

**Evaluación de la
Vulnerabilidad Sísmica
Mediante Métodos
Determinísticos, en la ciudad
de Golfito, Costa Rica**

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Ivannia Solano Aguilar, Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Hugo Navarro Serrano, Ing. Sonia Vargas Calderón, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**IVANNIA MARIA
SOLANO AGUILAR
(FIRMA)** Firmado digitalmente por
IVANNIA MARIA SOLANO
AGUILAR (FIRMA)
Fecha: 2020.09.15 20:40:58
-06'00'

Ing. Ivannia Solano Aguilar.
En representación Director

**GUSTAVO
ADOLFO
ROJAS MOYA
(FIRMA)** Firmado
digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO
ROJAS MOYA
(FIRMA)
Fecha: 2020.09.16
09:42:49 -06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya.
Profesor Guía

**HUGO EDUARDO
NAVARRO
SERRANO (FIRMA)** Firmado digitalmente por
HUGO EDUARDO NAVARRO
SERRANO (FIRMA)
Fecha: 2020.09.16 09:27:14
-06'00'

Ing. Hugo Navarro Serrano.
Profesor Lector

**SONIA VARGAS
CALDERON
(FIRMA)** Firmado digitalmente
por SONIA VARGAS
CALDERON (FIRMA)
Fecha: 2020.09.16
09:49:08 -06'00'

Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

Abstract

In the Costa Rican south zone, the tectonic plates of Cocos, Nazca and the microplate of Panamá, converge, causing high seismic activity. Besides, due to the characteristics of the nearby faults, the area is under threat of suffering a major earthquake. Therefore, a study of seismic hazard in the Golfo Dulce area was carried out, to determine the respective vulnerability of the present structures at the city of Golfito. The seismic hazard study was performed using a deterministic method, to record the maximum acceleration caused by three proposed earthquakes, using a geographic information system (QGIS). Some maps were generated with the records obtained. Vulnerability was determined through a sampling of the different typologies present in certain areas, to which a degree of vulnerability was assigned according to their state of preservation, year and type of construction, assigning them their respective percentage of expected damage. Maximum accelerations of $5,95 \text{ m/s}^2$ were obtained in the Golfito area, according to an earthquake of magnitude 7,8 Mw; where the areas that show destructive damage correspond to those with a vulnerability index greater than 75%, corresponding to mostly wooden and prefabricated buildings, with poor conservation.

Keywords:

Deterministic method, geographic information system, seismic vulnerability, seismic hazard, damage, Golfito

Resumen

En la zona sur de Costa Rica convergen las placas de Cocos, Nazca y la microplaca de Panamá, ocasionando una alta actividad sísmica. Además, por las características de las fallas cercanas, la zona se encuentra bajo amenaza de sufrir un sismo de gran magnitud. Por consiguiente, se realizó un estudio de la amenaza sísmica en la zona del Golfo Dulce, con el que se determina la respectiva vulnerabilidad de las estructuras presentes en la ciudad de Golfito.

La amenaza se estimó mediante un método determinístico, registrando la aceleración máxima provocada por tres sismos propuestos, utilizando un sistema de información geográfica (QGIS). Se generaron mapas con los registros obtenidos.

La vulnerabilidad se determinó mediante un muestreo de las distintas tipologías presentes en zonas determinadas, a las cuales se les asignó un grado de vulnerabilidad de acuerdo a su estado de preservación, año y tipo de construcción, asignándoles su respectivo porcentaje de daño esperado.

Se obtuvieron aceleraciones máximas de $5,95 \text{ m/s}^2$ en el área de Golfito, de acuerdo a un sismo de magnitud 7,8 Mw; en donde las zonas que presenta un daño destructivo corresponden a aquellas con un índice de vulnerabilidad mayor a 75%, equivalente a construcciones mayormente de madera y prefabricadas, con conservación pobre.

Palabras clave:

Método determinístico, sistemas de información geográfica, vulnerabilidad sísmica, amenaza sísmica, daño, Golfito

**Evaluación de la
Vulnerabilidad Sísmica
Mediante Métodos
Determinísticos, en la ciudad
de Golfito, Costa Rica**

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Mediante Métodos Determinísticos en la ciudad de Golfito, Costa Rica

ALEJANDRO CAMACHO BÁEZ

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

Marzo del 2020

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo	3
Introducción	6
Marco Teórico	9
Metodología	46
Justificación del área de estudio	46
Amenaza Sísmica	47
Vulnerabilidad Sísmica	51
Resultados	68
Mapas de amenaza sísmica	68
Mapas de Vulnerabilidad Sísmica	80
Análisis de los resultados	90
Mapas de amenaza sísmica	90
Mapas de vulnerabilidad sísmica	92
Conclusiones y recomendaciones	95
Apéndices	98
Anexos	158
Referencias	169

Prefacio

Golfito es el cantón número 7 de la provincia de Puntarenas, se encuentra ubicado en la costa del Pacífico sur de Costa Rica, a unos 340 km de San José, y a unos 40 km de la frontera con Panamá. Este cantón se encuentra conformado por los distritos de Golfito, Guaycará, Pavón y Puerto Jiménez. El distrito de Golfito se ubica en el Golfo Dulce, lugar en donde se manifiesta una alta concentración de fallas tectónicas activas, con el potencial de generar sismos de magnitud mayor a 7 Ms. Entre estas fallas se pueden mencionar la falla Golfito y la falla Jiménez, ubicadas en el Golfo Dulce, además de las fallas Media, ubicada en punta Burica, y la falla longitudinal, que se extiende desde Paso Canoas hasta Quepos, en el Pacífico Central.

El presente análisis nace de la necesidad de conocer el estado de la actividad sísmica de la zona, así como de la necesidad de conocer la vulnerabilidad de sus edificaciones. La península de Osa se caracteriza por ser una de las zonas con mayor concentración de sismos del país, y según los registros, y análisis realizados por las entidades correspondientes al estudio de estos fenómenos, como el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, la Red Sismológica Nacional y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica, determinan que la concentración de energía de la falla Golfito presenta un ciclo de retorno de cerca de 40 años. Esto significa que en los próximos años existe una alta probabilidad de que ocurra un sismo de magnitud de entre 7,2 Mw y 7,5 Mw. De acuerdo a la sismicidad histórica recopilada por el OVSICORI, alrededor de cada 4 décadas ocurre un sismo de gran importancia en la zona del Golfo Dulce.

El último terremoto ocurrido en el área fue el 2 de abril de 1983, con una magnitud de 7,3 Ms y a una profundidad de 26 km. Los otros registros de sismos importantes datan del 20 de diciembre de 1904, con una magnitud de 7,8 Ms y el 5 de diciembre de 1941, con una magnitud de 7,5 Ms. Según el rango de tiempo presentado en los movimientos es probable de que en los próximos

10 años se presente otro sismo de gran magnitud. Estos movimientos sísmicos ocurren por el fenómeno de convergencia entre las placas oceánica-continental en donde se da la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Caribe. Esta zona también se ve afectada por la microplaca de Panamá, que presenta una falla difusa, además por la placa de Nazca que presenta un movimiento traslacional y no de subducción. Como resultado, el área del Golfo Dulce presente una alta sismicidad y está considerada en el código sísmico de Costa Rica como clase IV, siendo la mayor para el caso de Costa Rica.

El objetivo principal del proyecto fue analizar la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Golfito, en donde primero se determinó la amenaza sísmica de la zona. Este valor se obtuvo mediante un análisis determinístico y utilizando sistemas de información geográfica, específicamente el software QGIS. La amenaza sísmica se muestra por medio de mapas como un registro de la intensidad del sismo, representada por la aceleración en el suelo, como consecuencia de la vibración causada por las ondas sísmicas. La intensidad del fenómeno también se representa por medio de la escala Mercalli Modificada. Además, se estimó el porcentaje de daño de las edificaciones.

Se pretende lograr que la información dispuesta en los mapas sea más directa y fácil de interpretar, pudiendo estar al alcance de análisis posteriores con el fin de profundizar y determinar posibles cuantificaciones económicas, así como estrategias de financiación de desastres y mitigación de daños, posibles reubicaciones y reducción de la vulnerabilidad. Esto se podría lograr mediante el reforzamiento de las estructuras, dándole continuación al trabajo investigativo abarcando otras zonas o fallas, así como otros tipos de análisis determinísticos o probabilísticos, con el fin de efectuar comparaciones con los resultados obtenidos.

Agradecimiento

Primeramente agradezco por este camino a la máxima entidad creadora, así como por todos los obstáculos que se presentaron durante la carrera los cuales me permitieron una oportunidad para crecer y enfrentar este compromiso con enfoque, determinación y perseverancia.

Bendiciones Dios, por llenarme de bienaventuranza, confianza, fortaleza, salud y guiarme en este camino.

Gracias a mi madre, padre, hermano, hermana, abuelas, abuelos, tías, tíos, primas, primos a toda mi familia, por tantas muestras de aprecio y paciencia, así como por toda la ayuda suministrada para cumplir con esta etapa de mi vida. Así como a mis amigos gracias por la espera. Gratitud a todos por ayudarme en este proceso y por estar siempre presentes. Se les aprecia. Una dedicatoria especial a mi abuelita Malala.

Gratitud hacia el personal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, y la Escuela de Ingeniería en Construcción, en especial al profesor Gustavo Rojas por aceptar instruirme en este proceso, además de su incondicional apoyo, confianza y los múltiples consejos brindados a lo largo de la formación académica y durante el desarrollo de este informe. Ha sido una total dicha y aprendizaje haber sido formado bajo su tutela, y en esta gran institución; al igual que el profesor Ing. Braulio Umaña gracias por los consejos suministrados.

Además al laboratorio de ingeniería sísmica de la Universidad de Costa Rica, principalmente al ingeniero Diego Hidalgo por el aprendizaje recibido y toda la ayuda durante el proyecto de graduación, así como al CFIA por la charla de amenaza sísmica brindada en la zona sur, fue una importante guía de introducción para el desarrollo del proyecto en estudio, así como, nombrar la gran herramienta que son este tipo de actividades y adquirir conocimientos de talleres y cursos aparte de los impartidos durante el plan académico. Es realmente valioso este tipo de capacitaciones y acercamientos a la población, obteniéndose una mejor preparación, integración y conocimientos claros y concisos acerca de la realidad nacional.

Resumen ejecutivo

La interacción entre las placas litósferas de Cocos, Caribe, microplaca de Panamá y Placa de Nazca, ocasionan una gran cantidad de actividad sísmica en la zona sur de Costa Rica. Esta actividad genera planos de fallas y, dependiendo de las características de éstas y la energía acumulada, pueden llegar a manifestar sismos de una magnitud importante. De acuerdo a la información recopilada por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, la Red Sismológica Nacional y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica, se estima que la concentración de energía de las fallas presentes en el Golfo Dulce tienen un ciclo de retorno de cerca de 40 años, lo cual significa que en los próximos años existe una alta probabilidad de que ocurra un sismo de magnitud de entre 7,2 Mw y 7,5 Mw.

Estos sismos presentan un gran poder destructivo, ocasionando múltiples daños, especialmente en estructuras con un pobre estado de conservación, así como pérdidas económicas y humanas. Por tal razón, los estudios de vulnerabilidad sísmica son un medio de prevención altamente eficaz para mitigar los efectos producidos por este tipo de amenazas.

La comunidad de Golfito se localiza aproximadamente a 340 km de San José, se encuentra en una zona costera, la cual propicia la oxidación del acero en las estructuras. Adicionalmente, esta ciudad se encuentra rodeada de montañas, la cual solo se puede ingresar por una única carretera. Por otra parte, cuenta con estructuras esenciales y riesgosas como un hospital, aeropuerto, puentes, muelles, así como tanques de combustible, gas y aceite vegetal. La zona sur está caracterizada por la presencia de suelos blandos con alto nivel freático, estratos arcillosos, arenosos, y depósitos aluviales y coluviales; los cuales son particularmente susceptibles ante los efectos perjudiciales de un evento sísmico. Después del último terremoto (1983), ha habido un crecimiento económico importante en la zona, con un aumento considerable en su población.

El presente proyecto nace de la necesidad de conocer el estado de la vulnerabilidad sísmica de la zona del casco central de Golfito, así como de sus edificaciones, dada la reciente actividad sísmica y la alta probabilidad de que ocurra un movimiento sísmico de alta magnitud. Por esta razón, se propuso como objetivo principal determinar la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Golfito, para por lo cual fue necesario determinar la amenaza correspondiente.

Amenaza Sísmica

La amenaza sísmica se determinó efectuando un análisis determinístico mediante los registros sísmicos históricos, en donde, se propusieron tres sismos de control, obteniendo así, las aceleraciones horizontales pico esperadas. Utilizando sistemas de información geográfica, específicamente el Software QGIS, se generaron los mapas con la información relevante en el estudio, mostrando la aceleración en m/s^2 , el porcentaje de la gravedad, y la intensidad en escalas macro sísmicas como la Mercalli Modificada.

La función de atenuación escogida, para realizar el cálculo de la aceleración máxima experimentada, es la utilizada por Climent (Climent et.al, 1994):

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

Donde:

PGA: Peak Ground Acceleration (m/s^2)

M: Magnitud de momento

R: Distancia Hipocentral (km)

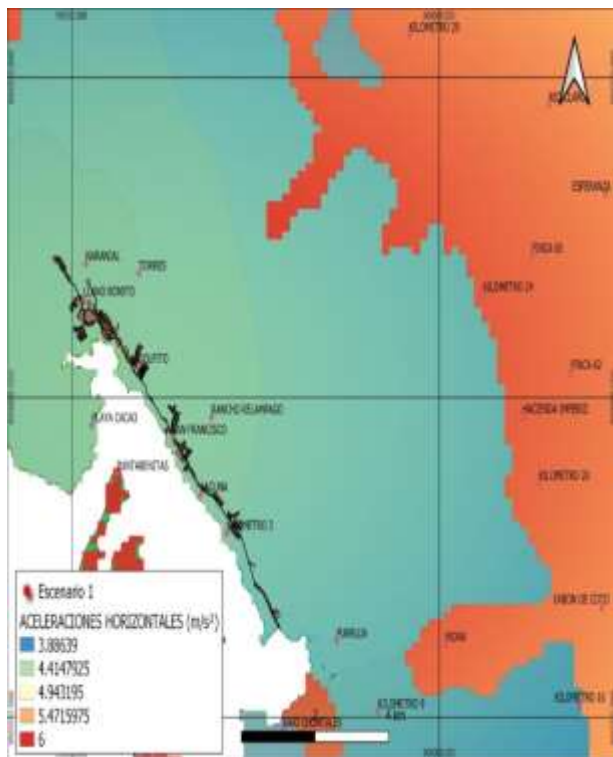
S: Parámetro indicativo de la geología del sitio de análisis: 0 en roca, 1 en suelo.

σ_{PGA} : Término relacionado con el error de estimación y es igual a 0,75

Se introdujeron en QGIS las capas vectoriales de los diferentes tipos de estratos geológicos, de acuerdo al atlas Costa Rica 2014, esto con el fin de diferenciar los que corresponden a suelos y rocas, así como los distintos mapas raster de las distancias hipocentrales, y las magnitudes esperadas.

Los escenarios sísmicos se establecieron con el criterio de los registros históricos, y para observar la afectación de un sismo con magnitud mayor a 7 Mw.

El primer sismo de control dispone una magnitud de 7,8 Mw, la cual es la máxima magnitud esperada asumiendo una total ruptura de la falla. Este sismo se localiza en el sector de Golfito, coordenadas latitud 8,671628 y longitud -83,149303, a una profundidad de 30 km. Con este sismo se pretende representar uno de los máximos escenarios posibles, que generan más daños y mayores aceleraciones del terreno.

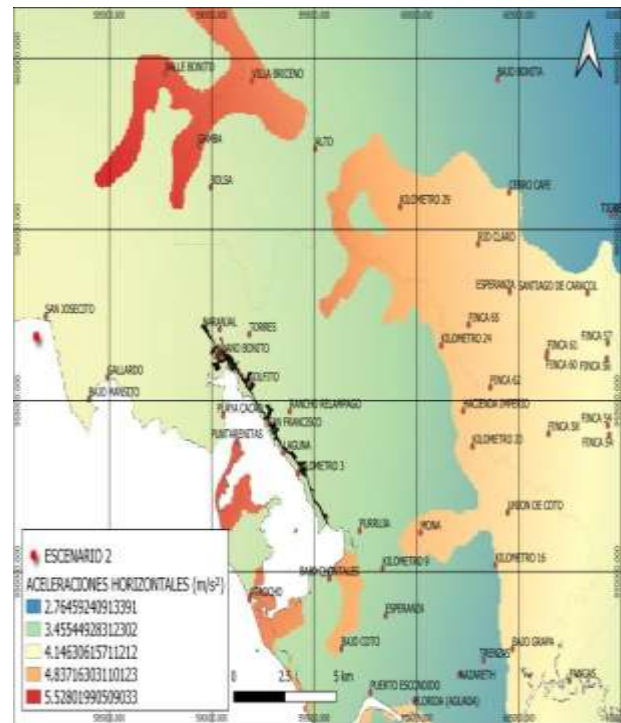


Mapa de amenaza sísmica para el escenario 1

Este sismo presentó aceleraciones de 4,35 m/s² en la zona de la ciudad de Golfito, cercanas a un 43% del efecto de la gravedad, con una intensidad de VIII escala Mercalli Modificada.

La magnitud del segundo sismo propuesto fue de 7,3 Mw, con una profundidad de 21 km, y

coordenadas latitud 8,6546066 y longitud -83,208505, ubicado a 5 km al oeste de la ciudad de Golfito, referenciando a los parámetros experimentados durante el sismo de 1983, el cual para al momento de ocurrir, no se tenían tantos instrumentos capaces de medir las distintas aceleraciones presentadas. Además, la ciudad de Golfito no se encontraba tan desarrollada y contaba con cerca de 3.000 personas menos, según los datos del INEC.



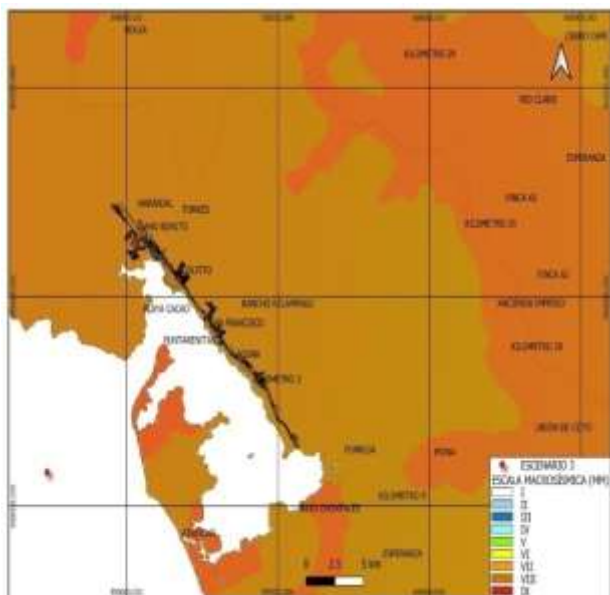
Mapa de amenaza sísmica para el escenario 2

Se presentó una aceleración de 3,75 m/s² en el centro de la ciudad de Golfito, el cual corresponde a un 38% de la gravedad terrestre; esta magnitud según la escala Mercalli Modificada sería de VIII, y se presentaría en los distritos de Golfito, Guaycará y Corredor. Las mayores aceleraciones se presentarán en los sectores de La Gamba, (5,33 m/s²), Puntarenitas (5,27 m/s²), Chacarita (4,90 m/s²) y la Mona, (4,65 m/s²).

El tercer sismo de control fue de una magnitud de 7,2 Mw a una profundidad de 24 km y localizado a 1 Km al oeste de la ciudad de Golfito, en medio del Golfo Dulce, coordenadas latitud 8,5981773 y longitud -83,2061616. En este sismo se pretendió observar la afectación de un sismo con una magnitud mayor a 7 Mw cerca del centro de la ciudad, que es otra posible situación capaz

de generar una alta intensidad en las estructuras ocasionando un máximo daño probable.

Para este escenario se obtuvieron aceleraciones de $4,30 \text{ m/s}^2$ en el área de la ciudad de Golfito, otras intensidades mostradas en el mapa corresponden a Puntarenitas ($5,95 \text{ m/s}^2$), La Mona ($5,74 \text{ m/s}^2$) y en el distrito de Guaycará ($5,62 \text{ m/s}^2$), más específicamente en la ciudad de Río Claro. Estas aceleraciones corresponden a un rango de 39-37% de la gravedad en la ciudad de Golfito, en Puntarenitas se reportó un 54% y en La Mona y Río Claro un 48 % y 46% respectivamente. Las intensidades se clasifican como VIII de acuerdo a la escala Mercalli Modificada.



Mapa de amenaza sísmica para el escenario 3

En los tres sismos propuestos, se observó el efecto local, en donde, los distritos de Guaycará y Corredores presentan mayores aceleraciones que la Ciudad de Golfito, a pesar de que se encuentran más alejadas del Golfo Dulce, que es donde se propuso el sismo. Este efecto también sucede en los distritos de Puerto Jiménez y Corredores, los cuales se encuentran sobre depósitos aluviales, coluviales o sistemas costeros, amplificando las ondas sísmicas. Estas regiones presentan aceleraciones de VIII y cercanas a IX, escala Mercalli Modificada.

La atenuación de las ondas sísmicas también se puede apreciar en los tres escenarios planteados, en como la aceleración disminuye conforme aumenta la distancia epicentral.

Vulnerabilidad Sísmica

Para determinar la vulnerabilidad, sísmica, se analizó la ciudad de Golfito por medio del software QGIS, dividiéndose la ciudad en 135 cuadrantes, en donde se pudieron determinar 1864 estructuras. Con la población determinada y con base en las ecuaciones suministradas por Walpole et al (2012), se obtuvo un tamaño de muestra representativa de 320 estructuras. Esta cantidad se distribuye en los cuadrantes de acuerdo al área de estas, y se realizó un muestreo aleatorio simple, efectuado una encuesta de inspección en las edificaciones seleccionadas.

Para realizar la inspección se establecieron distintos parámetros, como el estado de conservación, sistema estructural y periodo estimado de construcción. Este periodo se basó según la publicación de los códigos sísmicos de los años de 1974 y 2001. A cada uno de los parámetros seleccionados, se le atribuyó su respectivo grado de vulnerabilidad. El peso de los parámetros resultantes del muestreo se generalizó para así adquirir atributos críticos para cada unidad de terreno. Para completar los datos en los lotes sin inspeccionar, se efectuó una herencia de los datos acuerdo a las características de los lotes circundantes.

Habiendo asociado cada parámetro a su respectivo peso, se calculó la vulnerabilidad sísmica confeccionando mapas para cada atributo, y mediante el software QGIS se realizó el cruce de los mapas para abarcar todas las combinaciones de vulnerabilidad.

Se determinó el índice de vulnerabilidad dividiendo cada una de las sumas de los pesos de vulnerabilidad de los atributos entre el máximo valor posible por alcanzar, obteniendo un índice entre un rango de 0-100 y se confeccionó la siguiente escala de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad ≤ 45 = Ligero

$45 \leq$ Vulnerabilidad ≤ 55 = Leve

$55 \leq$ Vulnerabilidad ≤ 65 = Intermedio

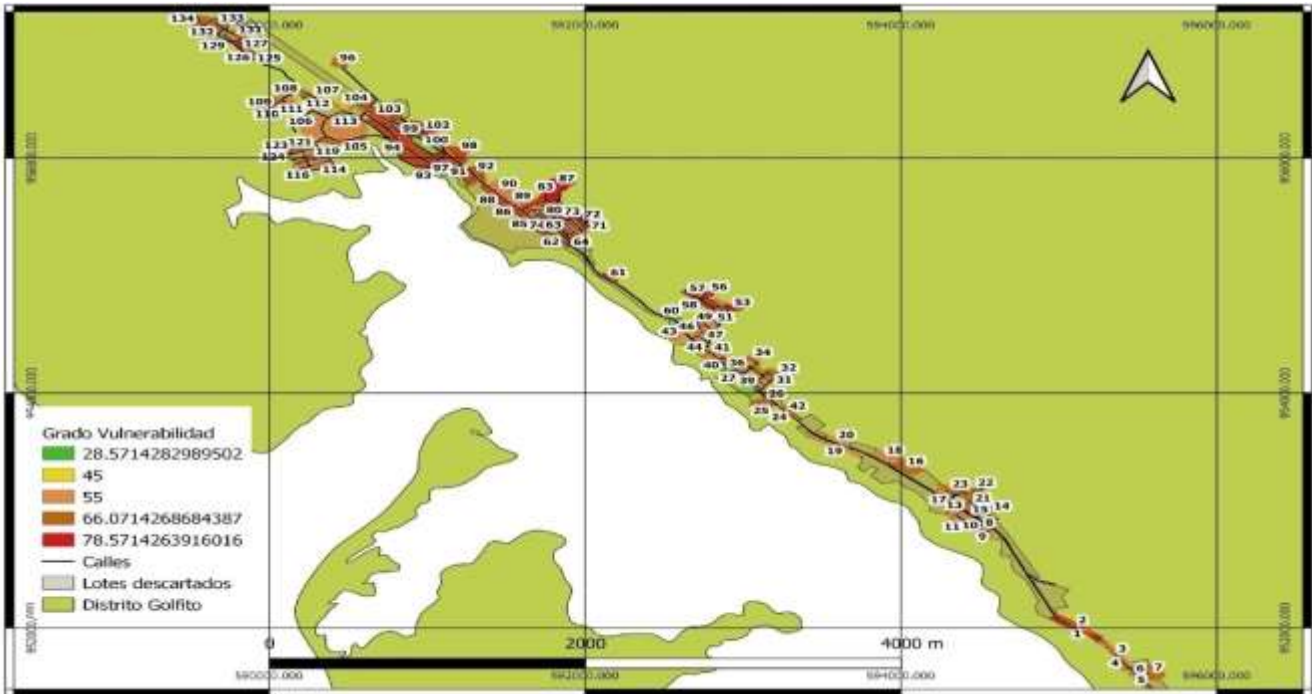
$65 \leq$ Vulnerabilidad ≤ 75 = Considerable

$75 \leq$ Vulnerabilidad ≤ 85 = rave

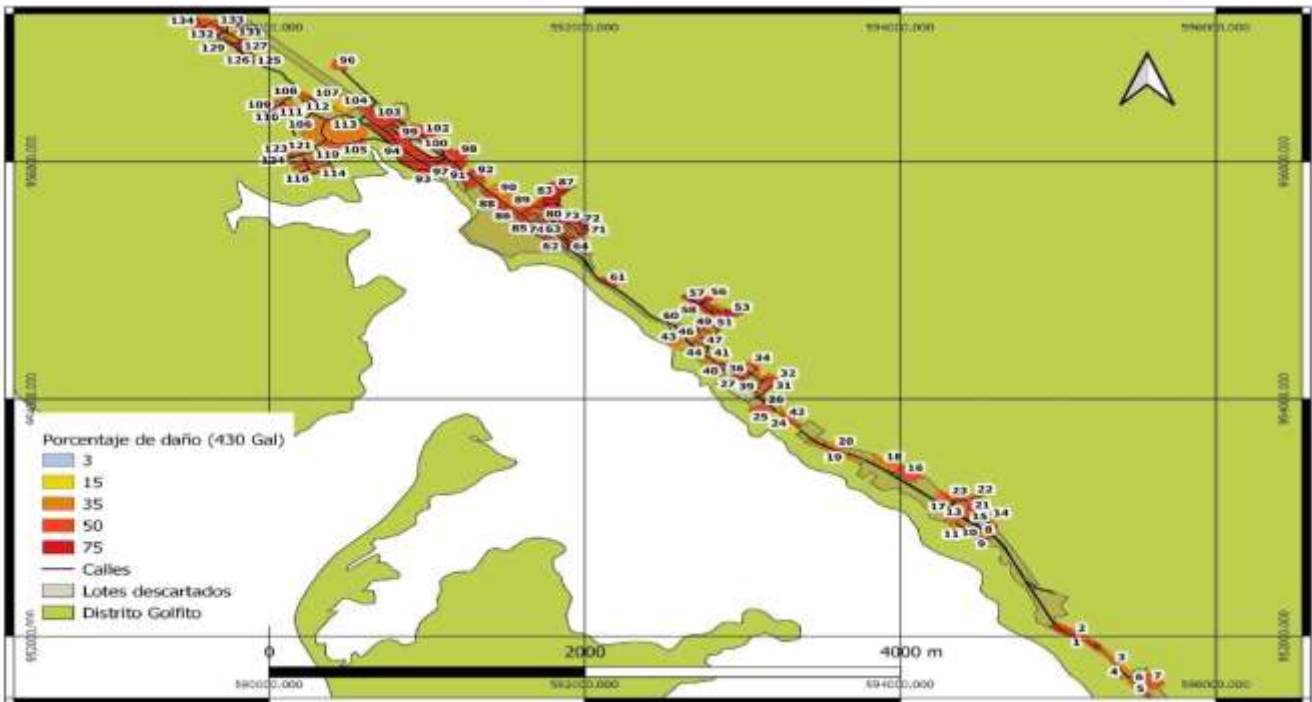
Vulnerabilidad ≥ 85 = Muy Grave

Este índice de vulnerabilidad, se asocia según la escala macro sísmica Mercalli Modificada en una escala de daño estructural obteniendo un porcentaje de daño esperado.

Se asignó el respectivo porcentaje de daño, de acuerdo a la combinación del porcentaje del índice de vulnerabilidad y a la intensidad de las aceleraciones presentadas.



Mapa de vulnerabilidad sísmica



Mapa del porcentaje de daño según una aceleración de 430 Gal

Introducción

Costa Rica, al encontrarse ubicada en el cinturón de fuego del Pacífico y ser una región geográfica relativamente joven, se encuentra bajo constante actividad sísmica. Esta condición es consecuente de la interacción entre las placas litosféricas, precisamente el proceso de la subducción de la placa Cocos bajo la placa Caribe. También es clave mencionar la afectación en la zona sur del país de la placa de Nazca y la micro placa de Panamá, además de los sismos interplaca y los ocurridos por los factores vulcanológicos que experimenta el territorio nacional.

Es indispensable efectuar monitoreo del movimiento de las placas tectónicas y demás estudios de amenaza sísmica, con mayor atención en zonas con antecedentes de terremotos, en donde se podrá determinar las zonas más vulnerables, posibles reubicaciones o reforzamientos de las zonas o estructuras de acuerdo a su grado de vulnerabilidad. A raíz de estos estudios, se podrán efectuar las acciones necesarias para registrar la menor cantidad de víctimas fatales en caso de una eventualidad, ya que salvaguardar la integridad y la vida humana es fundamental, así como mantener informada a la población. También es posible estimar los costos en caso de un posible desastre, así como desarrollos de planes de emergencia.

Como menciona González de Vallejo, “la destrucción que acompaña a un gran terremoto tiene incalculables consecuencias en todos los ámbitos de la sociedad y del territorio afectado, siendo la prevención y las medidas de mitigación el único medio eficaz hasta el presente de evitar sus consecuencias”. Es imprescindible entender los conceptos introducidos de riesgo, amenaza, vulnerabilidad. Se entiende como un riesgo, la probabilidad de que una estructura, o zona, sufra un daño según una amenaza. En cuanto a amenaza, ésta se define como la potencial ocurrencia de un hecho que pueda manifestarse en un lugar específico, con una duración e intensidad determinadas, y dependiendo esta del lugar de la acción.

Vulnerabilidad se refiere a la propiedad de que una estructura, zona o persona sufra un daño por una acción, y es independiente del lugar de donde ocurra el evento. Se puede ver comprometida en el caso de vulnerabilidad sísmica por el tipo de materiales, la presencia de elementos sísmo resistentes, cercanía de ríos, montañas propensas a deslizamientos, tipo de suelo localizado, o la regularidad de geometría en la estructura, y la excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez.

El presente estudio abarca la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de la ciudad de Golfito, Costa Rica. Para el desarrollo del proyecto es necesario primero determinar los conceptos y tener clara la metodología a realizar, por lo cual se incluye el marco teórico con la información necesaria para desarrollar el proyecto. Posteriormente se realiza un estudio de la sismicidad histórica, incluyendo el marco tectónico regional y local, en donde se realiza una base de datos, y un análisis con el fin de determinar las posibles localizaciones, y magnitudes, de tres hipotéticos sismos empleados para analizar la aceleración de la gravedad manifestada. Como magnitud máxima se utiliza 7,8 Mw; en donde, esta magnitud se considera que es el máximo escenario representativo de más alto riesgo que se podría presentar, según los registros históricos, y las características propias de las fallas presentadas.

Estos parámetros serán necesarios, para determinar la amenaza sísmica mediante un análisis determinístico, en donde se determina la aceleración máxima experimentada por el evento representativo; posteriormente se realiza un muestreo de la ciudad de Golfito, con las respectivas tipologías presentes, anotando el estado de conservación y el Código Sísmico vigente en el año de construcción. A los registros obtenidos según sus características se les asigna, en una escala de 1-5, su respectivo valor de vulnerabilidad. Los datos obtenidos se ingresan al software QGIS que es un sistema de información

geográfica, en donde se permite visualizar la información por medio de mapas y tener la información al alcance para posteriores análisis. En la parte final del estudio se incluyen las conclusiones obtenidas, las referencias bibliográficas consultadas y un capítulo para anexos y apéndice, en donde se dispone de la información elaborada y consultada relevante en el estudio.

Objetivos

Objetivo general

- Determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas y edificaciones en el casco central de Golfito.

Objetivos específicos

- Análisis de la actividad sísmica histórica del área de estudio.
- Cuantificar por medio de mapas y sistemas de información geográfica la amenaza sísmica del área de estudio.
- Elaborar una base de datos de las edificaciones presentes en el área en estudio.
- Determinar el porcentaje de daño esperado en las construcciones evaluadas, según la amenaza sísmica presente.

Alcance y limitaciones

-El estudio abarca una muestra representativa de la ciudad de Golfito, tomando énfasis en el casco central.

- La toma de datos de las diferentes tipologías constructivas y se realiza mediante una inspección visual y por un solo observador. Seguidamente se realiza una inspección de las tipologías y el estado exterior de éstas. No se realizan análisis más profundos como el estado de los sistemas electromecánicos, estado del acero de refuerzo, cimentaciones, elementos no estructurales.

-El estudio no contempla análisis sísmico resistente de las diferentes estructuras.

-Solo se contempla el método determinístico.

-Se efectúa el análisis de sismos de magnitud mayor a 7 Mw, al ser esta la mayor magnitud probable, asumiendo una ruptura total de la falla según los registros de la zona y las características geológicas.

-El proyecto no incluye análisis de estabilidad en los taludes, ni se encuentran contemplados en los análisis de vulnerabilidad.

-El estudio solo contempla los parámetros de conservación, edad y tipología.

-No se abarca el análisis de los puentes de la zona, ni del muelle de carga, ni la marina.

Planteamiento del problema

La zona sur se caracteriza por presentar la unión de tres placas tectónicas, las cuales son la placa de Nazca, la placa de Cocos y la micro placa de Panamá. Esto da como resultado que esta zona haya presentado gran cantidad de sismos, y según los registros, específicamente en el área del golfo Dulce es altamente probable de que ocurra un sismo de magnitud mayor a 7 Ms.

Muchos de los edificios e infraestructura presentes en la zona tienen más de 50 años de haberse construido, los cuales fueron edificados durante el auge de las compañías bananeras. La comunidad de Golfito se localiza aproximadamente a 340 km de San José, en una zona costera, la cual propicia la oxidación del acero en las estructuras. Además, esta ciudad se encuentra rodeada de montañas, y solo se puede ingresar por una carretera. Cuenta con estructuras esenciales como hospital, aeropuerto, puentes y muelles.

La zona sur está caracterizada por la presencia de suelos blandos con alto nivel freático, estratos arcillosos y arenosos, los cuales son muy perjudiciales ante los efectos de un evento sísmico. Después del último terremoto (1983), ha habido un crecimiento importante en la infraestructura de la zona, con un aumento considerable en la población residente, el cual se ha incrementado cerca de 10.000 personas, según datos del INEC, además del crecimiento

demográfico, también ha afectado que durante este periodo se ha dado la apertura del Depósito Libre Comercial de Golfito (DLCCG), el desarrollo de la industria de palma aceitera, aumento considerable de la actividad turística y de los establecimientos comerciales, principalmente en la zona limítrofe con Panamá y alrededores del (DLCCG).

También hay que tomar en cuenta que el desarrollo de este cantón se encuentra entre los más bajos del país, en el lugar 78 de 81 de acuerdo al Índice de progreso social cantonal 2019, y esto se refleja en una menor educación así como en los recursos socioeconómicos.

El presente proyecto nace de la necesidad de conocer el estado de la zona mediante la elaboración de mapas de amenaza sísmica, utilizando el registro de las aceleraciones, así como el posible comportamiento de sus edificaciones e infraestructura, dada la reciente actividad sísmica y la alta probabilidad de que ocurra un sismo de alta magnitud. Además, es importante evaluar la condición de los mismos, estos estudios pueden utilizarse para desarrollar protocolos de atención de desastres, medidas de prevención, protección y asistencial civil en casos de un evento importante, así como capacitar e informar a la población. Con los mapas suministrados se podrá observar las áreas más vulnerables, y cuales áreas necesitan una mayor atención y un posible reforzamiento, o reubicación a otros sitios con menor vulnerabilidad.

Antecedentes: estudios previos

Anteriormente se han realizado varios estudios de amenaza y vulnerabilidad sísmica, por ejemplo, hay que resaltar el informe Resis II, el cual determinó la amenaza sísmica en la región centroamericana, en análisis se obtuvieron las aceleraciones en periodos de retorno de 500, 1000 años, las cuales se toman como referencia en este informe.

Respecto a estudios de vulnerabilidad sísmica, éstos se han enfocado en la Ciudad de Cañas, Guanacaste, además de dos investigaciones en la ciudad de Cartago, y una en la ciudad de Pérez Zeledón. En todos los casos se

utilizaron como referencia en la elaboración de la presente investigación. La diferencia entre los trabajos anteriores y la propuesta planteada, es que el primer trabajo fue desarrollado en conjunto con la Comisión Nacional de Emergencias y la Municipalidad de Cañas, en el cual se realizó un censo en la población para determinar la vulnerabilidad sísmica.

En los estudios en Cartago, se enfoca en un análisis determinísticos efectuado en la falla de Agua Caliente, responsable de los terremotos del 4 de mayo de 1904. Además el estudio contempla el análisis de una gran área urbana.

En el caso del estudio realizado en Pérez Zeledón, se analizó la vulnerabilidad en edificios comerciales.

No se han realizado estudios de este tipo en los cantones de Osa, Coto Brus, Golfito y Corredores,. Por lo tanto, es primordial tener un registro de la vulnerabilidad sísmica en todo el territorio nacional, así como mantener a la población informada, y realizar capacitaciones en el área. Justamente el laboratorio de ingeniería sísmica de la UCR, junto con la Comisión Nacional de Emergencias y en conjunto con el Colegio de Ingenieros y Arquitectos, ofrecieron una charla de amenaza y riesgo sísmico en la zona Sur, para la cual la asistencia sobrepasó las estimaciones, lo cual demuestra la necesidad de la zona en capacitarse, y estar consciente y preparada ante la amenaza de un sismo.

En el presente proyecto, y por cuestiones de limitaciones a la hora de tomar las mediciones, no fue posible realizar un censo, como el análisis efectuado en Cañas, por lo tanto se seleccionó un área representativa de la ciudad de Golfito, especialmente enfocado en el casco central. La razón es que ésta es la zona más densamente poblada, y con la presencia de diferentes tipologías, en donde, es posible realizar un análisis completo, abarcando tanto zonas residenciales como comerciales de distintos grados de conservación y clases sociales.

Marco Teórico

Marco tectónico y sismicidad

La tectónica de placas explica la distribución de la sismicidad a escala global, ya que se pueden distinguir las zonas sísmicamente activas, que coinciden con los límites de las placas tectónicas, y las zonas relativamente estables situadas en el interior de las placas. Aunque es importante mencionar que pueden llegar a ocurrir sismos en el interior de las placas que se denominan interplaca, así como también pueden manifestarse movimientos sísmicos por la presencia de vulcanismo. Dentro del área de la tectónica, las fuentes concretas de los sismos son estructuras geológicas definidas, conocidas como fallas, cuya actividad es responsable de la liberación de energía ocasionada por un sismo.

Primeramente para el desarrollo del siguiente informe, es necesario introducir ciertos conceptos geológicos indispensables que permitirán obtener un óptimo aprovechamiento, y comprensión del tema en estudio, para luego realizar el análisis de los resultados obtenidos.

A principios del siglo pasado, se formuló la teoría de la deriva continental, la cual se propuso en base a las observaciones realizadas entre las que destacan, análisis geográficos entre las similitudes de las costas atlánticas de Sudamérica y África, también, esta teoría se fundamentó con la presencia de los mismos tipos de fósiles, y regiones, y la manifestación de los mismos tipos de suelos y minerales a ambos lados del atlántico, así como, evidencias de que ciertas partes sufrieron de glaciación en el mismo periodo de tiempo. La prueba definitiva de la deriva continental fue aportada por los geofísicos, gracias a los estudios del magnetismo natural en las rocas y del campo magnético terrestre. Muchas rocas por su composición química al momento de sufrir la meteorización, adquieren una carga magnética, cuya orientación coincide con la que tenía el campo magnético durante la formación. El análisis mediante paleomagnetismo permitió, determinar la

ubicación de los continentes durante la meteorización de las rocas, demostrando así, que durante la era Paleozoica, todos los continentes habían estado unidos en una única masa terrestre que se denominó Pangea, que significa “toda la Tierra”. Otro fenómeno que se estudió, es la expansión del fondo oceánico, existen cordilleras paralelas entre sí, conocidas como dorsales oceánicas, estas se deben al surgimiento de magma en medio de la corteza oceánica debido a la separación entre dos placas tectónicas.

Este magma que sale al océano se solidifica y forma nueva corteza, por lo tanto, estas zonas son más jóvenes que las zonas más alejadas de la dorsal oceánica. En algunos puntos la dorsal puede llegar a emerger del océano formando islas volcánicas. Las zonas de fractura de las dorsales, son las grietas que atraviesan las crestas, marcando la dirección del deslizamiento según el rumbo de las fallas transformantes, resultado de la compensación de las tensiones a que se somete la dorsal por las diferentes velocidades a que se produce la expansión del fondo oceánico.

Una vez establecido el concepto de dorsal oceánica, surge la incógnita de cómo la Tierra mantiene su perímetro si el fondo oceánico se continúa expandiendo, por lo tanto, debe ser necesario que también la corteza oceánica se transforme de manera continua, manteniendo así el perímetro constante por el principio de la conservación de la energía.

Como menciona Martínez Catalán, “los geofísicos Wadati y Benioff habían descubierto en los años cincuenta que los focos de los terremotos producidos en las profundas fosas oceánicas que rodean el Pacífico se distribuían en profundidad en una banda cuyo buzamiento era de unos 45° y que alcanzaba una profundidad de 700 km. Poco antes, Gutenberg y Richter habían sugerido que las fosas se debían a cabalgamientos, pero ahora quedaba claro que no eran cabalgamientos

normales, sino las zonas donde la corteza se destruye introduciéndose en el manto. Se denominan zonas de Benioff o de Wadati-Benioff a estas zonas donde la corteza oceánica se consume. También se conocen como zonas de subducción, un término que significa que algo es conducido hacia abajo.” En estas zonas la corteza oceánica se hunde en la corteza continental y se destruye fundiéndose en el magma. Las placas al encontrarse en contacto van acumulando energía cinética hasta el momento de la ruptura, la cual se forman ondas en el subsuelo ocasionando que se manifieste una aceleración, y se perciban los movimientos sísmicos.

La deriva de los continentes, se explica a base de dos fenómenos combinados, observando la figura 1, se puede apreciar cómo se crea corteza oceánica en las dorsales y se consume en las fosas o zonas de subducción. De hecho, lo que se crea y se destruye no es sólo la corteza, sino toda la litosfera oceánica. También se puede apreciar, como son las corrientes de convección en el manto terrestre, y como son las responsables de causar el movimiento de las placas terrestres. Esto sucede por la diferencia de densidades cuando se enfría y se calienta la litosfera producto de la temperatura del núcleo terrestre.

El movimiento de las placas, su creación, destrucción o el deslizamiento de estas, configuran lo que se denomina la tectónica de placas.

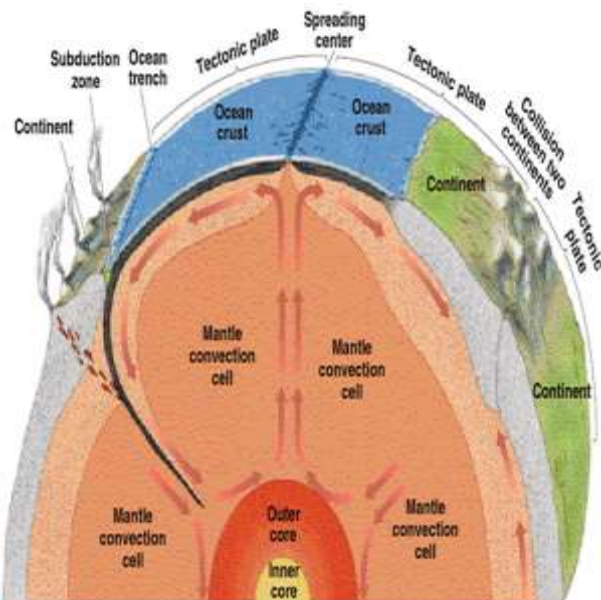


Figura 1. Corte transversal de la Tierra mostrando dorsales y subducción de las placas
Fuente: Google imágenes

Las placas tectónicas las cuales son rígidas, se encuentran en constante movimiento sobre la parte plástica del manto terrestre denominada astenosfera. Según se puede apreciar en la figura 2, la litosfera se compone de una capa rígida de alrededor de 100 km de profundidad, la corteza presenta una profundidad de 7-70 km dependiendo de si la corteza es oceánica o terrestre. La corteza terrestre es menos densa que la corteza oceánica y es de mayor edad. Por lo cual al momento de interactuar se da el hundimiento o subducción de la corteza oceánica en la terrestre.

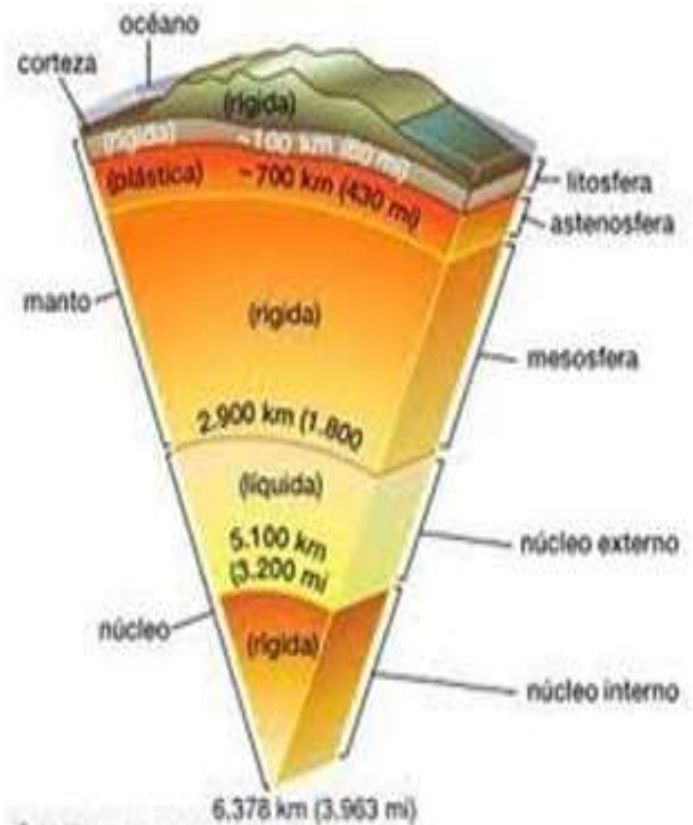


Figura 2. Estructura interna de la Tierra
Fuente: Google imágenes

Como se mencionó, y se puede observar en la figura 3, la litosfera se encuentra fragmentada en 15 placas principales, las cuales están en continuo movimiento generando fricciones entre ellas y son la causa de fenómenos sismológicos y volcánicos. Esa es la causa de que haya zonas del planeta más propensas a sufrir los mencionados acontecimientos. Las flechas en la figura 3, muestran los diferentes tipos de contactos presentados en los márgenes de las placas.



Figura 3. Placas tectónicas principales
Fuente: Google imágenes

Cuando se da la interacción entre las placas pueden suceder tres tipos de contactos, que ocurra una separación entre estas, lo que se llama divergencia; que se presente una convergencia en donde una de las placas se subduce en la otra y los márgenes de transformación que consiste en un deslizamiento en el plano horizontal de las placas. En los márgenes de extensión, las placas se separan una de la otra, generando la salida de magma al océano el cual se solidifica y ocasiona las dorsales oceánicas. En los márgenes de subducción, una placa se introduce en el manto por debajo de otra, produciéndose la destrucción de una de las placas y su fusión en el manto terrestre. Este tipo de márgenes se clasifica en tres tipos de interacciones, las cuales son, entre placas continentales originando la formación de cadenas montañosas. Choques continente con corteza oceánica, en donde, causa la subducción de la placa oceánica en la placa continental. Y por último, la colisión entre placas oceánicas que se genera la subducción de una placa en el manto, ocasionando una depresión en el lecho oceánico llamada fosa. En los márgenes de transformación, las placas se deslizan horizontalmente, una con respecto a la otra, sin que se produzca la destrucción de las mismas.

En la roca estos movimientos tectónicos causan plegamientos, fallos, fracturas, hundimientos, o levantamientos, que dan lugar a

una serie de estructuras geológicas. Estos procesos conocidos como metamorfismo ocurren precisamente en la litosfera, específicamente dentro de la zona de plasticidad que es debajo de los 15 km de profundidad, antes de los 15 km se llama la zona de fracturación y deformación. Así en la zona de fracturación se presentan elementos de deformación y elementos de rotura de la roca. Los elementos de deformación corresponden a planos y plegamientos. Y las roturas se refieren a estructuras conocidos como diaclasas, roturas y fallas.

Lo más simple que puede ocurrir es que las capas se inclinan, también se pueden doblar ocurriendo los plegamientos, pero también las rocas pueden empezar a fisurarse, dando lugar a las diaclasas o juntas, ya que están pegadas unas con otras.

En algunos casos no sólo existe la fisura, sino también una separación, esto se conoce como fractura. Si existe un movimiento diferencial de los bloques con separación, se le llama falla. Las fallas se pueden definir como rupturas en las rocas con movimiento o desplazamiento detectable. Existen varios tipos de fallas en la naturaleza y algunas veces afloran superficialmente. Estas son superficies a lo largo de la cuales, la roca se quiebra o se desplaza. Cuando los bloques no soportan el esfuerzo al que están sometidos, se separan y se libera energía en forma de ondas. Esta es una causa de los sismos por acomodamiento. Este desplazamiento volverá a repetirse a lo largo de la zona de fallas.

Las fallas se pueden clasificar según su naturaleza en activas o pasivas, así como por su movimiento. Cuando sucede un desplazamiento este puede ser horizontal al sentido de las manecillas del reloj denominado como un movimiento dextral, o al contrario denominado sinistral. También el desplazamiento se puede presentar en forma vertical produciéndose un buzamiento o un ángulo entre el plano de falla y el plano horizontal. Como se puede apreciar en la figura 4, las fallas se clasifican en normales e inversas. Una manera de identificarlas, en el caso de la falla inversa, es si se realiza un sondeo se puede identificar el mismo estrato a un diferente nivel, en cambio en las fallas normales no se encuentra el estrato de referencia, ya que presenta un buzamiento menor a 90 grados. Las fallas normales se deben a fuerzas de tensión, por su parte las fallas inversas se deben a fuerzas de compresión.

