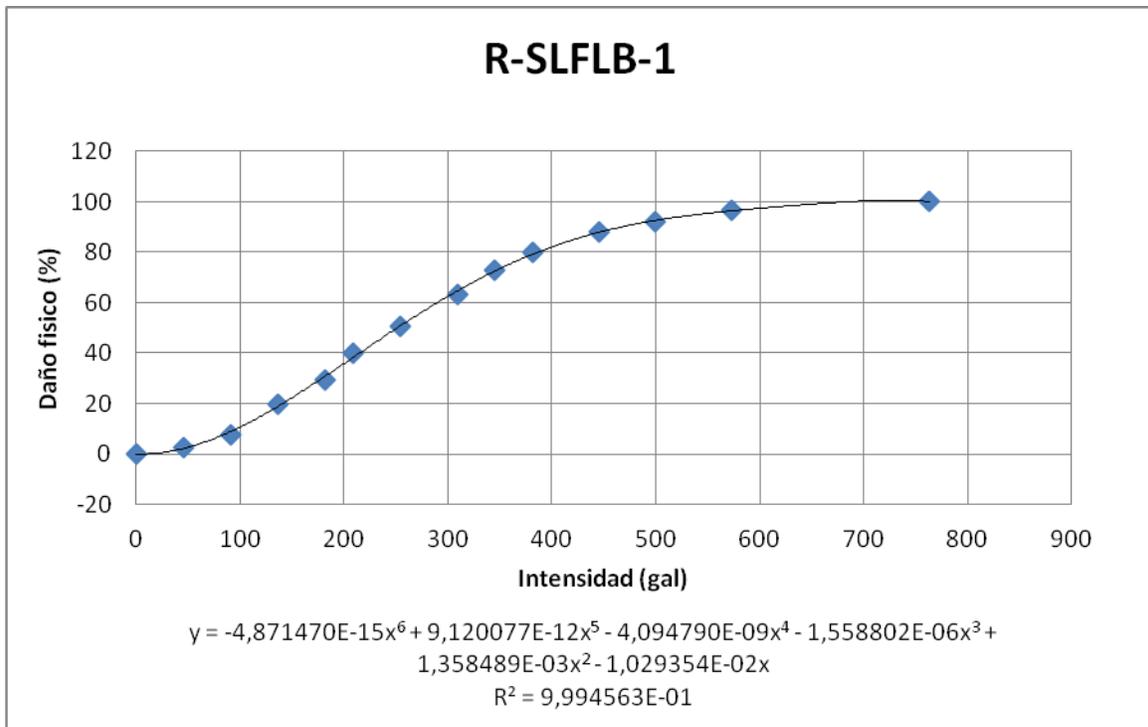


Figura 90. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo R-SLFLB-1.

Apéndice 5

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones en la Ciudad de Cartago	Fecha:	07/09/15
	N° Lote:	222

Inspector: Juan Carlos Villanueva Valverde

N° Formulario:

Ubicación

Provincia	Cantón	Distrito	Frente (m)	Fondo (m)	Área (m2)
Cartago	Cartago	Oriental	16	30	480

Coordenadas GPS	N	W	Coordenadas CRTM05	X	Y
	9° 51' 33,42"	83° 54' 57,35"		509220,57	1090182,72

Fotografía



Numero Pisos

Tipo de Entrepiso

Rígido

Flexible

Sin Diafragma

Tipo Constructivo según CAPRA-T2-5

Sistema Estructural

Tugurio

Adobe

Muros de Madera

Muros de Concreto Prefabricado

Mampostería (R,C,S)

Pórticos de Concreto RM

Otro: _____

Uso de la Estructura

Residencial

Comercial

Industrial

Oficinas

Bodegas

Salud

Otro: _____

Estado General de la Estructura

Tipo de Cubierta

Loza de Concreto

Liviana (lamina Zinc)

Pesada (teja barro)

Estado de Conservación

Excelente

Bueno

Regular

Pobre

Configuración Planta



Configuración Altura



Código sísmico vigente

Antes 1974
 1974-2001
 Después 2001

x

Observaciones:

Anexos

Anexo 1. Breve descripción de los métodos cuantitativos de evaluación de vulnerabilidad.

Anexo 2. Breve descripción de los métodos cuantitativos de evaluación de vulnerabilidad.

Anexo 3. Relaciones para convertir las magnitudes sísmicas de una escala a otra.

Anexo 4. Formulario de inspección.