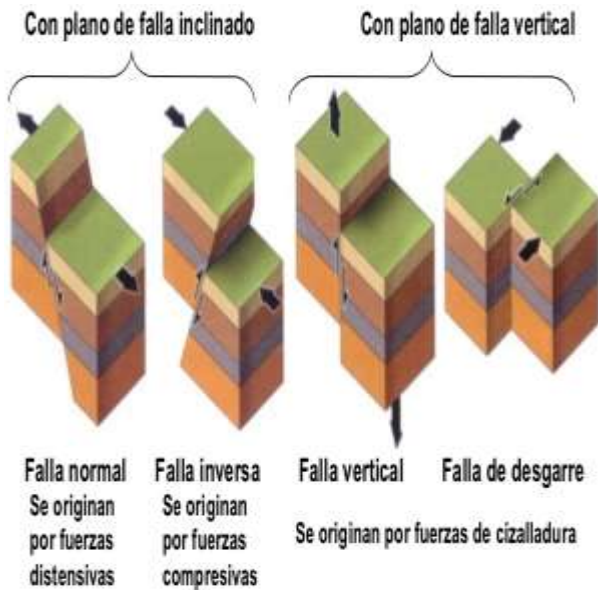


Figura 4. Tipos de fallas según el desplazamiento
Fuente: Google imágenes

Marco tectónico regional

Como se mencionó anteriormente, la litosfera se encuentra fragmentada en 15 placas principales, flotando sobre la parte plástica del manto terrestre denominada astenósfera, e interactuando constantemente entre ellas, provocando los movimientos sísmicos.

Costa Rica se encuentra ubicada en el cinturón de fuego del Pacífico, en una zona altamente sísmica. Con respecto a la región centroamericana, esta se encuentra influenciada por la interacción de la placa del Coco con la placa de Caribe, en donde, la placa del Coco por tener una densidad mayor, se subduce en la placa continental, y como consecuencia se forma una fosa, en el caso regional, la fosa mesoamericana. Este proceso puede llegar a desencadenar la activación de fallas locales provocando sismos interplaca.

De acuerdo a lo mencionado en Resis II “Un aspecto relevante de la placa del Coco que se subduce bajo la del Caribe en Costa Rica, es la existencia de dos morfologías superficiales diametralmente diferentes en edad y en rugosidad. La que se subduce bajo la península de Nicoya es de morfología suave y de una edad de 22-24 Ma, mientras que la que se subduce bajo la parte central y SE del país, es de morfología abrupta a rugosa, con edades de 15-19 Ma.”

Respecto a los ángulos de subducción de la placa del Coco y a la profundidad en que ocurre, Resis II concluye:

- Para los primeros 50 km su ángulo promedio varía de 25° en el NW a 55° en el SE, siendo en la parte central de unos 25°.
- Para la profundidad de los 100 km, su ángulo decrece de NW hasta la parte Central (de 48° a 32° desapareciendo en el SE).
- Para los 150 km, igualmente su ángulo decrece de NW a SE, cambiando de 70° a 61°.
- Y para los 200 km, su ángulo es de unos 66° en el NW, e inexistente en la región Central y SE.

Referente a la profundidad de la zona de subducción costarricense, la base de datos sísmológicos disponibles al día de hoy permite establecer que, sin lugar a dudas, las profundidades hipocentrales decrecen de NW al SE.

- La zona de subducción en el NW está bien definida hasta los 180 km, pudiendo inclusive observarse sismos hasta los 225 km y 280 km.
- La zona central posee sismos bien definidos hasta profundidades de unos 135 km y pobremente hasta unos 150 km.
- La zona SE posee una sísmicidad bien definida hasta unos 70 km, regularmente hasta 100 km.”

Habiendo caracterizado las particularidades de la zona de subducción de la placa del Coco, la cual es responsable de una gran cantidad de los sismos que experimenta el territorio nacional, se proceden a identificar las estructuras relevantes dentro del marco tectónico regional. Como por ejemplo, importante tomar en cuenta en la zona sur del país, se encuentran la microplaca de Panamá, la cual es una falla difusa, y la placa de Nazca que tiene un movimiento traslacional.

Montero (2001) define la microplaca de Panamá como “un bloque tectónico que limita al norte con la placa Caribe a lo largo del Cinturón Deformado del Norte de Panamá; al este con la placa suramericana, a lo largo del Cinturón Deformado del Este de Panamá; al sur con la placa de Nazca, a lo largo de una zona con convergencia oblicua en su sector suroeste y de desplazamiento sinistral hacia el sureste.” El límite oeste de la microplaca de Panamá se encuentra en la frontera entre Costa Rica y Panamá.

En la zona sureste de Costa Rica se da lo que se conoce como un punto triple, que es la interacción entre tres placas tectónicas, las cuales desencadenan una fuerte actividad sísmica.

“El país se puede dividir en dos provincias sismotectónicas, la noroeste que se encuentra localizada dentro de la placa Caribe, y la sureste

que se ubicaría dentro de la microplaca Panamá.” Montero (2001). Estas características son representadas en las figura 5 y 6. En donde se pueden apreciar las dos provincias sismotectónicas mencionadas, así como las principales estructuras del marco tectónico regional.



Figura 5. Marco tectónico principal de Costa Rica
Fuente: Resis II

Dentro de estas estructuras, las más relevantes en el caso del estudio realizado, se encuentran, el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica, Zona de Fractura de Panamá, Cinturón Deformado del Norte de Panamá.

Montero (2001), define el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR) como un sistema de fallas reciente, difuso y ancho localizado entre la placa Caribe y la microplaca de Panamá, el cual es transversal a la región central de Costa Rica y localizado entre la fosa Mesoamericana (lado Pacífico) y el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (sector Caribe).

La zona de fractura de Panamá (ZFP), es un sistema de fallas, del tipo transformante dextral que establece un límite entre las Placas del Coco y Nazca. Por esta razón es una zona muy activa de rumbo Norte Sur y movimiento lateral derecho.

Según Resis II “Debido a la subducción de la ZFP, se induce en la placa cabalgante continental la formación de fallas de tipo igualmente dextral, como son las fallas Canoas y

Media.”.

El Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP) es una zona ancha activa, localizada en el margen Caribe de Panamá y que se extiende paralelamente sobre la costa, desde Colombia hasta el este del Valle Central de Costa Rica. Resis II menciona “El extremo occidental del CDNP coincide con un lineamiento gravimétrico de rumbo NE en Costa Rica, y una zona de fallamiento difuso que parece extenderse desde la costa Pacífica hasta las tierras bajas del Caribe Norte”.

En el extremo este del CDNP la placa Caribe se introduce debajo de la costa Caribe de Panamá generando sismos por subducción.

En la figura 5 y 6, se aprecia en detalle los movimientos de las placas y las fallas principales, como se mencionó anteriormente la placa del Coco se subduce en la placa continental, provocando esfuerzos de compresión el cual tiene repercusiones y activan las fallas locales.

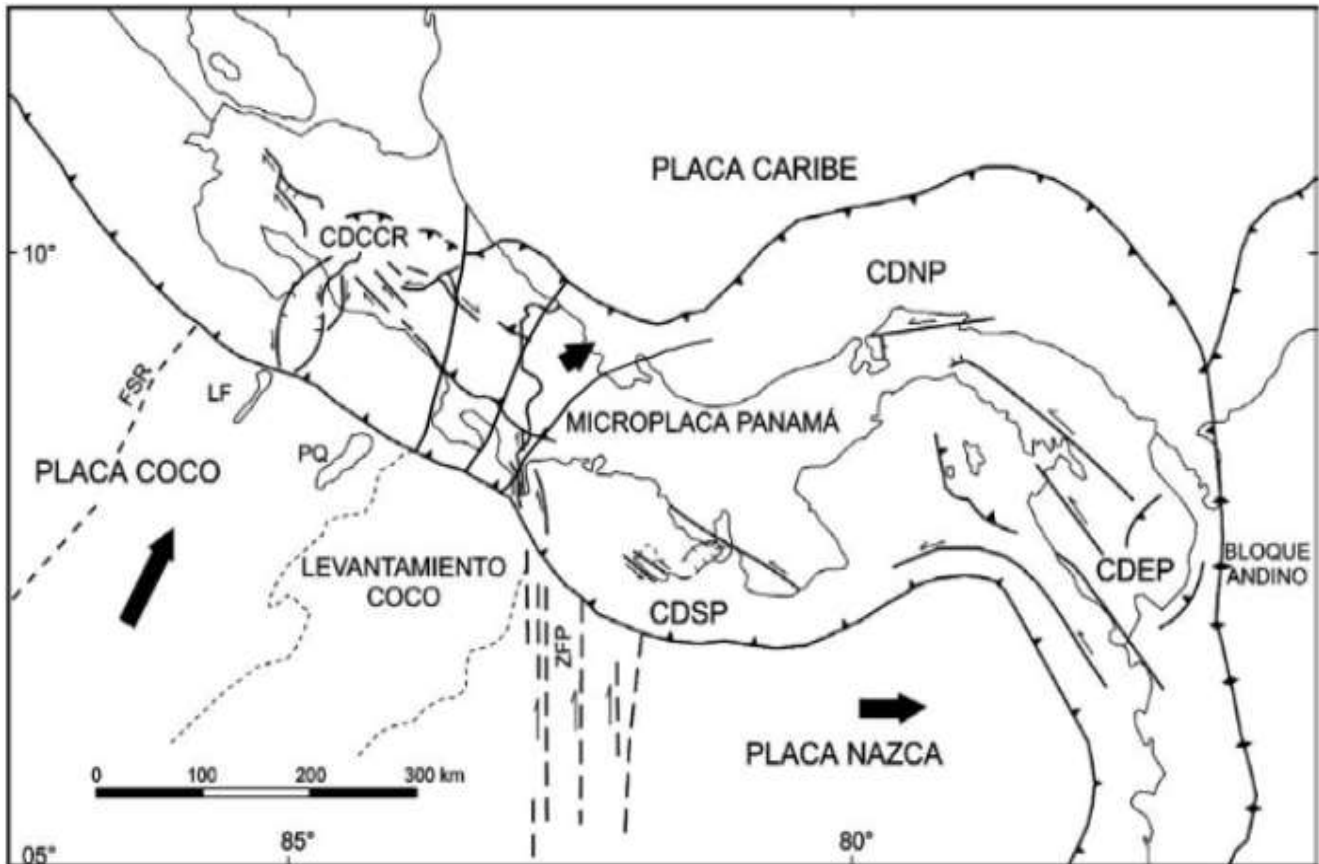


Figura 6. Marco tectónico regional
Fuente: Montero (2001)

Este sistema de fallas locales, mostrados en la figura 7, abarca el territorio nacional, donde se han identificado más de 150 fallas con el potencial de generar eventos sísmicos. Muchas de estas fallas son responsables de eventos significativos como el terremoto de Golfito (1983).

Se puede concluir que el territorio que abarca Costa Rica se encuentra con un marco tectónico muy activo y complejo, dentro de las características que presenta el país, es que no existe una longitud de falla tan extensa como en el caso de Chile, San Andrés, por la tanto es

improbable que se den sismos de magnitudes mayores a 7 Mw como sucede en estas zonas. Sin embargo, pueden llegar a ocurrir sismos superficiales con magnitud moderada que pueden llegar a ser devastadores; otro factor a tomar en cuenta es que la roca que se subduce, al ser más joven que en las áreas mencionadas, es una roca más suave y esta se fractura fácilmente.

Es determinante conocer el grado de amenaza sísmica en una región, por lo tanto, se describen las principales fallas tectónicas que afectan la zona sur del país.



Figura 7. Marco Tectónico de Costa Rica
Fuente: Resis II

Marco tectónico local

La zona sur del país, se caracteriza por presentar la unión de un punto triple donde convergen las placas de Nazca, Coco y la microplaca de Panamá. Esto genera grandes sistemas de fallas las cuales abarcan la totalidad de la zona sur de Costa Rica.

Dentro del marco tectónico local se destaca la presencia de tres fallas importantes por su longitud y el potencial de generar sismos de magnitud mayor a 7,0 Mw, estas son la falla Golfito, la falla Longitudinal y la Falla Media.

a) Falla Golfito

La falla Golfito presenta una longitud aproximada de 50 km, capaz de generar sismos con magnitud de 7,0 Mw. La falla presente en esta zona se clasifica como inversa.

Las comunidades de Golfito, Río Claro, Puerto Jiménez, Ciudad Neily, pueden llegar a experimentar aceleraciones de 0,5 g a 0,6 g. Además de presentar intensidades IX en Golfito, VIII en Puerto Jiménez, Río Claro y Ciudad Neily.



Figura 8. Ubicación de la falla Golfito

Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

b) Falla Media

Presenta una longitud estimada de 50 km, es del tipo transcurrente dextral. La falla Media tiene el potencial de generar sismos de 7,0 Mw, desencadenando aceleraciones de 0,5 g a 0,6 g en la zona epicentral y con intensidades de IX en punta Burica. Según Resis II “La falla media tiene un movimiento horizontal dextral y pertenece al sistema de fallas N-S. Se ubica del lado oeste de la península de Burica”. Esta falla pertenece al sistema generado por la influencia por la zona fractura de Panamá el cual es una de las áreas con mayor concentración de sismos del país.



Figura 9. Ubicación de la falla Media

Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

c) Falla Longitudinal

Tiene el potencial de generar sismos de hasta 7,9 Mw, asumiendo una ruptura total de la falla con intensidades de IX-X en la zona epicentral. Generando aceleraciones de al menos 0,5 g a lo largo de la zona de ruptura. Esta falla tiene una longitud aproximada de 150 km, que se extienden desde Panamá hasta Quepos en el Pacífico Central. Según los registros del laboratorio de ingeniería sísmica, “la falla se interpreta como parte de un sistema de fallas con predominancia de movimientos dextrales, o un sistema de fallas inversas”.



Figura 10. Ubicación de la falla Longitudinal

Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

Sismicidad

Cuando en un instante dado se libera la energía que ha estado acumulada en el interior de la Tierra, esta produce un gran esfuerzo, el cual provoca una deformación o agitación de las partículas que componen el medio. Si este esfuerzo excede su resistencia, se produce una ruptura. Esta deformación se produce en un estado elástico, dando como resultado que se produzcan las ondas sísmicas. Las ondas sísmicas se propagan desde la ruptura en todas direcciones sobre la superficie y en el interior de la Tierra.

Dentro de las ondas internas se encuentran las ondas principales o “P”, y las ondas secundarias o “S”. Las ondas “P” son las primeras que son registradas por los sismógrafos, estas vibran en el sentido de la propagación de la onda, comprimiendo y expandiendo el medio por el que se desplazan, estas pueden trasladarse por un medio tanto sólido como líquido. Se les denomina primarias, longitudinales o de compresión.

Las ondas secundarias, son las que ocasionan mayor daño a las estructuras al presentar una mayor amplitud, hacen vibrar una partícula de forma perpendicular a la trayectoria de las ondas, en donde son afectadas lateralmente produciendo esfuerzos de cortante, estas no puede propagarse por un medio líquido. Se les denomina ondas transversales, secundarias o de cizalla

Las ondas de superficie por su parte, se trasladan sobre la corteza terrestre y se propagan hasta los 30 km de profundidad. Las primeras en quedar registradas son las ondas denominadas Love “L”, las cuales se desplazan de forma similar a las ondas “S”, haciendo vibrar la partícula horizontalmente en sentido perpendicularmente a la trayectoria, sin movimiento vertical.

Las ondas Rayleigh y ondas “R”, son semejantes a las que se forman en la superficie de un líquido, haciendo vibrar una partícula sobre un plano en dirección a la trayectoria de las ondas, con un movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente.

La longitud de las ondas internas es mayor a las ondas de superficie, ya que estas últimas se trasladan sobre la corteza terrestre, correspondiente a un medio mucho más denso, mientras que las ondas internas se trasladan en la litosfera, sin embargo, las ondas Love y Rayleigh

son las que ocasionan un mayor daño en el área epicentral.

Los distintos parámetros que presenta un sismo se clasifican en estáticos y dinámicos.

Entre los parámetros estáticos se encuentran la profundidad, el foco, hipocentro y el epicentro. La profundidad y el foco, corresponden al lugar puntual donde ocurre el evento. Este se localiza dentro de la placa tectónica. Con respecto al epicentro, este se refiere a la proyección del hipocentro en la superficie. Otros parámetros relacionados son la distancia focal o hipocentral y la distancia epicentral.

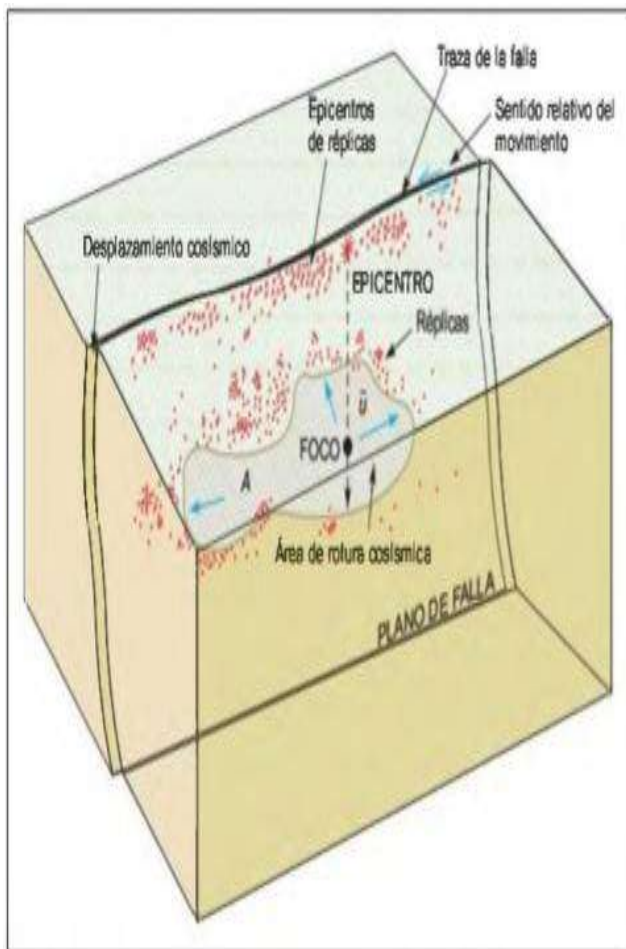


Figura 11. Detalle de una falla sísmica
Fuente: ingeniería sísmica

Con respecto a los parámetros dinámicos entre estos se encuentran, el tiempo u hora del evento, así como a la duración del mismo, así como los relacionados con estos. La duración del evento depende de la magnitud presentada, conforme mayor es la magnitud del sismo, mayor es la

duración de este. La magnitud es una medida cuantitativa correspondiente a la máxima amplitud en la onda, y alude a la energía liberada por el sismo. Por lo tanto este corresponde a un único valor localizado generado desde el foco del sismo.

La escala magnitud es una escala logarítmica, lo cual se asigna un número de 1-10 para reflejar la energía que se manifiesta en un sismo.

Entre las escalas, la que predominó en un principio fue la escala Richter, sin embargo, esta solo funciona en California ya que se calculó según con características propias de ahí, y esta escala a partir de valores mayores a 7 presenta una saturación de magnitudes correspondiente a los otros métodos, ya que no refleja la intensidad presentada, por lo que se desarrollaron distintas maneras que fueran más generalizadas.

Existen diferentes maneras de expresar la magnitud de un sismo, una es correlacionar la energía liberada durante el sismo o el momento sísmico, obteniendo la magnitud momento M_w . Otra manera utilizada comúnmente es mediante la magnitud registrada por medio de las ondas sísmicas.

Las magnitudes M_b y M_s , se basan en mediciones ya sea de la amplitud generada por las ondas de cuerpo y las ondas de superficie respectivamente. Esta se debe a los distintos tipos de comportamiento de las ondas, ya sea si el foco del sismo es somero o profundo.

Por su parte la intensidad se relaciona con los efectos sobre las estructuras y la percepción de las personas ante un evento sísmico. Esta depende de la distancia, por lo general cuanto más cerca del epicentro, la intensidad es mayor, pero se puede ver afectada por efectos de sitio, por ejemplo, la amplificación de las ondas en un estrato mal consolidado o en suelos blandos, o la disminución si el lugar se encuentra sobre un estrato de suelo no cohesivo. A cuanto mayor distancia del epicentro se aumenta la amplitud de onda.

La intensidad se puede registrar mediante dos tipos de medidas, las escalas macro sísmicas y las determinadas mediante instrumentación.

Las escalas macro sísmicas como la Mercalli Modificada, pueden llegar a ser subjetivas, ya que se basa en la percepción del sismo y se realiza mediante llamadas telefónicas. La escala Mercalli Modificada, consta de 12 niveles de intensidad, las cuales están explicadas en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Escala Mercalli Modificada	
Grado	Descripción
I – Muy débil	Imperceptible para la mayoría bajo condiciones normales; perceptible en condiciones favorables.
II - Débil	Perceptible solamente por algunas personas en reposo, particularmente por aquellas que se encuentran ubicadas en niveles superiores de edificios altos. Los objetos colgantes pueden oscilar.
III - Leve	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en niveles altos de los mismos. Muchas personas no lo perciben como un terremoto. Los automóviles en reposo se mueven ligeramente; sensación pasiva pero perceptible, similar al paso de un camión pequeño.
IV - Moderado	Perceptible durante el día por la mayoría de personas que se encuentran en el interior de edificios; por pocas personas en el exterior de los mismos. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbaciones en cerámica, puertas y ventanas producto de las vibraciones. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación similar al paso de un camión grande.
V – Poco fuerte	Sacudida sentida casi por todo un país o zona geográfica. Algunas piezas de vajilla, cerámica y/o cristales de ventanas se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo. Si es de noche, muchas personas despiertan.
VI - Fuerte	Sacudida sentida por todo el país o zona geográfica. Algunos muebles pesados se mueven, cambian de sitio y al hacerlo causan daños leves, en especial en viviendas de material ligero. Puede presentarse temor, y las personas salen de los interiores hacia espacios abiertos

	debido a esto.
VII – Muy fuerte	Ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños de leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Perceptible por personas que van en vehiculos en movimiento. Las personas huyen a zonas abiertas.
VIII - Destructivo	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes. Daño severo en estructuras pobremente construidas. Muebles completamente sacados de lugar por la vibración. La conducción de vehículos se dificulta.
IX – Muy destructivo	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes desplomadas. Grandes daños en importantes edificios desplazados fuera de los cimientos. Grietas en el terreno. Daño de fundaciones.
X - Desastroso	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. Puentes destruidos; represas dañadas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Vías ferroviarias dobladas. Tuberías subterráneas destruidas. Grandes deslizamientos de tierra. El agua rebasa el borde de los ríos.
XI – Muy desastroso	Pocas estructuras de mampostería, si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Rieles de los ferrocarriles dañados severamente. Ruptura de tuberías grandes.
XII - Catastrófico	Destrucción total con pocos supervivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Grandes masas de roca desplazadas.

Fuente: USGS. Desarrollado en Excel 2007

Otra escala macro sísmica es la JMA, la cual es la utilizada en el laboratorio de ingeniería sísmica,

esta es la escala de la agencia meteorológica japonesa, y se diferencia con respecto a la escala de Mercalli Modificada en que la JMA se calcula con el registro de la aceleración del sismo en el sitio y no en base a la percepción del sismo. Esta escala también cuenta con niveles según la intensidad del sismo, la diferencia es que presenta ± 5 , ± 6 , en donde a partir del 5 se considera que se podrían presentar daños estructurales. Otro tipo de medidas de intensidad son las derivadas de mediciones instrumentales como la aceleración pico, la cual es la máxima registrada en un acelerograma, también se encuentra la aceleración pico efectiva, que se basa en la respuesta de los edificios. La aceleración pico efectiva, es justamente la empleada por el Código Sísmico de Costa Rica, para determinar el coeficiente sísmico.

Una buena medida de intensidad es la que correlacione el daño en todos los eventos sísmico, ya que en obras civiles es indispensable saber cómo se va a percibir el sismo en la superficie. El término “temblor”, al igual que “sismo”, se refiere, a un evento sísmico que no ocasiona daños materiales o económicos perceptibles ni pérdidas humanas. Se le llama “terremoto” al evento, cuando este ocasiona daños perceptibles de cualquier tipo en la sociedad humana, incluyendo víctimas o heridos.

Existen diferentes maneras de obtener el registro de los distintos parámetros manifestados durante un sismo, se pueden registrar las ondas sísmicas, mediante un sismógrafo, y derivadas de estas se obtienen la distancia y magnitud del sismo. También se es posible registrar las aceleraciones mediante un acelerograma, el cual registra la aceleración del terreno.

Según las intensidades registradas se pueden graficar líneas, llamadas isosistas clasificando las distintas zonas, por lo general, la intensidad tiende a disminuir conforme se aleja del epicentro, pero pueden suceder efectos de sitio, en donde, las ondas se pueden amplificar debido al tipo estrato presentado.

Registros sismos importantes

Costa Rica se encuentra en una región tectónicamente activa, en donde se da la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Caribe, además de que en la zona sur convergen

la micro placa de Panamá y la placa de Nazca; consecuente de esta interacción se da la formaciones de diversos sistemas de fallas que cubren el territorio nacional. A lo largo de la historia se han realizado registros de los sismos ocurridos a lo largo del país, en donde antes del siglo XX, la intensidad se registra en base a la percepción de los sismos y de los fenómenos presentados, como el aumento en las mareas, o la aparición de grietas en el suelo. Fue hasta finales del siglo XX donde empieza el periodo instrumental, y se logran registrar con mayor detalle los sismos manifestados. De acuerdo a Resis II “Algunos de los sismos más importantes producto de la actividad sísmica de la zona de subducción se encuentran en la zona sur del país y se obtiene la ocurrencia de sismos con magnitudes mayores a 7 Mw, tendiendo a suceder alrededor de 20-40 años”.

Cuadro 2. Principales sismos ocurridos en la zona sur de Costa Rica

Fecha	Intens. Máx. (MM)	Mag (Ms)	Fuente sísmica (Falla)	Foco (km)
03/1579	-	-	Osa	-
27/12/1803	VII	7,0-7,7	Osa	-
04/08/1853	VII-VIII	7,0-7,5	Osa	-
29/05/1879	VII-VIII	7,0-7,5	Longitudinal	-
20/12/1904	VIII	7,7	Golfo Dulce	-
18/7/1934	VIII-IX	7,6	Z.F.P	25
5/12/1941	VIII-IX	7,6	Osa	26
12/3/1962	V	6,8	Golfito	-
1/7/1979	VI	6,4	Z.F.P	5,3
3/4/1983	VIII	7,3	Golfito	26
30/7/2002	VII	6,2	Z.F.P	4,2
25/12/2003	VI	6,6	Falla media	26
4/2/2004	VI	5,8	Falla media	14
17/8/2018	VI	6,2	Golfito	21
25/6/2019	VII	6,4	Z.F.P	29

Fuente: Ovsicori. Desarrollado en Excel 2007

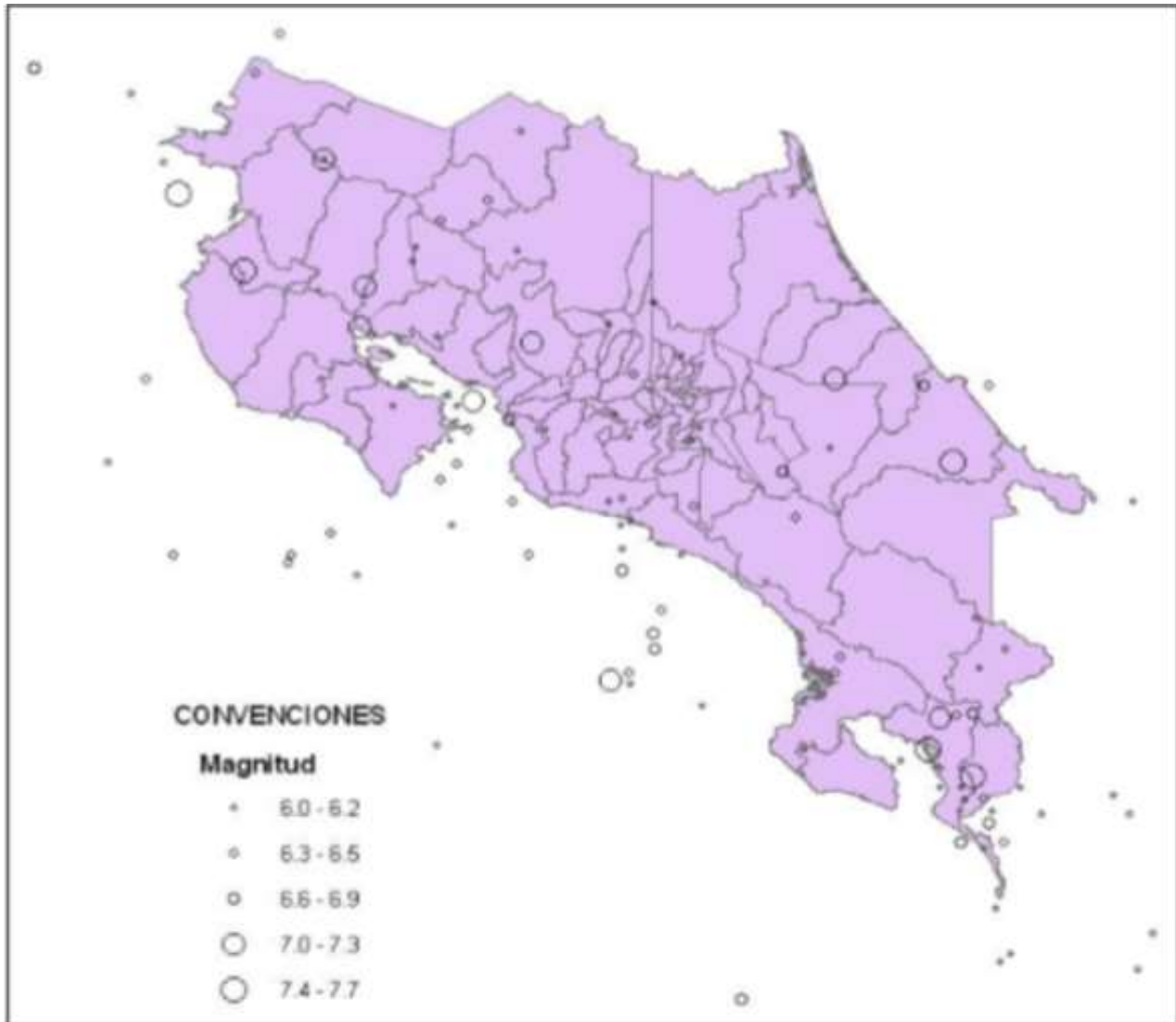


Figura 12. Sismos históricos magnitudes mayores a 6 Mb
Fuente: <https://rsn.ucr.ac.cr>

En la figura anterior se observa la concentración de los sismos mayores a 6 Mw, en donde se aprecia que la zona sur del país tiene una alta concentración producto de la zona de subducción.

A continuación, en base a los registros de la Red Sismológica Nacional, Ovsicori y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica se presenta de forma cronológica los principales eventos sísmicos ocurridos en la zona sur del país. Tomando con mayor relevancia el área del Golfo Dulce, identificando las consecuencias, los distintos parámetros presentados así como la causa de generación del sismo con el propósito de establecer la amenaza sísmica latente. En el

apéndice 1, se encuentra una descripción de los últimos sismos ocurridos.

29 de mayo de 1879

El epicentro ocurrió a las 18:36:00 hora local, en el Golfo Dulce con una magnitud de 7,0 Ms y una intensidad VII-VIII en David, Panamá. Se tienen tres posibles fuentes, las cuales son la zona sísmica de Osa y la falla Golfito, correspondiente con la zona interplaca Coco-microplaca Panamá; la Falla Longitudinal o la Zona de Fractura de Panamá. Ocurrieron dos sismos importantes

posteriores y con presencia de réplicas hasta un mes después de ocurrido el evento principal.

Entre los daños registrados se contabiliza, en San José, la Catedral Metropolitana fue parcialmente destruida. En Grecia se presentó el colapso de estructuras. En la comunidad de Puerto Jiménez antes conocida como Santo Domingo colapsaron 3 casas y en David de Panamá 7 casas, además la carretera resultó con daños.

20 de diciembre de 1904

Tuvo una magnitud de 7,7 Ms y se produjo en el Golfo Dulce.

18 de Julio de 1934

Tuvo una magnitud de 7,6 Ms y una profundidad de 25 km. El epicentro fue en el Golfo de Chiriquí, Panamá, a las 19:36:28 hora local, ocasionado por la zona de Fractura de Panamá. Se registraron 4 réplicas mayores a 6 Ms.

Presentó una intensidad máxima de IX escala Mercalli Modificada, la cual fue registrada en Puerto Armuelles, y V en Ciudad de Panamá y San José localizados a más de 300 km del epicentro.

Como consecuencia del evento el muelle de Puerto Armuelles resultó con daños, además de gran cantidad de daños en la costa suroeste de Panamá y en la frontera con Costa Rica.

Entre las características presentadas es que el sismo generó un pequeño tsunami, en donde, afectó Bahía Honda, el este del Golfo de Chiriquí. El pico de la amplitud de la onda fue de 0,6 m en donde causó leves daños en la costa del Golfo de Chiriquí.

5 de diciembre de 1941

Tuvo una magnitud de 7,6 Ms ocurrió a las 14:46:00, a una profundidad de 26 km, el cual el epicentro se localizó en la región del Golfo Dulce 8,67 N 83,16 W

La intensidad máxima reportada fue de IX escala Mercalli Modificada y se presentó en el área de toda la Península de Osa y el Golfo Dulce, afectando los poblados de Puerto Cortés, Puerto Jiménez, Palmar y Golfito.

Se debió a la subducción (mecanismo focal inverso), el cual se reportaron 6 réplicas de al menos 6 Ms, incluyendo una de 6,9 Ms. Entre las consecuencias se incluyen, según los reportes del

diario La Hora, se presentaron personas heridas y siete personas fallecidas, dos personas en Palmar Norte, una en Palmar Sur y cuatro en Golfito. Entre los daños reportados se encuentran el colapso de casas, objetos de establecimientos comerciales, armarios, árboles, en Puerto Cortés se destruyó la escuela e inhabilitó la iglesia, además del atracadero y se presentaron daños en el andarivel de transporte de banano y en las líneas férreas. En Santiago de Panamá la escuela resultó colapsada, al igual que en Finca La Angelita. Se presentaron daños en lugares alejados, como Tibás, Heredia, Guadalupe, Atenas, San Miguel de Santo Domingo y en San José.

Entre los efectos geológicos presentados incluyen, licuefacción, grandes grietas en el suelo de alrededor 40 pulgadas de separación, por algunas de las grietas se presentó la salida de chorros de agua y la corriente de agua subterránea que salió a la superficie dejó grandes cantidades de arena fina.

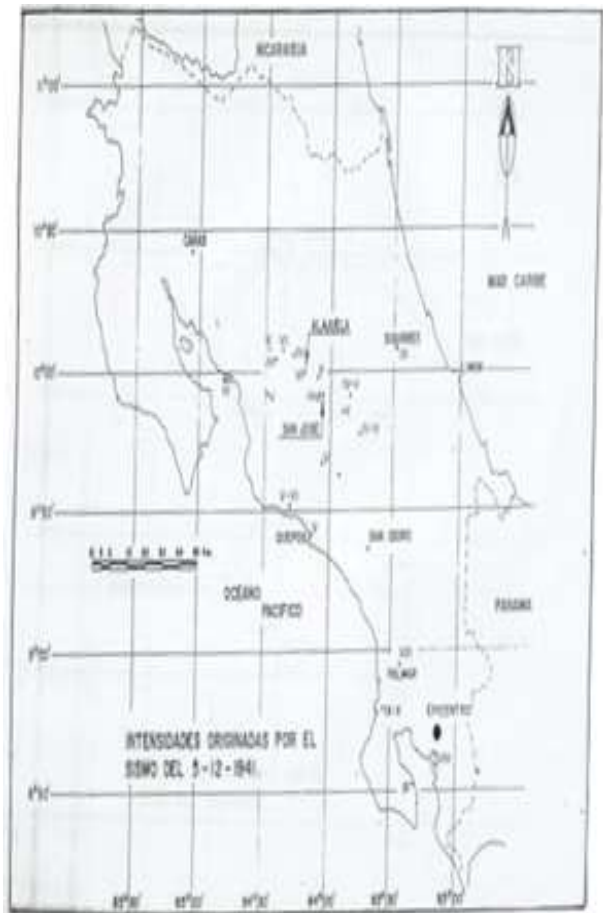


Figura 13. Epicentro sismo 5 diciembre de 1941
Fuente: Conferencia Amenaza sísmica zona sur

12 de Marzo de 1962

Según los registros del Ovsicori el 12 de marzo de 1962 ocurrió un sismo con una magnitud de 6,8 Ms, el cual generó una Intensidad V en Golfito y Coto 47.

1 de julio de 1979

Ocurrió a las 20:34:21 GMT y presentó una magnitud de 6,4 Ms, a una profundidad de 5,3 km, el cual el epicentro se localizó en 7,93° norte y 83,03° oeste. Se debió a la zona de fractura de Panamá.

La intensidad máxima reportada fue de VI en Paso Canoas y se sintieron 24 réplicas entre el 1 y el 7 de julio.

Se dio el colapso parcial de la escuela secundaria de Puerto Armuelles y de las instalaciones de Petroterminal, en la cual sufrió el derrame de petróleo. También se presentaron daños a mercadería y estructuras en los pueblos de la frontera sur del país.

3 de abril 1983

Ocurrió a unos 15 km al noreste de la ciudad de Golfito a las 20:50:26 hora local. Presentó una magnitud de 7,3 Ms y una profundidad de 26 km. Se originó por la subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe. El cual según los reportes de la red sismológica nacional “la distribución preliminar de hipocentros presenta una configuración típica de la sismicidad de las zonas de contacto entre placas convergentes.”

La intensidad Máxima reportada escala Mercalli fue de VIII, la cual fue en los poblados de Sierpe y San Francisco de Tinoco. En Boruca, Térraba, Golfito, Río Claro y Ciudad Neily se reportó una intensidad de VII y en el valle central fue percibida una intensidad de VI-VII.

Se presentaron más de 51 sismos con magnitudes mayores a 3,6 Ms. En el área de los poblados de Sierpe se informó de al menos 25 casas severamente dañadas y otras 44 con daños mayores. Las rampas de aproximación de los puentes de los ríos Olla Cero, Sesenta, Sábalo, La Bonita y Olla Uno, se asentaron hasta 12 cm. En Palmar Norte se presentó que las construcciones de bloque integral, sufrieron un desempeño muy pobre y se reportaron colapsos. En Ciudad Cortés colapsó el edificio de la Alcaldía. Se reportó una persona fallecida.

Entre los efectos geológicos presentados se incluyen el fenómeno de licuefacción en el área de Sierpe, finca Guanacaste, a lo largo del Golfo Dulce y el sector de la Península de Osa. A lo largo de la carretera interamericana sur se observó la caída de bloques y asentamiento de terrenos aluviales. Durante este terremoto ocurrió el fenómeno de luminiscencia en el cielo, el cual fue observado desde el valle Central hasta la cordillera de Talamanca.

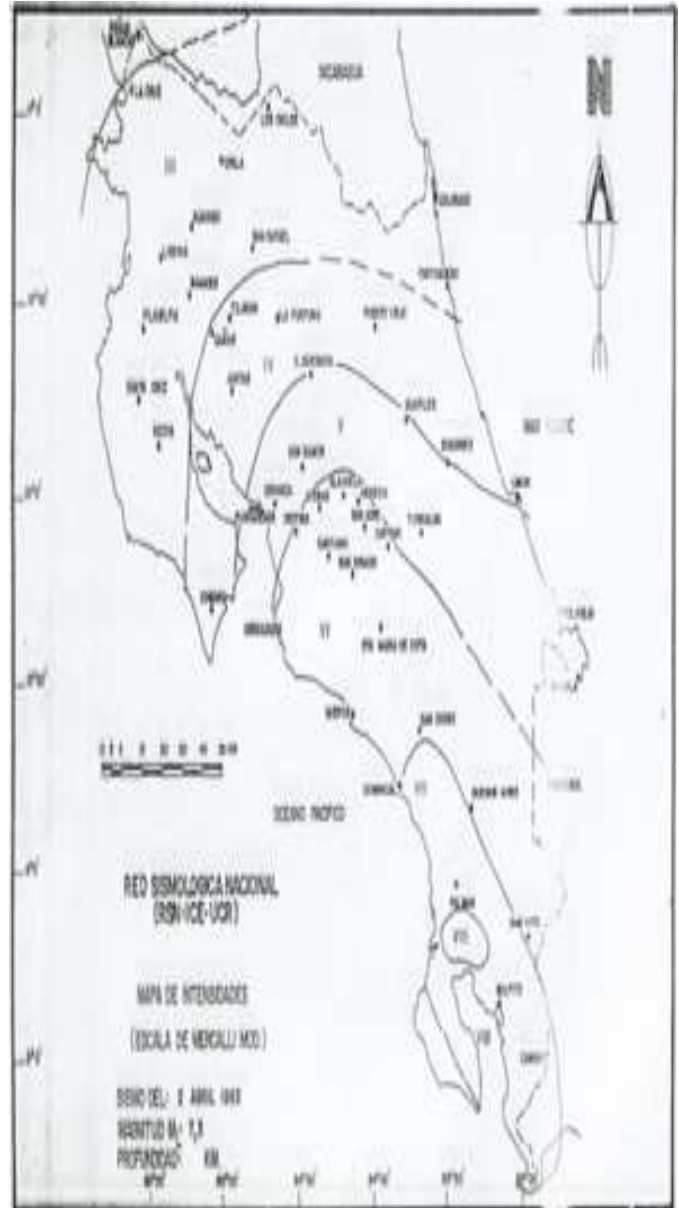


Figura 14. Epicentro e intensidades sismo 3 de abril 1983
Fuente: Conferencia Amenaza sísmica zona sur

Registros sismos recientes

30 de julio del 2002.

El movimiento sísmico se presentó a las 6:16 pm y tuvo una magnitud de 6,2 Mw; 5,9mb, a una profundidad de 4,2 km. Se localizó a 20 km al suroeste de Punta Burica, coordenadas (7,891 N y 82,973 W) en la zona de Fractura de Panamá.

Presentó una intensidad máxima (escala Mercalli) de VII en las poblaciones de Puerto Armuelles y Punta Burica. En Golfito, Laurel y David se registró como VI. Este sismo fue sentido en casi todo el territorio costarricense y el oeste de Panamá.

En la zona fronteriza se dio el colapso de muros de mampostería y daños menores en viviendas. El antiguo muelle bananero en Puerto Armuelles resultó con daños severos. Además los locales comerciales sufrieron la caída de mercaderías y ruptura de los vidrios de las ventanas. Se contabilizaron 8 personas heridas.

En Puerto Armuelles se lograron observar grietas de 2 a 3 metros de longitud y de 2 m de ancho.

25 de diciembre del 2003

El movimiento sísmico se produjo a las 1:11 am y presentó una magnitud de 6,6 Mw, con una profundidad de 26 km. El epicentro se localizó a 7 km al este de Puerto Armuelles y se debió a la Falla Media.

La intensidad máxima (escala Mercalli Modificada) fue de VII en Puerto Armuelles (Panamá), se tuvieron registros de VI en San Vito, Ciudad Neily, Golfito y Paso Canoas. Este sismo se llegó a sentir hasta la zona norte del país con intensidad III.

En Puerto Armuelles se contabilizaron dos personas fallecidas y el puente sobre el río Corredores sufrió algunos problemas en su rampa de aproximación y unas grietas. En Laurel se dio el colapso de una casa de dos plantas, en finca Naranjo 10 casas resultaron con daños parciales, se presentaron rajaduras de paredes, problemas en sus bastiones y también se vieron afectados los muros de retención. Las carreteras sufrieron agrietamientos en la carpeta asfáltica. El Hospital de Ciudad Neily, no presentó daños estructurales pero se tuvieron que movilizar pacientes en estado crítico. Se dio la presencia de licuefacción y se contabilizaron unos 20 sismos con magnitudes de entre 3,2 y 4,6 Mw, estos se sintieron en Puerto

Armuelles, Ciudad Neily y Laurel. Además ocurrieron una centena de sismos de magnitud baja los cuales fueron registrados por sismógrafos.



Figura 15. Epicentro sismo 25 diciembre 2003
Fuente: Conferencia Amenaza sísmica zona sur

Cuadro 3. Aceleraciones máximas presentadas según el sismo del 25 de diciembre 2003 en distintas partes del territorio nacional

Estación	Aceleración máxima (cm/s ²)
AALJ	39,2
ASRM	13,7
CCDN	107,8
CSLG	33,3
CTBA	28,4
HOVS	5,9
PGLF	113,7
PQSP	41,6
RALT	19,6
RGAR	11,8
RMOI	13,7
RTUR	8,8
SECA	33,3
SFRA	8,8
SGTS	22,5

Fuente: Conferencia Amenaza sísmica zona sur. Realizado en Excel 2007

4 de febrero del 2004.

El evento se produjo a las 5:59 am y tuvo una magnitud momento de 5,8; 5,4 Md, con una profundidad de 14 km. Este se localizó a 28 km al suroeste de Laurel, en el cantón de Corredores.

La intensidad máxima reportada (escala Mercalli) fue de VI en San Vito, Paso Canoas, Golfito, Laurel, David. En el valle Central, Turrialba y Limón presentó una intensidad de IV MM. También se sintió en San Ramón y Ciudad Quesada, la cual tuvo una intensidad de III y II MM respectivamente.

El sismo se presentó en el ramal izquierdo del sistema de Falla Media, la cual se compone de dos fallas que se originan en el piso oceánico al sur de Punta Burica y se prolongan hasta el continente, la falla Media Este hacia Panamá y la Falla Oeste hacia Costa Rica. El tipo de movimiento en esta falla es del tipo horizontal con dirección Norte-Sur. Estas fallas se unen en el extremo norte de Punta Burica en donde se curvan y termina en el Golfo Dulce.

Ocurrieron dos réplicas cercanas a 4,5 Mw, a las 6:35 y 6:40 am, además de otras 15 de menor magnitud.

Registros última década

Últimamente el área de la Península de Osa, Golfo Dulce y Punta Burica, se han visto bajo mucha actividad, provocada por la subducción de la placa de Coco en la placa Caribe y en la zona de de la fractura de Panamá entre los cuales se pueden mencionar:

Enjambre sísmico Pavón de Golfito Octubre 2014

En el mes de octubre del 2014 se registró en los sismógrafos de la red sismológica nacional una gran actividad sísmica en el Distrito de Pavón en el cantón de Golfito. El origen de estos sismos se debió a fallas locales. El sismo de mayor tamaño de este enjambre ocurrió el 10 de octubre y tuvo una magnitud de 5,1 Mw.

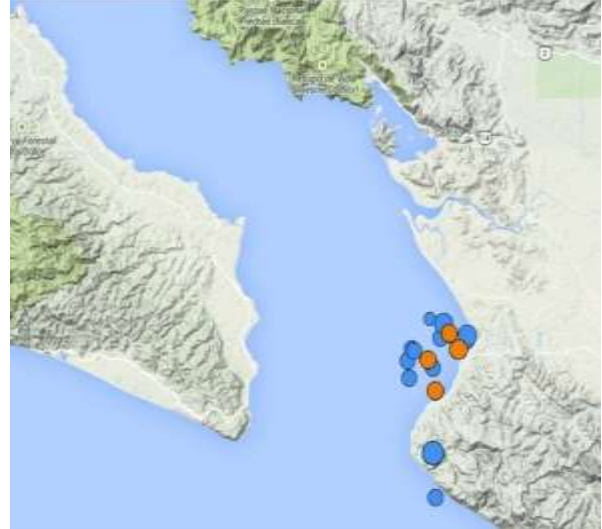


Figura 16. Enjambre sísmico en Pavón de Golfito (2014)

Fuente: <https://rsn.ucr.ac.cr>

17 de agosto del 2018

El evento se produjo a las 5:22 pm, el cual se localizó a 8 km al suroeste de Golfito, coordenadas: 8,574 y -83,209 y presentó una profundidad de 21 km con una magnitud de 6,2 Mw.



Figura 17. Ubicación sismo 17 agosto 2018

Fuente: <https://rsn.ucr.ac.cr>

Se debió al proceso de subducción de la placa del Coco. Según los datos de la red sismológica nacional, el mecanismo focal calculado a partir del arribo de las ondas P y junto con la profundidad obtenida, indican que este sismo se produjo en la zona sismogénica, en donde la placa del Coco se hunde por debajo de la placa Caribe (o microplaca de Panamá en este sector). La solución del mecanismo focal sugiere que este sismo fue ocasionado por fallamiento inverso.

El sismo de mayor magnitud se sintió en gran parte del territorio nacional, con intensidades máximas escala Mercalli Modificada de VI en Gófito, Puerto Jiménez, Ciudad Neily y Paso Canoas. En el valle central se sintió con una intensidad de IV. También se sintió en Bocas del Toro en Panamá, y en la zona norte de Costa Rica.

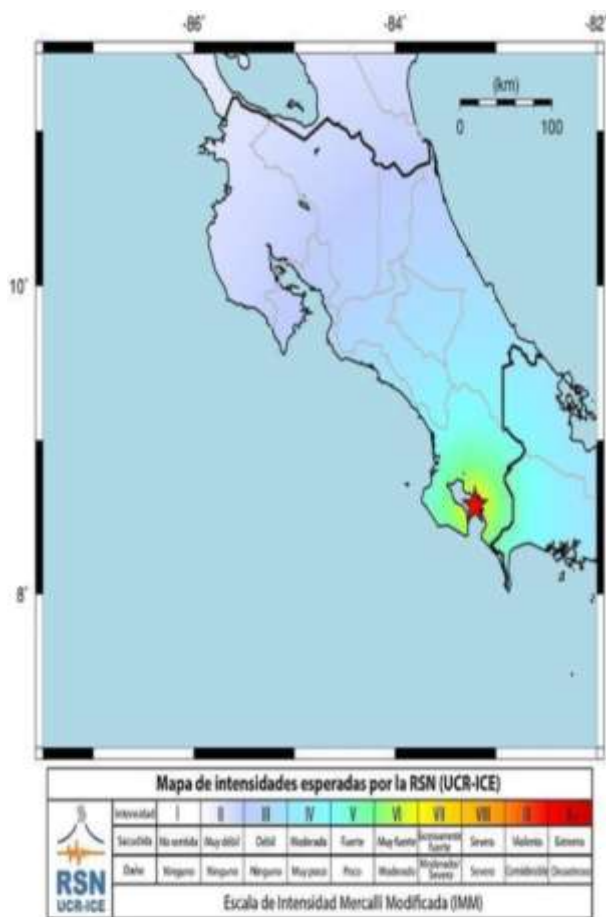


Figura 18. Mapa de intensidades presentadas en el sismo del 17 agosto 2018
Fuente: <https://rsn.ucr.ac.cr>

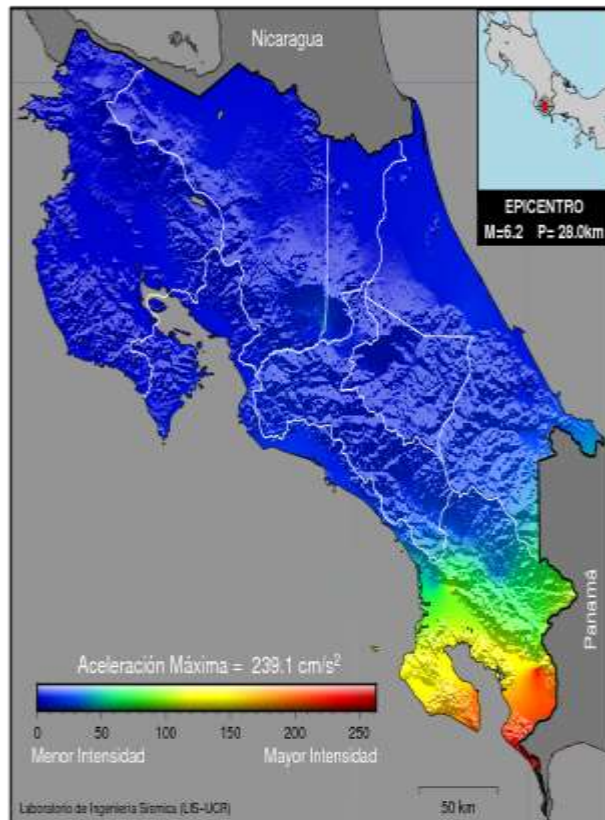


Figura 19. Mapa de aceleraciones presentadas en el sismo del 17 agosto 2018
Fuente: <https://rsn.ucr.ac.cr>

El evento principal produjo más de 400 réplicas y se distribuyeron en un área de 15 km x 10 km en el Golfo Dulce. Hasta las 4 pm del 22 de agosto, se contabilizaron 370 réplicas. La réplica de mayor tamaño fue de magnitud 5,3 y ocurrió el 19 de agosto. En total diez réplicas tuvieron una magnitud entre el rango de 4,0 a 4,4. El restante número de sismos localizados tienen magnitudes menores a 3,9. Las profundidades de las réplicas varían entre 5 y 25 km. En el siguiente mapa se muestran los sismos más importantes hasta el momento, en rojo el epicentro del sismo principal (Mw 6,2), en amarillo las réplicas superiores a 4,5 Mw y en color magenta las réplicas con magnitudes entre 2,5 Mw y 4,4 Mw. Los sismos en blanco fueron originados por fallamiento, posiblemente disparados por el sismo principal.

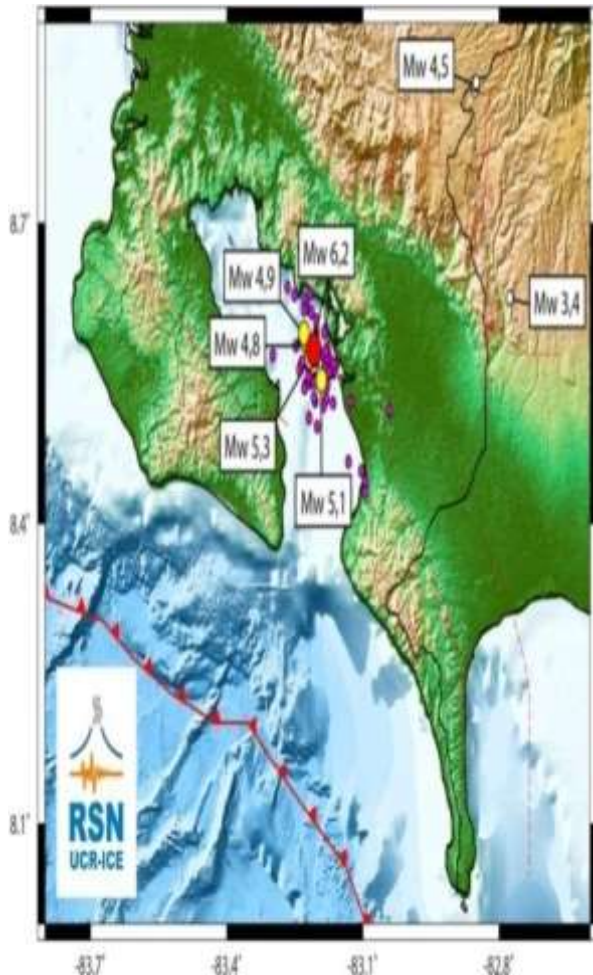


Figura 20. Ubicación de las réplicas generadas
Fuente: <https://rsn.ucr.ac.cr>

Según la red sismológica nacional, “en la siguiente figura se muestra un perfil a través de la zona sur de Costa Rica en donde ocurre la subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe (o microplaca de Panamá en este sector). El perfil muestra la ubicación de los sismos de la secuencia de Golfito, entre el 17 y 23 de agosto del 2018, que incluye el sismo de magnitud (Mw) 6,2 y las réplicas principales. También se incluye el hipocentro del terremoto de Golfito (ó del Sábado Santo) del 2 de abril de 1983 que tuvo lugar en esta misma zona. La secuencia sísmica de este año se ubica en la zona sismogénica interplacas, que corresponde con la zona de contacto entre las placas del Coco y Caribe. Por lo tanto el origen de esta secuencia sísmica es la subducción.”

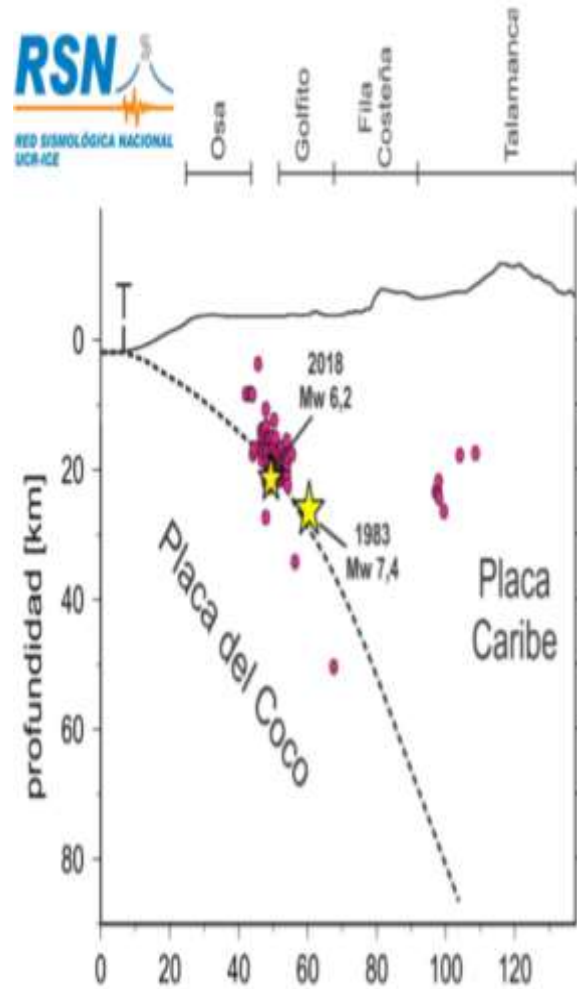


Figura 21. Zona de subducción Placa del Coco
Fuente: <https://rsn.ucr.ac.cr>

25 de junio del 2019

El evento se produjo a las 11:23 pm. El cual se localizó 11 km al noreste de Puerto Armuelles en territorio panameño. Con coordenadas del epicentro 8,336 y -82,833 y a una profundidad de 29 km y a una magnitud de 6,4 Mw.

La intensidad máxima observada (escala Mercalli Modificada) fue de VI y VII en Paso Canoas, Golfito, Ciudad Neily, Laurel, y en Puerto Armuelles y David. En el Valle Central, Pacífico Central y la costa Caribe sur se sintió con una intensidad de IV a V. En San Ramón y Ciudad Quesada presentó una intensidad III-IV.

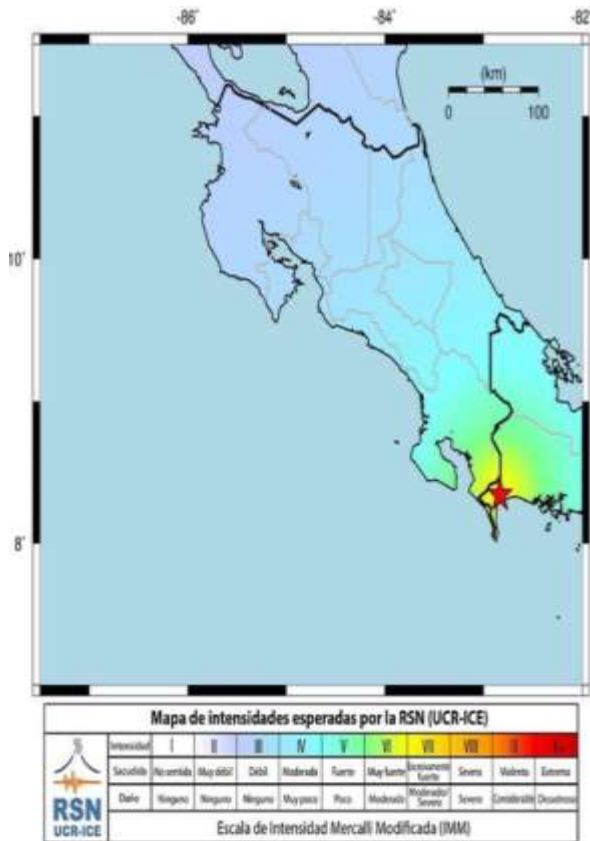


Figura 22. Mapa de intensidades sismo 25 de junio 2019
Fuente: <https://rsn.ucr.ac.cr>

Su origen se debió a la fractura de Panamá, la cual se encuentra en el límite de las placas Nazca y Coco. De acuerdo a la información recolectada por la RSN, “el evento se generó a una profundidad preliminar estimada en 29 km, en una zona donde el tope de la placa del Coco se encuentra probablemente a unos 25 km de profundidad. La inversión del tensor de momento para el evento principal muestra una solución de movimiento transcurrente. El valor del momento sísmico (cantidad de energía liberada durante el evento principal) se estima en $2,41 \text{ E}+18 \text{ Nm}$. La solución de la fuente, las profundidades y la distribución de las réplicas, permiten suponer que esta sismicidad pudo ser generada por una interacción compleja entre la subducción de la placa del Coco bajo la microplaca de Panamá, junto con la presencia de la Zona de Fractura de Panamá, que es el límite entre la placa del Coco y la placa Nazca.”

Este evento no ocasionó pérdida de vidas humanas ni heridos. Se reportaron daños en ocho

viviendas en los cantones de Pérez Zeledón, Osa, Corredores y Golfito. Se dio la suspensión del servicio eléctrico en Palmar Sur, Pérez Zeledón, Puerto Jiménez, Ciudad Cortés, Parrita y Corredores. También se presentaron pérdidas económicas por la caída de mercadería en los locales comerciales.

Según los datos del periódico La Nación del 29 de junio de 2019, se presentaron cerca de 1000 réplicas, y 18 de ellas con magnitudes entre 4 y 5.

De acuerdo a los registros anteriores en la zona del Golfo Dulce ocurrieron los sismos de 1879, 1904, 1941 y 1983, registrando una magnitud mayor a 7 Mw, y una profundidad de alrededor de 25 km, los cuales causaron importantes daños a la zona y se podría esperar otro movimiento sísmico similar en los próximos años, por lo consecuente instituciones enfocadas en el estudio de estos movimientos como el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica y la Red Sismológica Nacional han colocado en la zona sur del país, cerca de 16 estaciones, los cuales se muestran en la figura 25, además esa zona presenta la característica de que la distancia de la zona de subducción hasta tierra firme, es relativamente corta de cerca de 10-20 km, por lo tanto se está implementando un proyecto para perforar hasta la zona de Benioff y colocar instrumentación para registrar los efectos antes, durante y después un sismo importante.

Temblores de magnitud mayor a 5, registrados en los últimos 50 años

80 sismos pequeños ocurrieron entre el 1.º de julio y el 19 de agosto

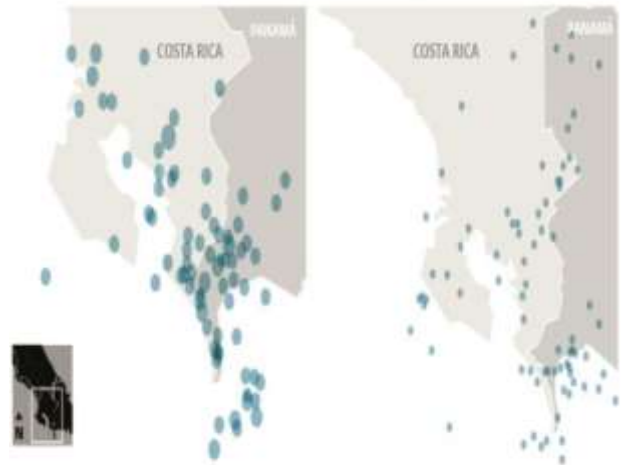


Figura 23. Sismos presentados en la zona Sur del país en los últimos 50 años
Fuente: La Nación



Figura 24. Estaciones sismológicas y subducción de la placa Coko en la placa Caribe
Fuente: La Nación

Amenaza sísmica

Habiendo introducido los conceptos relevantes de tectónica y sismicidad, se procede al estudio de la amenaza sísmica de la zona.

El informe Resis II define la amenaza sísmica como, “la probabilidad de excedencia de un determinado nivel de movimiento del terreno, como resultado de la acción de terremotos en el área de influencia, durante un periodo de tiempo específico.” Según la definición anterior, se entiende la amenaza sísmica como un evento probabilista en que se deben estimar distintos parámetros que constituyan un peligro potencial, así como el periodo de tiempo en que se espera que suceda dicha amenaza. Para caracterizar este movimiento, se consideran parámetros como la aceleración, velocidad o el desplazamiento, utilizando los valores máximos correspondientes a registros históricos o valores espectrales.

La respuesta espectral es la representación de la forma en que las estructuras responden a la aceleración pico y pico efectivo de acuerdo a su periodo, en donde un periodo corto corresponde a una estructura rígida y un periodo largo a una estructura flexible.

El factor espectral dinámico de acuerdo al Código Sísmico de Costa Rica “es la modificación en aceleración que sufre un sistema de un grado de libertad con respecto a la aceleración del suelo y es función de la zona sísmica, del sitio de cimentación, de la ductilidad global asignada y del periodo.

La aceleración pico efectiva es el parámetro utilizado por el código sísmico de Costa Rica para determinar el coeficiente sísmico, hay que tomar en cuenta que los sismos son cuestiones probabilísticas, el código cubre la mayoría de los casos, pero hay un margen que se puede llegar a superar, por eso se utilizan los factores de amplificación para prever estos casos. Aun así, se puede llegar a sobrepasar el límite propuesto, ya que estos se basan por lo general en ciclos de retorno de 500 años, pero se podrían presentar movimientos mayores, ya que el periodo del cual se tiene un registro de los sismos ocurridos data de cerca de esa fecha, y además, solo se tienen registros precisos de hace 1 siglo, que es cuando empieza la etapa instrumental.

El estudio del periodo es fundamental en el edificio de mampostería vibra igual que el terreno, en un periodo muy poco, provocando un esfuerzo muy alto. En contraparte, edificios muy altos o de madera permiten la transferencia de las vibraciones, lo cual hace que estas estructuras se mueven con el terreno o presentes periodos muy grandes.

Otro factor relevante es la dirección de las ondas sísmicas, y desde que orientación llegan a la zona o estructura en estudio, la aceleración se registra en aparatos triaxiales, los cuales presentan orientaciones N-S o E-W, pero las ondas sísmicas se mueven en distintas direcciones, y se puede presentar que la orientación de la estructura, específicamente su lado débil, coincida con la máxima aceleración de las ondas produciéndose un daño en la estructura. Por eso en el Código Sísmico de Costa Rica se utiliza la combinación vectorial de los sismos con el fin de proteger y dar un margen de seguridad para estos fenómenos.

En la figura 25 se muestran los mapas generados en el informe Resis II, en donde se obtiene que en la zona sur, y en general en la costa Pacífica de Costa Rica, se pueden llegar a generar aceleraciones de 500-600 gal para un periodo de retorno de 500 años. En el anexo 7, se encuentran los mapas para 1000 y 2500 años.

De acuerdo a Resis II, “Para todos los periodos de retorno las mayores aceleraciones pico PGA se predicen en la zona de la fractura de Panamá y en determinadas regiones de la cadena volcánica, donde se suma la influencia de la actividad de fallamiento local junto con la de la zona de subducción.”

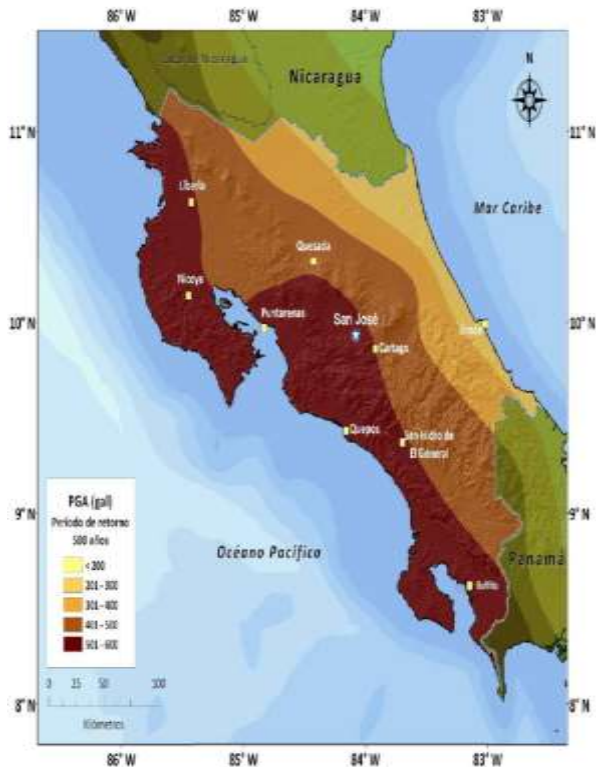


Figura 25. PGA en un periodo de retorno 500 años
Fuente: Resis II

Las ondas sísmicas, y por ende la aceleración espectral se ven afectadas por el tipo de suelo presente cuando se tiene la presencia de roca, viéndose disminuidas, como se puede apreciar en la siguiente figura.

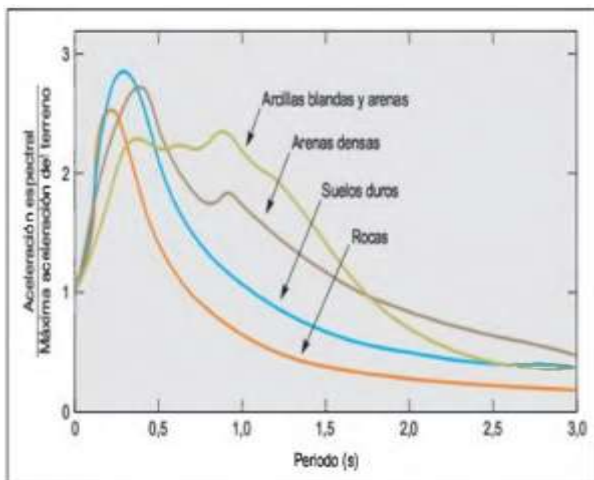


Figura 26. Aceleración espectral presentada según distintos tipos de suelos
Fuente: Ingeniería Sísmica

De acuerdo al código sísmico de Costa Rica, para efectos de considerar las condiciones dinámicas del sitio en la demanda sísmica, se clasifican los sitios de cimentaciones en 4 tipos.

- a) Sitio tipo S1
Un perfil de roca o suelo rígido o denso con propiedades semejantes a la roca.
- b) Sitio tipo S2
Un perfil de suelo con condiciones predominantes de medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido.
- c) Sitio tipo S3
Un perfil de suelo con a 12 m de arcilla de consistencia de suave a medianamente rígida o con más de 6 m de suelos no cohesivos de poca o media densidad.
- d) Sitio tipo S4
Un perfil de suelo que contenga un estrato de más de 12 m de arcilla suave.

Otra clasificación en la empleada por el laboratorio de ingeniería sísmica, que clasifica los suelos en 4 tipos.

- a) Sitio tipo S1 o Roca
Rocas volcánicas efusivas (basaltos y andesitas), intrusivas (granodioritas, monzonitas, gabros y sienitas), metamórficas (cornubianitas), poco fisuradas, con una velocidad de la onda cortante de 2.500 a 4.000 m/s.
- b) Sitio Tipo S2 o Firme
Rocas sedimentarias (areniscas, lutitas, calizas, brechas y conglomerados), rocas volcánicas (flujo piroclásticos, lavas y lahares), con espesores de arcilla inferiores a 20 m, y velocidades de la onda de 1.500 a 1.700 m/s
- c) Sitio tipo S3 o Blando
Rocas volcánicas (lavas y depósitos piroclásticos fuertemente alterados, donde los niveles freáticos son altos, los espesores de arcilla de hasta 10 m sobre el suelo tipo S2 y velocidad de onda cortante de 800 a 1.200 m/s.
- d) Sitio tipo S4 o Muy Blando
Rocas volcánicas (lahares, cenizas y tobas), rocas sedimentarias (diatomita, lacustres y lutitas), depósitos recientes (aluviones y coluviones), de baja calidad mecánica, con niveles freáticos someros, son las rocas fuertemente alteradas, espesores de arcilla mayores a 50 m sobre suelo tipo S1, S2 y S3, y con velocidad de onda cortante de 235 a 300 m/s.

Para efectos de la zonificación sísmica del país, el Código Sísmico de Costa Rica, asigna tres diferentes zonas, en donde las aceleraciones son mayores conforme, aumenta la clasificación. En la figura 27 se puede observar, que el área del Golfo Dulce se registra como una zona IV, siendo esta la mayor.

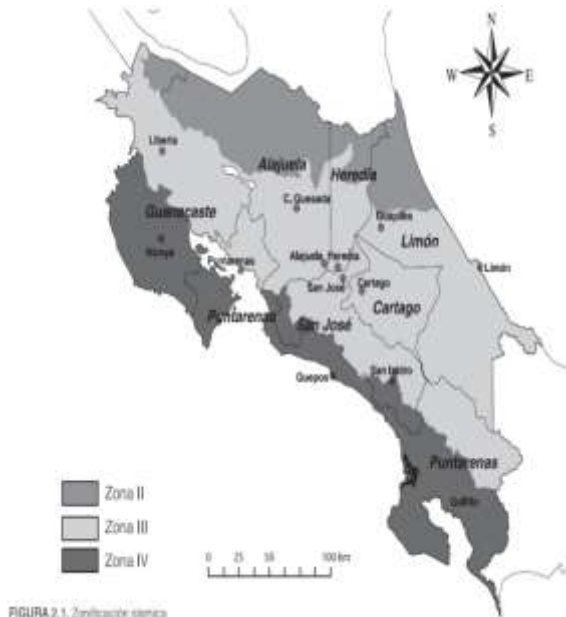


FIGURA 2.1. Zonificación sísmica

Figura 27. Zonificación sísmica
Fuente: Código Sísmico de Costa Rica

Existen diferentes maneras de determinar la amenaza sísmica, ya sea mediante métodos determinísticos utilizando los registros de sismos anteriores, o mediante los métodos probabilísticos, los cuales determinan el periodo de recurrencia de los sismos o la probabilidad de que el evento suceda en una ubicación estimada. En los métodos determinísticos se toma como referencia la magnitud de sismos conocidos en un determinado lugar, el sismo analizado se trata del peor caso probable, con este se determina la estimación del movimiento del terreno y los efectos secundarios relacionados.

Los pasos a seguir según el informe técnico ERN-CAPRA T1-3 son:

- 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.
- Selección de la distancia de la fuente al sitio. Generalmente se toma la menor distancia existente entre la fuente y el lugar de análisis.

- 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 geotectónicas 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.

Respecto a la estimación de los distintos parámetros que definen la intensidad del movimiento, estos se estiman mediante ecuaciones de atenuación, las cuales dependen de la distancia de la fuente sísmológica, la magnitud y el tipo de mecanismo focal de ruptura. El parámetro comúnmente más utilizado en los estudios de amenaza sísmica para determinar el movimiento del terreno es la aceleración máxima, como se describió anteriormente esta puede ser registrada en el campo mediante un acelerograma. Existen diferentes ecuaciones de atenuación, las cuales utilizan registros históricos para asociar magnitudes con distancias hipocentrales y las aceleraciones registradas.

La función de atenuación escogida, para realizar el cálculo de la aceleración máxima experimentada, es la utilizada por (Climent et.al, 1994):

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

Donde:

PGA: Peak Ground Acceleration (m/s²)

M: Magnitud de momento

R: Distancia hipocentral (km)

S: Parámetro indicativo de la geología del sitio de análisis: 0 en roca, 1 en suelo.

σ_{PGA} : Término relacionada con el error de estimación y es igual a 0,75

Los pasos del método determinístico se pueden observar en la figura 28, en donde primero se estudia el marco tectónico regional y local, para determinar las fuentes sísmicas en base a las características de la falla, como profundidad, tipo, longitud, luego se seleccionan los sismos de control, y se determina el máximo movimiento posible. Posteriormente se estiman las distancias de la fuente a las zonas propuestas con el fin de determinar la máxima aceleración esperada.

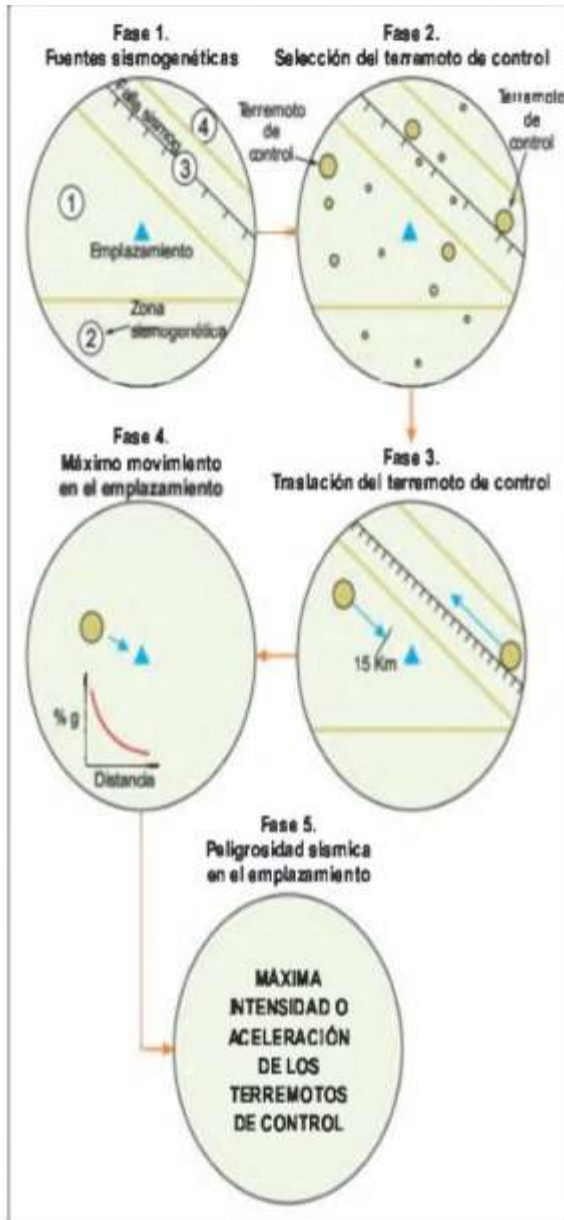


Figura 28. Fases del método determinista
Fuente: ingeniería sísmica

El análisis determinístico indica el peor caso posible en el sitio de análisis, ya que es la mayor intensidad que puede afectar las estructuras, sin embargo, no se toma en cuenta cual es la probabilidad de ocurrencia de ese evento, si es o no probable de que ocurra en el sitio escogido, además de que tan probable es de que el sismo ocurre en determinado periodo de tiempo.

En general, el análisis determinístico no se emplea ni se recomienda como herramienta única del análisis de la amenaza sísmica. Puede ser usado principalmente como herramienta de calibración de modelos más refinados, siempre y cuando se cuente con información histórica suficiente, o para el análisis retrospectivo de eventos históricos específicos. Por lo tanto también se recomienda como complemento los métodos probabilísticos, estos toman en cuenta la probabilidad de que el sismo ocurre en un lugar planteado, o la probabilidad de que el evento sísmico se presente en un cierto periodo de tiempo. Para realizar un análisis probabilístico de amenaza sísmica, se emplea la metodología suministrada por ERN-CAPRA T1-3:

- 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 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 neotectónicos y paleosismología para la fuente. La sismicidad se establece por medio de una curva de recurrencia de magnitudes, la cual es una relación específica para 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 indicada en cada modelo de atenuación.

- c) 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 sísmica

ERN-CAPRA T1-5 define la vulnerabilidad 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.” Como tal, la vulnerabilidad debe evaluarse y asignarse a cada uno de los componentes expuestos y para cada uno de los tipos de amenazas considerados. La vulnerabilidad es definida mediante la evaluación del daño probable que sufrirían los elementos estructurales o no estructurales que se encuentran dentro del área de influencia de la amenaza actuante.” Según el Código Sísmico de Costa Rica 2010 “El objetivo de realizar un diagnóstico de la vulnerabilidad sísmica de una edificación existente es determinar técnicamente la posibilidad de que sufra daños durante un evento sísmico. Los daños pueden ser estructurales o no estructurales y pueden originarse en condiciones propias de la edificación o del sitio donde se ubica”.

Es claro diferenciar los diferentes tipos de vulnerabilidad asociadas a un evento sísmico y el enfoque del estudio el cual se trata de vulnerabilidad estructural, otro tipo asociado es el de la vulnerabilidad humana, el cual no se toma en cuenta. La vulnerabilidad estructural se refiere según ERN-CAPRA T1-5 “al daño o afectación que sufrirá un activo determinado ante una amenaza dada. Usualmente se mide en términos de un porcentaje medio de daño o valor económico requerido para reparar el bien afectado, llevarlo a un estado equivalente al que tenía antes de la ocurrencia del evento, y la incertidumbre asociada. Por su parte la vulnerabilidad humana, hace referencia al nivel de afectación a los ocupantes de una edificación en términos de número esperado de víctimas, heridos o en general cualquier nivel de afectación que se defina, en función de la intensidad del fenómeno amenazante.”

La vulnerabilidad estructural, en el caso de estudio, se da como respuesta de las consecuencias de los efectos de fuerzas sísmicas, y está asociada principalmente al tipo de sistema estructural encargado de soportar las acciones resultantes, sin embargo, también se encuentran otros factores que afectan en gran medida tales como el estado de conservación de la estructura, geometría, la fecha en que fue realizada la edificación, la topografía, ubicación, geología del lugar, además de la calidad de los materiales empleados y que las estructuras estén bien diseñadas y bien construidas.

De nada resulta diseñar una estructura que soporte los efectos de un sismo, si cuando se construye no se presenta un óptimo control del estado y colocación de los aceros de refuerzo, estado de la mezcla de concreto, estado de los materiales que ingresan a la obra, en general un correcto seguimiento del proceso constructivo; las edificaciones deben contar con un diseño sísmoresistente, estar bien concebidas y bien construidas. Una particularidad a diferencia de la amenaza es que la vulnerabilidad no depende de la zona geográfica, ya que dos estructuras similares en el sistema constructivo, así como en la regularidad y ubicadas en un mismo lugar, pueden responder de maneras diferentes hacia los efectos de un sismo.

Existen dos tipos de métodos para determinar la vulnerabilidad, los métodos cuantitativos y los métodos cualitativos. Una descripción más detallada en cuanto a los diferentes métodos, estos se encuentran en los anexos 6 y 7 correspondientes a metodologías cuantitativas y cualitativas.

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.” Los resultados son sumamente precisos, sin embargo, ya que los modelos de análisis son demasiados complejos, requieren de demasiados recursos de tiempo y datos para poder ser aplicados correctamente.

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

Los métodos experimentales son aquellos que se establece una correlación entre las características de los eventos sísmicos esperados

y las del terreno de cimentación, así como los daños, los tipos y las configuraciones estructurales. Ya que se basan en correlaciones ya sea, cuantitativas o cualitativas, los resultados obtenidos a través de estos análisis son valores en promedio genéricos con un grado de incertidumbre elevada. Sin embargo, estos métodos presentan una metodología más sencilla y es posible aumentar los registros obtenidos y disminuir la incertidumbre asociada.

Mientras que con respecto a los métodos cualitativos Caballero 2007 menciona que “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.” Estos métodos se limitan a evaluar de manera rápida un grupo de edificaciones variadas, y de acuerdo a este primer análisis se seleccionan las edificaciones que necesitan un análisis más detallado. Esto es altamente beneficioso y útil en zonas donde la proporción de estructuras/terreno es demasiado grande con la cantidad de territorio ocupado, en donde, no resulta práctico realizar un análisis más detallado para cada una de las obras, siendo que ciertos grupos cuentan con una vulnerabilidad menor y estimable de manera válida a partir del análisis cualitativo.

Algunos de los métodos cualitativos que se han desarrollado son ATC-21, FEMA 154, método NAVFAC, método ISTC y el método del índice de vulnerabilidad.

El método del índice de vulnerabilidad del cual podría argumentarse, cuenta con algunas ventajas por encima de los métodos mencionados previamente, ya que busca identificar los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios ante el impacto de los terremotos, y es más elaborado. Este método es más preciso que otros porque busca distinguir aspectos diversos y únicos de cada edificio, apelando a encontrar la diferencia entre construcciones de una misma tipología y/o procesos constructivos aplicados, para así registrar las repercusiones de estas diferencias. La metodología considera aspectos tales como el tipo de suelo sobre el cual se hace la cimentación de la estructura, la inclinación de las fundaciones, la configuración en planta y en elevación de la edificación, el tipo de sistema sismo-resistente empleado y cómo este está unido, el modo para resistir cargas sísmicas, etc. En total se evalúan once aspectos, a cada uno de ellos se les da su respectiva posición e

importancia y, al final, el valor de cada uno se multiplica por un coeficiente de peso, individual para cada uno de los aspectos; se realiza un sumatorio del producto de los once parámetros y sus coeficientes, el cual representa se considera como el índice de vulnerabilidad. Entre mayor sea el índice de vulnerabilidad, más vulnerable se considera la estructura estudiada.

La vulnerabilidad se mide en términos del daño esperado, por lo cual, es necesario asociar este daño a un parámetro de la amenaza considerada. Para esto se utiliza la llamada función de vulnerabilidad, la cual “define la distribución de probabilidad de las pérdidas como función de la intensidad producida durante un escenario en específico...para lo cual es necesario definir las curvas que relacionan el valor esperado del daño y la desviación estándar del daño con la intensidad del fenómeno amenazante.”(ERN-CAPRA, T1-5).

El cálculo de las funciones de vulnerabilidad para los diferentes tipos constructivos característicos de una zona se realiza según (ERN-CAPRA, T1-1), tomando en cuenta los siguientes conceptos:

- a) Materiales que constituyen la estructura principales y los elementos de fachada, divisiones internas y recubrimiento.
- b) Geometría general.
- c) Tipo estructura principal.
- d) Tipo de terminados y conexiones.
- e) Fecha de construcción y norma de diseño utilizada.
- f) Estado y posible ocurrencia de daños previos.
- g) Defectos o debilidades específicas
- h) Obras de reforzamiento previas.

La configuración geométrica y estructural del edificio presenta varios problemas que se relacionan con la longitud en planta, la regularidad y la complejidad y los escalonamientos en altura.

La longitud en planta afecta el comportamiento de la estructura, ocasionando efectos de torsión si la planta es larga, una solución es dividir la planta con juntas constructivas para que cada bloque tenga un comportamiento independiente.

Las plantas de configuración compleja son aquellas compuestas por alas que se orientan en distintas direcciones, por ejemplo, en forma de “X”, “H” o “T”. Esto provoca que se concentren esfuerzos entre el cuerpo principal y las alas, ya que estas trabajan como elementos empotrados

en un cuerpo más rígido y propenso a sufrir menos deformaciones. La solución suele ser diseñar una junta constructiva entre las alas y el cuerpo central, que permiten que cada cuerpo se mueva sin estar atado al cuerpo principal.

Respecto a la elevación en las alturas, el escalonamiento en ésta provocan un cambio abrupto en la rigidez, así como en la masa de los pisos, que propicia la concentración de esfuerzos producto de fuerzas sísmicas.

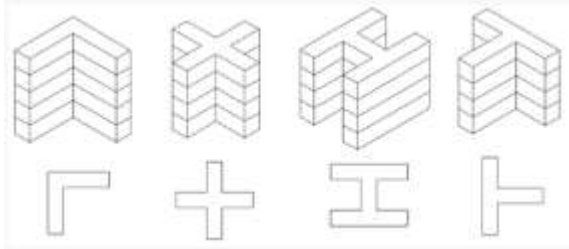


Figura 29. Ejemplos de plantas complejas
Fuente: Laboratorio de ingeniería Sísmica

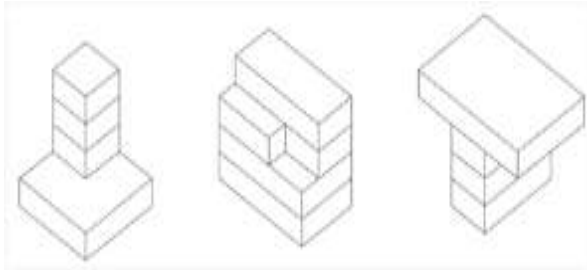


Figura 30. Ejemplos de elevaciones complejas
Fuente: Laboratorio de ingeniería Sísmica

Respecto a la configuración estructural, el diseño de estos elementos, en especial las uniones de los diferentes elementos como las conexiones viga-columna, columna entrepiso debe realizarse cuidadosamente, ya que se puede llegar a presentar las mayores concentraciones de esfuerzos. Los principales problemas que se pueden presentar tiene que ver con: las altas concentraciones de masa en niveles superiores, columnas débiles, menor resistencia de columnas que vigas, pisos blandos, falta de confinamiento en el concreto en columnas, falta de redundancia, flexibilidad excesiva en el diafragma que forma el entrepiso, torsión entre pisos y el desplazamiento relativo entre pisos.

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

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

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

ERN-CAPRA, T1-5. “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. “

La medida de intensidad que se selecciona para evaluar la función de vulnerabilidad, corresponde a aquella que se ajuste a la representación de daño de cada una de las estructuras analizadas.

De acuerdo a ERN-CAPRA, T1-5. En general se utilizan las siguientes representaciones:

- 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.
- 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 relaciona normalmente con la deriva espectral inelástica de la edificación.

El daño se mide usualmente en términos de la relación media del daño RMD, y corresponde al costo de reparación de la estructura para llevarla a un estado equivalente a antes de la ocurrencia de la amenaza. El daño estructural es el deterioro de aquellos elementos, o componentes, que forman parte del sistema resistente o estructural de la edificación.

Respecto al nivel de daño estructural el laboratorio de ingeniería sísmica de la Universidad de Costa Rica menciona “este depende tanto del

comportamiento global como del comportamiento local de la estructura. Está relacionado con los tipos y la calidad de los materiales que se utilizan, sus características, su configuración, el esquema resistente y con las cargas que actúan.” Mientras que el daño no estructural se refiere a, aquel daño que sufren los elementos que no participan o tienen relevancia en el sistema estructural de una edificación, como las paredes livianas, vidrios, muebles, repellos, lámparas, etc. Sin embargo, estos elementos pueden llegar a incidir en la ocurrencia de fallas estructurales, o modificar la respuesta al movimiento sísmico esperado de acuerdo al diseño planteado. Por ejemplo, si se adicionan, escaleras, bloques o se utilizan revestimientos pesados, pueden llegar a introducir excentricidades y variar el centro de rigidez de la estructura. Existen tres grandes efectos primarios de los elementos no estructurales en edificios.

a) Efectos inerciales

Cuando ocurre un fenómeno sísmico, la base del edificio, responde al sismo siguiendo el movimiento del suelo, sin embargo, el resto del edificio, en general todos los muebles, lámparas, estantes, etc, van a responder de forma opuesta al sismo; estos elementos pueden ocasionar daños a elementos estructurales, obstaculizar el paso del personal en caso de una emergencia o lesionar a personas.

b) Deformación del edificio

Durante un sismo, la estructura del edificio se deforma, como consecuencia del movimiento entre los niveles de la estructura, los materiales frágiles como los vidrios tienden a agrietarse, llegando en ocasiones extremas la fragmentación de estos. También puede llegar a ocurrir que el repello se agriete y se desprenda, el cual puede llegar a lesionar a personas si se trata de un edificio de varios pisos.

c) Separación de edificios

Debido al movimiento sísmico y la inercia del movimiento se es posible que se presenten daños en la colindancia entre estructuras.

En el caso de Costa Rica, la clasificación de los diferentes tipos constructivos y su respectiva función de vulnerabilidad, se muestra en el informe ERN-CAPRA-T2-5. Las distintas tipologías analizadas en dicho informe se pueden observar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Tipologías según el informe técnico ERN-CAPRA-T2-5

Id tipo	Características
A-SLF SB-1	Adobe - sin diafragma, cubierta ligera, fachada frágil sin delatar, bajos - 1 piso
PCR-RLFL M-5	Pórticos en concreto RM - diafragma rígido, cubierta ligera, fachada flexible, medios - 5 pisos
MC-FLFS B-2	Mampostería confinada - Diafragma flexible, cubierta ligera, fachada frágil sin dilatar, bajos - 2 pisos
W-SLFL B-1	Muros en madera - sin diafragma, cubierta ligera, fachada flexible, bajos - 1 piso
W-FLFL B-2	Muros en madera - diafragma flexible, cubierta ligera, fachada flexible, bajos - 2 pisos
MR-FLFS B-2	Mampostería reforzada - Diafragma flexible, cubierta ligera, fachada frágil sin dilatar, bajos - 2 pisos
MR-RLF SB-2	Mampostería reforzada - Diafragma rígido, cubierta ligera, fachada frágil sin dilatar, bajos - 2 pisos
MS-FLFS B-2	Mampostería simple - Diafragma flexible, cubierta ligera, fachada frágil sin dilatar, bajos - 2 pisos
MS-RLF SM-5	Mampostería simple - Diafragma rígido, cubierta ligera, fachada frágil sin dilatar, bajos - 2 pisos
PCR-RLF SM-5	Pórticos en concreto RM - diafragma rígido, cubierta ligera, fachada frágil sin dilatar, medios - 5 pisos
PCR-RCF SM-5	Pórticos en concreto RM - diafragma rígido, cubierta en concreto, fachada frágil sin dilatar, medios - 5 pisos
PCM - RCF SM-5	Pórticos y muros en concreto - diafragma rígido, cubierta en concreto, fachada frágil sin dilatar, medios - 5 pisos
R-SLFL B-1	Ripio - sin diafragma, cubierta ligera, fachada flexible, bajos - 1 piso
CPM - RCF SB-2	Concreto prefabricado - diafragma rígido, cubierta en concreto, fachada frágil sin dilatar, bajos - 2 pisos

Fuente: ERN-CAPRA-T2-5. Desarrollado en Excel 2007

A continuación se realiza una descripción de los diferentes tipos de tipologías descritas en el informe ERN CAPRA T2-5.

a) Tugurio-Ripio

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 3.00m, luz aproximada de 3.00m. No presenta sistema estructural definido, por lo tanto posee un comportamiento impredecible. Se clasifica con código "R".

b) Adobe

Son edificaciones de 1 piso de albañilería, con piezas de arcilla cocidas al sol, unidas con barro, sin elementos de liga. En este se menciona la identificación y las características respectivas de cada una de ellas. La clasificación se desarrolló tomando en cuenta las edificaciones presentes en la ciudad de San José, en las cuales se identificó el tipo de sistema estructural, diafragma, tipo de cubierta, número de pisos, así como la fachada.

Los techos están compuestos por tiras de madera apoyadas en largueros, pueden presentar cubiertas livianas o pesadas. En las edificaciones de 2 niveles, presenta un entrepiso flexible. EL código de clasificación es "A".

c) Pórticos en concreto resistentes a momento

Son conformadas por vigas y columnas en concreto, pueden ser de 1 o varios niveles. Las cubiertas varían entre ligeras, pesadas o losas de concreto. Para las estructuras de más de 1 nivel el diafragma de entrepiso es en general rígido. El comportamiento de las construcciones 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. Se clasifican mediante el código PCR.

d) Mampostería confinada

Dentro de la mampostería prevalecen las edificaciones de mampostería confinada, éstas presentan relativa baja vulnerabilidad sísmica, por lo tanto, se puede esperar daño estructural importante sólo para altos niveles de demanda sísmica en términos de deriva estructural. La falla del sistema ocurre normalmente por configuración 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 bajo que son en general aceleraciones relativamente menores en comparación con las que pudieran actuar en edificaciones de rigidez intermedia. Presentan código "MC".

e) Muros de madera

Están conformados por marcos de madera y muros en madera, aunque también pueden presentar láminas de otro material. Las edificaciones de madera corresponden en general a edificaciones de uno o dos pisos con entrepiso de diafragma rígido o flexible y con vulnerabilidad sísmica intermedia, presentan cubierta liviana o flexible. En general la calidad de construcción en madera no es de muy buena calidad 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 clasifican con la letra "W".

f) Mampostería simple

Están conformadas por muros de bloque de concreto o arcilla, generalmente son edificaciones de 1 o 2 pisos con cubierta ligera. Los diafragmas de entrepiso flexibles conformados por vigas de madera o metálicas con losa en madera.

Estas edificaciones presentan vulnerabilidad sísmica alta, con un importante daño estructural. La falla ocurre por la figuración avanzada en dirección paralela al plano de los muros principales y deterioro progresivo consecuente de los muros de mampostería.

g) Mampostería reforzada

Se encuentran conformadas por muros en bloque de concreto reforzado con algunas celdas rellenas de concreto y con acero de refuerzo, generalmente son edificaciones de 1 o 2 pisos con cubierta ligera en la mayoría de los casos. Las edificaciones de varios niveles presentan diafragmas de entrepiso rígidos

conformados por vigas metálicas con losa de concreto. También pueden presentar diafragmas de entrepiso flexibles compuestos por vigas en madera o metálicas con losa en madera. Estas edificaciones presentan vulnerabilidad sísmica baja. Para este tipo de construcciones la falla del sistema ocurre normalmente por formación 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.

- h) Muros en concreto prefabricado
Es un sistema de muros estructurales prefabricado sobre los que se apoyan placas prefabricadas también de concreto.

Típicamente se encuentran estructuras de 1 o 2 niveles con cubiertas ligeras. En estructuras de 2 niveles se idealiza como diafragma flexible. Se clasifican con código "CP".

Para la asignación de las funciones de vulnerabilidad sísmica, se emplea el procedimiento y metodología propuesta en el informe ERN-CAPRA-T1-5 Vulnerabilidad de Edificaciones e Infraestructura.

A continuación, se muestran las funciones de vulnerabilidad según cada una de las tipologías de acuerdo al informe ERN-CAPRA-T1-5. Estas representan el porcentaje de daño físico según la intensidad de la aceleración presentada.