Anexo 1

La siguiente información fue obtenida de la tesis de maestría de Caballero, A. (2007)

Algunos de los métodos cuantitativos para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes se explican brevemente a continuación:

FEMA 178

El Building Safety Council de EEUU desarrolló este método, el cual es empleado para realizar la evaluación y el diagnóstico sísmico de cualquier edificación existente. Las guías y procedimientos del FEMA-178 son utilizados únicamente para evaluar la capacidad de la edificación en cuanto a si es peligrosa para ser ocupada o no, y evalúa el uso de la estructura después del terremoto

La metodología FEMA 178 plantea una serie de interrogantes para el sistema estructural, pórticos resistentes a momentos, diafragmas, conexiones y amenazas geológicas, entre otros, los cuales están diseñados para describir defectos, puntos débiles o zonas vulnerables de la edificación. El análisis realizado por medio de este método se debe llevar a cabo mediante procedimientos simples y en caso de resultar que la edificación es cuestionable, se deberá realizar una investigación más detallada como la del FEMA 273.

ATC-14

Hace énfasis en la determinación de los “puntos débiles del edificio” con base en la observación de daños en edificios similares, producidos por eventos sísmicos anteriores.

Para determinar la vulnerabilidad de una edificación, se deben calcular los esfuerzos cortantes actuantes y los desplazamientos relativos del entrepiso. Con las fuerzas cortantes en los entrepisos se calcula el esfuerzo promedio “Vav” de los elementos resistentes verticales del edificio, el cual se compara con el esfuerzo estimado del material mediante la relación “Vav / 4.26; si esta relación es menor que uno, indica que la estructura presenta problemas de corte y que requiere de un análisis estructural más detallado.

FEMA-273

Está diseñado para identificar los elementos estructurales que podrían tener un mal comportamiento frente a la ocurrencia de un evento sísmico, porque tienen poca capacidad o resistencia. Además, define diferentes técnicas y criterios de diseño que permiten alcanzar diferentes niveles de desempeño sísmico de la edificación. Dentro de los niveles de desempeño sísmico se encuentran, el nivel de ocupación inmediata, el nivel operacional, nivel de protección de la vida y el nivel de prevención de colapso y su escogencia del comportamiento que se espere de la edificación durante y después de un sismo.

El procedimiento del FEMA 273 permite hacer una simplificación o una rehabilitación sistemática. La rehabilitación simplificada es usada para edificaciones bajas, de configuración geométrica sencilla y generalmente en zonas de amenaza sísmica baja e intermedia. La rehabilitación sistemática, se basa en el comportamiento no lineal de la respuesta de la estructura y revisa cada elemento estructural, para verificar la interacción aceptable de los desplazamientos esperados y de las fuerzas internas en los elementos estructurales.

Anexo 2

La siguiente información fue obtenida de la tesis de maestría de Caballero, A. (2007)

Algunos de los métodos cualitativos para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes se explican brevemente a continuación:

FEMA 154

La metodología para la inspección visual rápida de edificios se puede utilizar para identificar, hacer inventarios y clasificar edificios que son vulnerables ante un evento sísmico.

Su principal objetivo es identificar: edificios antiguos diseñados y construidos antes de la publicación de códigos sísmicos competentes, que exijan un diseño sismo-resistente, edificios construidos en suelos blandos o “pobres” y/o edificios con características constructivas que influyen negativamente en su respuesta sísmica.

Una vez que los edificios son identificados como altamente vulnerables, se debe recomendar una inspección más detallada en la que se evalúe su respuesta ante sismos.

Esta metodología se basa en, hacer un estudio visual desde la acera (“sidewalk survey”) e ir rellenando un formulario especial para la recolección de datos (Data Collection Form).

En dicho formulario, se identifica el sistema constructivo principal del edificio (basado en una clasificación de 15 tipos de sistemas constructivos) por consiguiente, el inspector tiene que estar relacionado con los materiales y sistemas constructivos de dicha clasificación. Cada tipo constructivo tiene relacionado una puntuación, que es llamada la puntuación básica de vulnerabilidad sísmica, S (“Basic Structural Hazard Score”)

Luego, existen modificadores (como el número de pisos, la fecha de construcción, tipo de suelo, entre otros) que aumentan o disminuyen el valor de S, para obtener al final, una puntuación final.

La puntuación final tiene un rango típico de 0 a 7, en donde, cuanto mayor sea este número, mejor va a ser la respuesta de dicho edificio ante un evento sísmico.

NAVFAC

Determina el índice de daños que un sismo determinado puede causar en una estructura, evaluando la capacidad de la misma por medio del coeficiente de corte basal resistente, el desplazamiento tope de la estructura y el periodo fundamental. Si el índice global es mayor que el 60% se debe proceder a realizar una evaluación más detallada de la estructura.