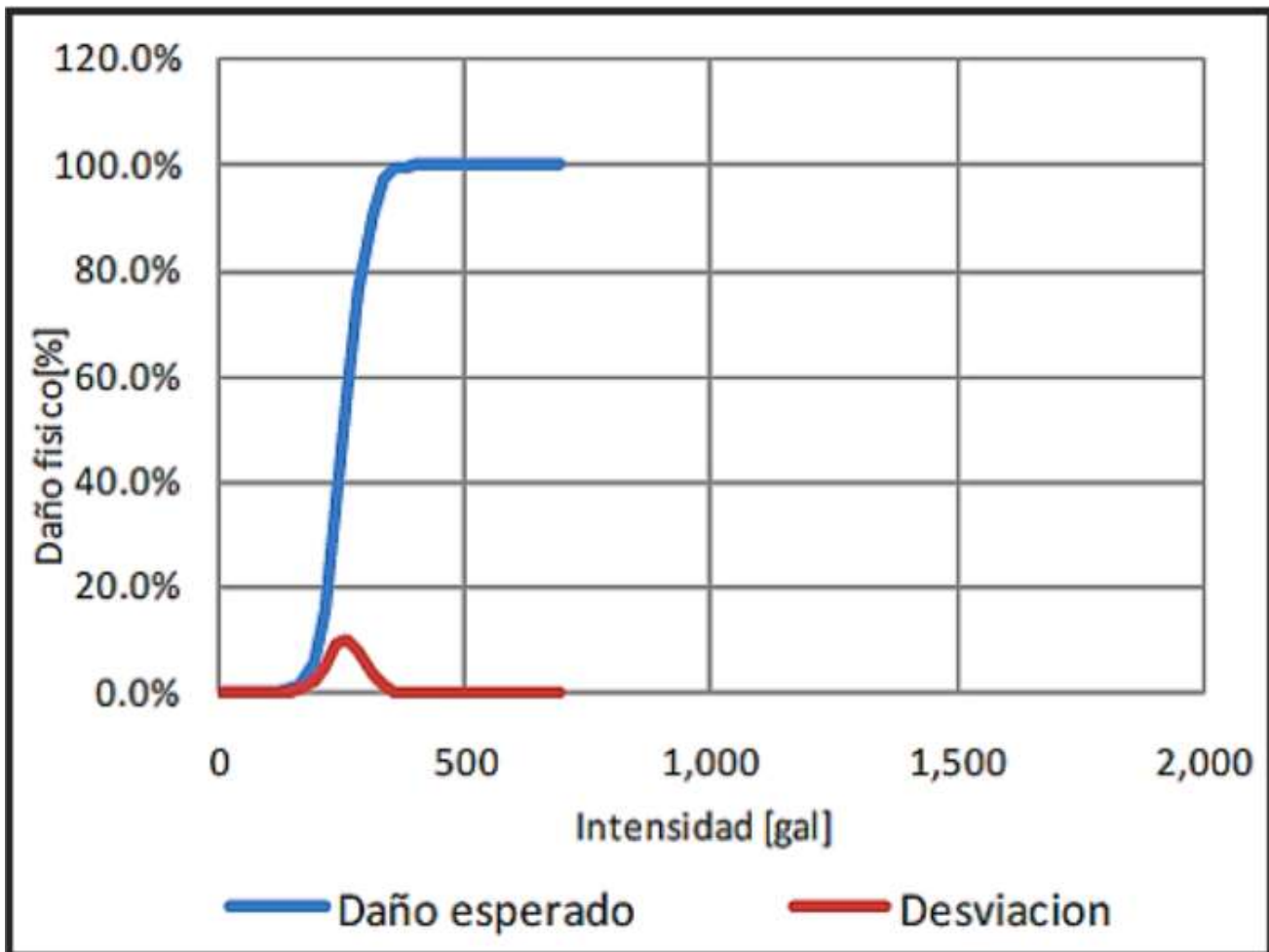


Figura 31. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo A-SLFSB-1
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

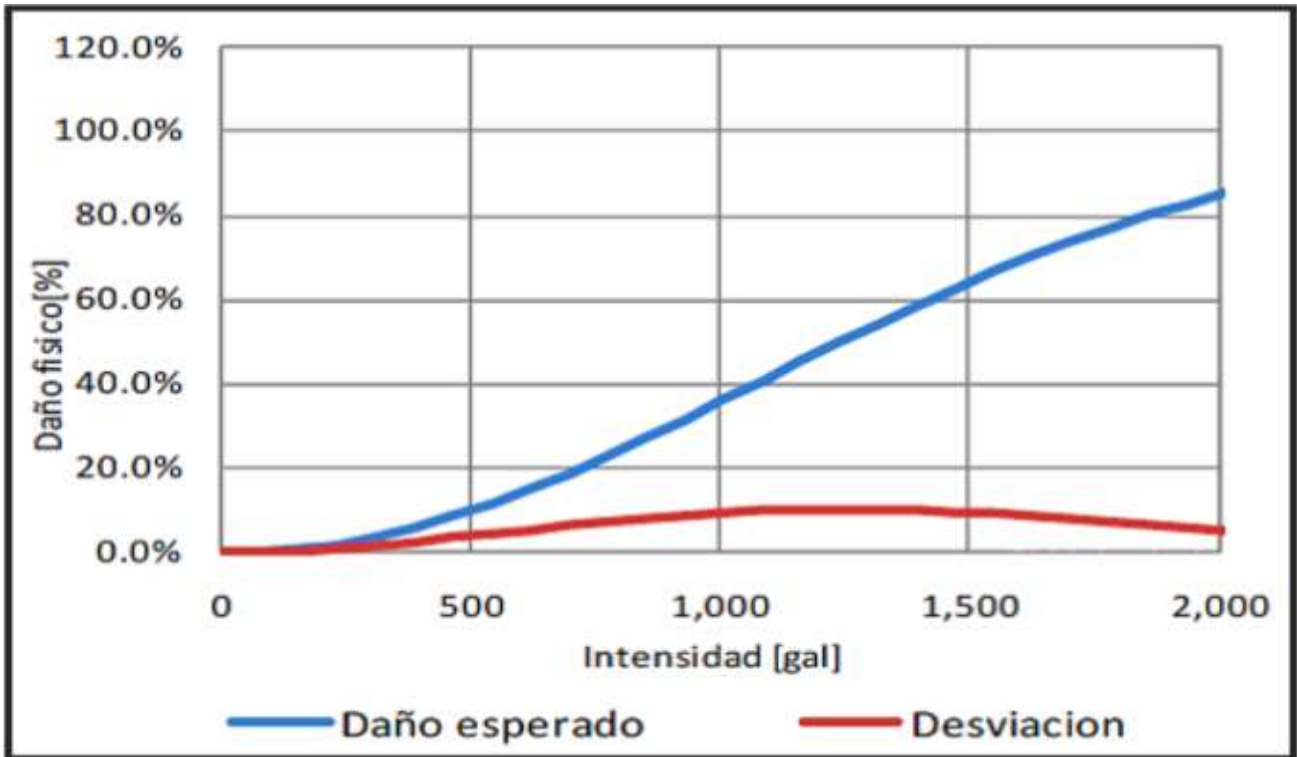


Figura 32. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCR-RLFLM-5
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

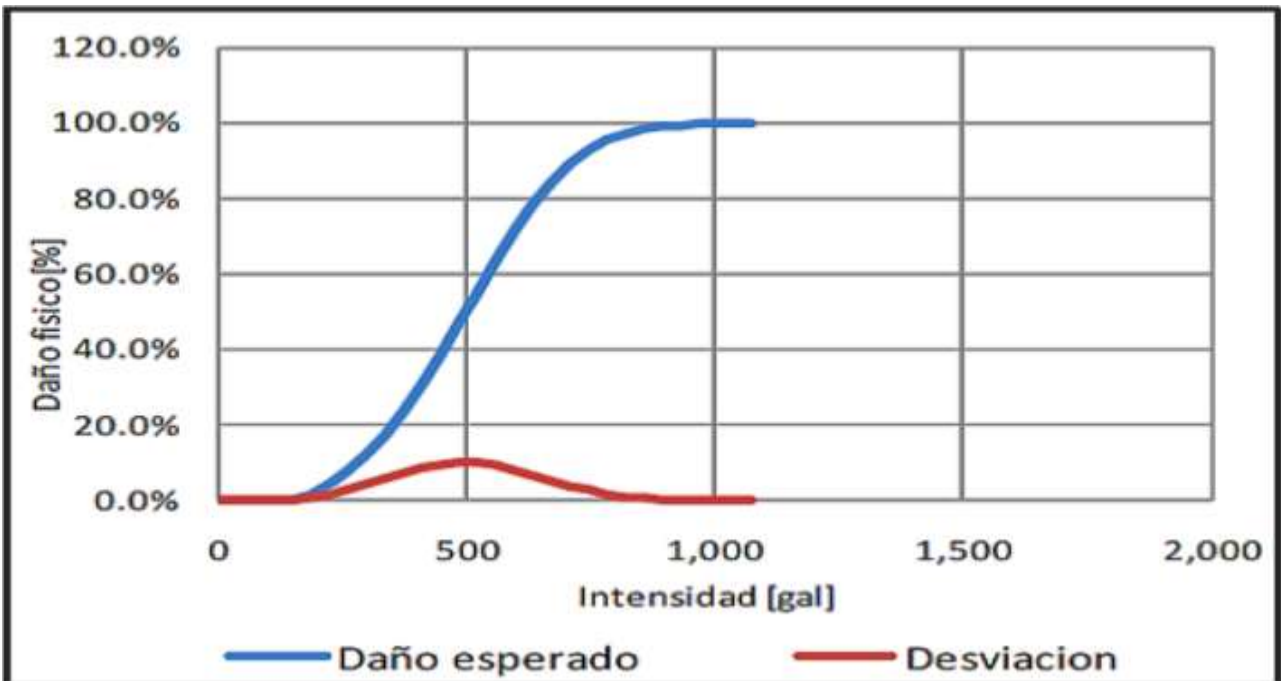


Figura 33. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MC-FLFSB-2
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

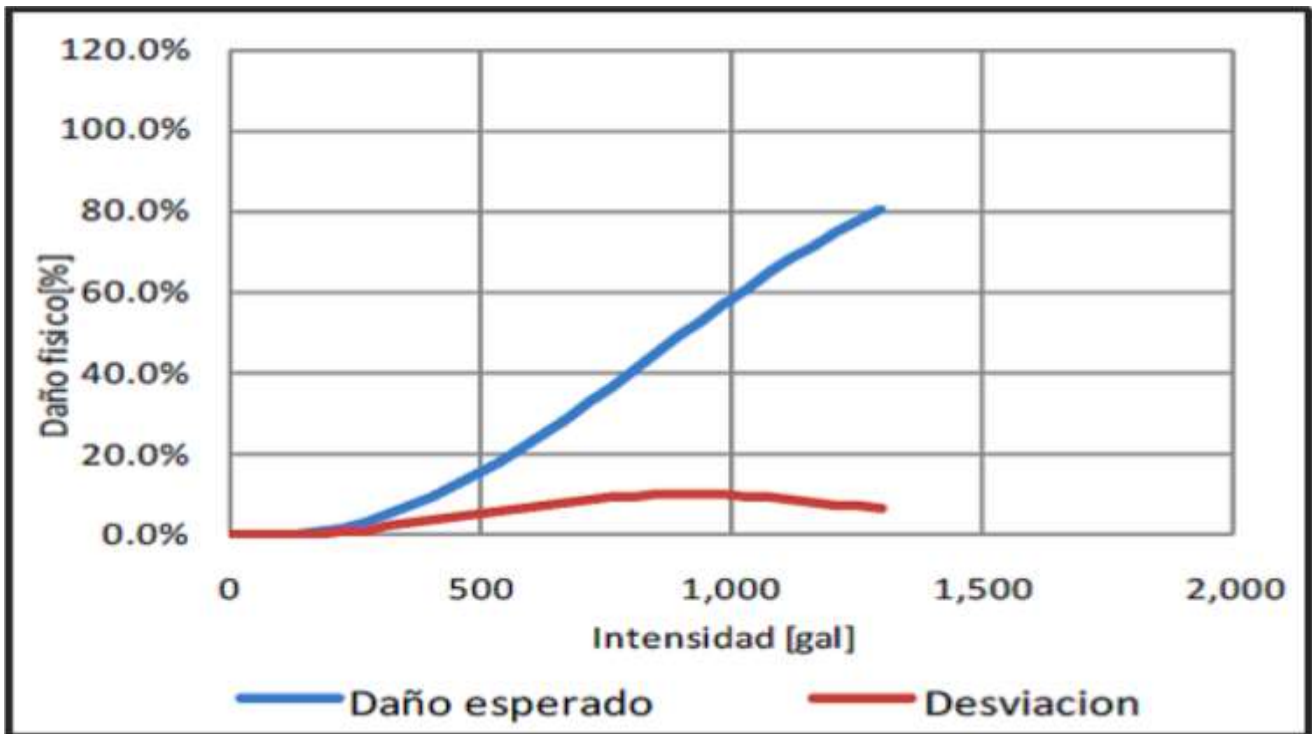


Figura 34. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo W-SLFLB-1
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

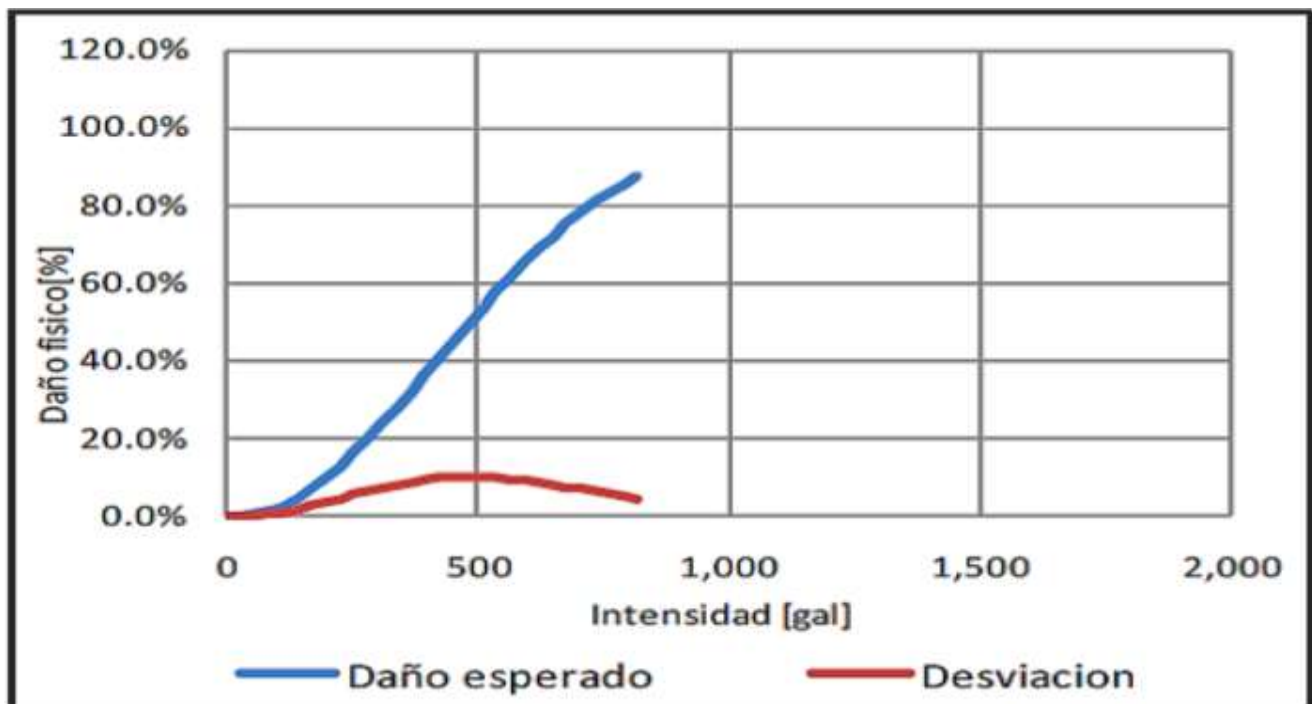


Figura 35. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo W-FLFLB-2
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

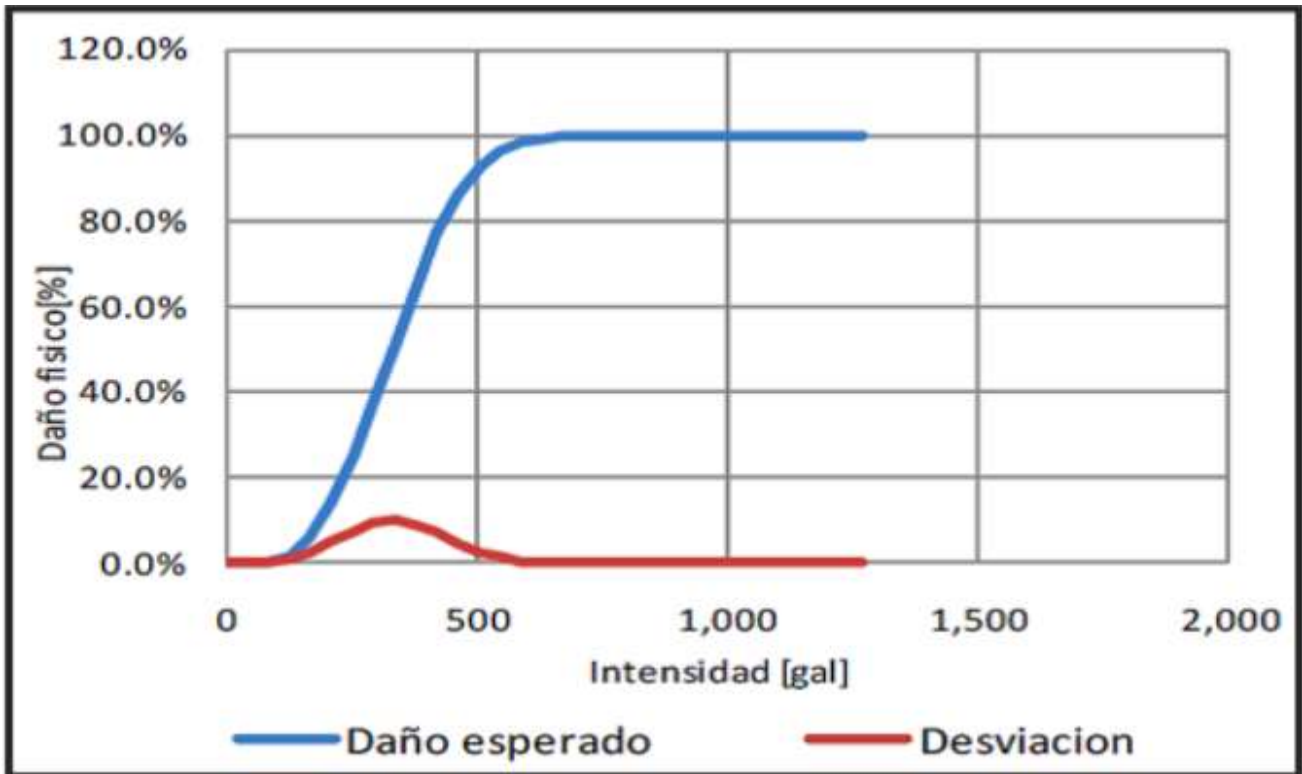


Figura 36. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MR-FLFSB-2
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

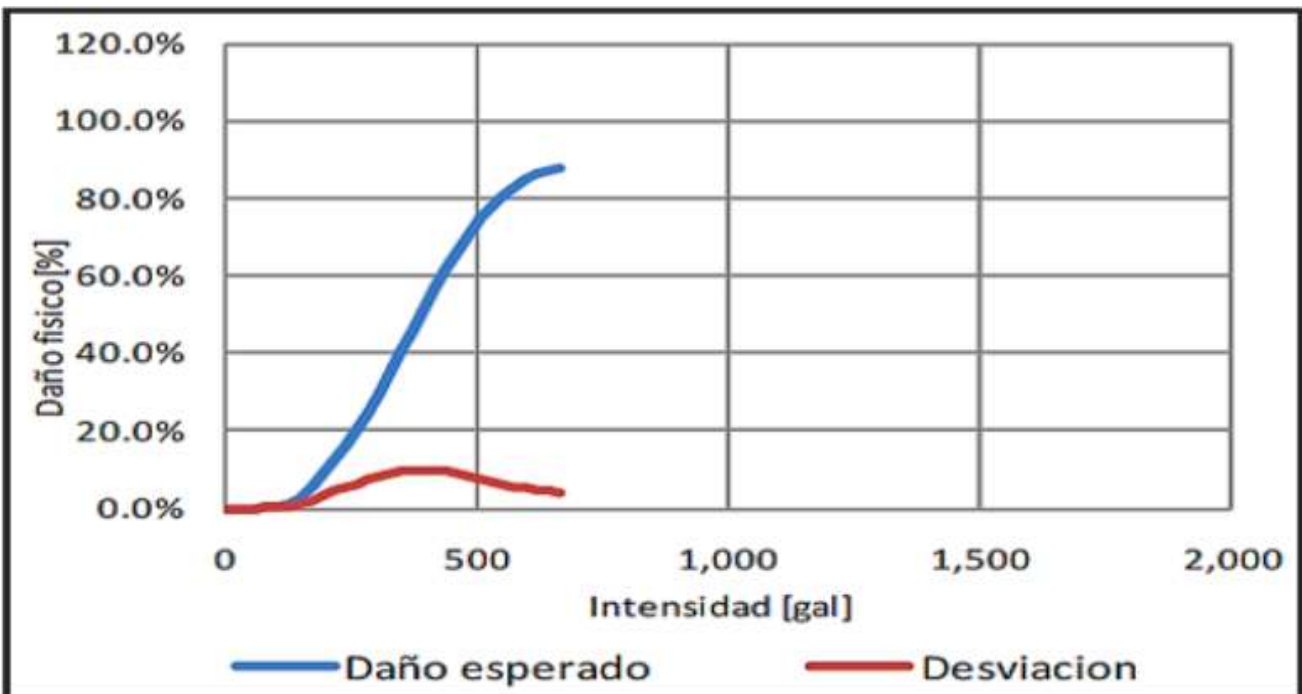


Figura 37. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MR-RLFSB-2
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

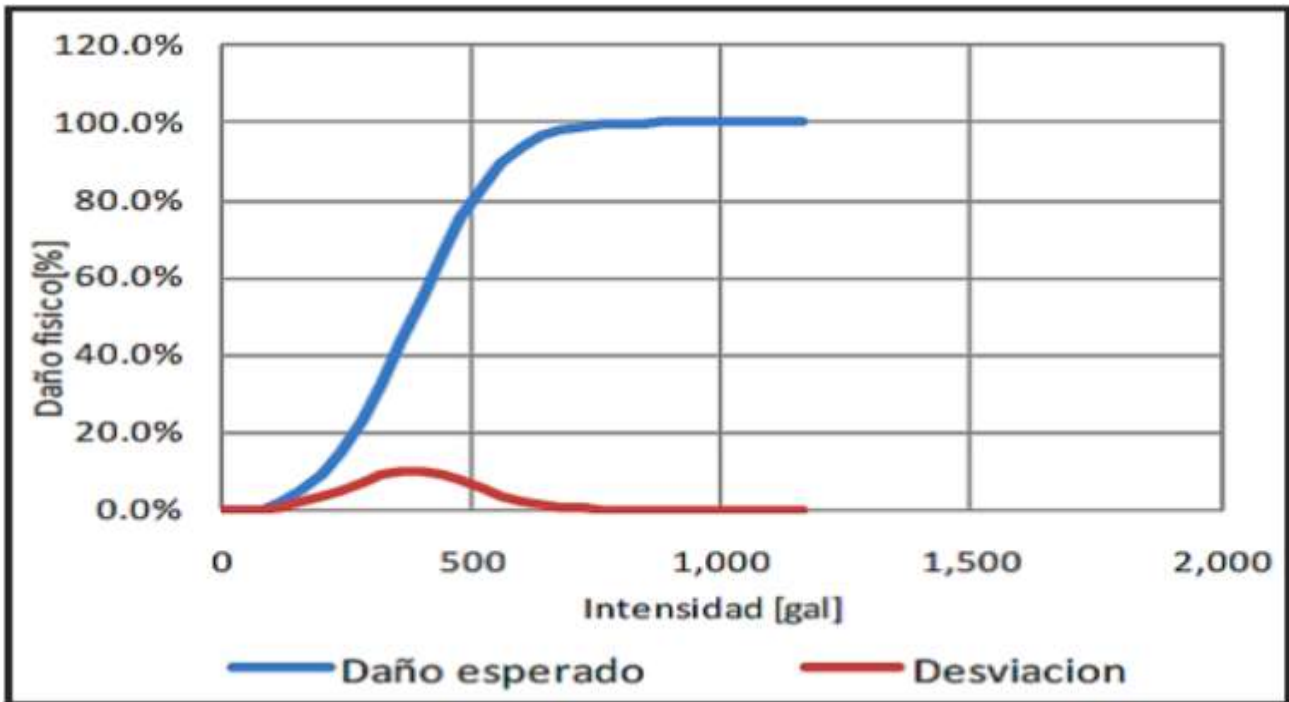


Figura 38. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo MS-SLFSB-1
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

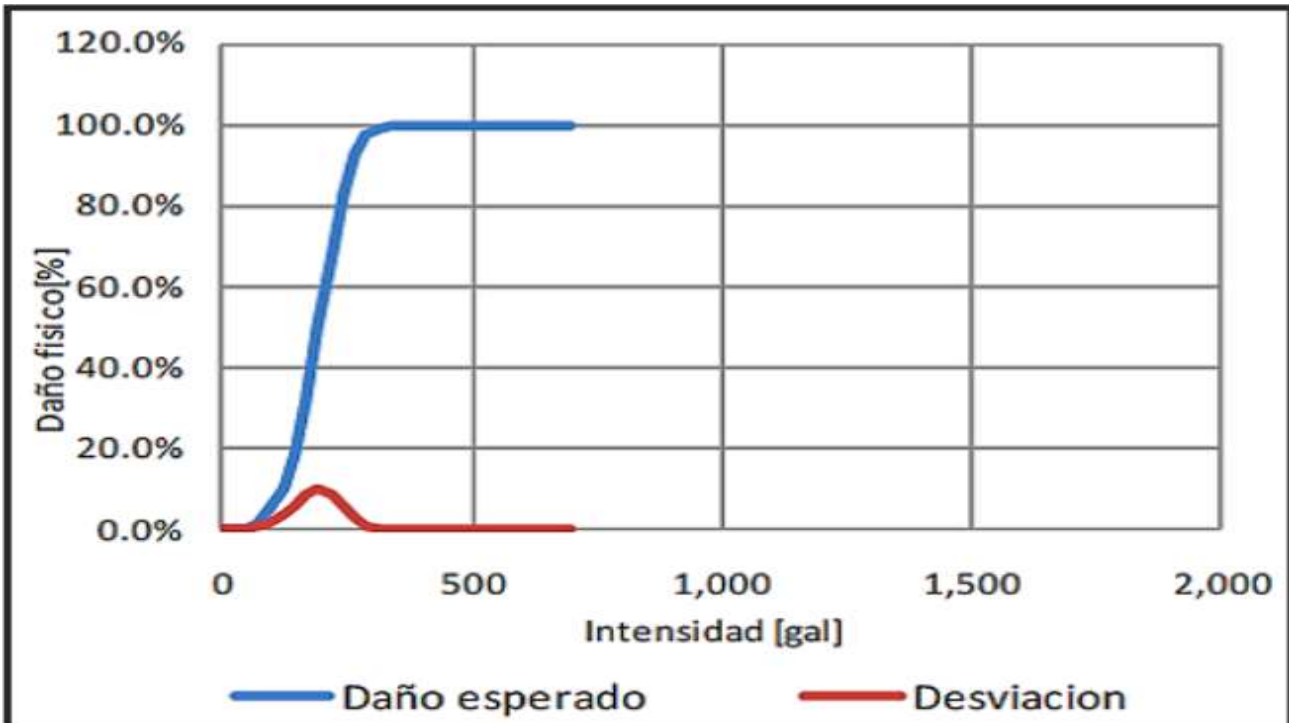


Figura 39. Función de vulnerabilidad sísmica tipo constructivo MS-FLFSB-2
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

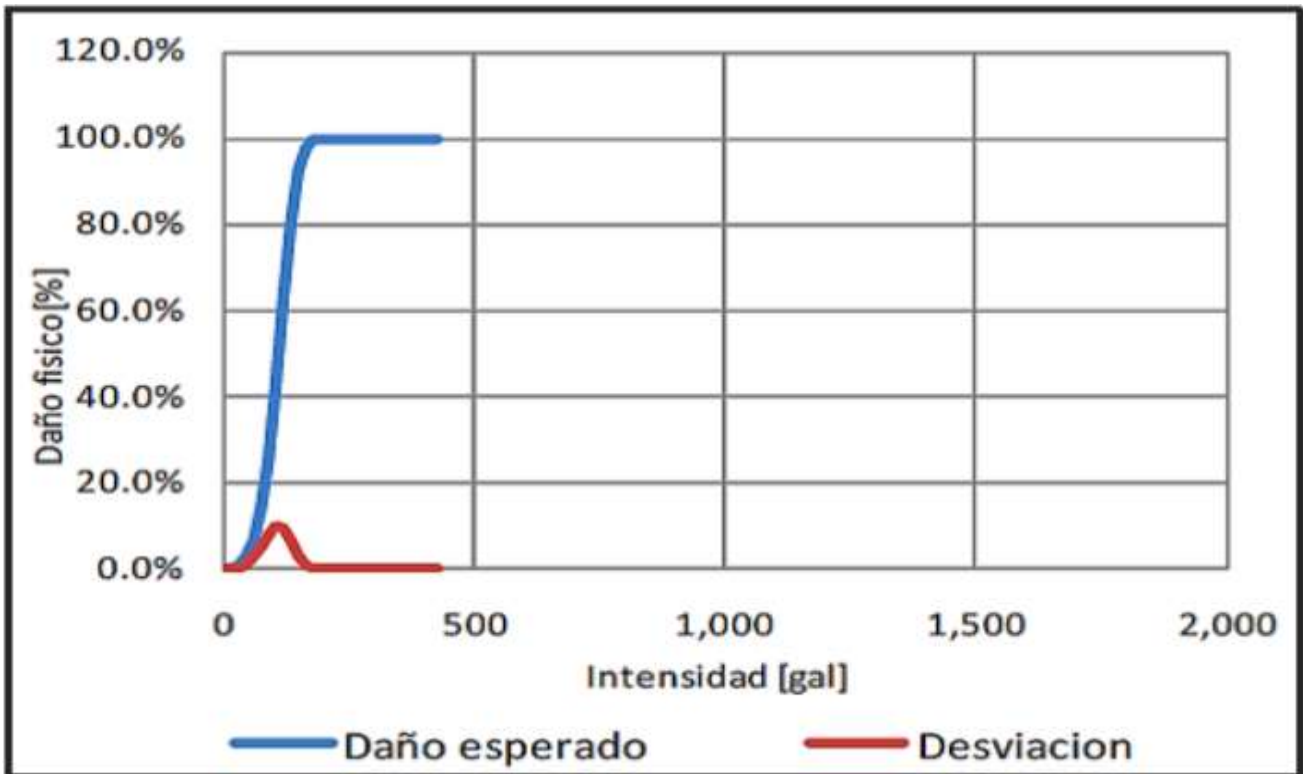


Figura 40. Función de vulnerabilidad sísmica tipo constructivo MS-RLFSB-2
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

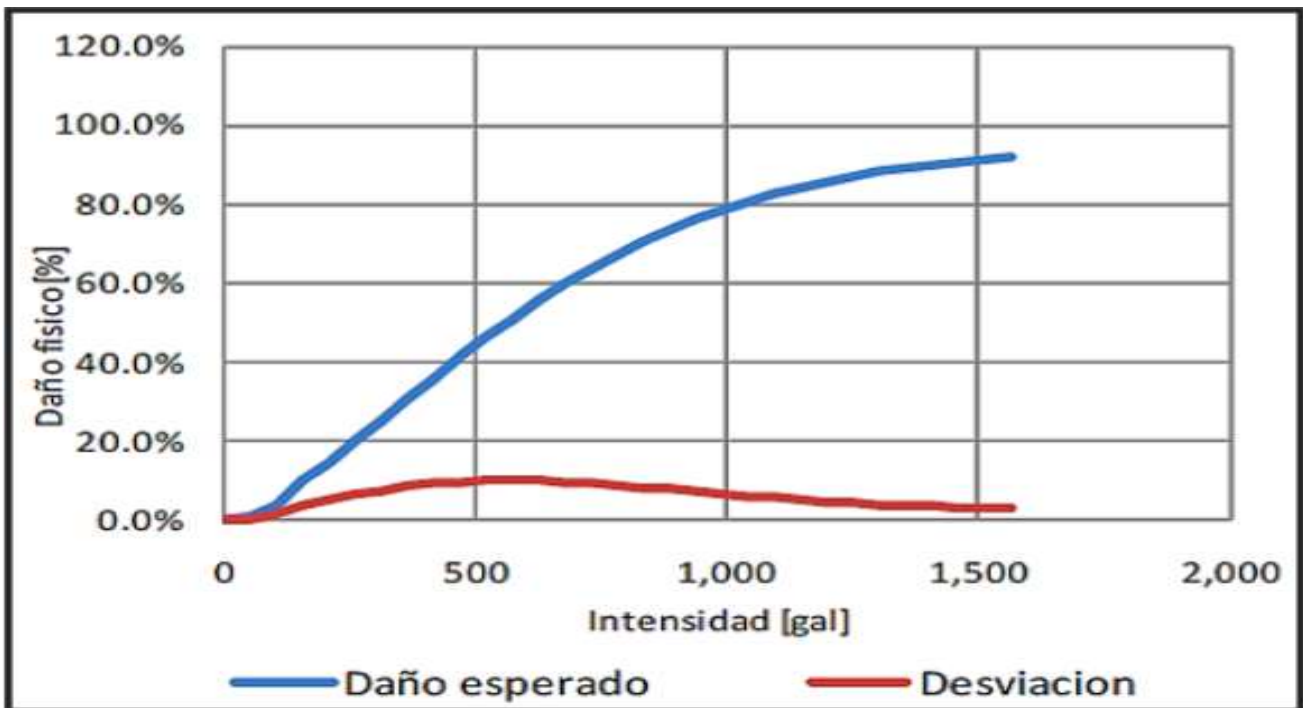


Figura 41. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCR-RLFSM-5
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

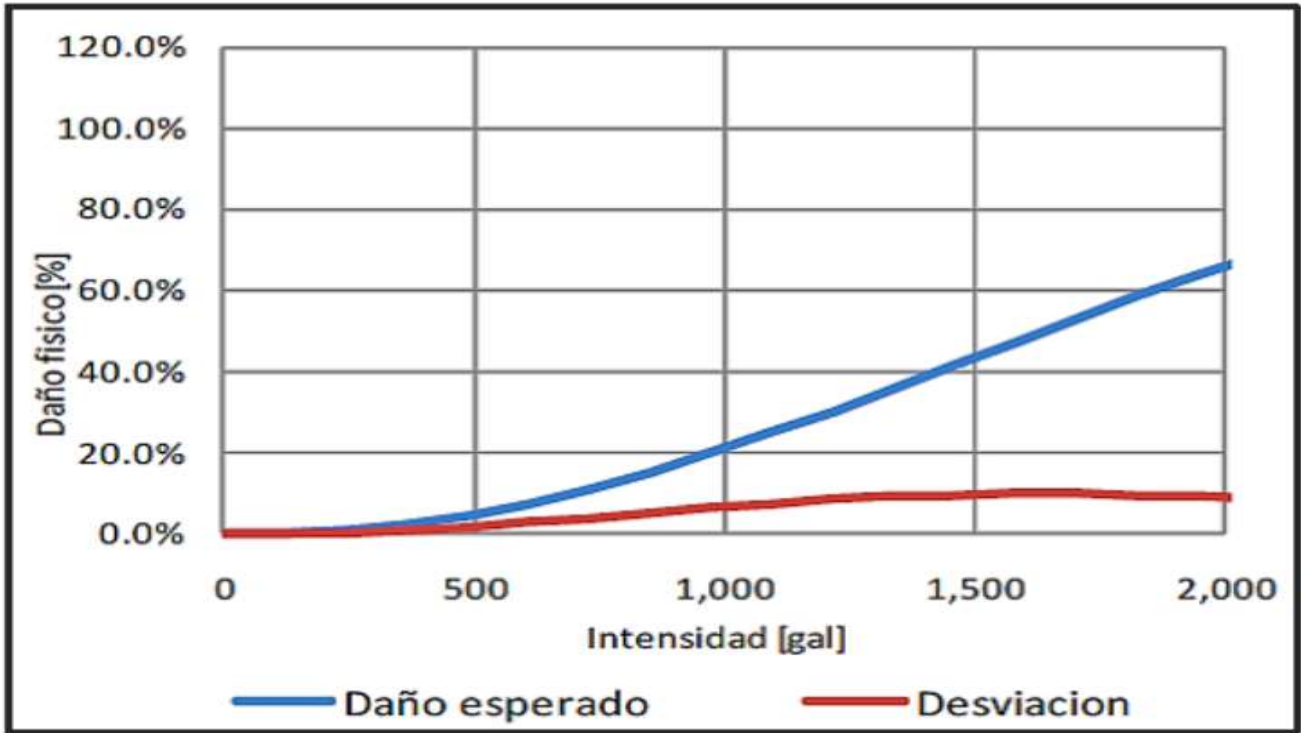


Figura 42. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCR-RCFSM-5
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

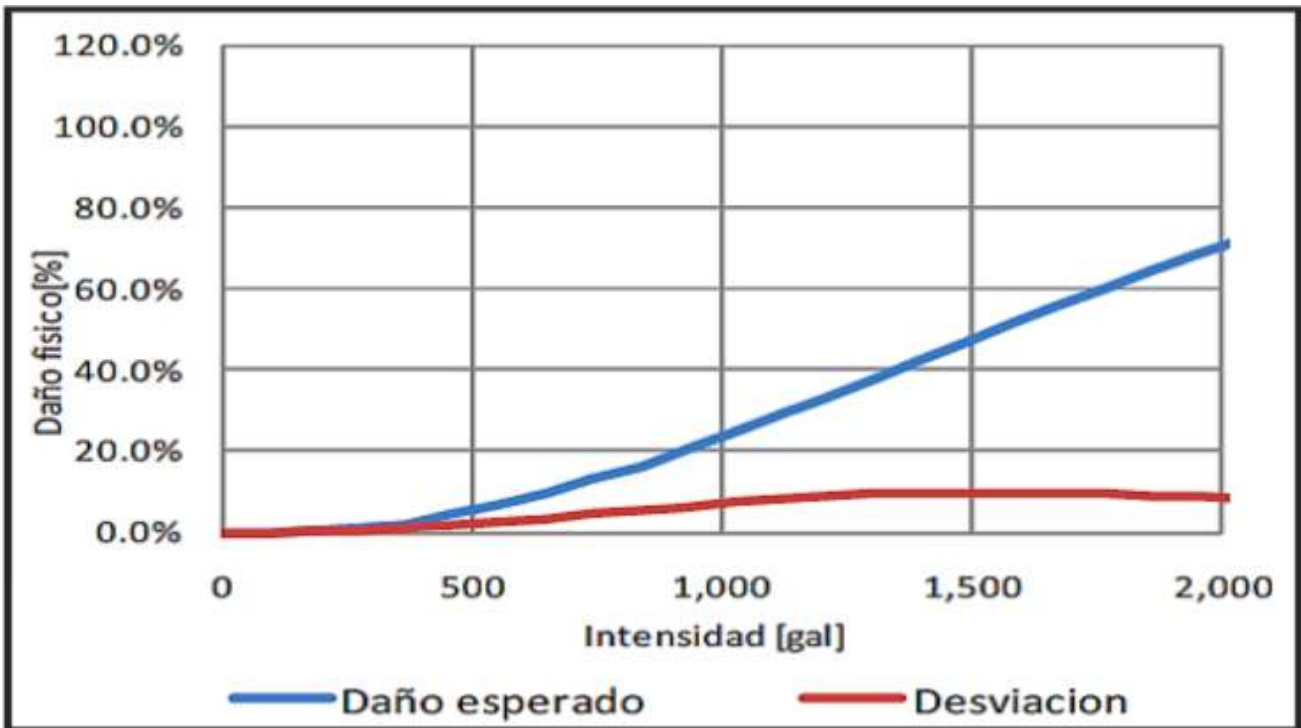


Figura 43. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo PCM-RCFSM-5
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

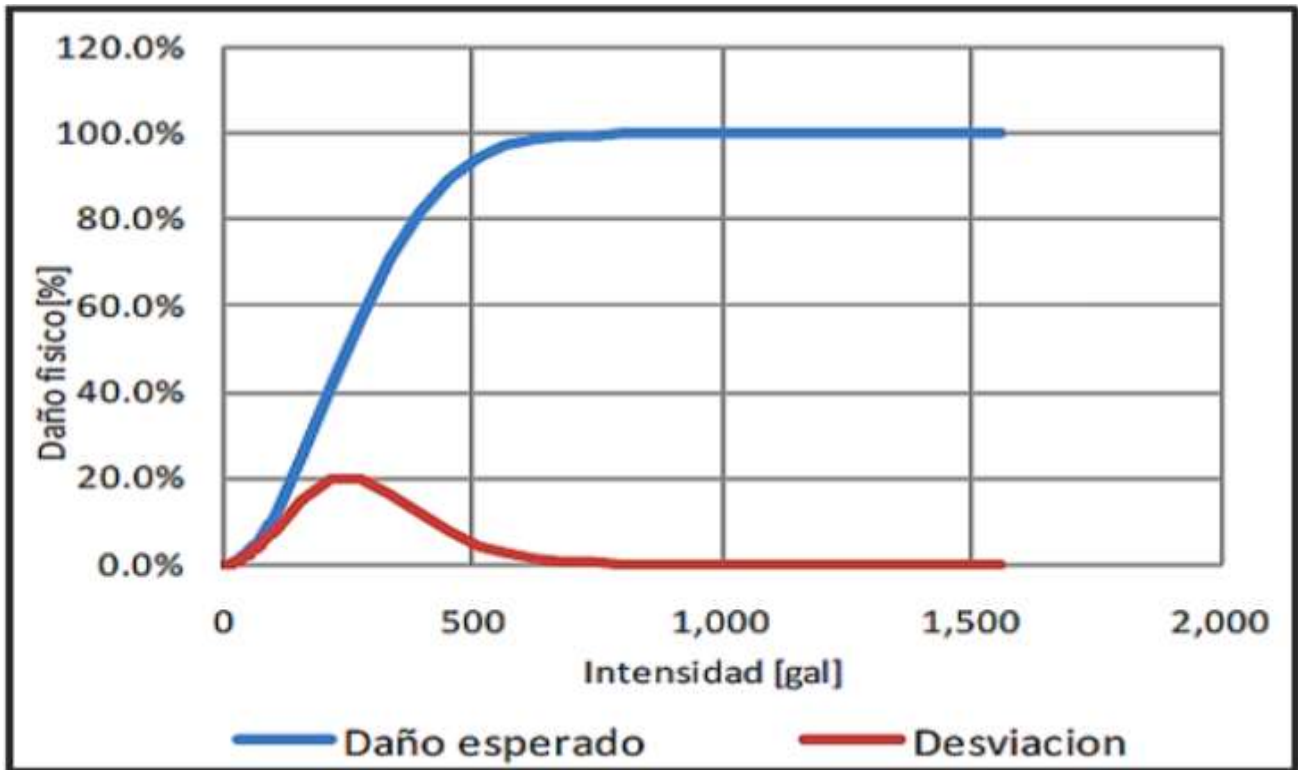


Figura 44. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo R-SLFLB-1
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

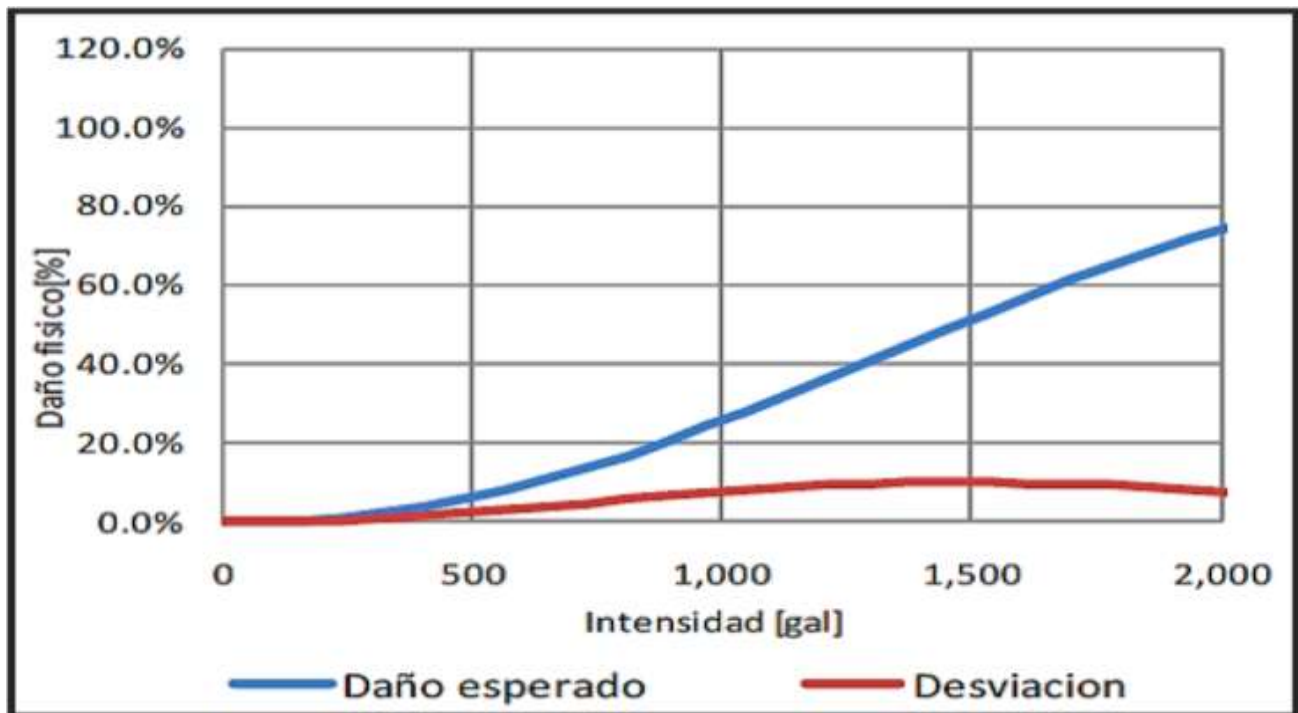


Figura 45. Función de vulnerabilidad sísmica, tipo constructivo CPM-RCFSB-2
Fuente: Informe (ERN-CAPRA, T2-5)

Metodología

A continuación, se desarrolla la metodología empleada para desarrollar el proyecto; primeramente, se dispuso a determinar y justificar el área de estudio, en donde se realizó el análisis del marco tectónico regional y local. Posteriormente, se prosiguió con el estudio de la amenaza sísmica según la metodología empleada por ERN-CAPRA-T1-3, en donde, mediante un método determinístico, se proponen tres sismos de control para determinar las aceleraciones presentadas en el suelo. Los sismos de control se basan en registros históricos, y la aceleración máxima se obtiene mediante ecuaciones que involucran, la magnitud de los sismos, el tipo de suelo, y la distancia del hipocentro a las distintas zonas analizadas. Dicha distancia se registra en mapas, utilizando sistemas de información geográfica, específicamente el software QGIS. Para registrar la distancia primero se deben ubicar las zonas a analizar, en donde, se realizó una sectorización para posteriormente obtener una muestra representativa mediante un muestreo simple aleatorio. Para finalizar el cálculo, la amenaza se representó en los mapas empleando el software propuesto. Los mapas de intensidad se representarán en términos de la aceleración máxima (PGA) y por medio de la escala Mercalli Modificada (IMM). Para determinar la IMM, se correlaciona con la PGA obtenida anteriormente mediante rangos de datos obtenidos experimentalmente, y representados mediante ecuaciones según la referencia bibliográfica consultada.

El segundo capítulo de la metodología, se muestran los procesos empleados para determinar la vulnerabilidad de las estructuras presentes, relacionando la aceleración con el grado de vulnerabilidad y dando como resultado un porcentaje de daño esperado; para el desarrollo de esta etapa se procedió a ir al área en estudio, ubicar las áreas a analizar, y elaborar una encuesta recolectando los datos de las distintas tipologías presentes, y el año de construcción, código sísmico vigente, estado de conservación,

tipo de techo, y tipo de entepiso, posteriormente a cada una de estas variables se les asigna un valor correspondiente a un grado de vulnerabilidad. Este grado de vulnerabilidad se representa en distintos colores y se muestran en mapas utilizando el software QGIS. Para finalizar, se determina el porcentaje de daño esperado para cada estructura analizada.

Justificación del área de estudio

Se determinó realizar un estudio acerca de la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Golfito, ya que se encuentra bajo constante amenaza. La comunidad de Golfito se localiza en el Pacífico sur, específicamente en el Golfo Dulce, aproximadamente a 340 km de San José, y se encuentra situada en medio de una zona altamente sísmica, consecuente de la interacción de tres placas tectónicas, además este cantón se encuentra en una zona costera, la cual propicia la oxidación del acero en las estructuras, y como consecuencia de la presencia de los suelos arenosos y del tipo S4, el área es propensa a sufrir de licuefacción. Esta ciudad se encuentra rodeada de montañas, la cual solo se puede ingresar por una carretera, y cuenta con estructuras esenciales como hospital, aeropuerto, puentes, muelles y tanques de agua, combustible y aceite vegetal. La zona sur está caracterizada por la presencia de suelos blandos con alto nivel freático, estratos arcillosos y arenosos, los cuales son muy perjudiciales ante los efectos de un evento sísmico. Otro factor relevante, es que una gran cantidad de los edificios e infraestructura presentes en la zona tienen más de 70 años de haberse construido, los cuales fueron edificados durante el auge de la compañía bananera. Después del último terremoto (1983), ha habido un crecimiento importante en la zona, con un

aumento considerable en la población residente, en muchos casos sin ninguna planificación, dada la apertura del depósito comercial de Golfito, desarrollo de la industria de palma aceitera, aumento del turismo y aumento del comercio, principalmente en la zona limítrofe con Panamá. El presente proyecto nace de la necesidad de conocer el estado sísmico de la zona, así como de sus edificaciones, dada la reciente actividad sísmica y la alta probabilidad de que ocurra un sismo de alta magnitud, además de que es importante evaluar la respuesta ante un sismo, y mantener a la población prevenida e informada con el conocimiento de las acciones a tomar antes, durante y después de un evento significativo.

Como se mencionó en el marco teórico, la vulnerabilidad de la ciudad de Golfito es muy alta, además, de acuerdo a las limitaciones del proyecto el estudio, se centra específicamente en el sector urbano y casco central de esta ciudad, ya que esta ciudad, es la cabecera del cantón, y el mayor centro poblacional, por eso es posible encontrar mayor cantidad de infraestructura y las diferentes tipologías. Según se puede comprobar en el cuadro 5 basado en los datos del INEC, en el censo realizado el año 2011, en el cantón de Golfito se observa que el distrito de Golfito posee una población de 11.284 personas, siendo este el segundo distrito más poblado del cantón, detrás de Guaycará, con 12.918 personas, sin embargo, tomando como referencia el cuadro 6, el cual muestra las poblaciones, clasificadas en urbano y rural, se aprecia que la población es mayor en la ciudad de Golfito que en Guaycará, e históricamente la región del Golfo Dulce ha sido la más afectada por los sismos.

Cuadro 5. Población total según cantón y distrito			
Cantón y distrito	Total		
	Total	Hombres	Mujeres
Golfito	39.150	19.799	19.351
Golfito	11.284	5.530	5.754
Puerto Jiménez	8.789	4.548	4.241
Guaycará	12.918	6.528	6.390
Pavón	6.159	3.193	2.966

Fuente: INEC. Elaborado en Excel 2007

Cuadro 6. Población total por zona y sexo, según cantón y distrito

Cantón y distrito	Urbano	Rural
	Total	Total
Golfito	18.364	20.789
Golfito	7.598	3.686
Puerto Jiménez	3.036	5.753
Guaycará	7.100	5.818
Pavón	630	5.529

Fuente: INEC. Elaborado en Excel 2007

Se escogió analizar específicamente el casco urbano, ya que este abarca menos área, y es de mayor facilidad de abarcar por las limitaciones que se tiene a la hora de realizar la toma de los datos. Además de que se pueden encontrar las diferentes tipologías mencionadas, lo cual hacen de un análisis completo, y así poder extrapolar los resultados, y comparar con respecto a otras áreas aledañas a la zona en estudio.

Habiendo escogido la zona en estudio, se prosiguieron a analizar los marcos tectónicos regional y local, e identificar las fallas que presenten una mayor amenaza. Ante esto, de acuerdo a los mapas obtenidos, se determina que la falla capaz de generar una mayor afectación a la ciudad de Golfito es la falla Longitudinal, ya que es la falla de mayor capacidad destructiva que presenta el territorio nacional, además se encuentra a una distancia de aproximadamente 30 km. Otra falla importante a tomar en cuenta es la falla Golfito, la cual pasa justamente por debajo de dicha ciudad, siguiendo la línea costera. Esta falla fue la responsable de los terremotos ocurridos en el Golfo Dulce en los años de 1904, 1941 y 1983.

Amenaza Sísmica

Definición de escenarios sísmicos

De acuerdo a los estudios de la sismicidad histórica, se determinó que en la zona en estudio la falla Golfito y la falla Longitudinal son las que presentan una mayor amenaza, esto se debe a que son de las fallas con mayor potencial

destruccion de la zona, adem3s se encuentran relativamente cerca del Golfo Dulce. Posteriormente, se procedi3 a determinar los sismos de control para efectuar el c3lculo de la aceleraci3n manifestada. Estos se basan en la profundidad de zona de subducci3n, y en los registros hist3ricos de la base de datos mostrada en el marco te3rico.

El primer sismo de control dispone una magnitud de 7,8 Mw, la cual es la m3xima magnitud presentada asumiendo una total ruptura de la falla. Este sismo se localiza en el sector de Golfito, coordenadas latitud 8,671628 y longitud -83,149303, a una profundidad de 30 km. Con este sismo se pretende representar uno de los m3ximos escenarios posibles, que generan m3s daos y mayores aceleraciones del terreno.

La magnitud del segundo sismo propuesto es de 7,3 Mw, profundidad de 21 km, y coordenadas latitud 8,6546066 y longitud -83,208505, ubicado a 5 km al oeste de la ciudad de Golfito, referenciando a los par3metros experimentados durante el sismo de 1983, el cual cuando sucedi3 no se tenia tantos instrumentos capaces de medir las distintas aceleraciones presentadas, adem3s de que la ciudad de Golfito no se encontraba tan desarrollada, y contaba con cerca de 3.000 personas menos, segun los datos del INEC.

El tercer sismo de control present3 una magnitud de 7,2 Mw, a una profundidad de 24 km, y localizado a 1 Km al oeste de la ciudad de Golfito, en medio del Golfo Dulce, coordenadas latitud 8,5981773 y longitud -83,2061616; en este sismo se pretende observar la afectaci3n de un evento con una magnitud mayor a 7 Mw en el centro de la ciudad, que es otra posible situaci3n, capaz de generar una alta intensidad en las estructuras, ocasionando un m3ximo dao probable.

Habiendo seleccionado los escenarios s3smicos, se procede a determinar la distancia hipocentral, y el par3metro indicativo de la geolog3a correspondiente al 3rea del an3lisis.

Selecci3n de la distancia de la fuente al sitio en an3lisis

Despu3s de ubicar el epicentro de los sismos, mediante el empleo del software QGIS se realiz3

la medici3n de las distancias a las diferentes zonas analizadas.

Estas se ubicaron, realizando una sectorizaci3n por medio del sistema de informaci3n geogr3fica; en donde se ubica el epicentro de los sismos de control, posteriormente, se hace la conversi3n del archivo vectorial a un archivo raster, y se realiza un mapa de proximidad correspondiente a las distancias epicentrales.

Luego se determina la distancia hipocentral, la cual es uno de los par3metros de la ecuaci3n de Climent, correspondiente a longitudes estimadas anteriormente, y se utilizan en el desarrollo de la siguiente relaci3n.

$$R_{hipocentral} = \sqrt{R_{epicentral}^2 + R_{profundidad}^2}$$

An3lisis de la Geolog3a de la zona

Los sismos se deben principalmente a las fricciones entre las placas tect3nicas, las cuales ocasionan, fracturas en las rocas y la generaci3n de la aceleraci3n del terreno debido a las ondas s3smicas resultantes de la fractura. Las ondas s3smicas pueden verse amplificadas o disminuidas, ya sea por la presencia de suelos blandos, las cuales generan periodos muy cortos y puede llegar a sufrir de licuefacci3n, por otra parte, los suelos m3s consistentes como las rocas, atenúan las ondas s3smicas.

Ya que no se es posible realizar pruebas de laboratorio para caracterizar el tipo de suelo presente, se toma como referencia la figura 46, en donde se puede apreciar que en la zona de Golfito se encuentran suelos Ultisoles, que corresponden a Typic Tropohumult, correspondiente a un suelo rojizo, profundo, arcilloso y 3cido.

Con el fin de tener m3s informaci3n, ya que el tipo de estrato afecta considerablemente la propagaci3n de las ondas s3smicas, se toma como referencia las hojas de geolog3a del atlas 2014 de Costa Rica, la cual se muestra en el anexo 1 y 2, este archivo tipo shape, se abre con el sistema de informaci3n geogr3fica QGIS, para as3 identificar los tipos diferentes de suelo en el 3rea en estudio, en donde, se define si corresponde a suelo y roca, clasificando como 1 si es suelo o 0 si es tipo roca. Posteriormente se crea un mapa de atributos, y se realiza una rasterizaci3n para introducir as3 el

parámetro en la ecuación de aceleración de Climent. La clasificación según el atlas 2014 de Costa Rica se puede observar en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Clasificación del tipo de suelo en el área en estudio				
ID	Descripción	Edades	Composición	Tipo
451	Rocas sedimentarias de aguas profundas	Cretáceo o a plioceno	Caliza, arenisca, lutita y turbidita	0
467	Basaltos del fondo del mar	Jurásico o a eoceno	Basaltos toleítico, con sedimentos pelágicos intercalados	0
480	Depósitos aluviales y coluviales	Cuaternario	Depósitos de deslizamiento, fanglomerado, pantanoso y playa	1

Fuente: Atlas CR 2014. Elaborado en Excel. 2007

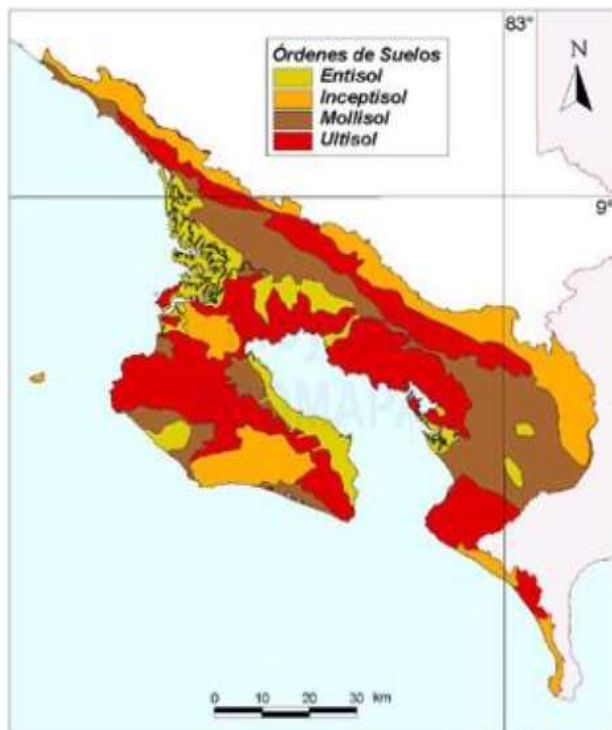


Figura 46. Tipos de suelo zona sur de Costa Rica
Fuente: Plan de desarrollo rural territorial

Determinación de la aceleración según la función de atenuación

En el presente estudio se utilizó la aceleración máxima, ya que es el parámetro más utilizado, el cual se obtiene mediante la ecuación dada por Climent descrita en el marco teórico. No se determinó ningún otro parámetro, por las limitaciones del proyecto, y además de que el objetivo principal del mismo es determinar la vulnerabilidad sísmica. Para estimar la aceleración máxima, se introducen los parámetros de la magnitud de cada sismo analizado y las distintas distancias correspondientes a las zonas analizadas.