MÉTODOS JAPONÉS

Entre los métodos Japoneses se encuentra el Método de Hirosawa, el cual es el método utilizado oficialmente en Japón por el ministerio de construcción, en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios de hormigón armado. El método recomienda tres niveles de evaluación, que van de los simple a lo detallado, y se basa en el análisis del comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de la planta,

El método fue propuesto originalmente para ser utilizado en edificios de concreto armado de altura media existentes o dañados, del orden de seis a ocho pisos estructurados con muros o pórticos. En estudios más recientes el método se ha aplicado en edificios de concreto armado y albañilería.

MÉTODO VENEZOLANO

El procedimiento propuesto por este método evalúa cortes por separados y calcula el índice sísmico por medio de una ecuación en la cual intervienen el cociente entre la fuerza cortante resistente del entrepiso y la fuerza sísmica cortante, un índice que representa las condiciones de irregularidad en planta y elevación y otro que representa las condiciones de deterioro en el tiempo.

Los índices que intervienen en la ecuación del índice sísmico se obtienen a partir de tablas desarrolladas por los creadores del método, para dar valores a los coeficientes que se emplean en el cálculo de dichos índices. Para el índice de deterioro los valores de los coeficientes se definen de acuerdo con parámetros que involucran la inspección de aspectos como deflexiones, presencia de grietas en elementos estructurales, de columnas cortas, cambios de uso de las edificaciones, edad del edificio, estado de mantenimiento y ampliaciones o remodelaciones. Para el índice de irregularidad en planta y elevación tiene¹⁵⁴ en cuenta la relación entre el largo y ancho de la edificación, las discontinuidades del diafragma, los retrocesos, la presencia de planta baja libre, la uniformidad de las alturas de piso y el golpeteo.

ISTC (*"Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni"*)

Determina la vulnerabilidad de un grupo de edificios cuyas estructuras están soportadas por muros de mampostería de tipologías y características constructivas similares, evaluando la capacidad resistente del edificio por medio de dos parámetros, I1 e I2, que representan los dos posibles modos de rotura en los muros. Con estos índices se calcula el índice I3, que es utilizado para determinar en conjunto con los otros dos, la vulnerabilidad del edificio sobre la base de función de vulnerabilidad propuesta por el ISTC

AIS

Determina la vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería, evaluando aspectos geométricos. Constructivos y estructurales. Dentro de los aspectos que se evalúan están, la irregularidad en planta y en altura, la cantidad de muros, la calidad de las juntas de pega en mortero y de los materiales, las vigas de amarre, los muros confinados y reforzados, cimentación, suelos, entorno, entre otros. Cada uno de ellos se califica mediante la visualización y la comparación con patrones generales. Esta calificación se realiza en tres niveles: vulnerabilidad baja, media y alta.

Finalmente, después de que se haya obtenido y calificado toda la información requerida, se hace una calificación global de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda, con base en las deficiencias que presenta cualquiera de los aspectos estudiados.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD, BENEDETTI Y PETRINI.

El método del índice de vulnerabilidad se comienza a desarrollar en Italia con motivo de los estudios post-terremotos realizados a partir de 1976. El método se describe en 1982, año a partir del cual empieza su utilización en numerosas ocasiones.

El método del índice de vulnerabilidad puede clasificarse como subjetivo debido a que realiza una clasificación subjetiva de los edificios apoyándose en cálculos simplificados de estructuras, intentando identificar los parámetros más relevantes que controlan el daño estructural. La calificación de los edificios se realiza mediante un coeficiente denominado índice de vulnerabilidad. Este índice se relaciona directamente con la vulnerabilidad o grado de daño de la estructura mediante funciones de vulnerabilidad.

El método ha sido desarrollado tanto para el estudio de estructuras de mampostería no reforzada como para el de estructuras de hormigón armado. Para ambos tipos de estructuras se tienen once parámetros, cada uno de ellos se le asigna un grado de daño (A, B, C, D) y un peso.

Anexo 3

Las siguientes ecuaciones fueron extraídas del texto: “**TASAS DE RECURRENCIA SÍSMICA EN LA ZONA CENTRAL DE LOS ANDES COLOMBIANOS A PARTIR DE LA COMPLETITUD DEL CATÁLOGO HASTA EL AÑO 2004**” recuperado de la página de la Universidad del Quindío (<http://www.uniquindio.edu.co>), el día 04 de noviembre del 2015.