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

Donde:

M: Magnitud del sismo

R: Distancia Hipocentral (km)

S: 1 o 0 según sea suelo o roca

$$\sigma_{PGA} \sigma_{PGA}: 0,75$$

Según la magnitud, el tipo de suelo de obtenido, y la distancia hipocentral, se genera la combinación de los mapas raster para registrar la aceleración máxima resultante. Los mapas necesarios que se introducen en la ecuación se presentan en el apéndice 2, así como en el apéndice 3 se muestran las distintas aceleraciones presentadas.

Correlación de intensidades

Habiendo obtenido los escenarios sísmicos, fue necesario determinar las correlaciones entre la aceleración obtenida (PGA) y la escala Mercalli Modificada, para así poder mostrar en los mapas de amenaza sísmica las distintas representaciones de la intensidad presentada. Los mapas de amenaza son representados según la aceleración del terreno, también se utiliza una escala macrosísmicas. En total se realizaron tres mapas, representando PGA expresado en (m/s²) y PGA expresado como el efecto sobre la gravedad terrestre, además para representar la intensidad se determinó utilizar la escala Mercalli Modificada, ya que es una de las escalas de intensidad más utilizadas y conocidas por la población, en general, permitiendo así clasificar los sismos según la percepción y el daño potencial. En el cuadro 8, se observan los rangos de aceleraciones según la

escala de intensidad Mercalli Modificada. En la figura 47 se muestran además las correlaciones para la velocidad pico y la aceleración como porcentaje de la gravedad.

Después de correlacionar las intensidades, se procedió a la elaboración de los respectivos mapas mediante el software QGIS. Las ecuaciones que correlacionan la intensidad Mercalli Modificada con la aceleración horizontal máxima se muestran en los cuadros 8, 9 y 10. Con estas ecuaciones se logra establecer un valor más exacto de la aceleración o velocidad pico, sin embargo, también se representa mediante un rango de intensidades, por lo tanto, se desarrollan los tres métodos para así reducir la incertidumbre de los datos. Además, para los efectos de que se presenten magnitudes, mayores a las mostradas en los cuadros, se procedió a utilizar la figura 47, la cual se basa en los registros de aceleraciones como porcentaje de la gravedad terrestre.

Cuadro 8. Rango de aceleraciones propuestos según intensidad Mercalli Modificada (IMM)		
Intensidad (IMM)	Rango de $PGA_{máximo}$ (cm/s^2)	Rango de $PGA_{máximo}$ (%g)
II	< 4,9	< 0,5
III	4,9 - 13,3	0,5 - 1,4
IV	13,3 - 36,0	1,4 - 3,7
V	36,0 - 80,3	3,7 - 8,2
VI	80,3 - 146,7	8,2 - 15,0
VII	146,7 - 268,0	15,0 - 27,3

Fuente: Linkimer (2008); elaborado en Excel 2007

Cuadro 9. Aceleración horizontal máxima vs escala Mercalli Modificada	
Correlación	Intervalo
$IMM = 2,30 \log PGA_{máx} + 0,92$	$II < IMM < V$
$IMM = 3,82 \log PGA_{máx} - 1,78$	$V < IMM < VII$

Fuente: Linkimer (2008); elaborado en Excel 2007

Cuadro 10. Aceleración horizontal máxima vs escala Mercalli Modificada	
Correlación	Intervalo
$IMM = 2,20 \log PGA_{máx} + 1$	$IMM < V$
$IMM = 3,36 \log PGA_{máx} - 1,66$	$V < IMM < VIII$

Fuente: Wald et. Al (1999); elaborado en Excel 2007

Cuadro 11. Velocidad horizontal máxima vs escala Mercalli Modificada	
Correlación	Intervalo
$IMM = 2,10 \log PGV_{máx} + 3,40$	$IMM < V$
$IMM = 3,47 \log PGV_{máx} - 2,45$	$V < IMM < IX$

Fuente: Wald et. Al (1999); elaborado en Excel 2007

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 47. Escala de intensidad instrumental
Fuente: Wald. Et, al. 2006

Vulnerabilidad Sísmica

Muestreo y zonificación

Una vez determinada la amenaza se procedió a realizar el diagnóstico de la vulnerabilidad sísmica, en donde, por limitaciones a la hora de la toma de datos, se optó por realizar un muestreo aleatorio simples. Identificando las diferentes zonas y estructuras a analizar, se aplican las ecuaciones dadas por Walpole et al (2012) para obtener el tamaño de la muestra representativa.

Cuando se desconoce el tamaño de la población se utiliza:

$$n = z^2 * p * e^2$$

Cuando se conoce el tamaño de la población de estudio:

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

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 = 0,5

e: Porcentaje de error. El cual se supone como 5%.

n: Tamaño de muestra representativa

En el caso analizado, el tamaño de la muestra se puede obtener mediante los registros del censo 2011, en donde de acuerdo al cuadro 12 se muestra que el distrito de Golfito presenta 3.339 casas ocupadas. El área del estudio se puede observar en la figura 48, la cual abarca desde el sector de Kilómetro 5 en el sureste, hasta el barrio Ureña en el extremo noroeste.



Figura 48. Zona de estudio
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Cuadro 12. Viviendas individuales por zona y ocupación de la vivienda, según provincia, cantón y distrito			
Cantón y distrito	Total		
	Total	Ocupadas	Desocupadas
Golfito	13.765	11.576	2.189
Golfito	3.812	3.339	473
Puerto Jiménez	3.533	2.784	749
Guaycará	4.295	3.772	523
Pavón	2.125	1.681	444

Fuente: INEC. Elaborado en Excel 2007

Pero este dato refleja la totalidad del distrito, lo cual sobrepasa el alcance del proyecto, por lo tanto utilizando imágenes satelitales de Google Earth, se divide la ciudad de Golfito en diferentes segmentos. Estos se delimitan identificando la topografía del terreno, así como el segmento que se está analizando, y siguiendo las calles principales y secundarias de la ciudad, así como la frontera con otros cuadrantes. Estos también se delimitan de acuerdo a las tipologías presentes en estos, con el fin de que se ubiquen en donde predomine una de las tipologías estudiadas. El propósito de este análisis fue determinar la cantidad de lotes en el área escogida, al igual, que la cantidad de estructuras que se encuentran en cada lote, y así obtener una muestra más reciente. Algunos lotes que se encuentran dentro del área de estudio no se tomaron en cuenta, ya que estos eran áreas sin ninguna edificación, o tienen la presencia de estructuras sin relevancia en el análisis o estructuras, así como estructuras complejas que precisan de otro tipo de criterios, como tanques de almacenamiento, torres de fluido eléctrico, iglesias, muelles, marinas, el estadio municipal, puentes, etc. La sectorización realizada se puede observar en la siguiente figura y con más detalle en el apéndice. La ciudad de Golfito, por sus características topográficas, sus zonas y sus cuadrantes están muy definidos, en donde, los edificios principales, y la entrada a los diferentes sectores y barrios de la ciudad, se distribuyen a lo largo de la carretera principal. Analizando las imágenes satelitales mostradas en la figura 48, se obtuvieron 135 cuadrantes, los cuales presentan 1.864 estructuras. A continuación, se muestran los parámetros utilizados para determinar el tamaño

de la muestra utilizando las ecuaciones suministradas por Walpole et al (2012):

$N = 1.864$ estructuras. $z = 1,96$ Nivel de confianza 95%. $p = 0,5$ No se conoce $q = 0,5$ $e = 0,5$
Se obtiene un tamaño de muestra $n = 319$

Después de identificar los cuadrantes, se procedió a utilizar el sistema de información geográfica para descartar zonas con lotes baldíos o estructuras que no cumplieran con las tipologías escogidas. Para ello se debe guardar el archivo con los polígonos y puntos de control realizado en Google Earth como.KML, para así poder abrirlo en QGIS, y luego guardarlo como un archivo shape de ESRI, identificado por la extensión .SHP. Luego de obtener la capa tipo shape con los polígonos, se necesita georeferenciar los datos, pasando al sistema de coordenadas CRTM05. Los lotes resultantes para el análisis se enumeran con el fin de definir la población, y ubicar los sitios de inspección. En la figura 49, se puede observar la segmentación de los lotes con su respectiva numeración, la cual se encuentra en el apéndice 4 con una mayor apreciación.

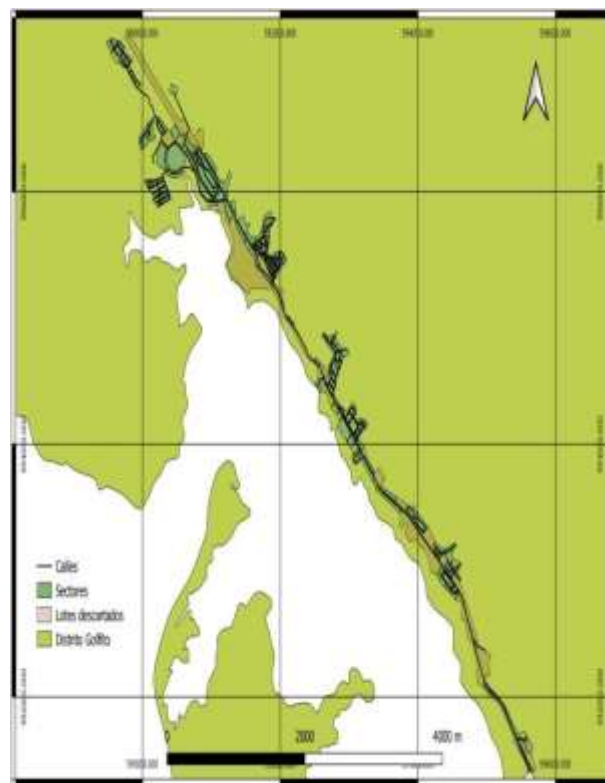


Figura 49. Sectorización del área de estudio
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

El siguiente paso del proceso consistió en determinar el área superficial correspondiente a cada cuadrante, este cálculo se puede realizar mediante las herramientas de QGIS, asignando el operador matemático de área a cada objeto espacial (cuadrante) de la capa con los polígonos analizados. El cálculo de las áreas, se debe, a que se necesita saber el número de encuestas a aplicar en cada sitio, según las pautas indicadas por la Comisión Nacional de Emergencias, para realizar un análisis de vulnerabilidad, las áreas se deben clasificar en rangos de 0 a 10.000 m², 10.000 a 30.000 m², 30.000 a 50.000 m² y más de 50.000 m². Luego de determinar la cantidad de lotes, estos se clasificaron según el área de cada uno de ellos, identificando así la cantidad de formularios a utilizar para cada uno de ellos. Con la cantidad de formularios equivalente al tamaño de la muestra, por medio de Excel, se realizó un muestreo simple aleatorio, obteniendo los lotes y

el número de encuestas a realizar. En el siguiente cuadro se puede observar la cantidad de los lotes, clasificados según el área. El resultado se puede apreciar en el apéndice 5.

Área (m ²)	Cantidad de formularios	Cantidad de lotes
< 10.000	5	118
10.000 < 30.000	10	16
30.000 < 50.000	15	3
50.000 <	20	1

Fuente: CNE. Elaborado en Excel 200

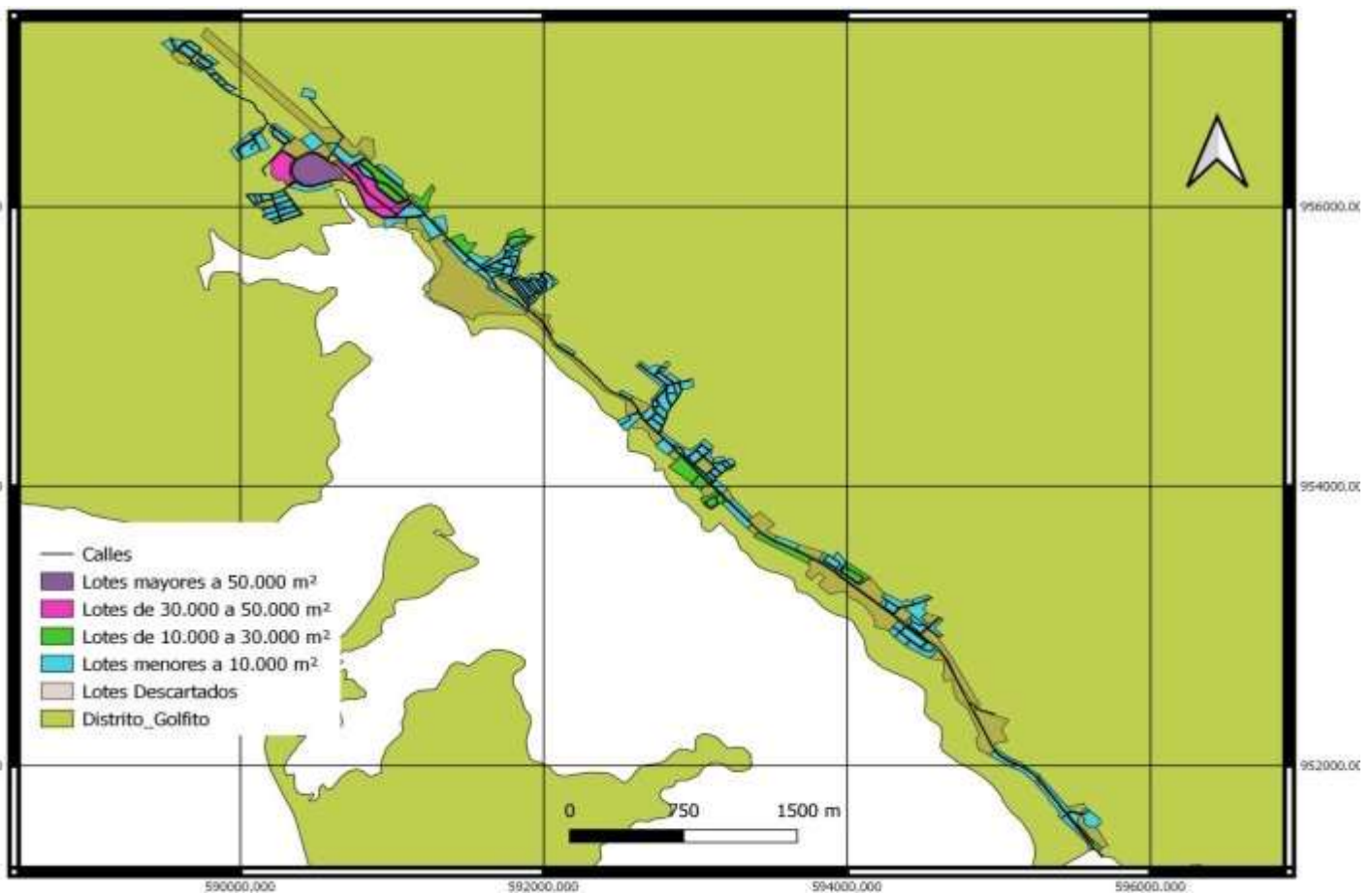


Figura 50. Clasificación de las áreas
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

La etapa de inspección consistió en varios procesos. Primero se registraron la ubicación de los polígonos escogidos mediante coordenadas geográficas, identificando por medio de Google Earth cada cuadrante, las coordenadas se disponen en el sistema CRTM05. Posteriormente, se rellenan las encuestas con las coordenadas establecidas, así como la fecha, el sector a analizar y la cantidad de formularios utilizados por sector, esto con el fin de agilizar el proceso de la toma de datos y obtener una óptima referencia del sector analizado.

Las inspecciones se realizaron entre los días 22 de setiembre y 26 de setiembre, en donde, para el desarrollo del muestreo se llevó un GPS, cámara digital, y una tableta electrónica para registrar los datos en las encuestas listadas anteriormente.

El 22 de Setiembre de 2019, se realizó el muestreo de las zonas más alejadas, correspondientes a los cuadrantes 134, 129, 127 y 125 del barrio Ureña y el sector del Depósito Libre de Golfito, correspondiente a los cuadrantes a 107, 108 y 110.

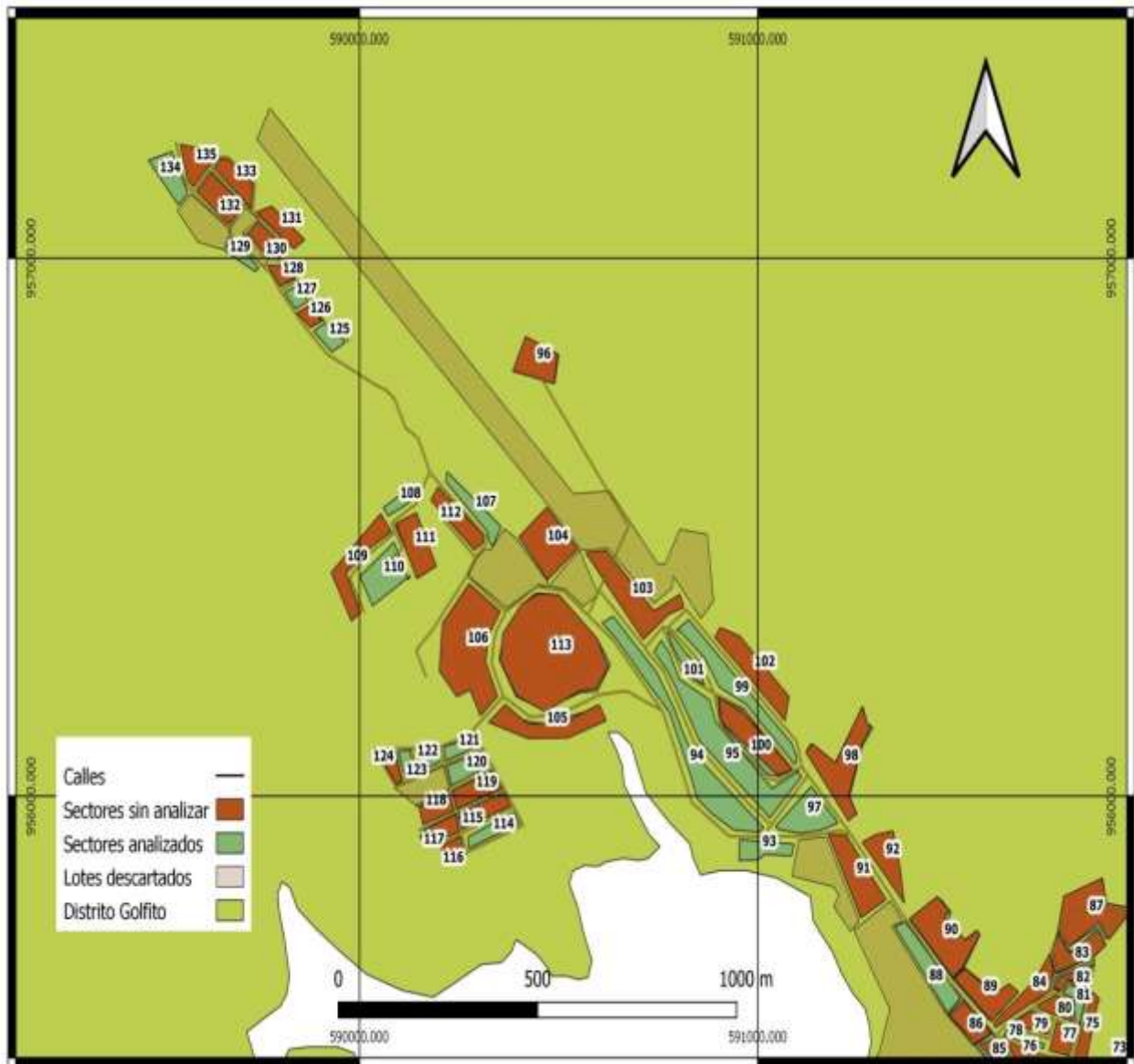


Figura 51. Sectores analizados
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

El día 23 de setiembre se abarcaron los cuadrantes 101, 99, 97, 95, y 94 correspondientes a la antigua zona americana o Barrio Alamedas.

También se efectuó el análisis de los cuadrantes 93 y 88 del sector del hospital, y los cuadrantes 81, 78, 74, 73, 70, 68, 67, 66, 65 del Barrio Bellavista.

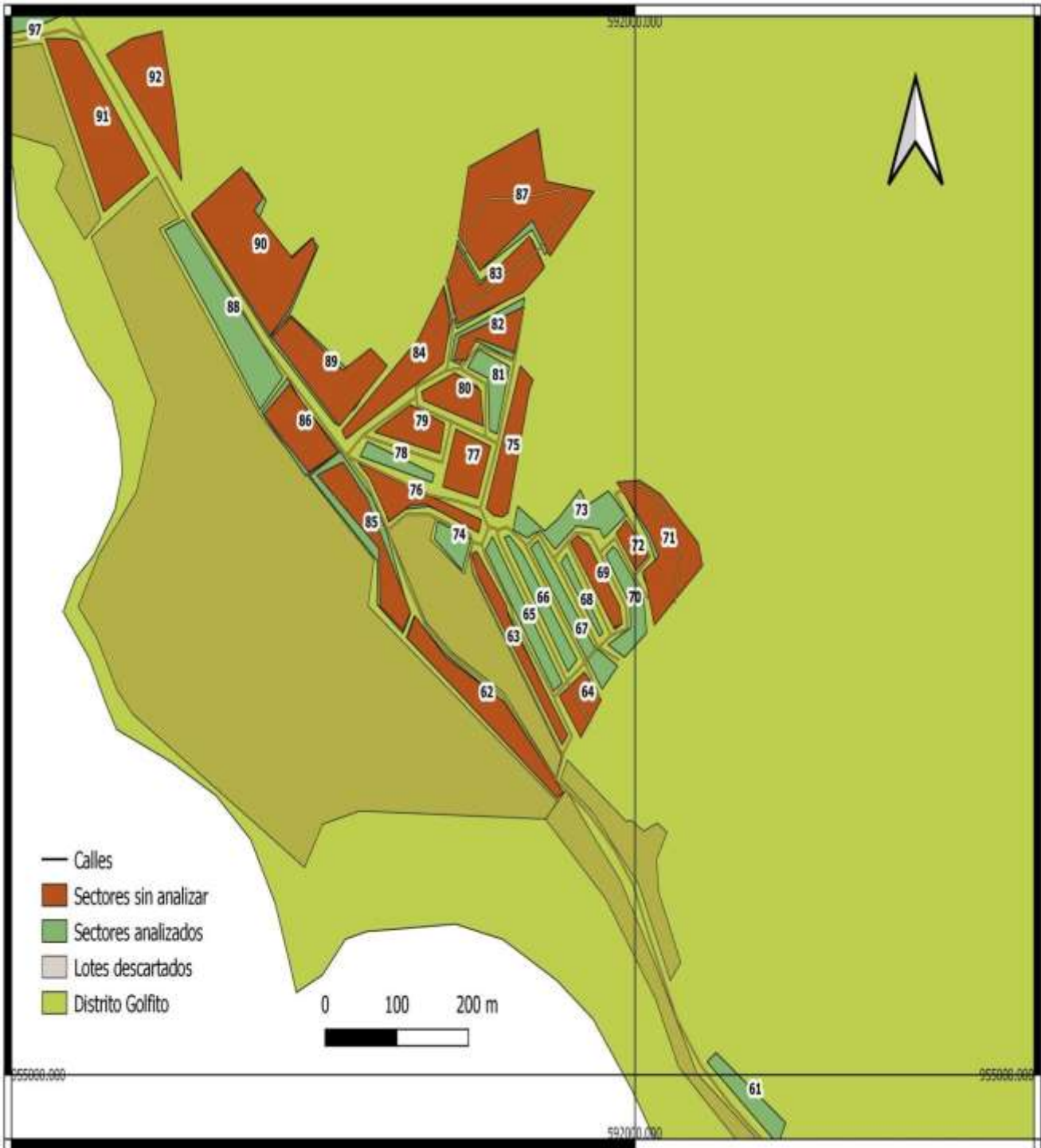


Figura 52. Sectores analizados
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

El día 25 de setiembre se realizó el muestreo del sector del Kilómetro 5, cuadrantes 1, 3 y 6. En el Kilómetro 3 se analizaron los cuadrantes 9, 13, 16, 18 y 22. En el Kilómetro 2 conocido como el Pueblo civil, se analizaron los cuadrantes 24, 25, 26, 30, 34, 35, 36, 39, 41 y 42.

Así como los cuadrantes 44, 48, 50, 52, 55, 57, 58 y 59 del kilómetro 1.

El muestreo se finalizó el día 26 de setiembre, con el análisis del sector de Barrio Llano Bonito, con los cuadrantes 114,120, 121 y 122.

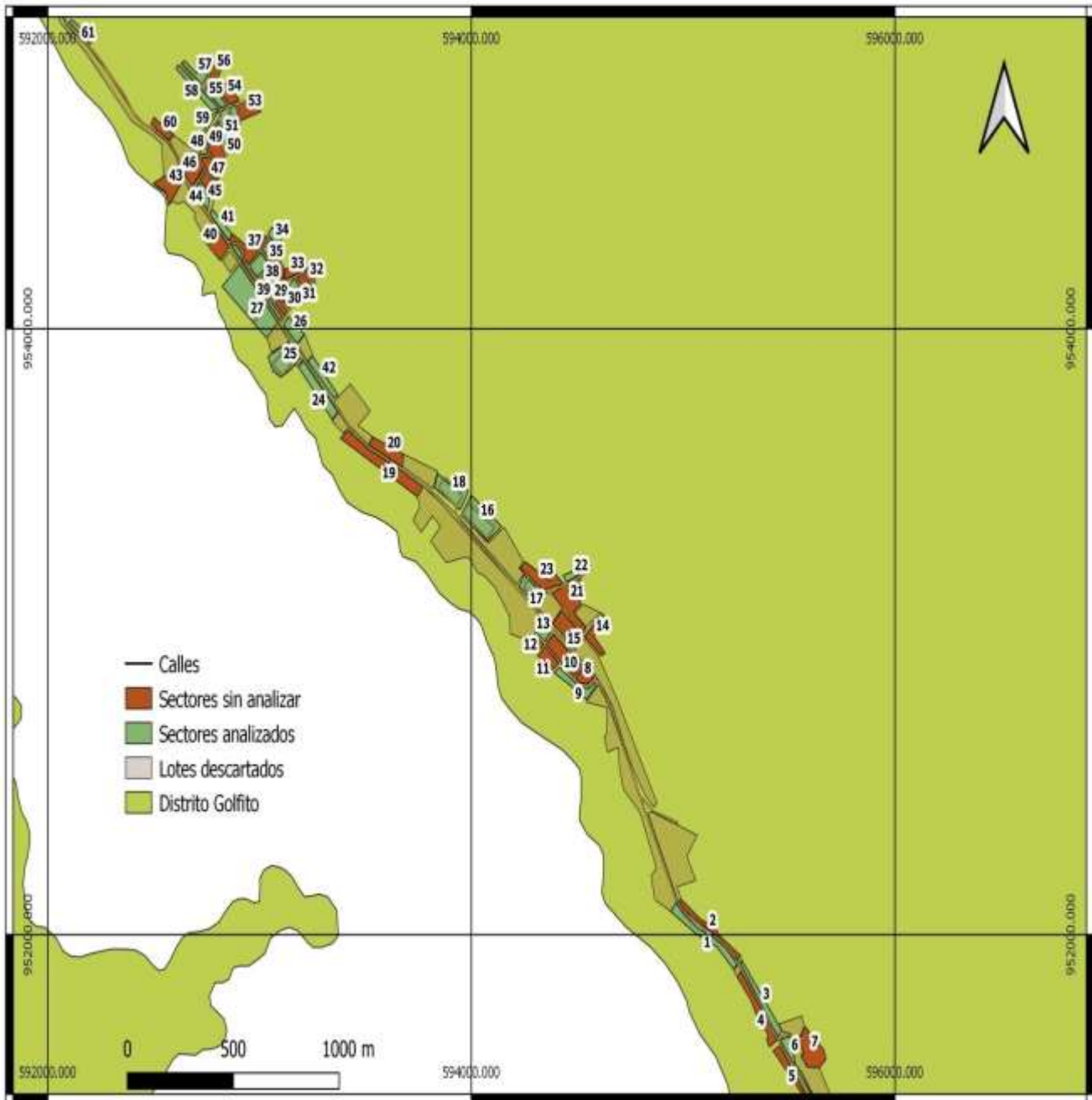


Figura 53. Sectores analizados
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Como se mencionó anteriormente, a cada lote le corresponde un número dispuesto de inspecciones, las cuales se realizaron tomando en consideración el estado y tipologías de las mismas. Los resultados de las inspecciones se muestran en el apéndice 6.

Las muestras se tomaron con la consideración de tomar en cuenta aquellas que puedan representar la mayor variedad de tipologías, así como aquellas que presenten un menor grado de conservación y así obtener una muestra más vulnerable y diversa.

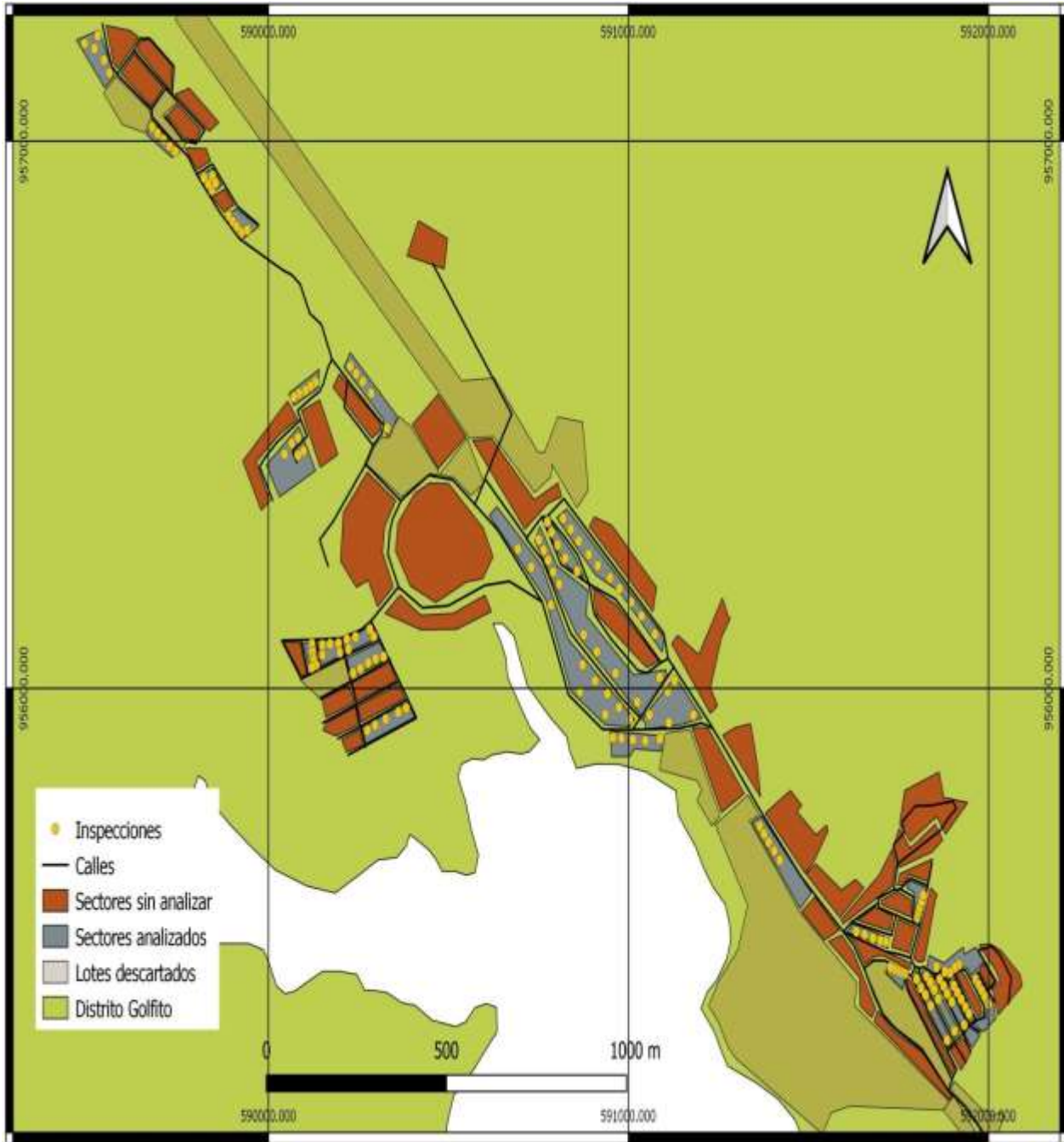


Figura 54. Inspecciones realizadas
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

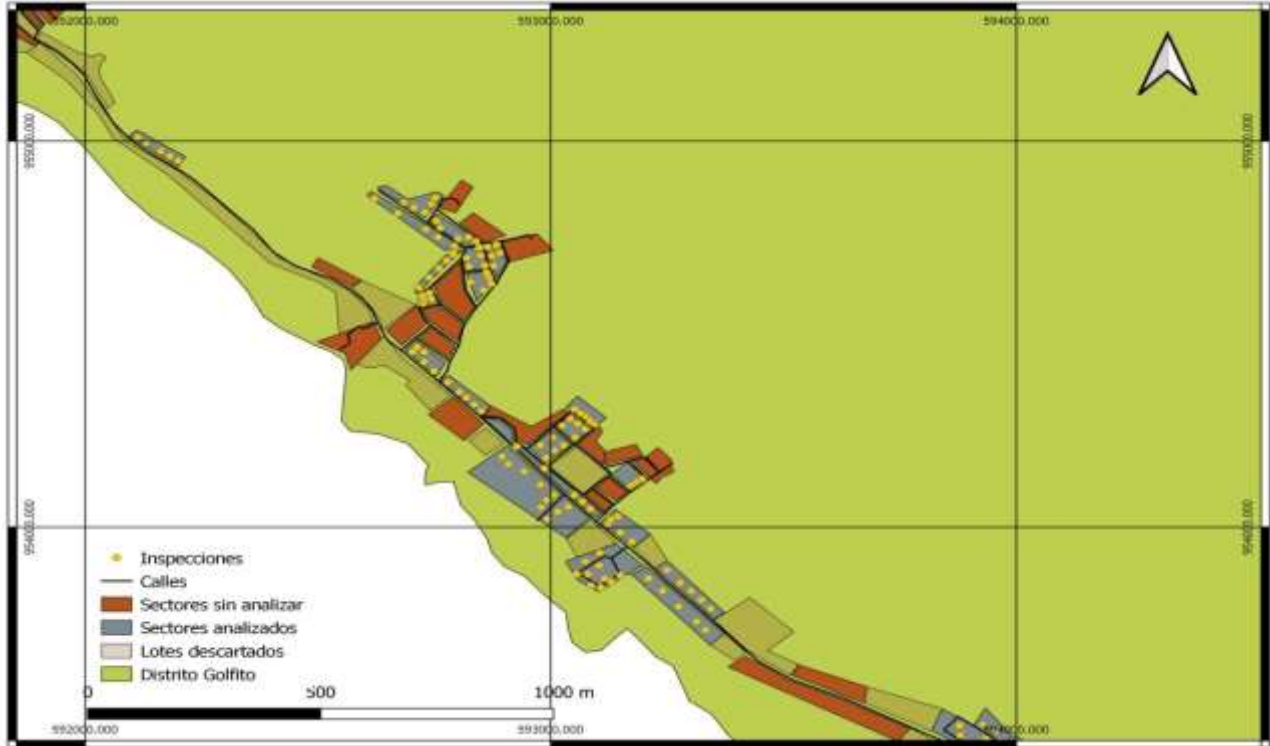


Figura 55. Inspecciones realizadas
 Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

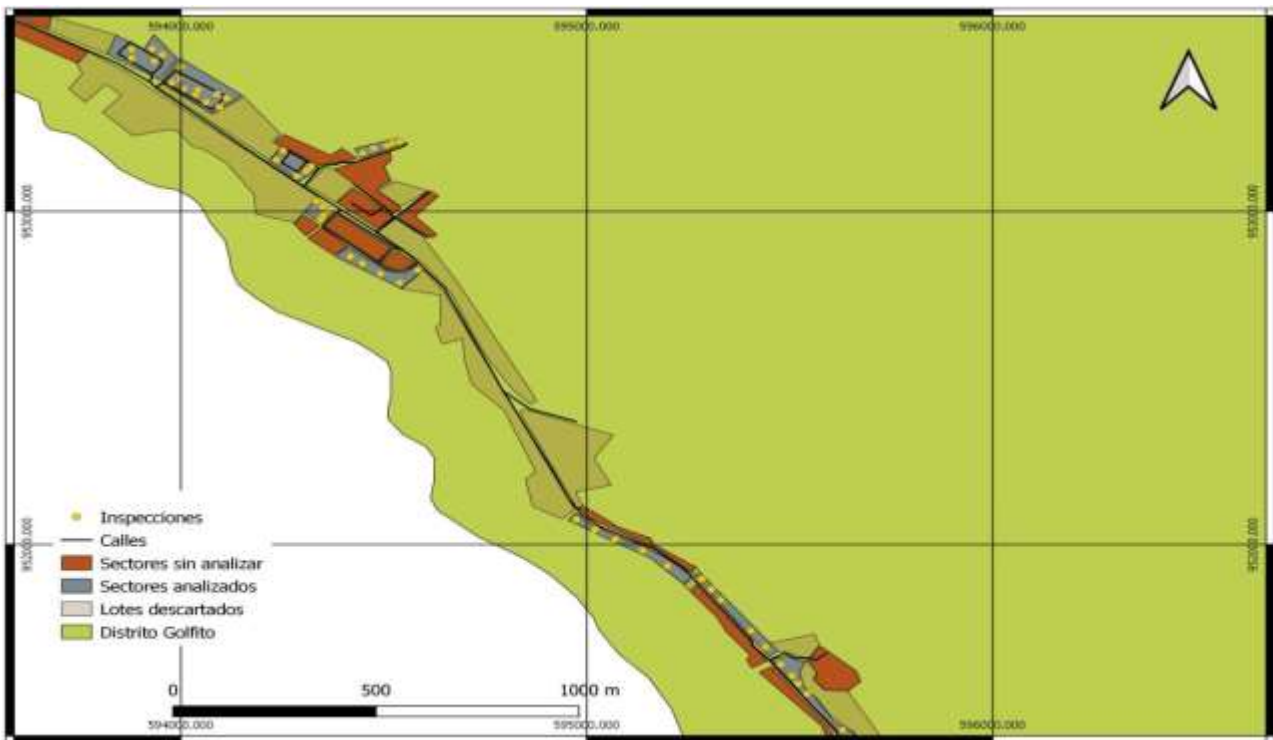


Figura 56. Inspecciones realizadas
 Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Ya que se determinó una muestra representativa, para completar los mapas con los parámetros y analizar todos los lotes del cantón central de Golfito, se utilizó el criterio establecido en los análisis de Jiménez (2012), en donde se realiza una herencia de los datos sugerido por la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica.

El método consiste, en validar las características asociadas a cada unidad de terreno inspeccionada para aquellas unidades de terreno circundantes o próximas, además de observaciones realizadas durante el muestreo. Este procedimiento se realiza con los diferentes parámetros determinados.

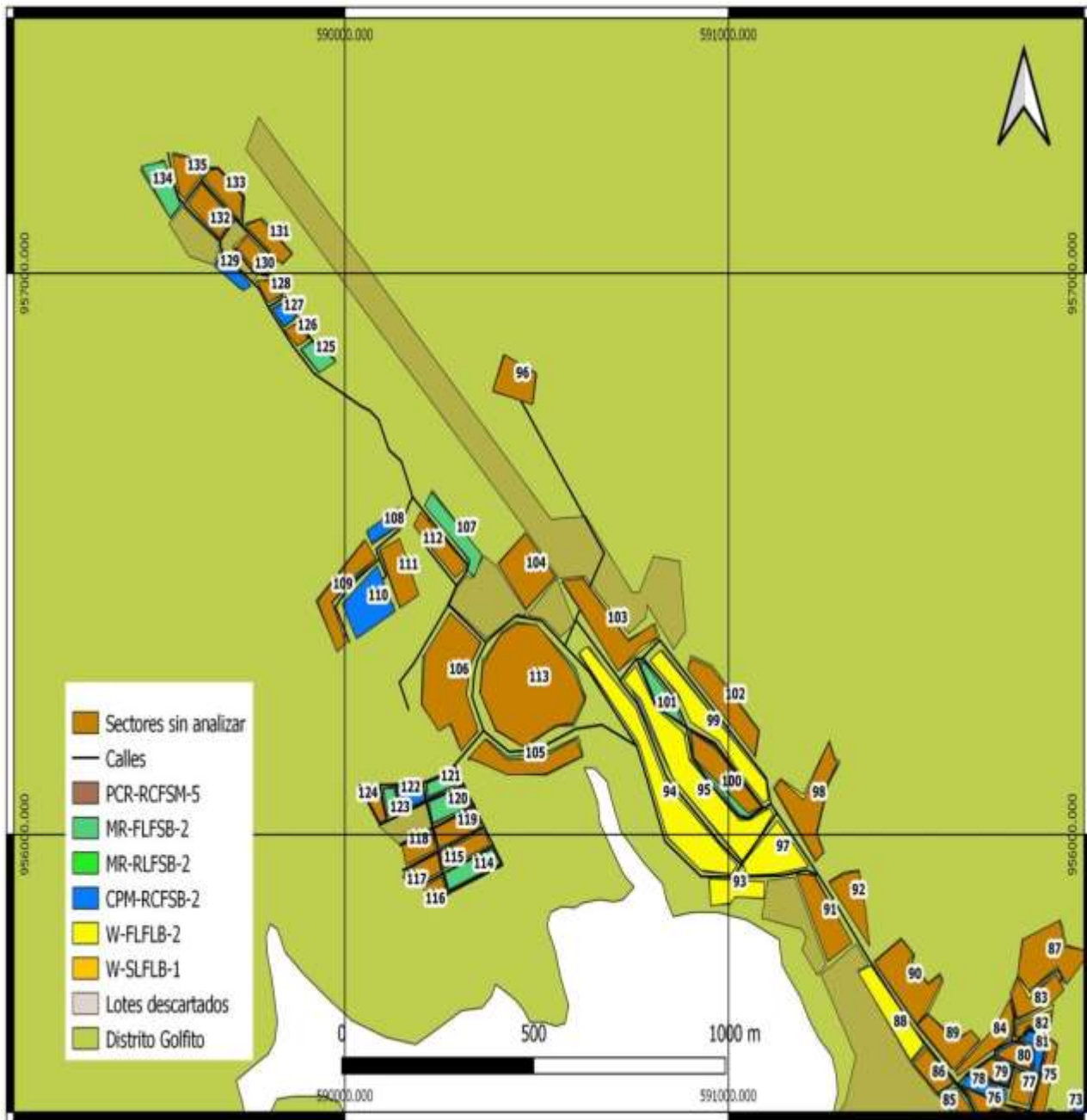


Figura 57. Tipologías en los lotes inspeccionados
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

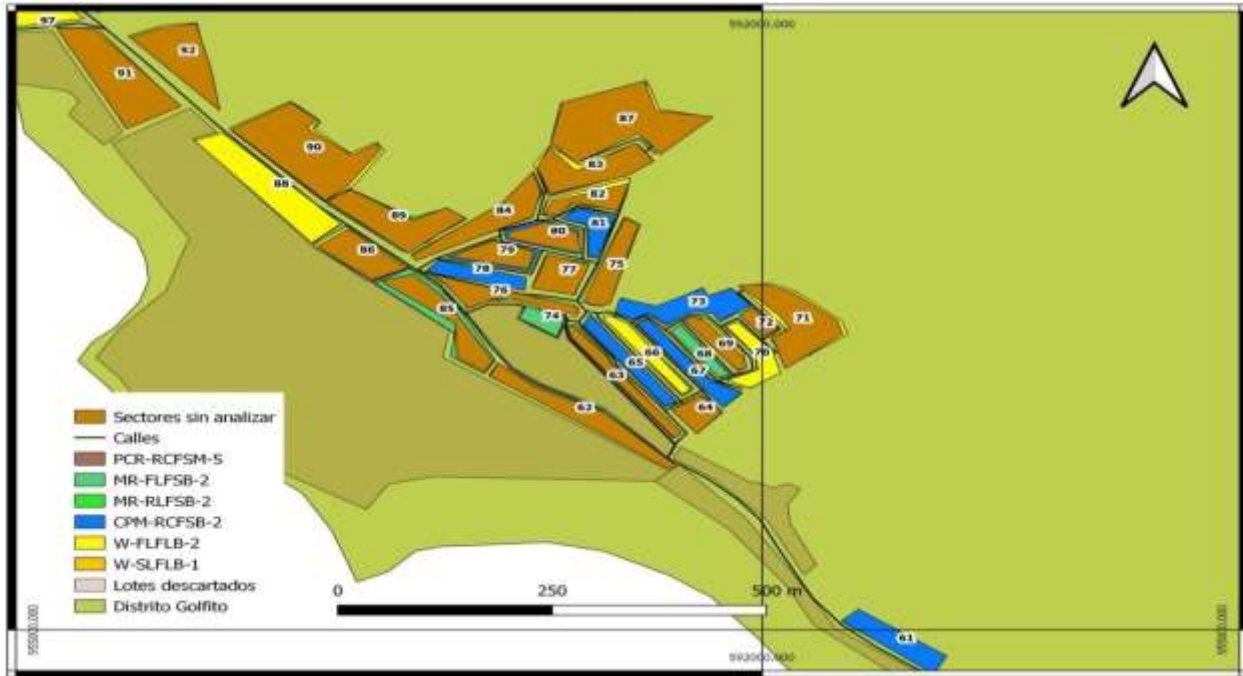


Figura 58. Tipologías en los lotes inspeccionados
 Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

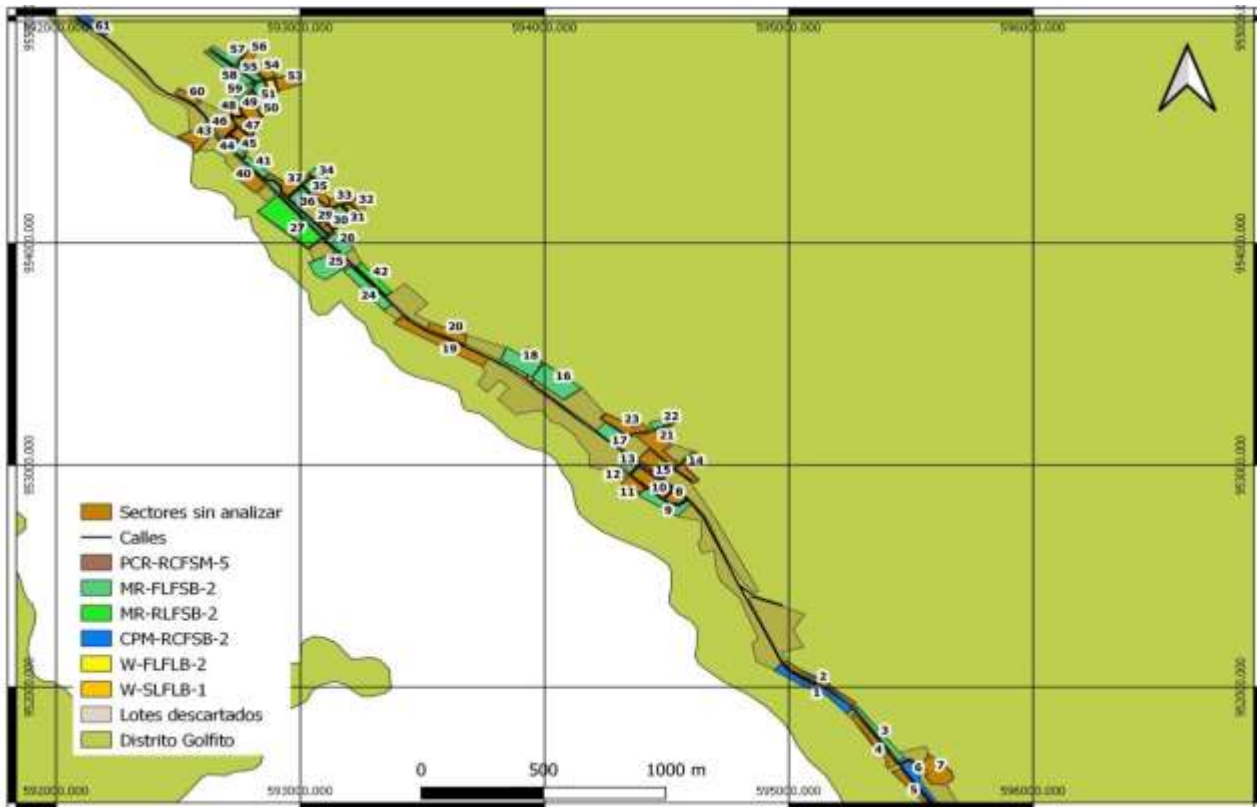


Figura 59. Tipologías en los lotes inspeccionados
 Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Para realizar el procedimiento de la herencia de los lotes, se determina el peso de los factores de cada uno de los parámetros, mediante un análisis de qué tanto afecta la integridad de la estructura. Este análisis se basa en las referencias mencionadas, así como de la opinión de profesionales del Instituto Tecnológico de Costa Rica, y se escoge la media ponderada de cada

una de las inspecciones para así clasificar todo el lote.

También se toma en cuenta el muestreo realizado y las tipologías presentes en los lotes más representativos, como los correspondientes a la municipalidad, entidades bancarias, escuelas, colegios, así como diferentes hoteles, los cuales son fáciles de identificar.