Con el fin de homogenizar todos los datos de magnitudes encontrados, fue necesario utilizar las siguientes correlaciones y así, convertir todos los datos a magnitudes de ondas superficiales M_s :

$$\begin{array}{ll} M_b = M_L - 0,4 & M_L \leq 5,3 \\ M_b = 1,24M_L - 2,0 & M_L > 5,3 \\ M_s = M_b - 1,3 & M_b < 4,3 \\ M_s = 1,5M_b - 3,4 & 4,3 \leq M_b < 5,5 \\ M_s = 3,0M_b - 11,7 & 5,5 \leq M_b < 6,0 \end{array}$$

Después, con las ecuaciones de Geller (1976) ²¹ se calcula el valor del logaritmo del momento sísmico:

$$\begin{array}{ll} \log M_0 = M_s + 18,89 & M_s < 6,76 \\ \log M_0 = 1,5M_s + 15,51 & 6,76 \leq M_s < 8,12 \\ \log M_0 = 3,0M_s + 3,33 & 8,12 \leq M_s < 8,22 \end{array}$$

$$M_s = 8,22 \text{ para } \log M_0 > 28$$

Finalmente, con la ecuación de Kanamori (1977) ²² se calcula la magnitud del momento sísmico:

$$M_w = \frac{2}{3}(\log M_0 - 16,1)$$

Anexo 4

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones en la Ciudad de Cartago	Fecha:	
	Nº Lote:	

Inspector: _____

Nº Formulario:

Ubicación

Provincia	Cantón	Distrito	Frente (m)	Fondo (m)	Área (m2)

Coordenadas GPS	N	W	Coordenadas CRTM05	X	Y

Fotografía



Numero Pisos

Tipo de Entrepiso

Rígido

Flexible

Sin Diafragma

Tipo Constructivo según CAPRA-T2-5

Sistema Estructural

Tugurio

Adobe

Muros de Madera

Muros de Concreto Prefabricado

Mampostería (R,C,S)

Pórticos de Concreto RM

Otro: _____

Uso de la Estructura

Residencial

Comercial

Industrial

Oficinas

Bodegas

Salud

Otro: _____

Estado General de la Estructura

Tipo de Cubierta

Loza de Concreto

Liviana (lamina Zinc)

Pesada (teja barro)

Estado de Conservación

Excelente

Bueno

Regular

Pobre

Configuración Planta



Configuración Altura



Código sísmico vigente

Antes 1974	
1974-2001	
Después 2001	

Observaciones:

Referencias

- Abad, A; Servín, L. 1987. **INTRODUCCIÓN AL MUESTREO**. Editorial Limusa, México. 208p.
- Astorga, a., Fernández, J. A., Barboza, G., Campos, I., Obando, J., Aguilar, A., & Obando, I. G., 1991: **CUENCAS SEDIMENTARIAS DE COSTA RICA: EVOLUCIÓN GEODINÁMICA Y POTENCIAL DE HIDROCARBUROS**. - Revista Geológica América Central, 13: 25-60.
- Barquero, R. 2010. **LA AMENAZA SISMICA EN LA ZONA DE CARTAGO**. Instituto Costarricense Electricidad UEN Proyectos y Servicios Asociados C.S. Exploración Subterránea. 9p.
- Bonett, R. 2003. **VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS. APLICACIÓN A ENTORNOS URBANOS EN ZONAS DE AMENAZA ALTA Y MODERADA**. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña. 474p.
- Caballero, A. 2007. **DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA POR MEDIO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS UBICADAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE SINCELEJO, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**. Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad del Norte. Colombia. 220 p
- Climont, A. et. al. 1994. *Spectral strong motion attenuation in Central America*. **NORSAR**. Reporte Técnico 2-17. 63 p
- Climont, A. et al. 2003. **AMENAZA SÍSMICA Y VULNERABILIDAD FÍSICA EN LA CIUDAD DE CAÑAS, GUANACASTE, COSTA RICA**. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y atención de Emergencias. 27p.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2010. **CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010**. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 400p.
- Denyer, P; Kussmaul, S. 1994. **ATLAS GEOLOGICO GRAN AREA METROPOLITANA**. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 268p.
- ERN-CAPRA, América Latina. *Modelos de evaluación de amenazas naturales y selección*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-3**, 1-25 (143 p). Nicaragua.
- ERN-CAPRA, América Latina. *Vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-5**, 7-22 (48 p). Nicaragua.
- ERN-CAPRA, América Latina. *Caracterización local de la vulnerabilidad de edificaciones*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-5**, 66 p. Costa Rica
- FEMA, 2002. **RAPID VISUAL SCREENING OF BUILDINGS FOR POTENTIAL SEISMIC HAZARDS**. Segunda Edición. Applied Technology Council. Washington, DC. 164p
- Fernández, C; Santana, G. 1990. **BASES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESTRUCTURAS EXISTENTES**. Laboratorio de Ingeniería Sísmica, Universidad de Costa Rica. 10p.
- Fernández, M.; Montero, W. 2002. *Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago y San José, Valle Central de Costa Rica*. **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 26: 25-37. Costa Rica.
- Fernández, M. 1996. *Evaluación del hipotético sistema de falla transcurrente Este-Oeste de Costa Rica*. **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 19/20: 57-74. Costa Rica.
- González Víquez, C. 1994. **TEMBLORES TERREMOTOS INUNDACIONES Y ERUPCIONES VOLCÁNICAS EN**