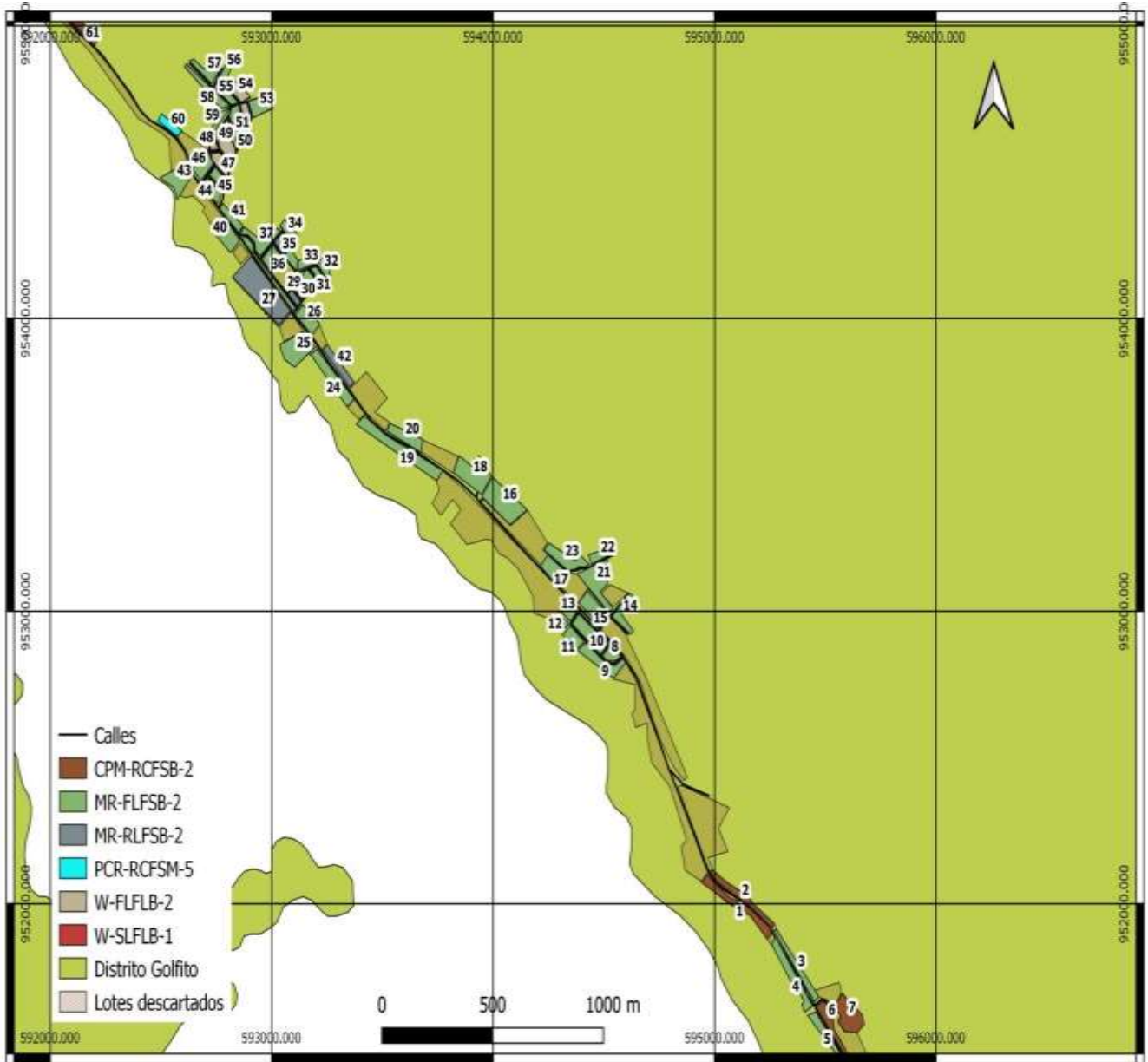


Figura 60. Herencia de tipologías en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

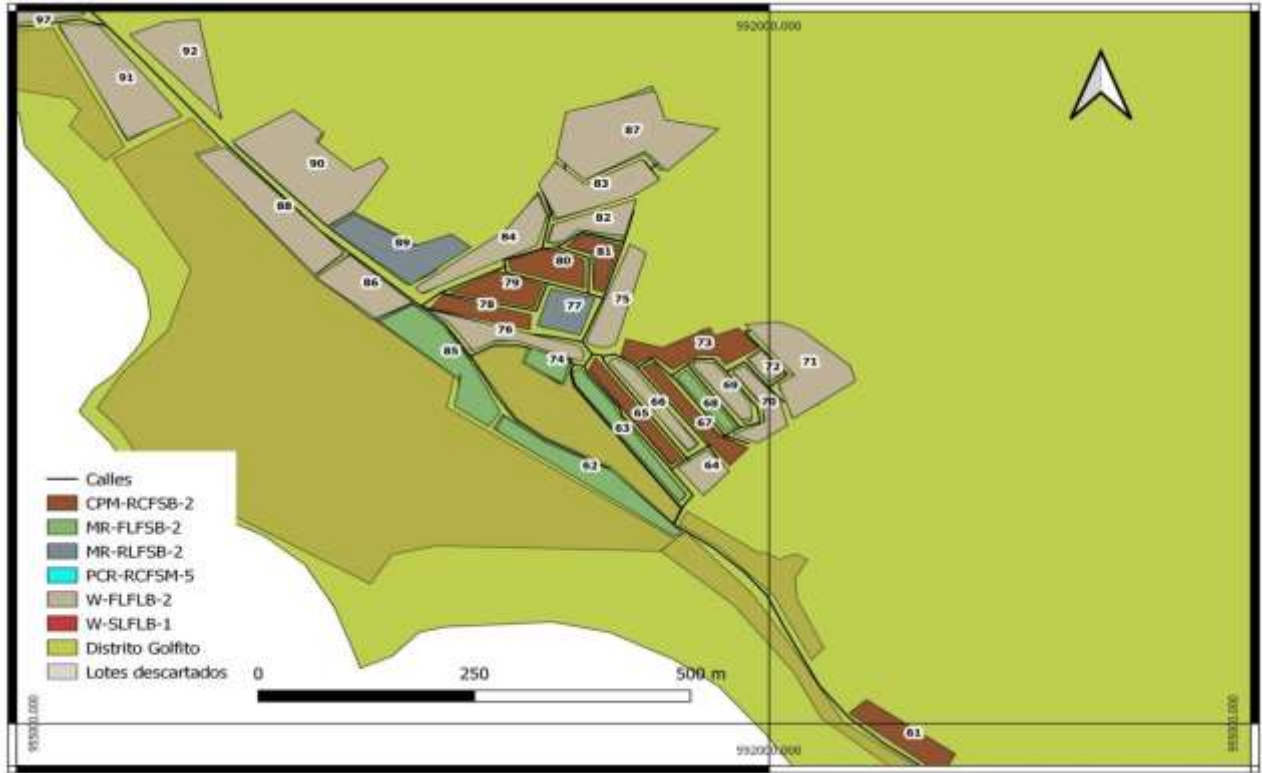


Figura 61. Herencia de tipologías en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

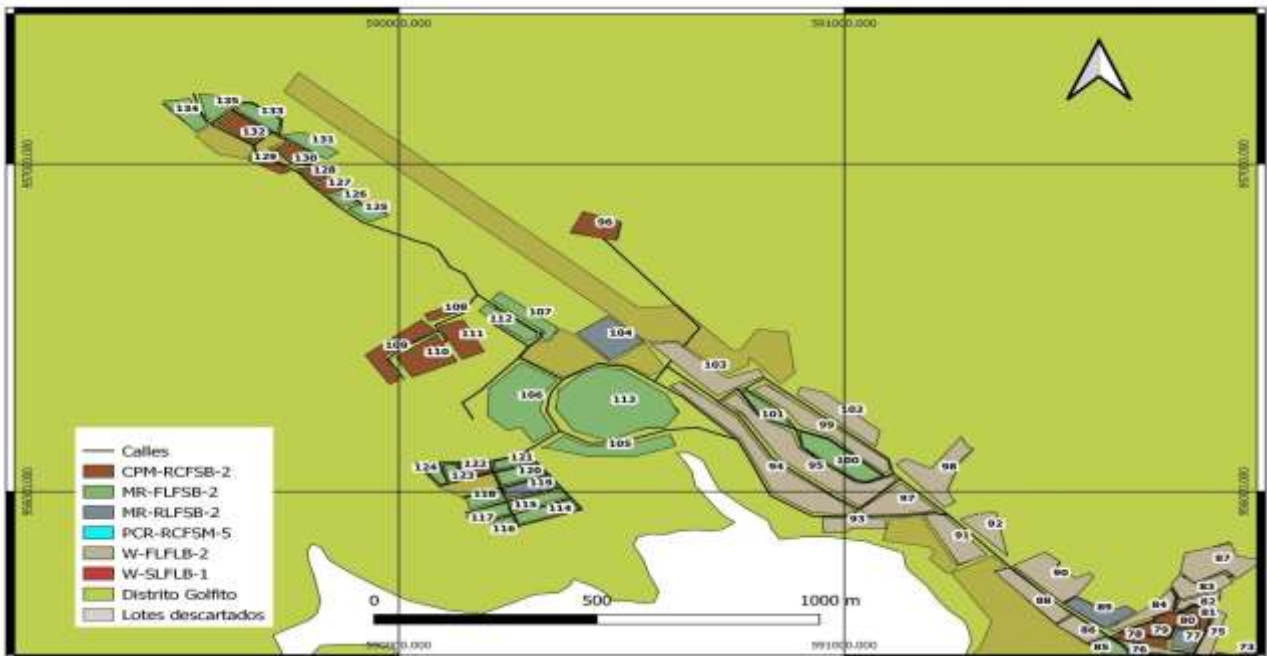


Figura 62. Herencia de tipologías en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

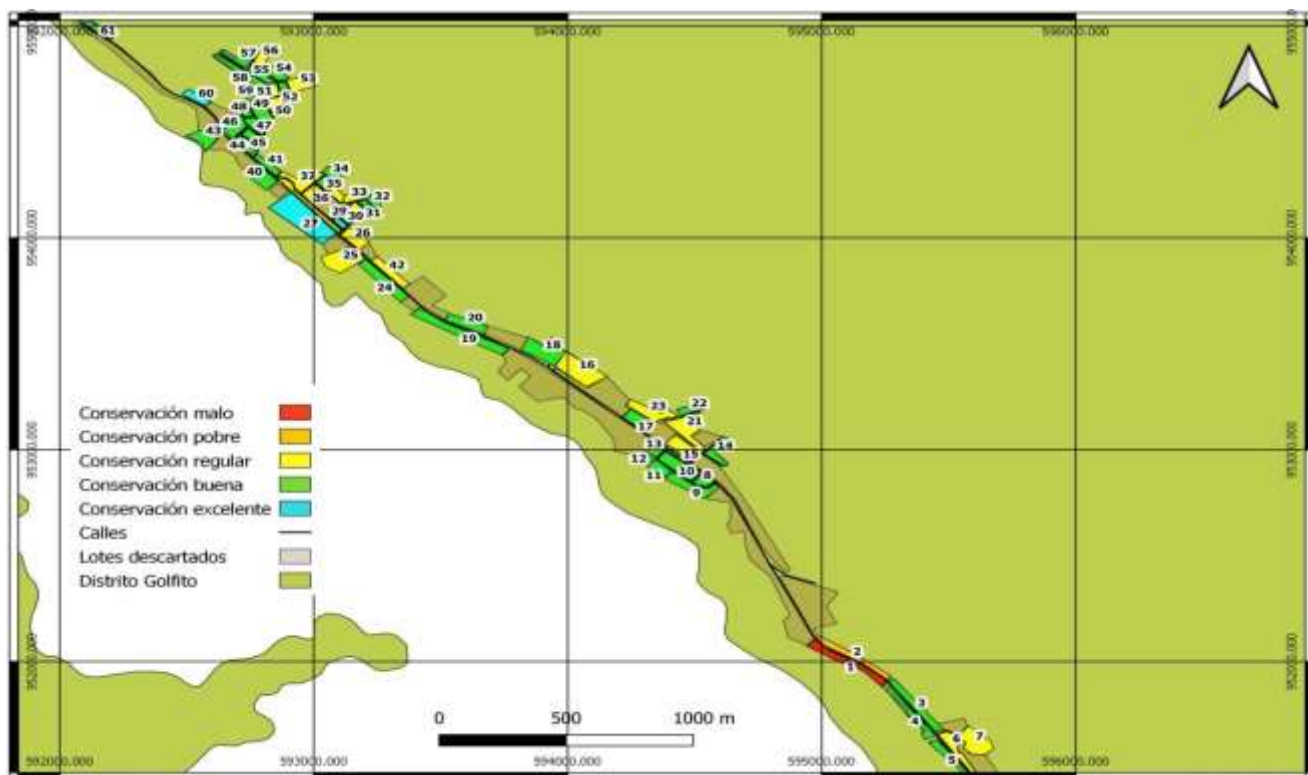


Figura: 63. Herencia de conservaciones en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

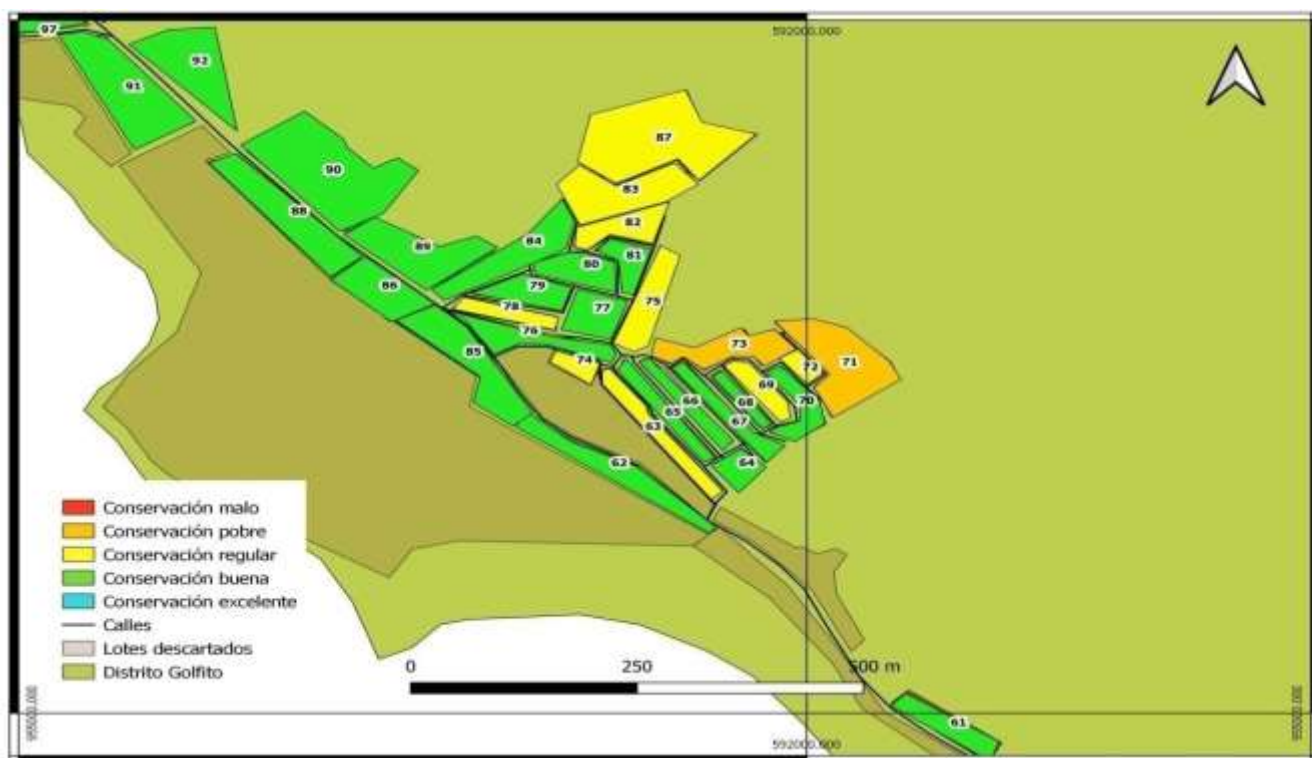


Figura: 64. Herencia de conservaciones en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

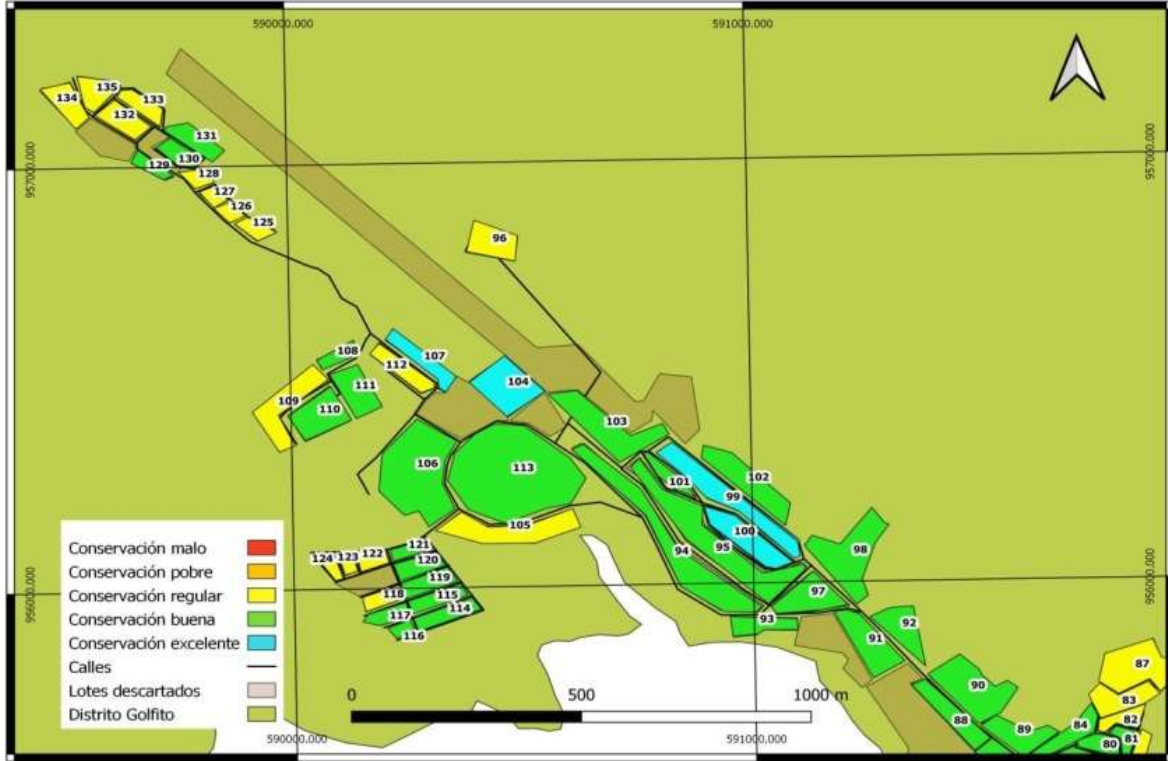


Figura: 65. Herencia de conservaciones en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

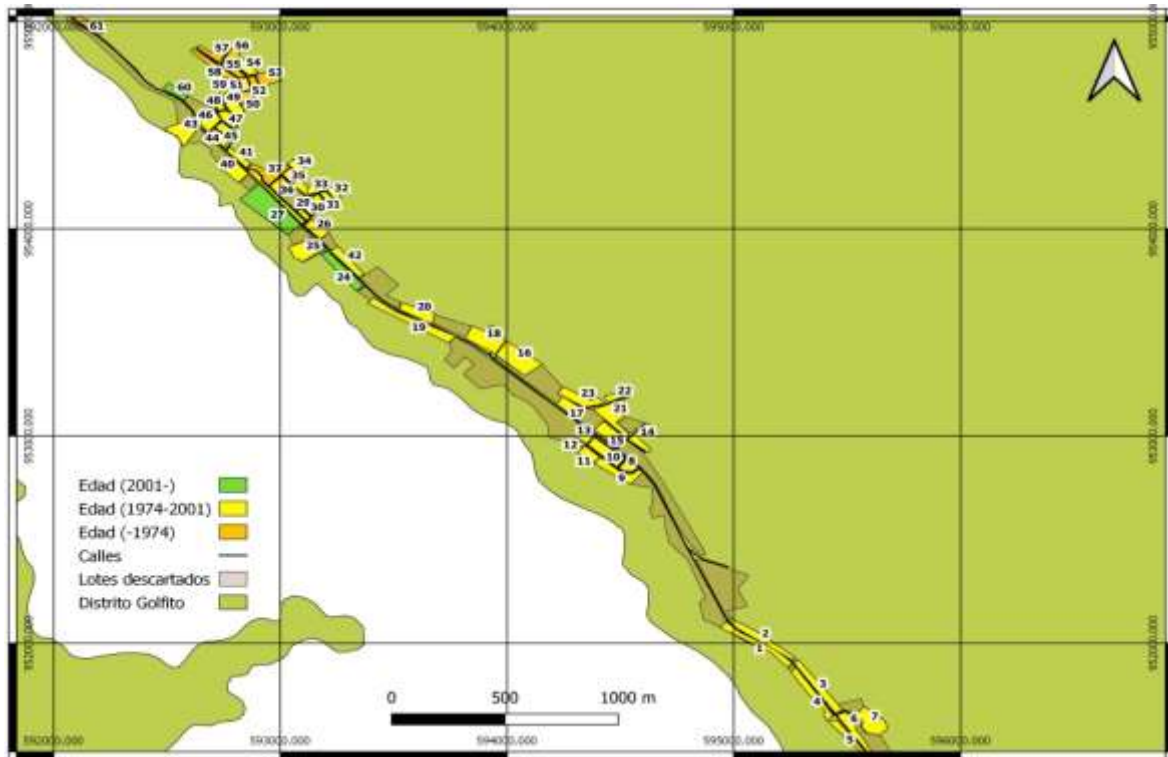


Figura: 66. Herencia de edades en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado



Figura: 67. Herencia de edades en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

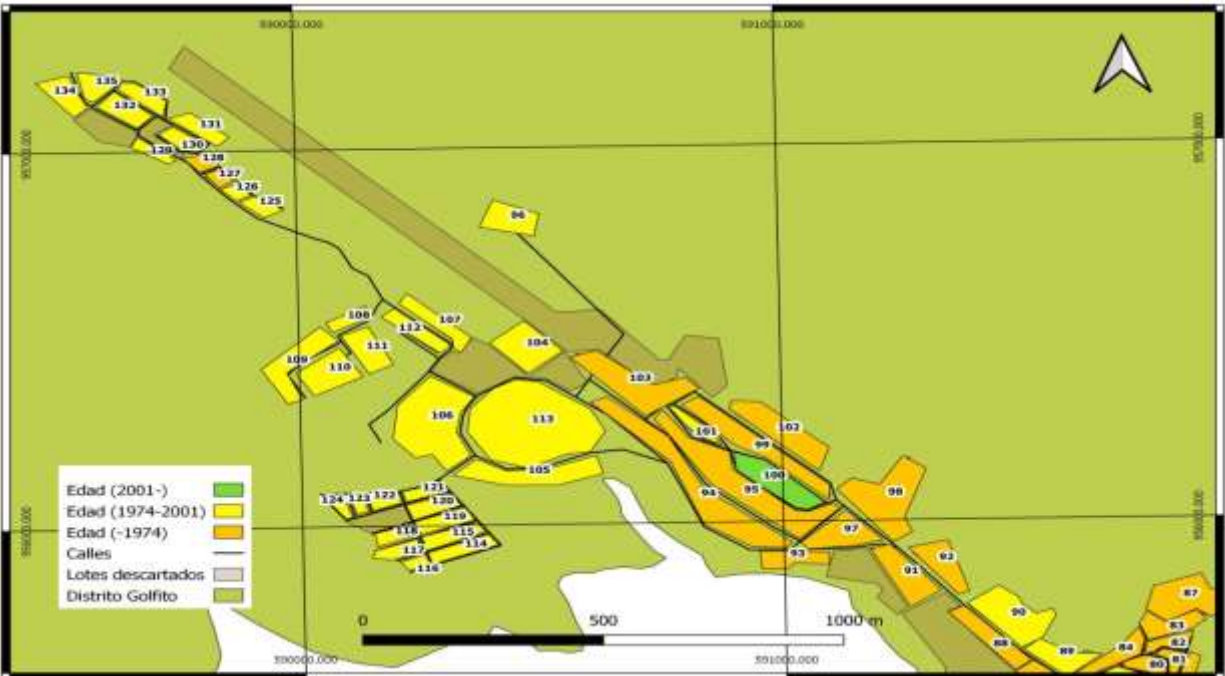


Figura: 68. Herencia de edades en los lotes
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Vulnerabilidad sísmica

Una vez determinado el muestreo, se procedió a estimar la respectiva vulnerabilidad física de las edificaciones analizadas, en donde, se realizó una estimación preliminar cualitativa, y un análisis experimental, considerando los parámetros establecidos de tipo constructivo, edad de la construcción y el estado de conservación de la misma. Posteriormente, se determina el índice de vulnerabilidad, obtenido mediante la suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros. Para ello se le asignaron diferentes grados de vulnerabilidad a cada uno de los diferentes parámetros críticos establecidos en la encuesta. Estos grados de vulnerabilidad, mostrados en el cuadro 14, se establecieron en una escala de 1-5, siguiendo la opinión de profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica, y en base al estudio realizado por Jiménez (2012).

Nivel de vulnerabilidad	Descripción
1	Vulnerabilidad muy baja
2	Vulnerabilidad baja
3	Vulnerabilidad Media
4	Vulnerabilidad alta
5	Vulnerabilidad muy alta

Fuente Jiménez (2012); realizado en Microsoft Word 2007

Los grados de vulnerabilidad escogidos, se asocian a cada uno de los parámetros establecidos en la encuesta realizada, los cuales se muestran en el cuadro 15. Al igual que para establecer los grados de vulnerabilidad, los pesos de cada parámetro se establecieron según las referencias y la opinión de profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica. En este segmento es importante notar de que, a diferencia de investigaciones posteriores, la ciudad de Golfito, presenta la características que muchas de las edificaciones correspondiente al parámetro de edad, fueron edificadas antes de 1974, sin embargo, siguieron la metodología establecida según el código de sísmico de California, ya que fueron diseñadas por ingenieros de la United Fruit Company. En esta zona gran parte de las

construcciones corresponden a madera, en donde, los grados de conservación, depende en gran medida de los distintos grados socioeconómicos presentes en las zonas analizadas.

Parámetro		Peso (Wi)
Edad	Previo a 1974	4
	Entre 1974 y 2001	3
	Después de 2002	2
Estado de conservación	Excelente	1
	Bueno	2
	Regular	3
	Pobre	4
	Malo	5
Tipo constructivo	Tugurio	5
	Pórticos de concreto	2
	Mampostería confinada	2
	Mampostería reforzada	3
	Mampostería simple	3
	Muros de madera	3
	Prefabricado	3

Fuente Jiménez (2012); realizado en Microsoft Word 2007

Para determinar el valor de los atributos, estos se deben de generalizar, y así adquirir atributos críticos para cada unidad de terreno, el procedimiento que se realizó consiste, en calcular la media de cada uno de los pesos en los diferentes lotes inspeccionados, obteniendo un valor que represente la condición dada. Para realizar este procedimiento, se tuvo como referencia las observaciones realizadas durante el muestreo de ciertos lotes en específicos, así como conocimiento del área muestreada. El resultado se

encuentra en la parte b del apéndice 6, además se muestra gráficamente en el apéndice 8.

Habiendo asociado cada parámetro a su respectivo peso, se calcula la vulnerabilidad sísmica confeccionando mapas para cada atributo, y mediante el software QGIS se realiza el cruce de los mapas para abarcar todas las combinaciones de vulnerabilidad.

Este valor está representado por la siguiente ecuación.

$$VI = \sum_{i=1}^n W_i$$

Al analizar la ecuación se puede deducir que el índice de vulnerabilidad, la cual es la sumatoria de los pesos empleados, define una escala continua de valores desde 0 hasta 14 que es el máximo valor posible según las combinaciones definidas. Este valor se divide por .14 obteniendo un valor correspondiente al índice de vulnerabilidad, encontrándose en un rango de $0 < Iv < 100$. Los resultados obtenidos se interpretan mediante la siguiente escala de vulnerabilidad

Vulnerabilidad ≤ 45 = Ligero

$45 \leq$ Vulnerabilidad ≤ 55 = Leve

$55 \leq$ Vulnerabilidad ≤ 65 = Intermedio

$65 \leq$ Vulnerabilidad ≤ 75 = Considerable

$75 \leq$ Vulnerabilidad ≤ 85 = Grave

Vulnerabilidad ≥ 85 = Muy Grave

Este índice de vulnerabilidad (I_v), se asocia según la escala macrosísmica Mercalli Modificada en una escala de daño estructural, obteniendo un porcentaje de daño esperado y permitiendo visualizarlo en una escala de intensidad conocida. La representación utilizada se puede apreciar en los cuadros 16 y 17. Esta escala se basó en las funciones de vulnerabilidad de las tipologías descritas en el marco teórico, y en daño previsto, según sea el índice de vulnerabilidad de estas. La escala empleada se representa por medio de colores, los cuales son los mismos utilizados según la escala Mercalli Modificada, esto con el fin de ayudar en el entendimiento y representación de los datos dispuestos. De acuerdo a la intensidad reportada, esta se correlaciona cuantitativamente y así obtener el porcentaje de daño esperado. Para finalizar, por medio del software QGIS, se representan las distintas unidades de terreno y los

porcentajes de daño esperados, utilizando la función de cruce. En el apéndice 9, se encuentran las distintas escalas de vulnerabilidad asociadas al respectivo porcentaje de daño esperado, y en el apéndice 10 y 11, el resumen de las distintas zonas con su respectivo porcentaje de daño de acuerdo a distintas aceleraciones.

Cuadro 16. Escala de daño estructural para riesgo sísmico		
Intensidad	Identificador	Daño estructural
Menor a V		Nulo
V		Muy ligero
Entre V y VI		Ligero
VI		Intermedio
Entre VI y VII		Considerable
VII		Fuerte
Entre VII y VIII		Muy Fuerte
VIII		Grave
Entre VIII y IX		Muy Grave
IX		Destructivo
X		Muy Destructivo

Fuente: (Vargas, 2016); realizado en Microsoft Excel 2007

Cuadro 17. Porcentaje de daño esperado según intensidad e identificador asociado			
Intensidad	Identificador	Daño menor	Daño mayor
Menor a V		0%	5%
V		5%	10%
Entre V y VI		10%	15%
VI		15%	20%
Entre VI y VII		20%	30%
VII		30%	35%
Entre VII y VIII		35%	40%
VIII		40%	45%
Entre VIII y IX		45%	50%
IX		50%	60%
X		60%	80%

Fuente (Vargas, 2016); realizado en Microsoft Excel 2007

Resultados

Mapas de amenaza sísmica

A continuación, se presentan los mapas de amenaza sísmica, obtenidos, según la aceleración horizontal pico y de acuerdo a los escenarios sísmicos planteados, los cuales presentan magnitudes de 7,8 Mw, 7,3 Mw y 7,2 Mw. Los mapas de amenaza sísmica son mostrados en términos del porcentaje de la aceleración de la gravedad, así como en m/s^2 . También se utilizó la escala macrosísmica de Mercalli Modificada.

Los mapas abarcan un área mayor al de la zona en estudio para representar la atenuación de la aceleración con respecto a la distancia.

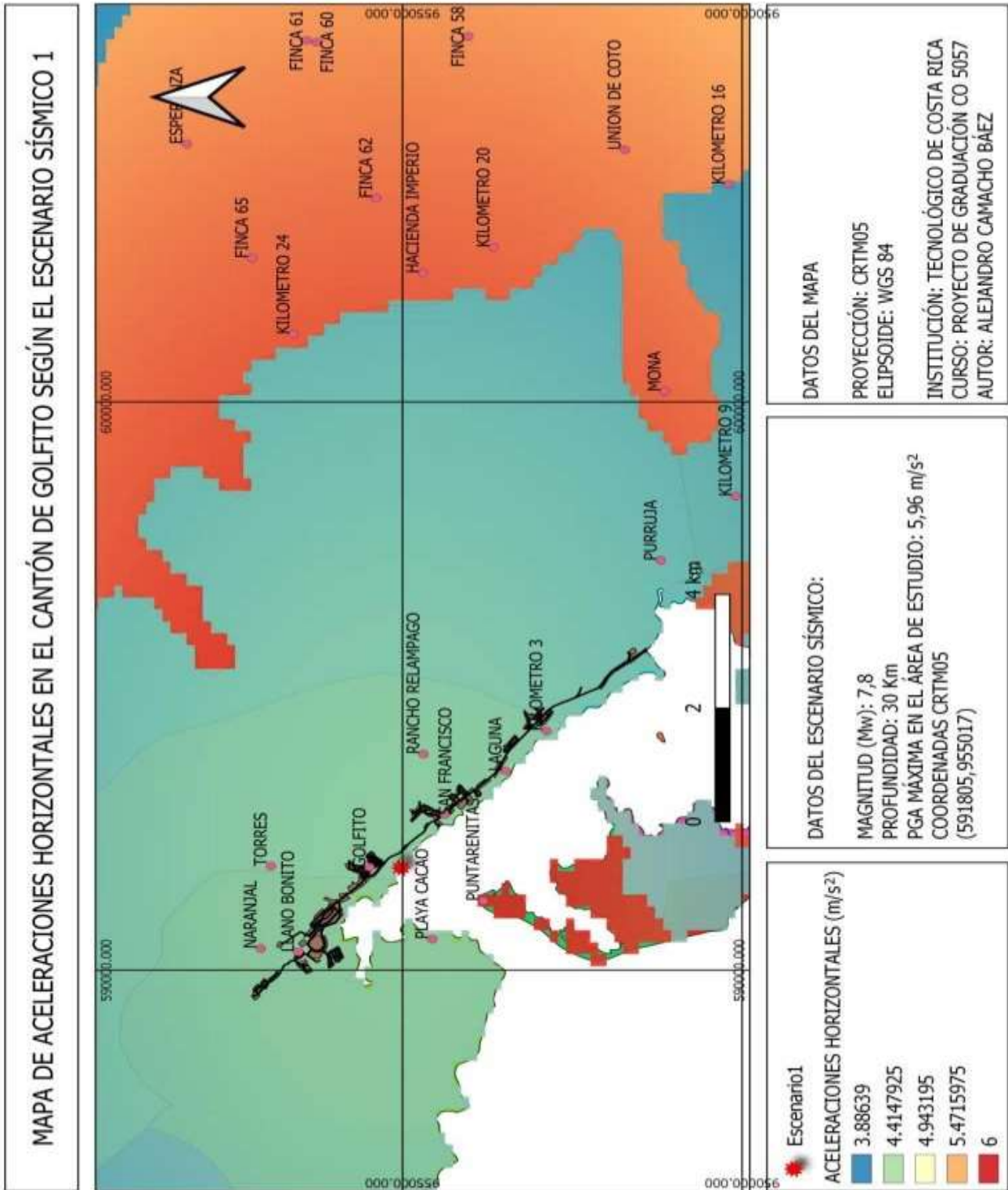


Figura: 69. Amenaza sísmica para el primer escenario en términos de aceleración (m/s²)
Fuente: Modificado en QGIS

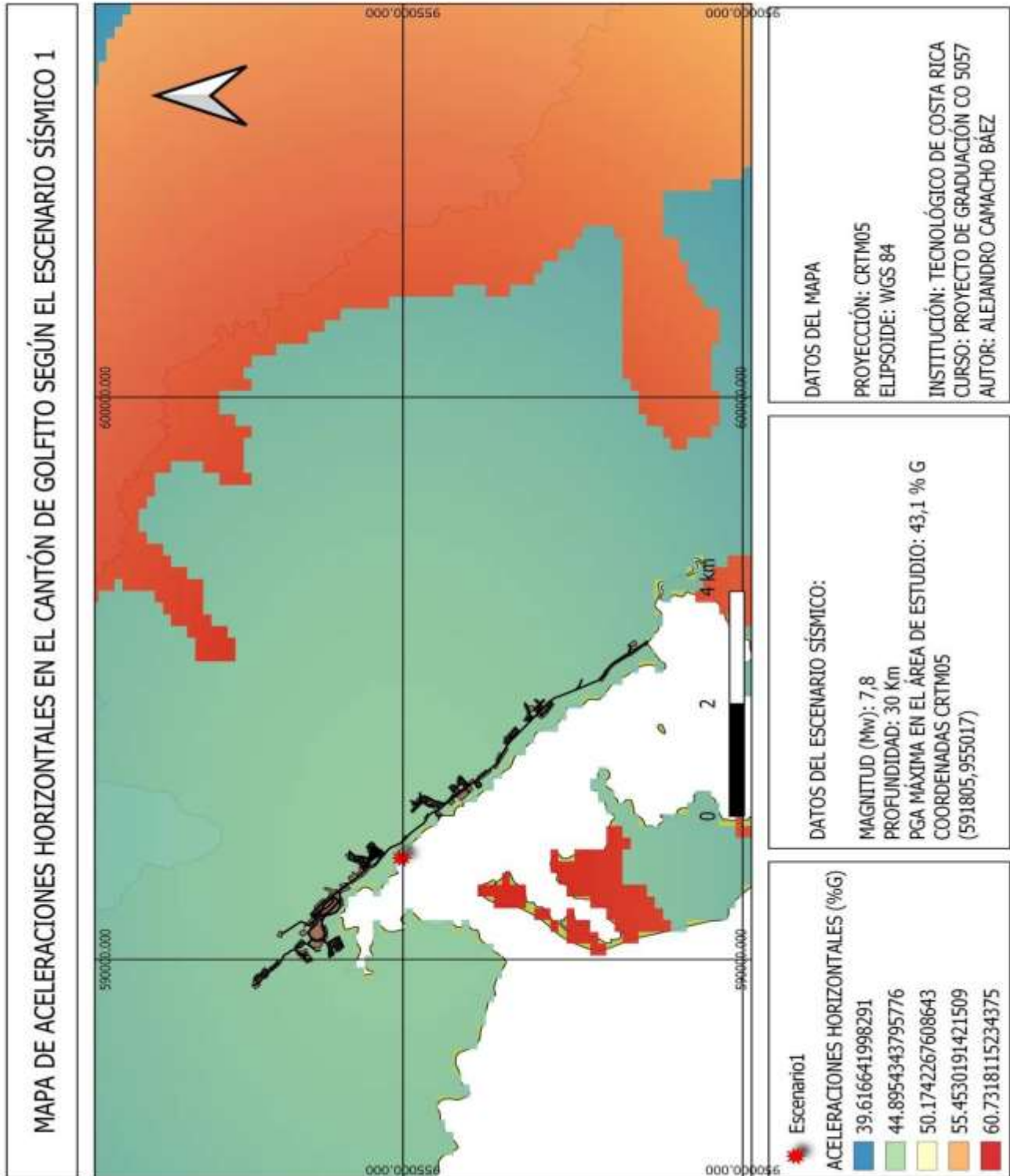


Figura 70. Amenaza sísmica para el primer escenario en términos de porcentaje de la gravedad
 Fuente: Modificado en QGIS

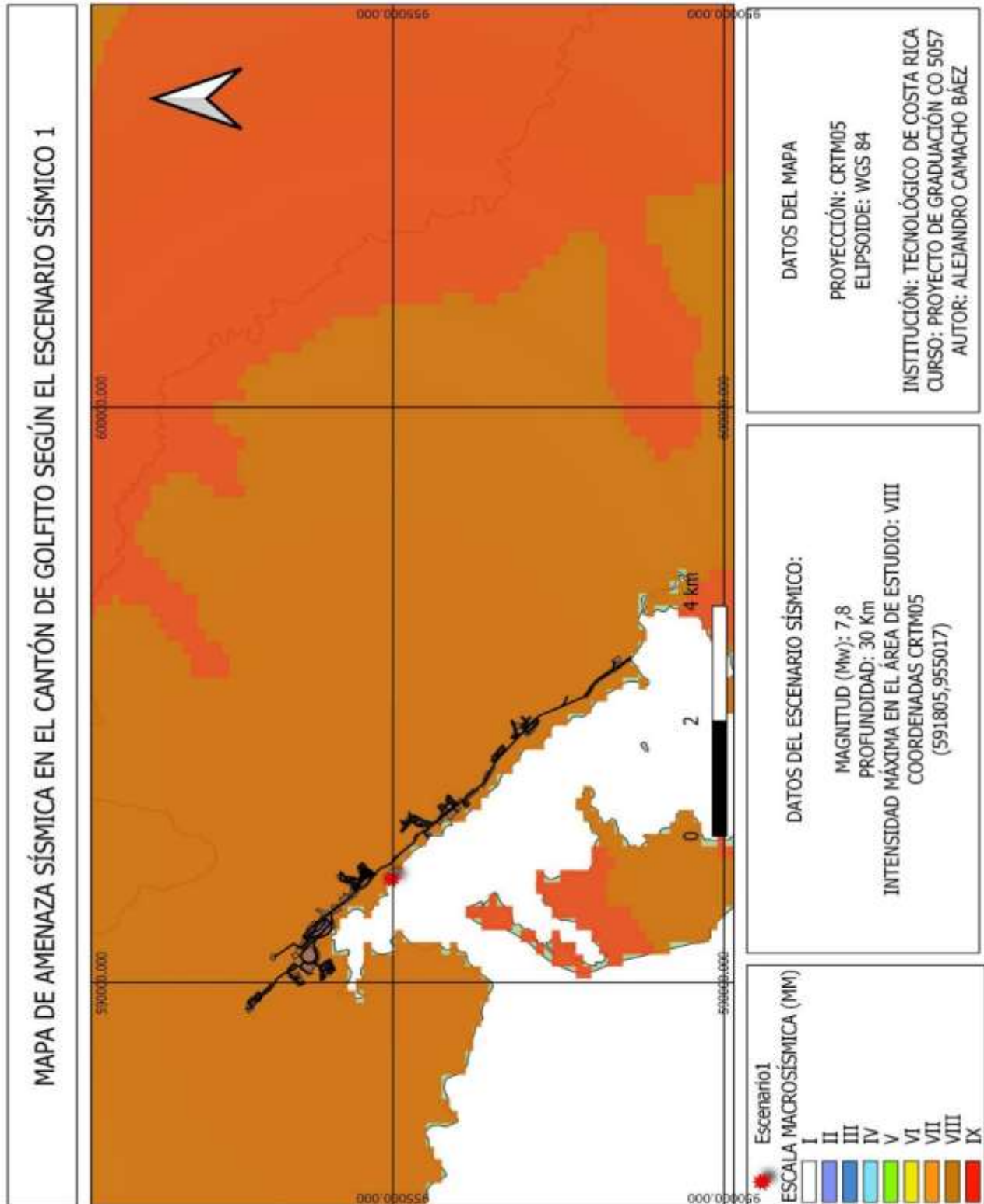
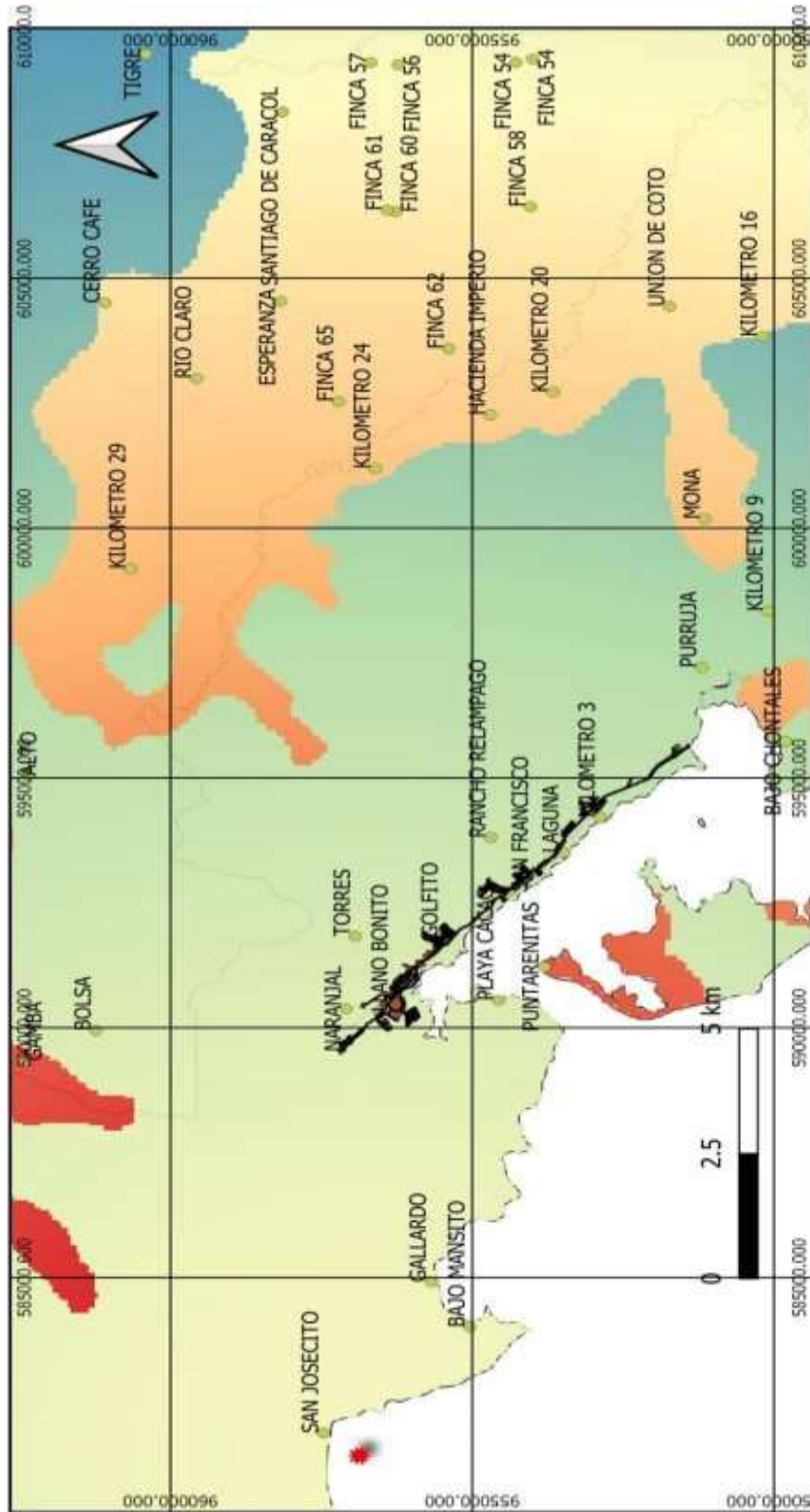


Figura 71. Amenaza sísmica para el primer escenario en términos de escala Mercalli Modificada
 Fuente: Modificado en QGIS

MAPA DE ACELERACIONES HORIZONTALES EN EL CANTÓN DE GOLFITO SEGÚN EL ESCENARIO SÍSMICO 2



ESCUENARIO 2

- ACELERACIONES HORIZONTALES (m/s²)
- 2.76459240913391
- 3.45544928312302
- 4.14630615711212
- 4.83716303110123
- 5.52801990509033

DATOS DEL ESCENARIO SÍSMICO

- MAGNITUD (Mw): 7,3
- PROFUNDIDAD: 21 Km
- PGA MÁXIMA EN EL ÁREA DE ESTUDIO: 3.75 m/s²
- COORDENADAS CRTM05 (581471, 956846)

DATOS DEL MAPA

- PROYECCIÓN: CRTM05
- ELIPSOIDE: WGS 84
- INSTITUCIÓN: TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
- CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN CO 5057
- AUTOR: ALEJANDRO CAMACHO BÁEZ

Figura 72. Amenaza sísmica para el segundo escenario en términos de aceleración (m/s²)
Fuente: Modificado en QGIS

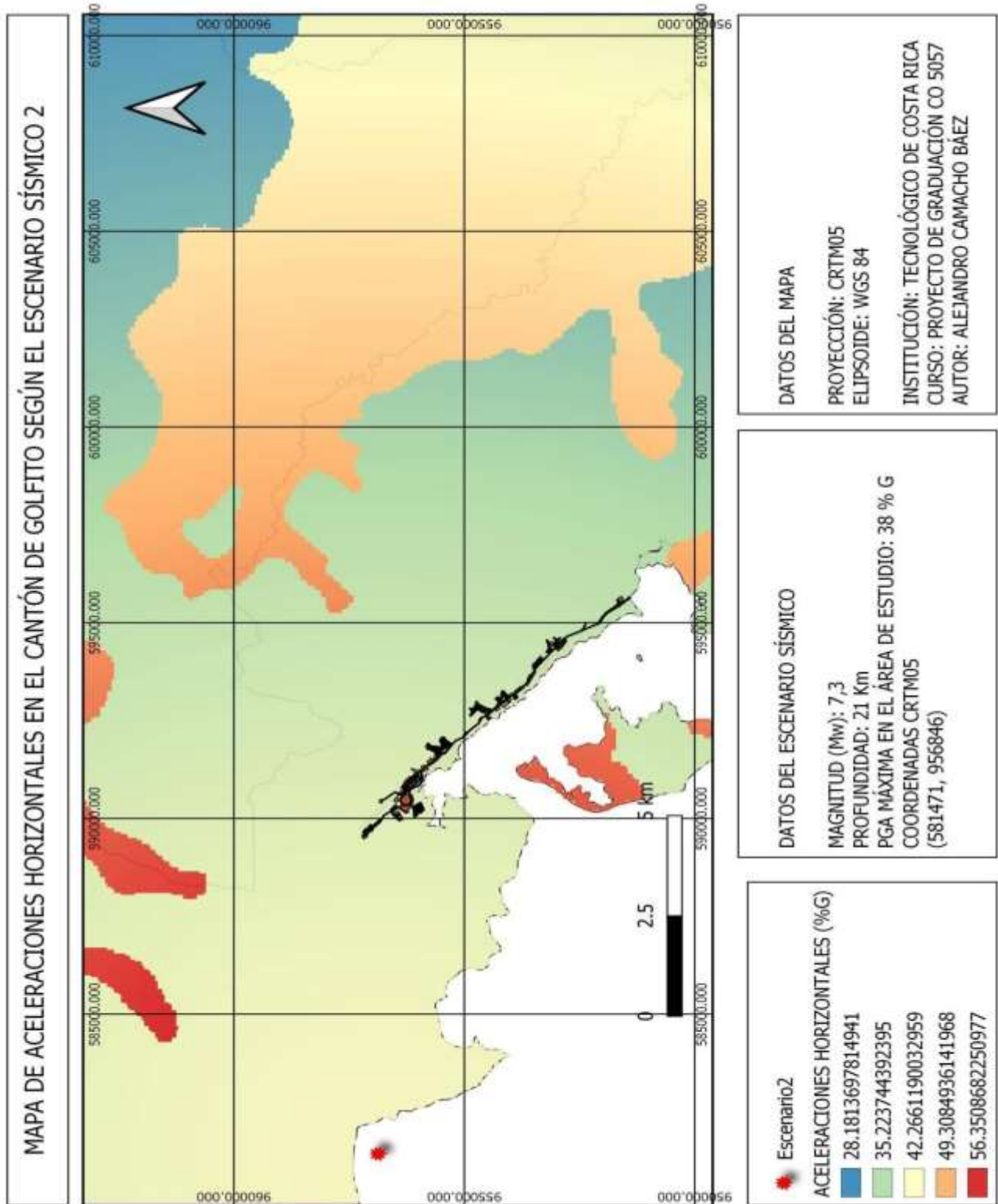


Figura 73. Amenaza sísmica para el segundo escenario, en términos de % gravedad
 Fuente: Modificado en QGIS

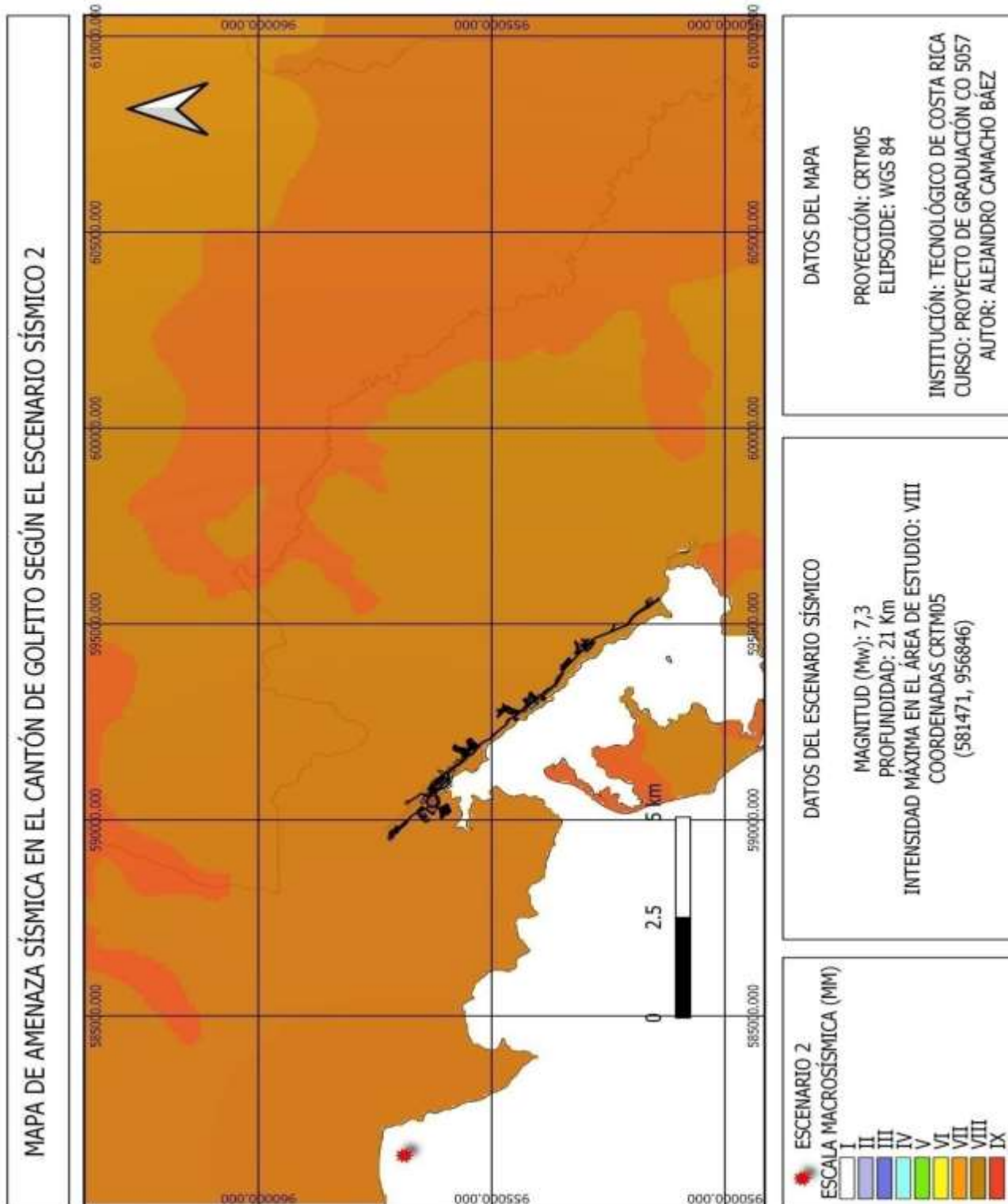


Figura 74. Amenaza sísmica para el segundo escenario en términos de escala Mercalli Modificada
 Fuente: Modificado en QGIS