- COSTA RICA 1608-1910.** Editorial Tecnológica de Costa Rica, 239p.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2011. **X CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VI DE VIVIENDA: CIFRAS PRELIMINARES DE POBLACIÓN Y VIVIENDA.** Segunda Edición. San José, Costa Rica. 46p
- Jiménez, D. 2012. **DIAGNÓSTICO DE VULNERABILIDAD SISMICA EN CARTAGO COSTA RICA.** Tesis Licenciatura. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica. 161p.
- Linkimer, L. 2008. *Relationship between Peak Ground Acceleration and Modified Mercalli Intensity in Costa Rica.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 38: 81-94. Costa Rica.
- Magallón, F.; Segura, C. 1991. **COMO ENFRENTAR UN TERREMOTO: MANUAL PARA DOCENTES.** Costa Rica: Editorial UNED.
- Montero, W. 2001. *Neo tectónica de la región central de Costa Rica: frontera Oeste de la Micro placa de Panamá.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 24: 29-56. Costa Rica.
- Montero, W. et al. 2005. *Los sistemas de falla Agua Caliente y Río Azul y relevos compresivos asociados, Valle Central de Costa Rica.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 33: 7-27. Costa Rica.
- Montero, W.; Kruse, S. 2006. *Neo tectónica y geofísica de la falla Agua caliente en los valles Coris y el Guarco, Costa Rica.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 34: 43-58. Costa Rica.
- Ortiz, E.; Soto C. 2014. **ATLAS DIGITAL DE COSTA RICA.** Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Peraldo, G. 2005. *El sismo de San Antolín del 2 de setiembre de 1841, un desastre en el desarrollo libre de Costa Rica.* **BOLETÍN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE EMERGENCIAS**, 33: 1-3. Costa Rica.
- Poch, A. 1972. **CURSO DE MUESTREO Y APLICACIONES.** Graficas Halar, Madrid. 375p.
- QGIS (Versión 2.8.2 Wien) "software". (2015). **SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA LIBRE Y DE CÓDIGO ABIERTO**, Obtenido de: www.qgis.org
- Quintanilla et al., 2008. *Estratigrafía de pozos como un aporte al conocimiento de la geología del Cuaternario del Valle de El Guarco (Cartago) Costa Rica.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 38: 53-64. Costa Rica
- Red Sismológica Nacional. 2001. *Resumen de la actividad sísmica y volcánica durante el año 2001.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 26: 101-105. Costa Rica
- Red Sismológica Nacional. 2011. *Resumen de la actividad sísmica y volcánica durante el año 2010.* **INFORME ANUAL DE SISMOS SENTIDOS Y ACTIVIDAD**, 44. Costa Rica
- ROJAS, W., 1993: **CATÁLOGO DE SISMICIDAD HISTÓRICA Y RECIENTE EN AMÉRICA CENTRAL: DESARROLLO Y ANÁLISIS. TESIS DE LICENCIATURA.** Universidad de Costa Rica. 91p.
- Taylor, W. 1994. **CARACTERÍSTICAS SISMODINÁMICAS DEL SUELO BLANDO EN LA REGIÓN CENTRAL DE LA CIUDAD DE CARTAGO, COSTA RICA.** Tesis de Licenciatura. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. 100p.
- Wald, D; Worden, B; Quitoriano, V; Pankow, K. 2006. **SHAKEMAP MANUAL. U.S. Geological Survey.** 156p.
- Walpole, R; Myers, S; Myers, K. 2012. **PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA PARA INGENIEROS Y CIENCIAS.** Editorial PERSON EDUCATION, México. 792p.