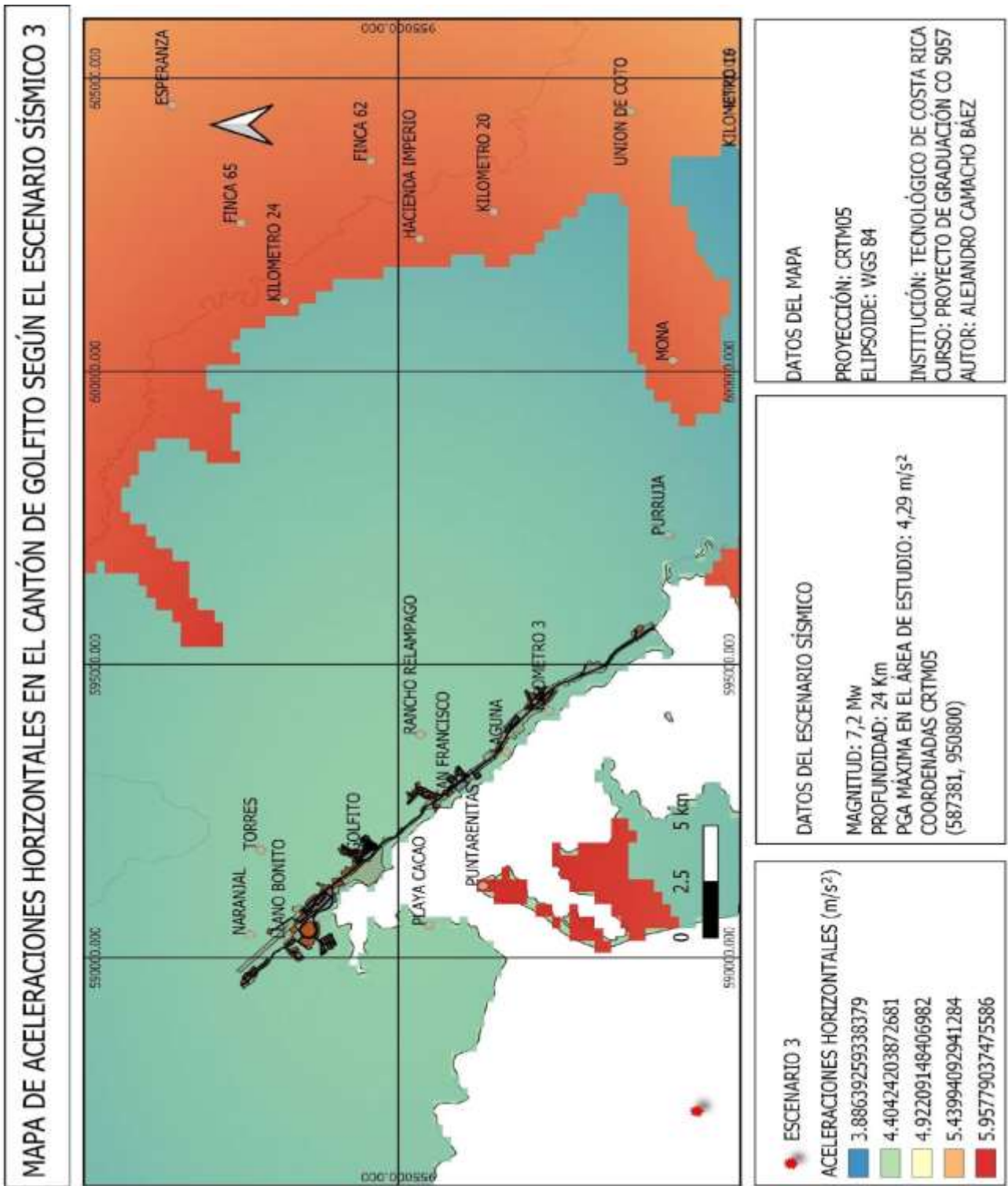


Figura 75. Amenaza sísmica para el tercer escenario en términos de aceleración (m/s²)
 Fuente: Modificado en QGIS

MAPA DE ACELERACIONES HORIZONTALES EN EL CANTÓN DE GOLFITO SEGÚN EL ESCENARIO SÍSMICO 3

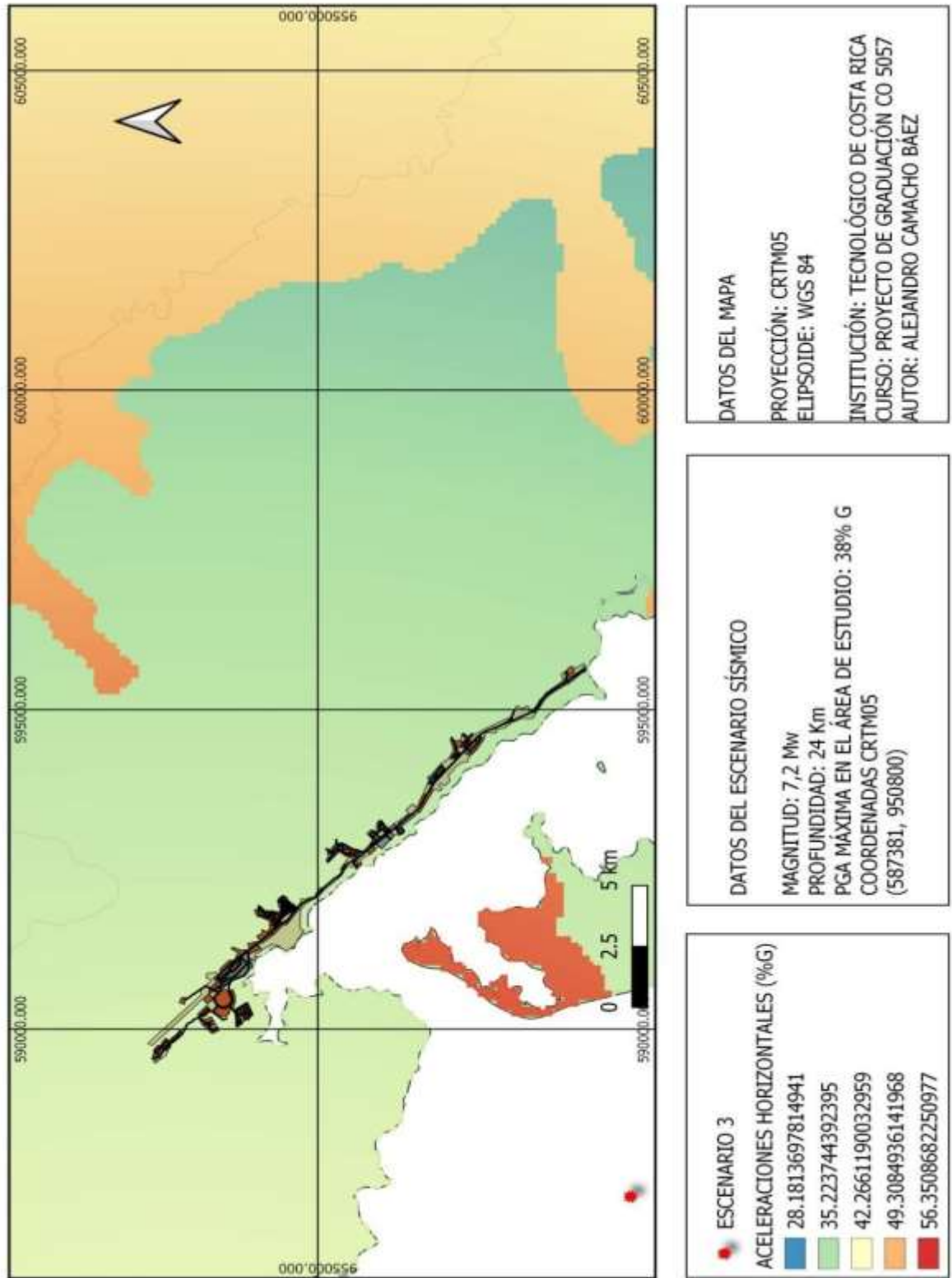


Figura 76. Amenaza sísmica para el tercer escenario, en términos de % gravedad
 Fuente: Modificado en QGIS

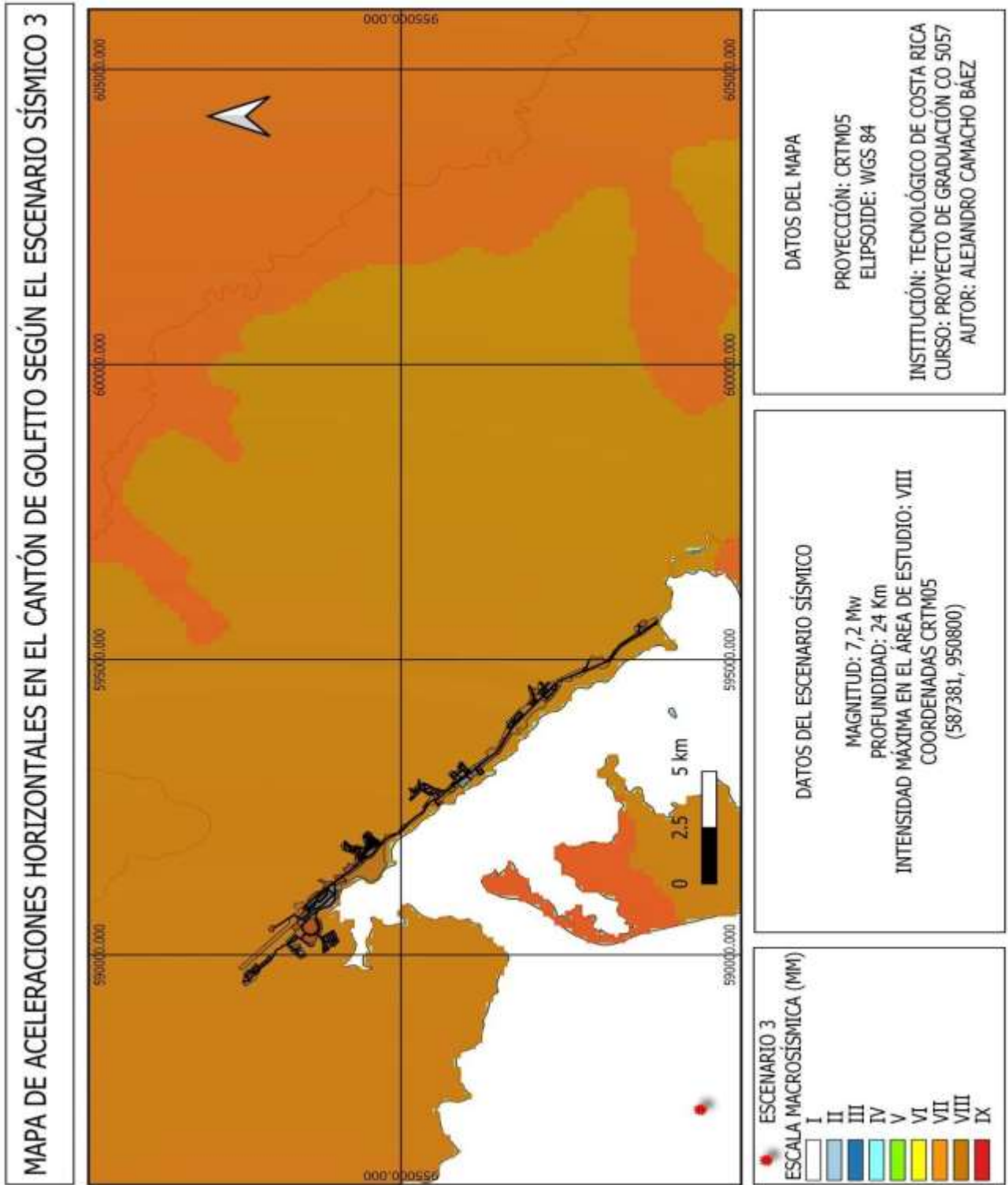


Figura 77. Amenaza sísmica para el tercer escenario en términos de escala Mercalli Modificada
 Fuente: Modificado en QGIS

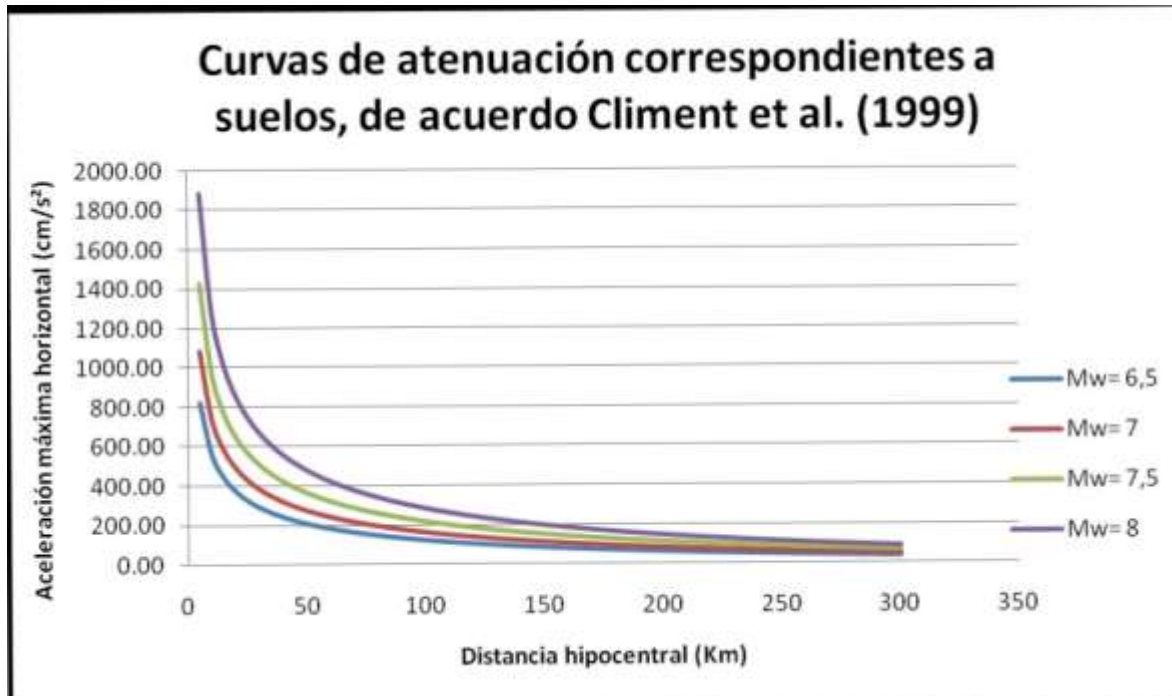


Figura 78. Curvas de atenuación correspondientes a suelos, según Climent et al.
Fuente: este estudio. Elaborado en Microsoft office, Excel 2007

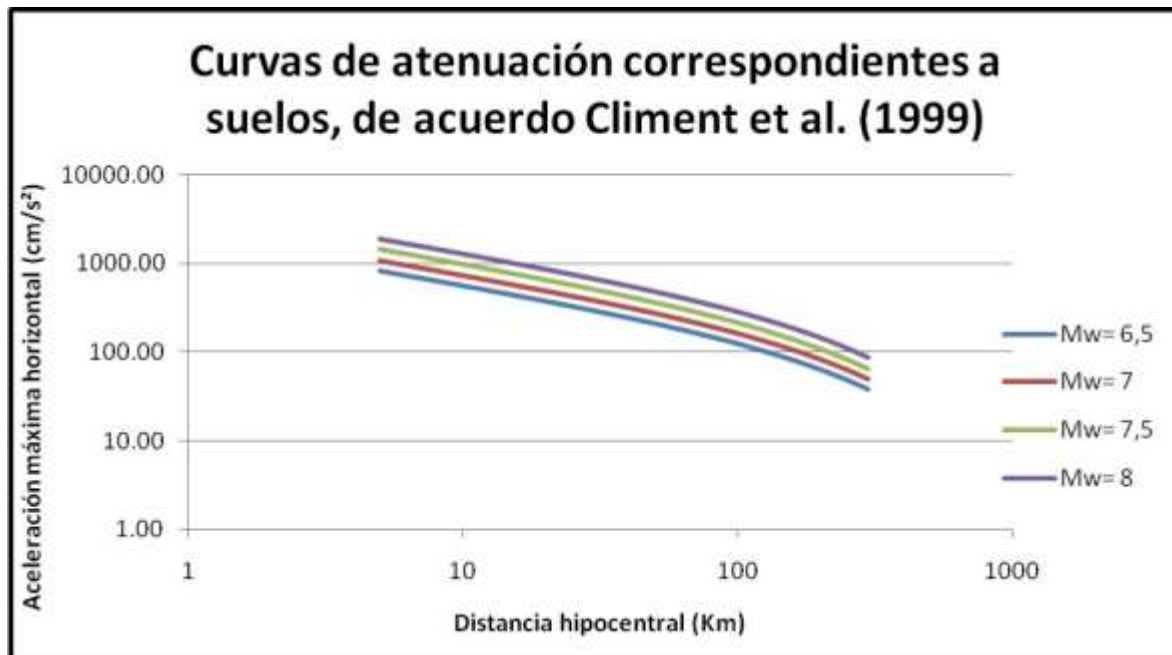


Figura 79. Curvas de atenuación correspondientes a rocas, según Climent et al.
Fuente: este estudio. Elaborado en Microsoft office, Excel 2007

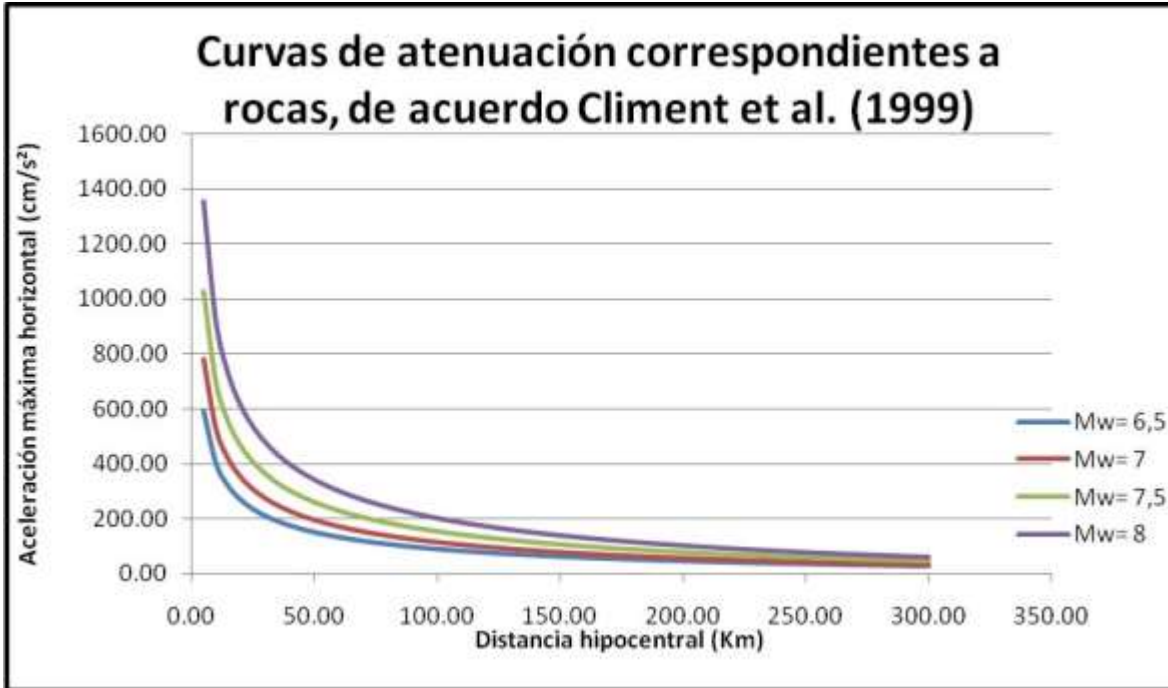


Figura 80. Curvas de atenuación correspondientes a suelos, según Climent et al.
Fuente: este estudio. Elaborado en Microsoft office, Excel 2007

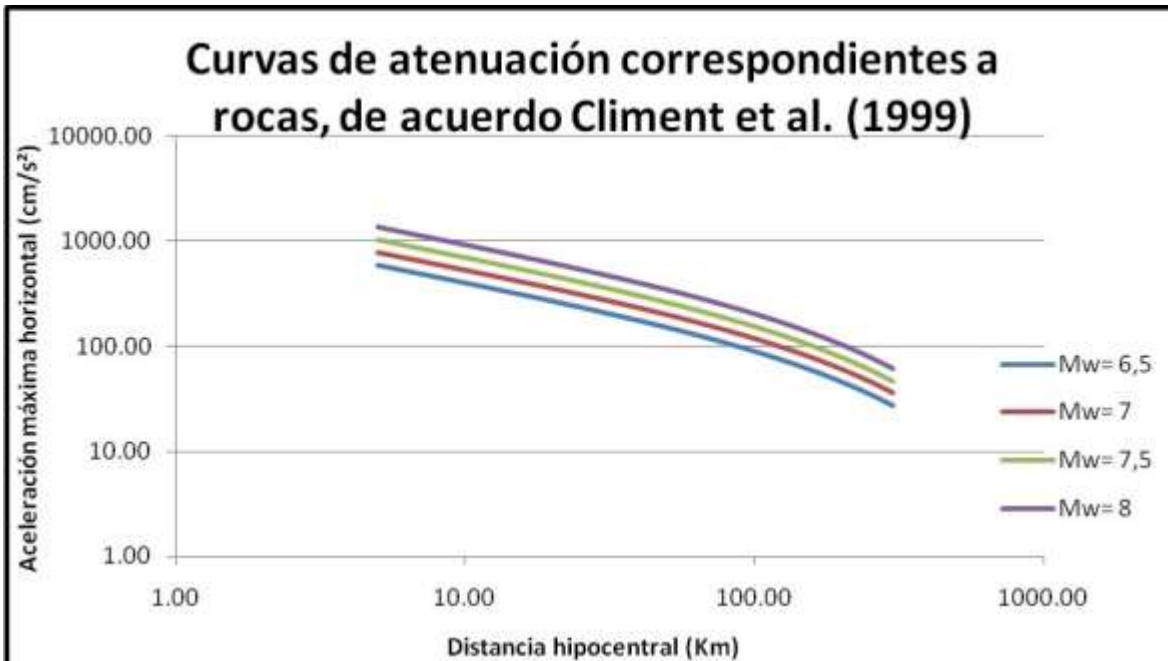


Figura 81. Curvas de atenuación correspondientes a rocas, según Climent et al.
Fuente: este estudio. Elaborado en Microsoft office, Excel 2007

Mapas de Vulnerabilidad Sísmica

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos del muestreo realizado, correspondiente a la cantidad de edificaciones y sus respectivos porcentajes, clasificados según la tipología, el estado de conservación, y una estimación del rango de años en que fue construida.

Luego se muestran los mapas de vulnerabilidad sísmica para cada una de las tipologías encontradas.

Posteriormente se muestran los mapas de vulnerabilidad según el estado de conservación y la fecha del código sísmico vigente durante la construcción de cada edificación.

Cuadro 18. Tipologías presentadas en el área de estudio según el muestreo realizado

Tipología	Cantidad	Porcentaje %
W-SLFLB-1	9	2,81
W-FLFLB-2	94	29,37
MR-FLFSB-2	158	49,37
MR-RLFSB-2	34	10,62
PCR-RLFLM-5	2	0,62
CPM-RCFSB-2	23	7,18
Total	320	100

Fuente: este estudio. Elaborado en Microsoft office, Excel 2007

Cuadro 19. Estado de conservación de las edificaciones en el área de estudio según el muestreo realizado

Estado de conservación	Cantidad	Porcentaje %
Excelente	56	17,50
Bueno	157	49,06
Regular	91	29,44
Pobre	16	5,00
Total	320	100

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Cuadro 20. Edad de las edificaciones en el área de estudio según el muestreo realizado

Edad	Cantidad	Porcentaje
Antes 1974	119	37,19
1974 – 2001	174	54,38
Después 2001	27	8,43
Total	320	100

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Cuadro 21. Resultados en función de la cantidad de edificaciones en el área de estudio según el muestreo realizado

Tipo edificación	Estado de conservación				Código Sísmico Vigente		
	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Después de 2001	Entre 1974 y 2001	Previo a 1974
W-SLFLB-1	2	0	5	2	1	0	8
W-FLFLB-2	21	40	24	9	0	12	82
CPM-RCFSB-2	1	8	9	5	0	13	10
MR-RLFSB-2	7	22	5	0	7	27	0
MR-FLFSB-2	23	87	48	0	17	122	19
PCR-RCFSM-5	2	0	0	0	2	0	0
Sub total	56	157	91	16	27	174	119
Total	320				320		

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Cuadro 22. Resultados en función del porcentaje de tipologías según el estado de conservación y código sísmico vigente							
Tipo edificación	Estado de conservación				Código Sísmico Vigente		
	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Después de 2001	Entre 1974 y 2001	Previo a 1974
W-SLFLB-1	0,625	0	1,563	0,625	0,313	0	2,5
W-FLFLB-2	6,563	12,5	7,5	2,813	0	3,75	25,625
CPM-RCFSB-2	0,3125	2,5	2,813	1,563	0	4,063	3,125
MR-RLFSB-2	2,188	6,875	1,563	0	2,188	8,438	0
MR-FLFSB-2	7,188	27,188	15	0	5,313	38,125	5,938
PCR-RCFSM-5	0,625	0	0	0	0,625	0	0
Sub total	17,5	49,063	28,438	5	8,438	54,375	37,188
Total	100				100		

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Cuadro 23. Tipologías presentadas en el área de estudio según la herencia de lotes		
Tipo edificación	Cantidad	Porcentaje %
W-SLFLB-1	0	0
W-FLFLB-2	15	11,11
CPM-RCFSB-2	7	5,18
MR-RLFSB-2	7	5,18
MR-FLFSB-2	105	77,77
PCR-RCFSM-5	1	0,74
Total	135	100

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Cuadro 24. Estado de conservación de las edificaciones en el área de estudio según la herencia de lotes		
Conservación	Cantidad	Porcentaje %
Excelente	7	5,18
Bueno	81	60,00
Regular	43	31,85
Pobre	3	2,22
Malo	1	0,74
Total	135	100

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Cuadro 25. Edad de las edificaciones en el área de estudio según la herencia de lotes

Edad	Cantidad	Porcentaje %
Previo a 1974	41	30,37
Entre 1974 y 2001	90	66,66
Después de 2001	4	2,96
Total	135	100

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

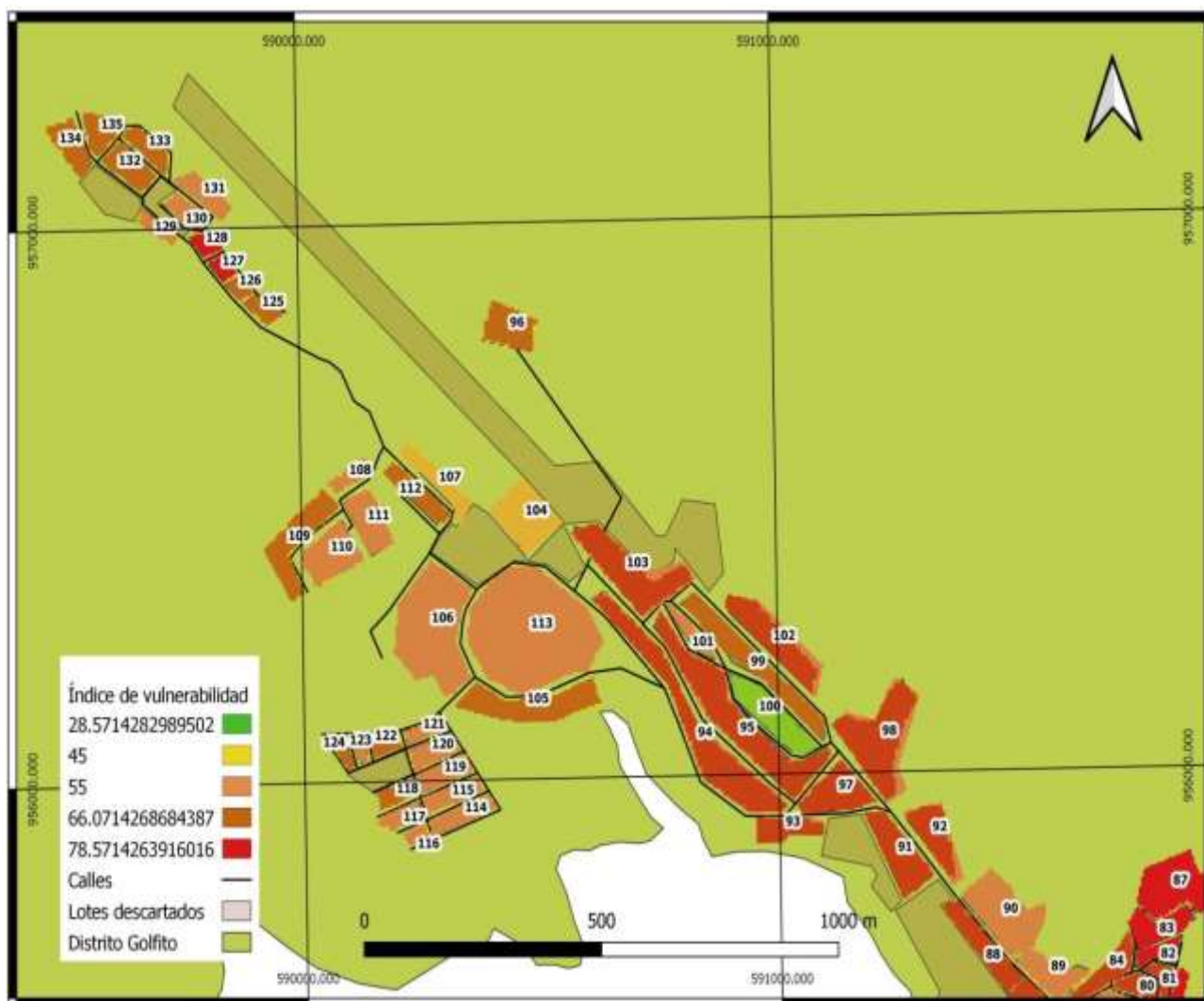


Figura 82. Índice de vulnerabilidad
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

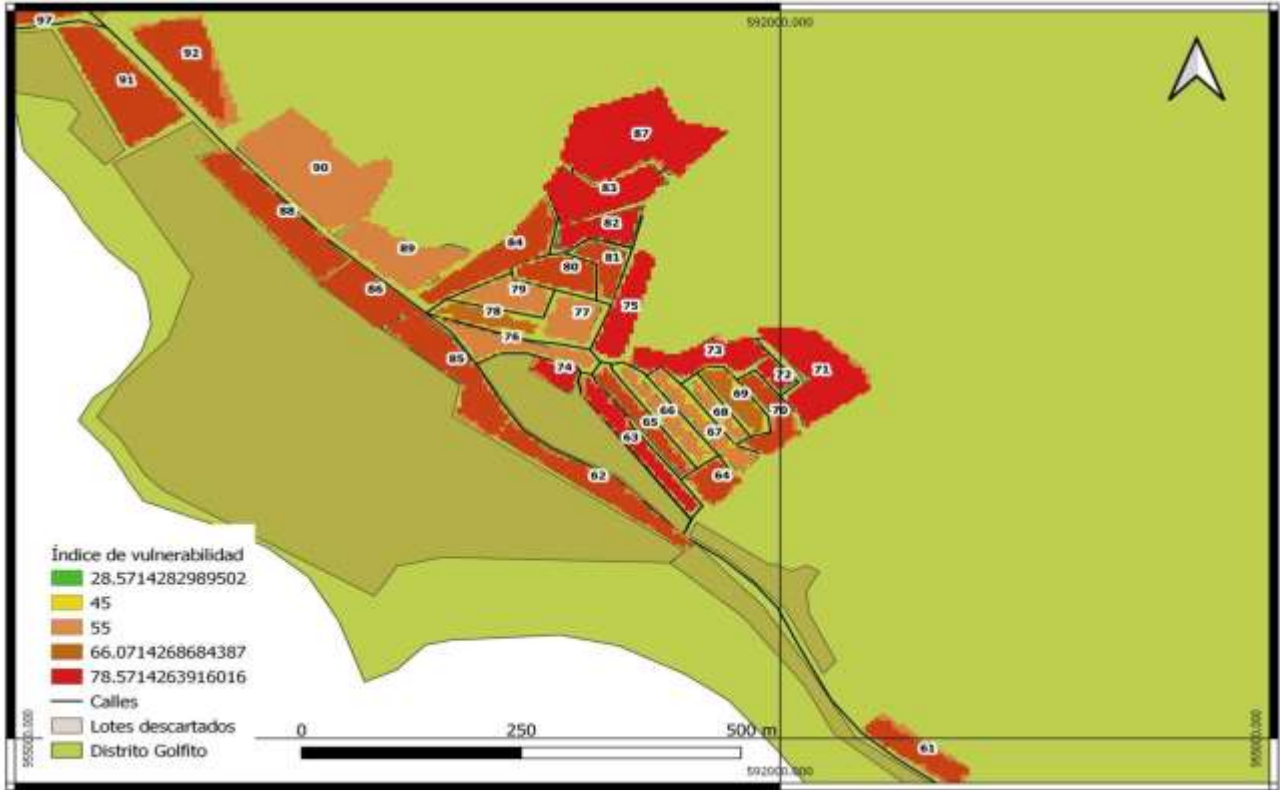


Figura 83. Índice de vulnerabilidad
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

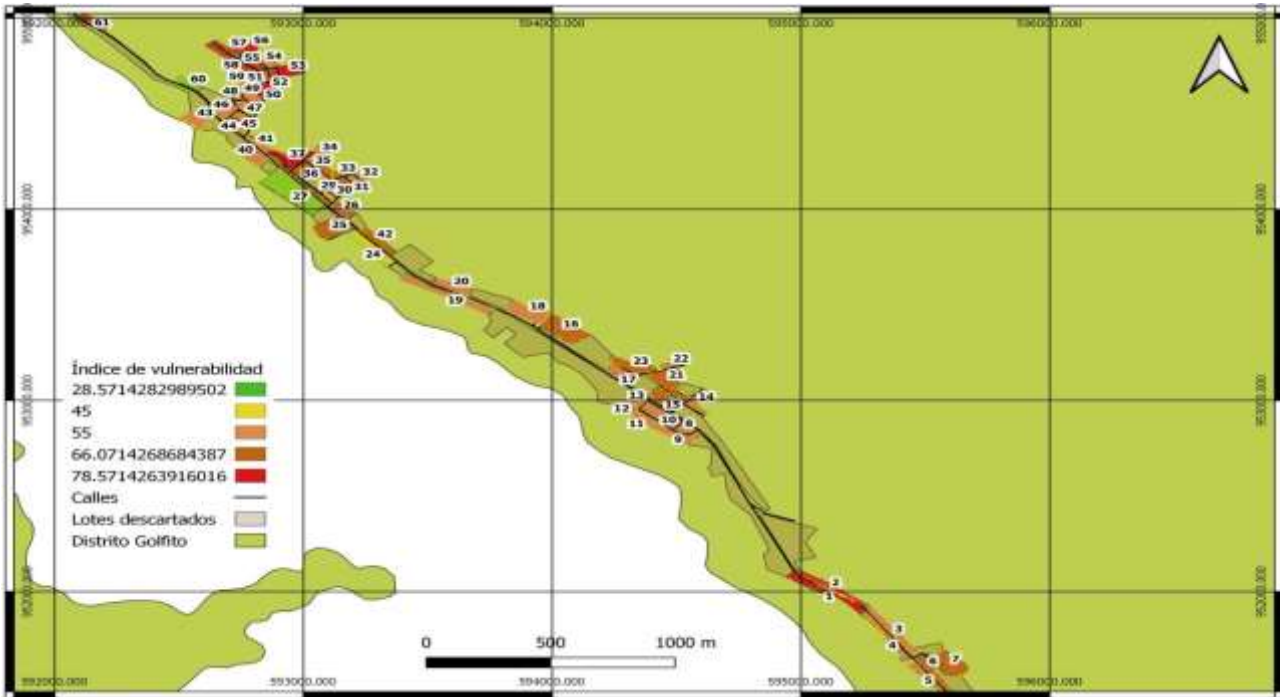
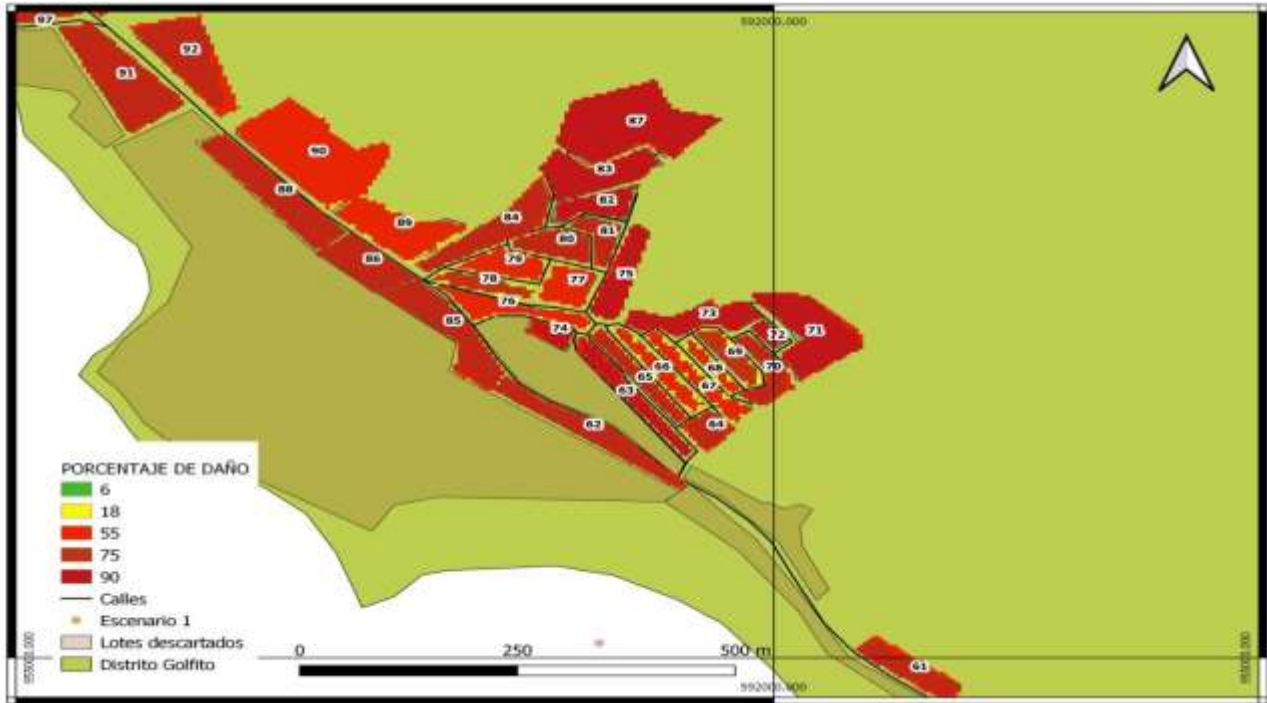
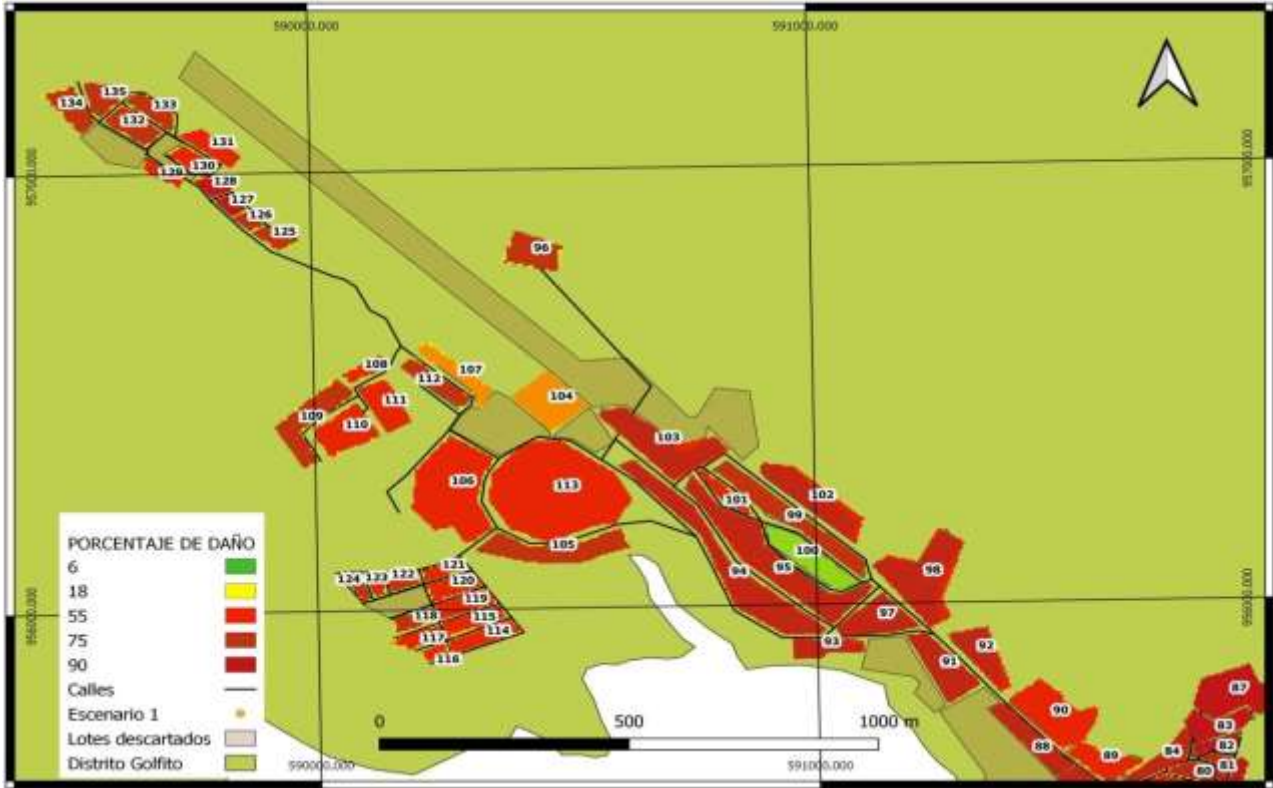


Figura 84. Índice de vulnerabilidad
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



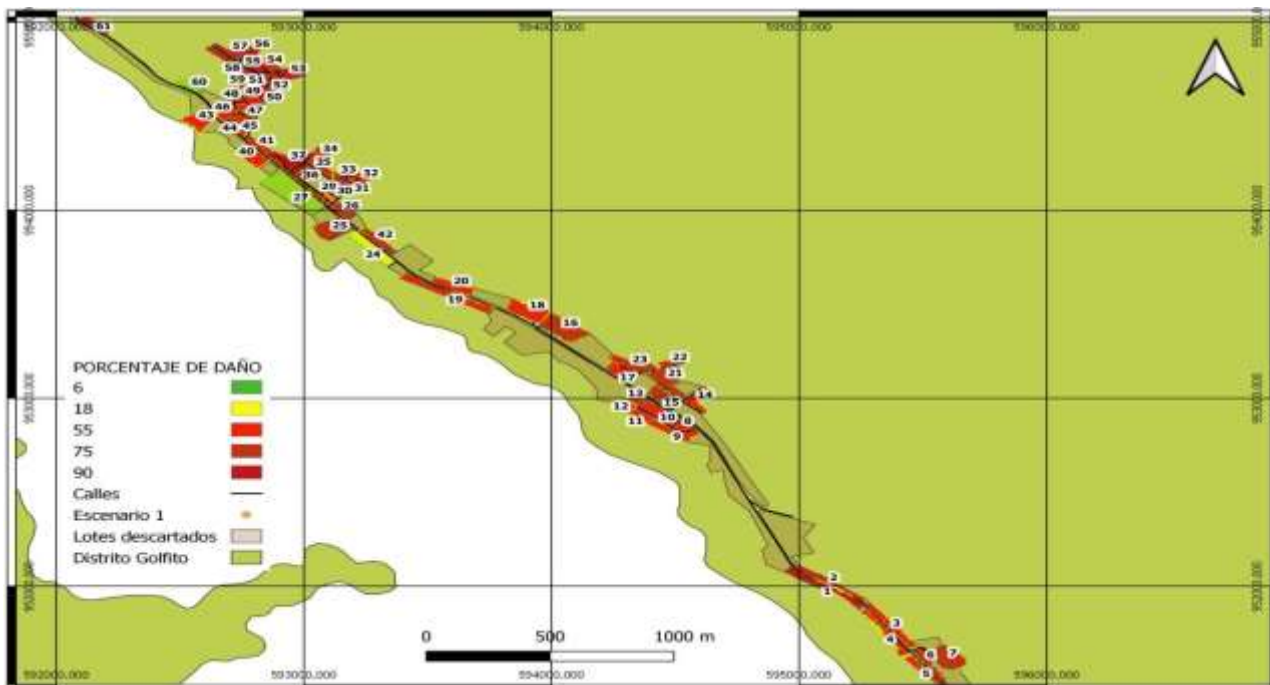


Figura 87. Porcentaje de daño según una aceleración de 595 Gal
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

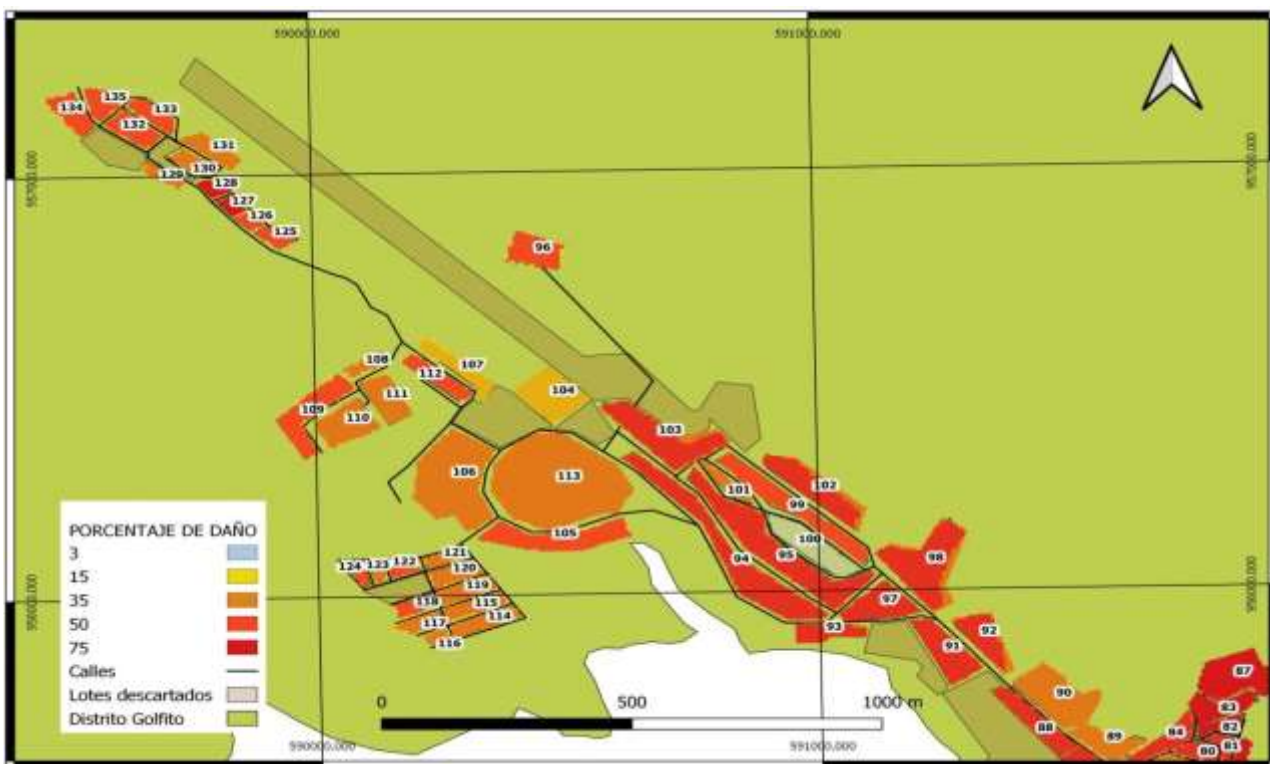


Figura 88. Porcentaje de daño según una aceleración de 430 Gal
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

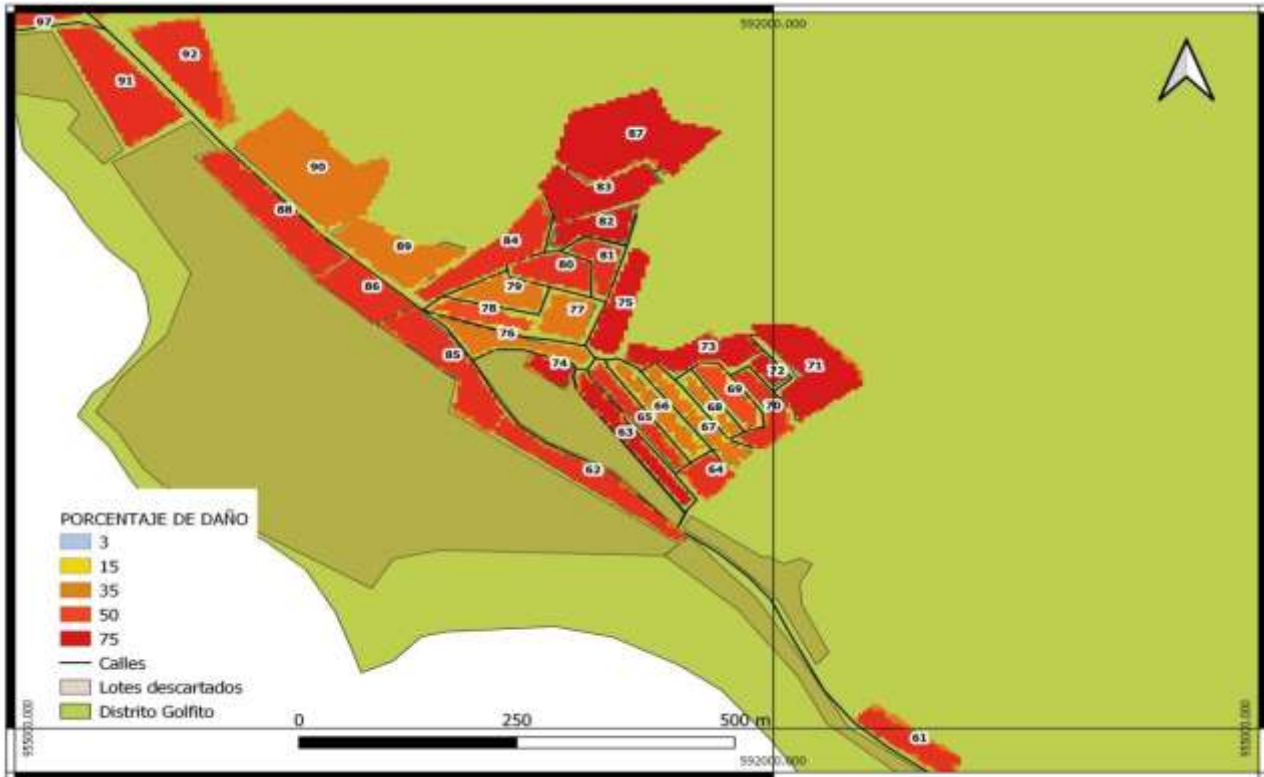


Figura 89. Porcentaje de daño según una aceleración de 430 Gal
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

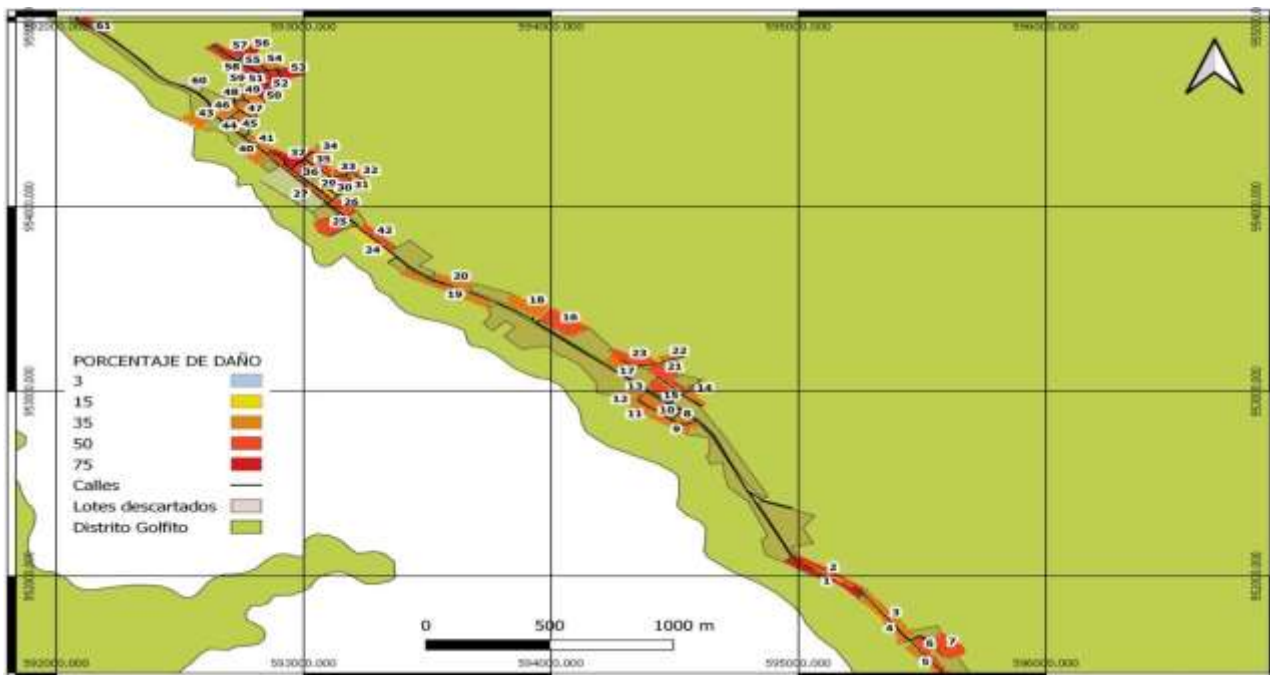


Figura 90. Porcentaje de daño según una aceleración de 430 Gal
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

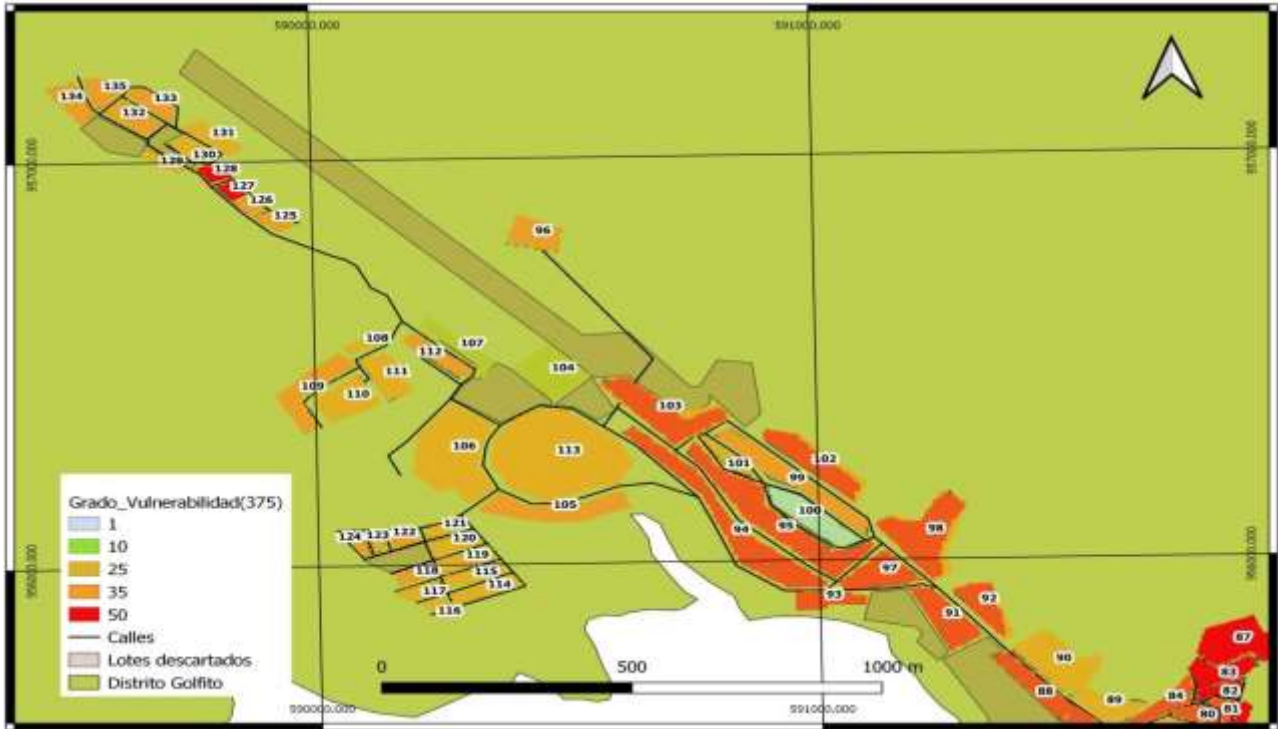


Figura 91. Porcentaje de daño según una aceleración de 375 Gal
 Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

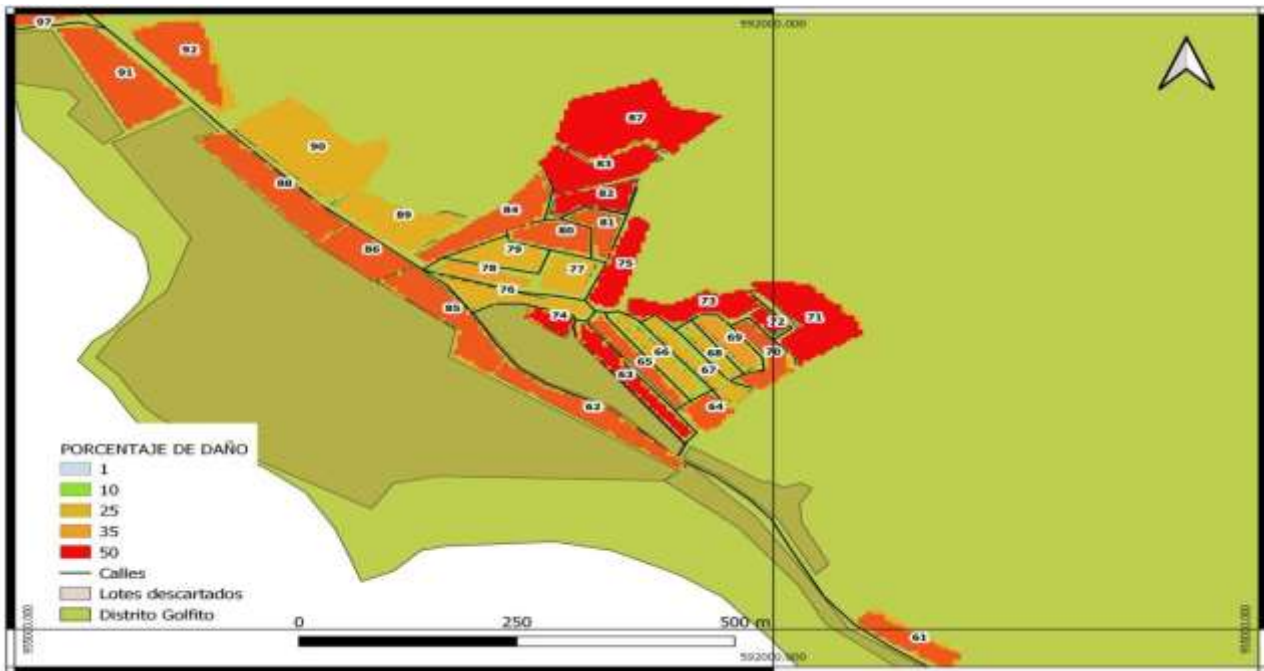


Figura 92. Porcentaje de daño según una aceleración de 375 Gal
 Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

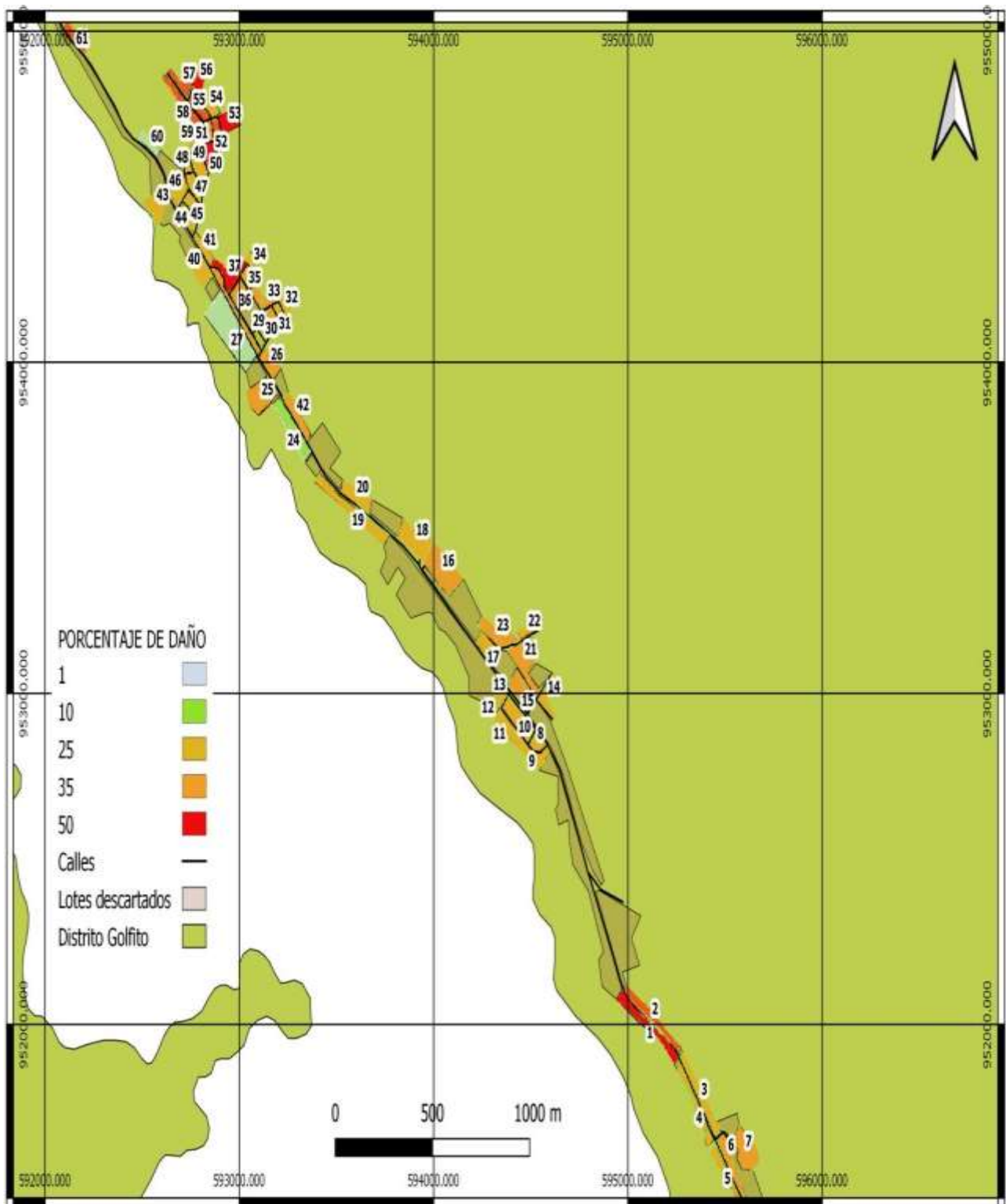


Figura 93. Porcentaje de daño según una aceleración de 375 Gal
 Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Análisis de los resultados

Mapas de amenaza sísmica

Un sismo de magnitud 7,8 escala momento, localizado en Golfito, a una profundidad de 30 km y aproximadamente a un kilómetro de la ciudad, tendría una aceleración de $5,96 \text{ m/s}^2$, el cual equivaldría casi a un 60% del valor de la gravedad terrestre. Esta intensidad se presentaría en sectores como Puntarenitas, o La Gamba, las cuales corresponden, según el atlas geológico de Costa Rica a depósitos aluviales y coluviales, en estos sitios la intensidad sería de entre VIII-IX, escala Mercalli Modificada; mientras tanto en el área de la ciudad de Golfito, al estar ubicada en estratos compuestos por rocas sedimentarias y por basaltos de aguas profundas, las ondas sísmicas se ven atenuadas obteniendo magnitudes de entre los $4,20 \text{ m/s}^2$ y los $4,40 \text{ m/s}^2$, cercanas a un 42% del efecto de la gravedad, con una intensidad de VIII escala Mercalli Modificada.

Según esta escala en estos sectores se podría presentar daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes, daño severo en estructuras pobremente construidas, muebles completamente sacados de lugar por la vibración, y se dificulta la conducción de los vehículos. Por su parte respecto al nivel IX, se genera un estado de pánico, con daños considerables en estructuras especializadas, paredes desplomadas, grandes daños en importantes edificios desplazados fuera de los cimientos, grietas en el terreno y daño de fundaciones.

En los tres mapas realizados para este escenario, se puede apreciar la expansión de la onda sísmica y como esta aumenta o disminuye de acuerdo al estrato afectado. Se puede observar la particularidad que el distrito de Guaycará y el de Corredor, correspondiente al cantón de Corredores, se presentan mayores aceleraciones

que en la ciudad de Golfito, estos sitios serían afectados por una aceleración de $5,60 \text{ m/s}^2$

Para este escenario, se presentaría una intensidad de VIII escala Mercalli Modificada en los cantones de Golfito, Corredores y Osa.

Respecto al segundo escenario sísmico, este se ubicó a una distancia hipocentral de 24 km y presentó una magnitud de 7,3 Mw, generaría aceleraciones de $3,75 \text{ m/s}^2$ en el centro de la ciudad de Golfito, el cual corresponde a un 38% de la gravedad terrestre; esta magnitud según la escala Mercalli Modificada sería de VIII, y se presentaría en los distritos de Golfito, Guaycará y Corredor. Las mayores aceleraciones se presentarían en los sectores de La Gamba, ($5,33 \text{ m/s}^2$), Puntarenitas ($5,27 \text{ m/s}^2$), Chacarita ($4,90 \text{ m/s}^2$) y la Mona, ($4,65 \text{ m/s}^2$).

En este escenario, el cual manifestó parámetros similares al terremoto de 1983, se pueden apreciar características que se presentaron en ambos sismos; de acuerdo a los registros, el sismo (1983) causó colapsos de viviendas en el sector de Sierpe, Palmar y Ciudad Cortés, reportando una intensidad de VIII; en estos sitios el suelo registrado en el atlas CR 2014 corresponde a depósitos aluviales y coluviales, incrementando la onda sísmica y obteniendo aceleraciones del 40% y 50% de la gravedad, estas aceleraciones en conjunto con suelos tipo IV, las estructuras pueden llegar a sufrir colapsos, incluso se podría dar licuefacción en suelos arenosos, fenómeno que también se presentó en Ciudad Cortés durante el terremoto mencionado.

Para el tercer escenario sísmico, el cual se encuentra ubicado en el Golfo Dulce a una profundidad de 24 km, y a una distancia de 6 km del epicentro, se presentaría una magnitud de 7,2 Mw, y se generarían aceleraciones de $4,30 \text{ m/s}^2$ en el área de la ciudad de Golfito, al igual que en los casos anteriores las mayores aceleraciones se

presentan en Puntarenitas (5,95 m/s²), La Mona (5,74 m/s²) y en el distrito de Guaycará (5,62 m/s²), más específicamente en la ciudad de Río Claro. De acuerdo a las aceleraciones presentadas, la intensidad se calificaría de grado VIII escala macrosísmica Mercalli Modificada.

En los tres escenarios sísmicos se observa el efecto local, en donde se da la amplificación de las ondas sísmicas, en los suelos que corresponden a depósitos aluviales, coluviales y regiones costeras, así como la disminución de la aceleración de las ondas sísmicas en regiones con roca sedimentarias y basaltos de aguas profundas.

Otro fenómeno que se aprecia en los mapas es la atenuación de las aceleraciones conforme aumenta la distancia epicentral, en donde se comprueba según las curvas de atenuación mostradas en las figuras 79 y 80. Las intensidades presentadas son cercanas a la referencia de los estudios de Resis II, en donde menciona que se esperan aceleración de 500-600 Gal (1 Gal = 1 cm/s²) para un periodo de retorno de 500 años.

En el presente estudio se manifestaron aceleraciones desde los 400 – 595 Gal. Sin embargo, para 1000 y 2500 años de periodo de retorno se presentan aceleraciones de 600-700 Gal y 750-850 Gal respectivamente.

Como se mencionó en el marco teórico, los estudios realizados por Climent, contemplan una metodología probabilística, por lo tanto se debería realizar un estudio bajo esta metodología para complementar los resultados obtenidos y permitir una mejor interpretación.

Con estos registros se pretende obtener la información necesaria, para obtener una base para realizar estudios de vulnerabilidad sísmica en las diferentes edificaciones presentes en el área, ya que, de acuerdo a las aceleraciones manifestadas, y a la asociación con la escala Mercalli Modificada, se esperan daños considerables en la zona. Por dicha razón estos estudios son indispensables en comunidades que se encuentren bajo la amenaza de sufrir un evento sísmico de gran magnitud como lo es la ciudad de Golfito.

Mapas de vulnerabilidad sísmica

Para la realización del estudio, se necesitó establecer una muestra representativa de la población, esto por las limitaciones presentes a la hora de la toma de datos descritas anteriormente, por ello, se tomó primero como referencia los datos suministrados por el INEC con respecto a los censos de 1983 y 2001, para observar el crecimiento demográfico, y tener una idea de la cantidad de viviendas y el tamaño de la población de la ciudad de Golfito. Para determinar los datos, se optó por utilizar imágenes satelitales como referencia, donde se contabilizaron 1864 estructuras, empleando un 95% de confianza, en la ecuación de Walpole, se da como resultado una muestra representativa de 319, redondeado a 320 estructuras.

El muestreo realizado se basó en el INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-5, en donde se obtuvieron 6 diferentes tipologías, las cuales son muros en madera de uno y dos niveles (W-SLFLB-1, W-SLFLB-2) mampostería reforzada de diafragma flexibles y rígidos (MR-FLFSB-2, MR-RLFSB-2), muros de concreto prefabricado (CPM-RCFSB-2) pórticos en concreto (PCR-RLFSM-5).

En los cuadros 18, 19 y 20 se pueden observar los resultados del muestreo, en donde se contabilizan que el mayor porcentaje (60%), corresponden a estructuras de mampostería, un 50% equivaldrían a edificaciones con un diafragma flexible, sin embargo, para utilizar las funciones de vulnerabilidad, se presenta el inconveniente de que, no se puede diferenciar, de cuáles estructuras, equivalen a mampostería simple, confinada o reforzada, por lo tanto, ya que el código sísmico establece por obligación el uso de varilla de acero como refuerzo, se establece que no se encuentra la mampostería simple. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el acero podría estar corroído, debido a un repello deficiente, la varilla también podría tener un recubrimiento pobre de concreto o no tenerlo, así como la ausencia o un pobre acoplamiento del acero con las vigas y/o columnas, por citar algunos ejemplos. Esto se debe a un desconocimiento o indebido control del proceso constructivo, situación que se da a muy comúnmente en las zonas rurales.

En el caso de los diafragmas flexibles y rígidos, se observaron casos en donde la planta

principal era una estructura de mampostería con una segunda planta y entrepiso de madera, por lo tanto, se clasificaban como flexibles, en el caso de los rígidos, correspondían a aquellas estructuras de dos niveles con un entrepiso por vigas metálicas o losas de concreto, por lo cual eran de fácil identificación. Las estructuras de mampostería analizadas ninguna de ellas presenta un estado de conservación pobre, y la gran mayoría se encontraba en un estado regular (16,5%), bueno (34%) y el restante (9,5%) se encontraba en un estado de conservación excelente. Este tipo de estructuras la gran mayoría (36,5%), se edificaron entre los años de 1974-2001, esto refleja el aumento de la demografía, así como el cambio de construcciones de madera, típicas de las fincas bananeras hacia la mampostería, un material más barato. Las construcciones de mampostería que se encuentran después del 2001 equivalen a un 7,5%, mientras las que se edificaron antes de 1974 son un 5,94%.

Las estructuras de madera, cuyo porcentaje equivale a un 32% del muestreo se encuentran entre las más vulnerables, si bien es cierto, este tipo de estructuras permiten resistir el sismo, gracias a su rango elástico elevado, según se puede apreciar en el cuadro 22, en el caso de las estructuras de madera por lo general fueron construidas antes de 1974, un porcentaje cercano al 25% del total de la muestra, muchas de las cuales se encuentran con un estado de conservación bueno (12,5%), regular (7,5%) y pobre (3%), el restante 9% corresponde a estructuras con grado de conservación excelente, muchas de las cuales se encuentran en el barrio Alamedas, un sector de clase socioeconómica un poco más alto que el resto de la ciudad de Golfito.

Sin embargo parte las estructuras de madera que se encuentran en un estado de conservación excelente, tienen un índice de vulnerabilidad alto, ya que como se indicó, son construcciones de mediados del siglo pasado.

Con respecto a las estructuras de concreto prefabricado, se encontraron que corresponden a un 7,5% de las 320 estructuras analizadas, en esta tipología un 1,6% de las edificaciones presentó un estado de conservación pobre, mientras que un

2,8% se encontró en un estado regular, un 2,5% en estado bueno y un 0,3% en estado excelente.

Por parte de los pórticos de concreto estos solo a un 0,6% de las estructuras analizadas, encontrándose en un estado excelente de conservación y eran construcciones que fueron edificadas después 2001, esto refleja el estado de la zona sur, en donde se necesitan traer materiales desde el valle central encareciendo las obras, por lo tanto, estas tipologías, no son comunes y las presentan edificios más especializados, como de instituciones de emergencias, del gobierno y comerciales.

Los resultados finales del muestreo mostrados en los cuadros 21 y 22, reflejan que un 49% de las estructuras se encontraron en un estado de conservación de 49%, un 17,5% se encontraron en un estado excelente, un 28% en estado regular y un 5% en un estado pobre. Además, se encontró que un 8% de las estructuras fueron construidas después del 2001, mientras que un 54% se encontraron entre 1974 y 2001 y un 37% previo a 1974, esto refleja que se han construido recientemente muy pocas edificaciones, lo cual sigue el comportamiento de la región.

Para mostrar las características en todo el territorio estudiado se generalizaron los parámetros en cada uno de los lotes, y luego se efectuó la herencia de los datos a los lotes adyacente, resultados mostrados en los cuadros 23, 24 y 25, los cuales un 77% equivalen a estructuras de mampostería de diafragma flexible, mientras que un 5% estructuras de concreto prefabricado y mampostería de diafragma rígido, un 11% estructuras de madera y un 0,7% pórticos de concreto. De estos lotes el estado de conservación de un 5% es excelente, mientras que 60% corresponden a estructuras en estado bueno, un 31% en estado regular y un 0,74% en estado pobre. Respecto a la edad de las construcciones luego de efectuar la herencia de los lotes un 30% son estructuras de antes de 1974, un 66% entre 1974 y 2001, y el restante 3% a estructuras construidas después del 2001.

Estos resultados, pueden reflejar la realidad de la zona sur y permiten realizar un estudio de la vulnerabilidad, pero son una aproximación de la realidad, por lo cual, es necesario realizar un censo y determinar los parámetros de vulnerabilidad de cada una de las estructuras, disminuyendo el porcentaje de error.

El índice de vulnerabilidad mostrado en las figuras 83, 84 y 85, permite observar las zonas que

puedan presentar un mayor daño potencial bajo efectos de una amenaza. En estos mapas se aprecia que las zonas con un mayor índice de vulnerabilidad corresponden al sector de Bellavista, (lotes 61-87) y Alamedas/Hospital (lotes 91-103), en estos se sectores predominan las estructuras de madera construidas antes de 1974, lo cual si bien es cierto, muchas de ellas se encuentran en un estado de conservación perfecto, especialmente en el sector de Alamedas, la combinación de la edad y la tipología es factor suficiente para aumentar la vulnerabilidad.

Otros sectores que también presentan un índice de vulnerabilidad alto, es el del km 5 (lotes 1-7), y el barrio Ureña (lotes 125-135) si bien es cierto, el estado de los cimientos y fundaciones, no se encontraba entre los parámetros determinados, se pudo observar en el caso de las estructuras que se encuentran colindando con el Golfo Dulce, las cuales en muchos casos el estado de los pilotes era muy pobre y fue un factor influyente en la hora de la herencia de los datos. Respecto al barrio Ureña, este corresponde a su mayoría a un proyecto habitacional con construcciones de concreto prefabricado, este tipo de construcciones de acuerdo a la función de vulnerabilidad presenta una buena resistencia, pero pueden existir errores en el proceso constructivo, así como disminución en la calidad de los materiales empleados, por lo tanto se podrían presentar notables diferencias, las cuales se pueden solventar realizando un censo en todas las estructuras o utilizando funciones de vulnerabilidad adecuadas a la zona por citar algunos ejemplos.

Hay que tomar en cuenta que las funciones de vulnerabilidad empleadas son obtenidas a partir de la referencia del INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-5, que se determinaron a partir de estudios efectuados en la ciudad de San José, y las características propias de las estructuras en la zona sur difieren a las del valle central, así como la posible variación de la calidad de los materiales, por lo tanto es importante recalcar que los resultados pueden diferir a la realidad ya sea en un aumento o disminución de la vulnerabilidad propia de las estructuras analizadas.

El porcentaje de daño se ve afectado según la vulnerabilidad, en donde, las estructuras más vulnerables son aquellas edificadas antes de 1974, por lo general, construcciones de madera con un estado de conservación pobre y regular, también, se verían afectadas seriamente, las

construcciones de concreto prefabricado, construidas entre los años de 1974 y 2001 con un estado de conservación pobre y regular.

El porcentaje de daño mostrado en las figuras 86, 87, y 88 representan la respuesta de las estructuras bajo una aceleración de 595 Gal, donde se alcanzan lotes con un 80% de daños, estos corresponden a sectores con estructuras de madera o de concreto prefabricado con un estado de conservación pobre, malo o regular, construidas antes de 2001. Este tipo de lotes equivalen a un 13% del total. Un 95% de los lotes sufriría al menos un 55% un daño considerable, mientras que un 50% de los lotes experimentarían daños de más de 70%, catalogados como daño grave; incluso un 3% de los lotes llegando a niveles como muy graves.

Las figuras 89, 90 y 91 muestran el porcentaje de daño sufrido bajo una aceleración de 430 Gal, en este escenario se alcanzan niveles del 60% de daño para un 15% de los lotes, catalogado como un daño considerable. Cerca del 95% de los lotes sufre al menos un 30% de daño, clasificado como daño intermedio.

Por su parte en las figuras 92, 93 y 94 se puede apreciar el efecto de una aceleración de 375 Gal, en donde, un 95% de los lotes sufre al menos un daño del 20%, catalogado como un daño leve, mientras que un 15% de los lotes alcanzan valores del 50% de daño.

Al igual es importante recalcar que el daño estimado corresponde a un daño total, es decir, a la suma del daño de los elementos estructurales y no estructurales.

Los daños no estructurales en establecimientos de emergencias como el EBAIS o

el hospital podrían afectar el servicio de estos, como la consecuencia de daños en equipos y/o recintos, presentando un costo en materia de tiempo y/o servicio para tratar una emergencia, así como en el monetario, por el reemplazo o reparación de los equipos. Otro detalle es que los tanques de gas, estén arriostrosados en todas sus direcciones ya que la vibración del sismo puede llegar de varios sectores.

Las emergencias en caso de que el hospital de Golfito presente daños se podrían apoyar en el hospital de Ciudad Neily, el cual se ubica a unos 40 km o también se encuentra el hospital de Ciudad Cortés, o el traslado de pacientes vía aérea por las pistas de aterrizaje de Puerto Jiménez, Golfito y Coto 47.

Gracias a este tipo de análisis, es posible conocer las zonas que pueden presentar más daños, y así poder efectuar las correcciones necesarias, ya que se está limitado a una ubicación, al menos de que se dé el caso de un posible deslizamiento u otro factor de alto riesgo que se tenga que considerar desplazar una o varias estructuras, fenómeno que no se contempló en el presente estudio, la única opción para disminuir la vulnerabilidad, sería realizar un reforzamiento, mejoramiento o inclusión en caso de la ausencia de sistemas sismo resistentes.

Las construcciones recientes deben seguir las pautas del Código Sísmico de Costa Rica, contando con un sistema sismo resistente apropiado, y estar bajo la supervisión de un profesional a cargo de la obra, utilizando materiales de óptima calidad previendo la amenaza sísmica existente.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La zona sur de Costa Rica, de acuerdo a su ubicación posee una alta amenaza sísmica, debido a que se encuentra cercana a un punto triple, donde se encuentran las placas tectónicas de Cocos, Nazca y la microplaca de Panamá, además las fallas que presentan mayor poder destructivo son la falla Golfito y la falla Longitudinal, capaces de generar sismos de una magnitud mayor a 7 Mw, presentando intensidades de cerca de 0,6 veces la aceleración de la gravedad.

De acuerdo a los registros obtenidos de la Red Sismológica Nacional, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, se puede presentar en los próximos años un sismo de magnitud mayor a 7 Mw en la zona del Golfo Dulce.

Se determinó la amenaza sísmica mediante un método determinístico, dando una buena aproximación de la realidad, según los registros históricos y el estudio Resis II. La metodología de este método fue de baja dificultad, y presenta la limitación de que se solo se puede analizar una falla a la vez, en el caso en estudio la falla analizada fue la falla Golfito.

El área, del estudio de vulnerabilidad, está conformada por la ciudad de Golfito, desde el barrio Ureña en el extremo Noreste, hasta el barrio kilómetro 5, ubicado en el sector suroeste.

Según los registros de los mapas geológicos, obtenidos del Atlas CR 2014, el área de estudio está compuesta, por depósitos aluviales y coluviales, por basaltos de aguas profundas y por rocas sedimentarias, las cuales amplifican o

atenúan las ondas sísmicas, respectivamente según la composición geológica presentada.

Las diferencias de topografía en la región no presentan una gran relevancia, ya que las diferencias entre las mismas van desde los 0-500 metros sobre el nivel del mar. En donde, la mayor parte del territorio analizado se encuentra entre los 0-200 m.s.n.m., por lo que no se presentan grandes diferencias en las aceleraciones manifestadas en estas regiones.

En base a los registros de sismos históricos, y a la ubicación de los planos de fallas, con el fin de evaluar la amenaza sísmica se definieron tres sismos hipotéticos que podrían afectar el área de estudio:

Escenario 1, dispone una magnitud de 7,8 Mw, la cual es la máxima magnitud presentada asumiendo una total ruptura de la falla. Este sismo se localiza en el sector de Golfito, aproximadamente a 500 metros al oeste del centro de la ciudad, coordenadas latitud 8,671628 y longitud -83,149303, a una profundidad de 30 km.

Escenario 2, presentó una magnitud de 7,3 Mw, profundidad de 21 km, y coordenadas latitud 8,6546066 y longitud -83,208505, ubicado a 5 km al oeste de la ciudad de Golfito, referenciando a los parámetros experimentados durante el sismo de 1983.

Escenario 3, tuvo una magnitud de 7,2 Mw y se ubicó a una profundidad de 24 km y localizado a 1 Km al oeste de la ciudad de Golfito, en medio del Golfo Dulce, coordenadas latitud 8,5981773 y longitud -83,2061616.

De acuerdo al primer escenario sísmico, se tendrían aceleraciones de 4,35 m/s² en la zona de la ciudad de Golfito, cercanas a un 43 % del efecto

de la gravedad, la máxima aceleración fue de 5,95 m/s² reportada en el sector de Puntarenitas, cercana a un 60% de la gravedad terrestre.

El segundo escenario sísmico presentaría aceleraciones de 3,75 m/s² en el centro de la ciudad de Golfito, el cual corresponde a un 38% de la gravedad terrestre; las mayores aceleraciones se presentarán en los sectores de La Gamba, (5,33 m/s²), Puntarenitas (5,27 m/s²), Chacarita (4,90 m/s²) y la Mona, (4,65 m/s²).

Respecto al tercer escenario sísmico, se manifestarían aceleraciones de 4,30 m/s² en el área de la ciudad de Golfito, otras intensidades mostradas en el mapa corresponden a Puntarenitas (5,95 m/s²), La Mona (5,74 m/s²) y en el distrito de Guaycará (5,62 m/s²), más específicamente en la ciudad de Río Claro. Estas aceleraciones, corresponden a un rango de 39-37% de la gravedad en la ciudad de Golfito, en Puntarenitas se reportó un 54% y en La Mona y Río Claro un 48 % y 46% respectivamente.

Las mayores aceleraciones se presentarían en el sector de Puntarenitas, La Gamba, Puerto Jiménez, La Mona, Guaycará y Corredores, debido a que se encuentran sobre depósitos aluviales y coluviales, amplificando las ondas sísmicas.

Los tres escenarios sísmicos presentan una intensidad de VIII escala Mercalli Modificada, la cual se manifestaría en los cantones de Golfito, Corredores y Osa. La intensidad de los escenarios propuestos se percibirá a lo largo del territorio nacional, llegando a regiones como Ciudad Quesada y Guanacaste.

Los sistemas de información geográfica, son una gran herramienta que permiten simplificar la determinación de amenazas, esto debido al entrelazamiento de las capas vectoriales y raster, proporcionando una plataforma amigable para trabajar y representar información, además, gracias a la facilidad en que se muestran los datos, hace que cualquier persona pueda interpretar los resultados, aspecto muy importante en situaciones de emergencia.

Con base a las inspecciones realizadas, la tipología más empleada en el área es la mampostería, seguido por las estructuras de madera y muros de concreto prefabricado.

Las funciones de vulnerabilidad empleadas corresponden a tipologías de la ciudad de San José, por lo tanto, al utilizar en la zona sur, podrían existir diferencias por las características propias de las construcciones de la zona, en donde, predominan las construcciones de madera de dos plantas que permiten un amplio rango elástico, así como también es importante notar que muy posiblemente las funciones correspondientes a las viviendas de mampostería y prefabricadas, también presentes diferencias por la calidad de materiales empleados, así como la correcta supervisión del proceso constructivo.

Las zonas que presentan una mayor vulnerabilidad son el sector Bellavista, (lotes 61-87), y Alamedas/Hospital (lotes 91-103), debido a que son en su mayoría estructuras de madera construidas antes de 1974.

El porcentaje de daño se ve afectado según la vulnerabilidad en donde, las estructuras más vulnerables son aquellas edificadas antes de 1974, por lo general, construcciones de madera con un estado de conservación pobre y regular, también se verían afectadas seriamente, las construcciones de concreto prefabricado, construidas entre los años de 1974 y 2001 con un estado de conservación pobre y regular.

Se observa que las estructuras de madera son de las tipologías que presentan un mejor comportamiento bajo las fuerzas sísmicas, ya que permiten la amortiguación de estas, por lo tanto, estas estructuras que fueron edificadas por ingenieros estadounidenses a principios del siglo XX, con maderas de excelente grado de dureza, siguen en pie hoy en día, incluso se tomó en cuenta edificarlas sobre pilotes, por estar bajo la amenaza de inundaciones. Conforme avanzaron los años, se utilizó más la mampostería, el cual presenta un comportamiento más deficiente, además principalmente de un piso, sin estar elevadas sobre pilotes, teniendo el riesgo de sufrir por una inundación, esto a pesar de tener antecedente de daños, por ejemplo, el terremoto de 1983 que afectó viviendas de mampostería en la zona de Osa. Es importante, retomar la madera como material de construcción en zonas de alta sismicidad, o bien, utilizar estructuras de mampostería reforzada con diagramas rígidos o pórticos de concreto.

Recomendaciones

Efectuar estudios determinísticos de amenaza sísmica en otras fallas cercanas e incluir en el análisis otras comunidades cercanas.

La toma y análisis de los datos se debería hacer mediante varios profesionales con lo que se podría llegar a una mejor interpretación.

Incluir un estudio de amenaza sísmica bajo la metodología probabilística, obteniendo más datos y poder comparar resultados entre estudios similares y entre ambas metodologías, encontrando posibles factores de equivalencia y/o divergencia.

Analizar otros parámetros, como tipo y estado de las cimentaciones, estado del sistema sismo resistente, y elementos no estructurales, así como la separación entre las columnas, además, las diferencias de elevaciones de la topografía afectan considerablemente la propagación de las ondas sísmicas, pero bajo este efecto las comunidades de los cantones de Golfito, Corredores y Osa se encuentran entre los 5-200 m.s.n.m, por lo tanto no se es de gran relevancia.

Analizar el efecto del tiempo del sismo y la duración de la vibración respecto a las aceleraciones ocasionadas.

En este tipo de estudios es importante incluir las posibles amenazas que desencadenan los terremotos, como, los deslizamientos, incendios, tsunamis, explosiones y derrames de sustancias como combustibles y aceite vegetal.

Determinar diferentes aceleraciones para cada sector del terreno, ya que el cálculo de la vulnerabilidad se efectuó bajo la premisa de que se manifestaba la misma aceleración en toda la ciudad de Golfito, esto para efecto de simplificar y agilizar la etapa de obtención resultados.

Realizar un censo en toda la población, obteniendo una muestra completa con información acerca de los distintos parámetros, y preferiblemente en los cantones de Corredores, Golfito y Osa, ya que el análisis realizado es una aproximación de la realidad.

Obtener y utilizar funciones de vulnerabilidad para las tipologías presentes en el área en estudio, ya que las funciones empleadas por la referencia INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-5, se determinaron a partir de estudios efectuados en la ciudad de San José, y las características propias de las estructuras en la zona sur difieren a las del valle central.

Según los resultados obtenidos las personas correspondientes deberían realizar un reforzamiento, mejoramiento o inclusión de los sistemas sismo resistente de las estructuras más vulnerables.

Determinar un análisis de vulnerabilidad en las otras comunidades, y así poder realizar un análisis comparativo acerca de las distintas tipologías y el estado de estas.

Obtener un análisis de vulnerabilidad para cada vivienda, y otro con los mapas de los lotes con todos los parámetros actualizados, permitiendo una mejor interpretación, y comparación de los resultados, con el que se pueden tomar mejores medidas correctivas.

Efectuar el cálculo de la intensidad mediante otras escalas macro sísmicas, como la JMA, y utilizar ecuaciones según registros de la zona, que abarque la totalidad de las intensidades posibles de la zona.

Separar los daños en estructurales y no estructurales, lo que permite agilizar y tener más control de la toma de decisiones respecto a una amenaza, como el control de daños, atención a zonas especializadas, reforzamiento o mejoramiento de estructuras.

Apéndices

Apéndice 1. Sismos recientes en la zona sur de Costa Rica y zona noroeste de Panamá

Apéndice 2. Mapas necesarios para determinar la amenaza sísmica de cada escenario

Apéndice 3. Aceleración horizontal máxima según sea suelo o roca de acuerdo a diferentes magnitudes

Apéndice 4. Tamaño de la población

Apéndice 5. Tamaño de muestra

Apéndice 6. Muestreo realizado, incluyendo los pesos de cada atributo.

Apéndice 7. Ejemplos del formulario de inspección

Apéndice 8. Mapas necesarios para realizar el cruce de los diferentes grados de vulnerabilidad en los parámetros estudiados

Apéndice 9. Escalas de daño según sea la tipología, o el índice de vulnerabilidad a diferentes aceleraciones

Apéndice 10. Daño de los lotes según la combinación de los parámetros (índice de vulnerabilidad) a diferentes aceleraciones

Apéndice 11. Cantidad y porcentaje de lotes con porcentaje de daños según diferentes aceleraciones

Apéndice 1

Fecha	Hora	Magnitud (Mw)	Foco (km)	Localización	Origen	Reportado	Latitud	Longitud
28/4/2019	21:11:00	4,3	21	11 km Nor Oeste de Puerto Armuelles	Subducción	Conte y Corredores	8,2909	-82,9635
3/5/2019	06:35:00	4,1	25	9.5 km al oeste-suroeste de Golfito	Tectónico por subducción	Golfito, Río Claro, Bahía Drake	8,6234	-83,262
8/5/2019	21:17:00	4,3	41	6 km al sur oeste de Ciudad Neily	deformación de la placa del Coco	Golfito, Rio Claro y David Panamá	8,6001	-82,9663
12/5/2019	13:24:49	6	17	3 km Oeste de Paso Canoas, Corredores.	Parte subduccida de la Fractura de Panamá	Fuerte en Paso Canoas, Ciudad Neily, Golfito. Moderado en Pérez Zeledón, Valle Central, Limón. Leve en Laurel, Golfito, Ciudad	8,5342	-82,8649
19/5/2019	16:49:43	4,3	47	7,1 km SO de Coto 47, Corredores	Falla de cizalla en la placa subduccida	Neily, Pérez Zeledón. También reportado en Chiriquí, Panamá.	8,5489	-83,0078
19/5/2019	06:09:47	3,7	27	1,9 km SO de La Cuesta de Corredores, Puntarenas	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Leve en Laurel	8,4708	-82,8621

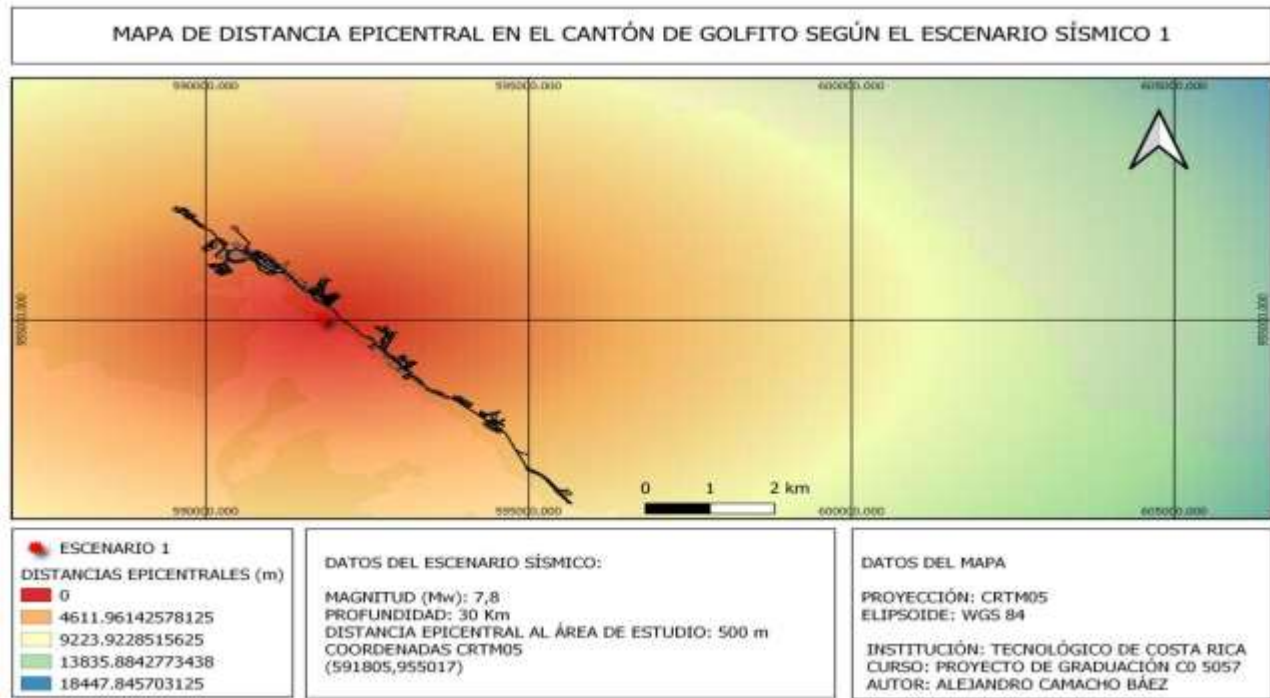
019-06-29	12:42:54	4,2	39	8 km NNE de Puerto Armuelles, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Laurel	8,3483	-82,84
29/6/2019	13:28:12	4,1	40	8,2 km SE de Laurel de Corredores, Puntarenas	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Leve en San José Centro	8,3741	-82,8851
29/6/2019	20:25:40	3,5	35	0,7 km Sur de El Roble de Corredores, Puntarenas	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Ciudad Neily	8,4298	-82,9439
29/6/2019	08:56:55	3,4	32	6,4 km SO de Progreso, Barú, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Tibás, San José	8,3762	-82,8536
28/6/2019	05:17:30	5,3	41	3,4 km este de Finca Corredores, Puerto Armuelles, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Fuerte en Zona Sur y Caribe Sur. Fuerte en Puerto Armuelles, David, Boquete y Chiriquí, Panamá	8,351	-82,8408
28/6/2019	14:01:48	4,3	42	1,4 km SE de Finca Blanco, Puerto Armuelles, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Leve en Aguas Buenas, Aserrí y también en David, Panamá	8,3763	-82,8637
27/6/2019	23:38:04	4,5	40	7,8 km NE de Puerto Armuelles, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Fuerte en Paso Canoas, Laurel. Leve en Pavas, Santa Ana y Esparza.	8,3432	-82,8303

27/6/2019	16:11:04	4,3	37	6 km SE de Laurel de Corredores	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Fuerte en Laurel de Corredores	8,4002	-82,88
27/6/2019	07:36:14	5,2	42	6 km NNO de Puerto Armuelles, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Fuerte en Paso Canoas, Laurel y Río Claro. Leve Valle Central.	8,3265	-82,899
26/6/2019	21:13:22	4	40	6 km SO de Progreso, Barú, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Sabalito de Coto Brus	8,3793	-82,8484
26/6/2019	22:33:11	4,5	42	7 km SO de Progreso, Barú, Chiriquí	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Leve en Sabalito, Laurel, y en sectores del Valle Central	8,3792	-82,8701
26/6/2019	13:12:28	4,9	31	9,6 NNE de Puerto Armuelles, Panamá	Parte subduccida de la Fractura de Panamá	Zona Sur del país	8,368	-82,8549
25/6/2019	11:47:22	5	40	7,6 NNE de Puerto Armuelles, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Zona Sur del país	8,3487	-82,8501
25/6/2019	23:23:48	6,5	37	9 km NE de Puerto Armuelles, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Muy fuerte y de larga duración en Puerto Armuelles, David y Changuinola, Panamá. Lo reportan en las provincias de Costa Rica	8,3597	-82,8395

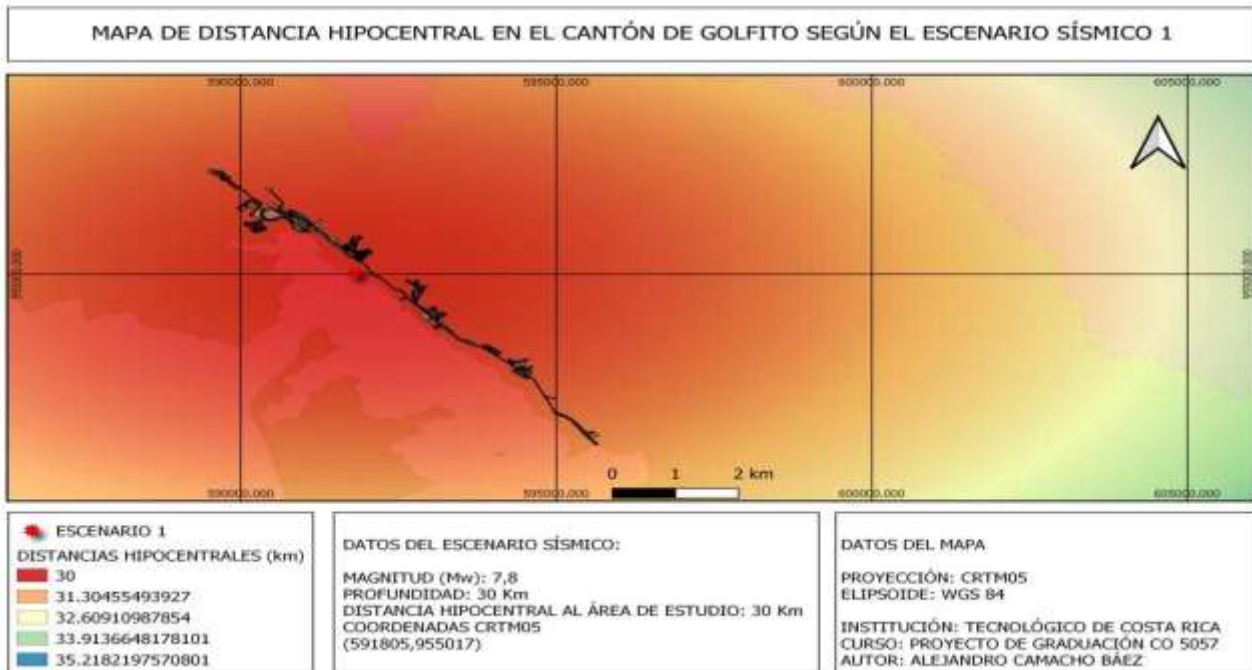
29/6/2019	07:50:58	3,8	36	6,4 NE de Puerto Armuelles, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Ciudad Cortés, Osa, Puntarenas	8,3475	-82,8506
29/6/2019	03:19:30	3,9	42	8,2 NNE de Puerto Armuelles, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Leve en San José y Río Segundo de Alajuela	8,3659	-82,856
1/7/2019	06:24:03	4,8	34	8,6 km NNE de Puerto Armuelles, Panamá	Parte subduccida Fractura de Panamá	Fuerte en Laurel. Sentido en Valle Central y Sarchí. Reportado en Chiriquí, Panamá.	8,3519	-82,8304
30/6/2019	07:34:25	4,3	39	9 km Norte de Puerto Armuelles, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Leve en San Vito de Coto Brus y Golfito	8,3637	-82,8667
30/6/2019	00:38:20	4,3	39	8,2 km NNE de Puerto Armuelles, Chiriquí, Panamá	Parte subduccida de Fractura de Panamá	Sentido fuerte en la Zona Sur del país. Leve en el Valle Central. Fuerte en Puerto Armuelles	8,3547	-82,8483
30/6/2019	09:54:03	3,9	18	2,2 km SO de Bella Luz de Corredores de Puntarenas	Fallamiento Local	Fuerte en Paso Canoas, Laurel. Leve en Puerto Armuelles	8,4199	-82,9946

Fuente: Ovsicori. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

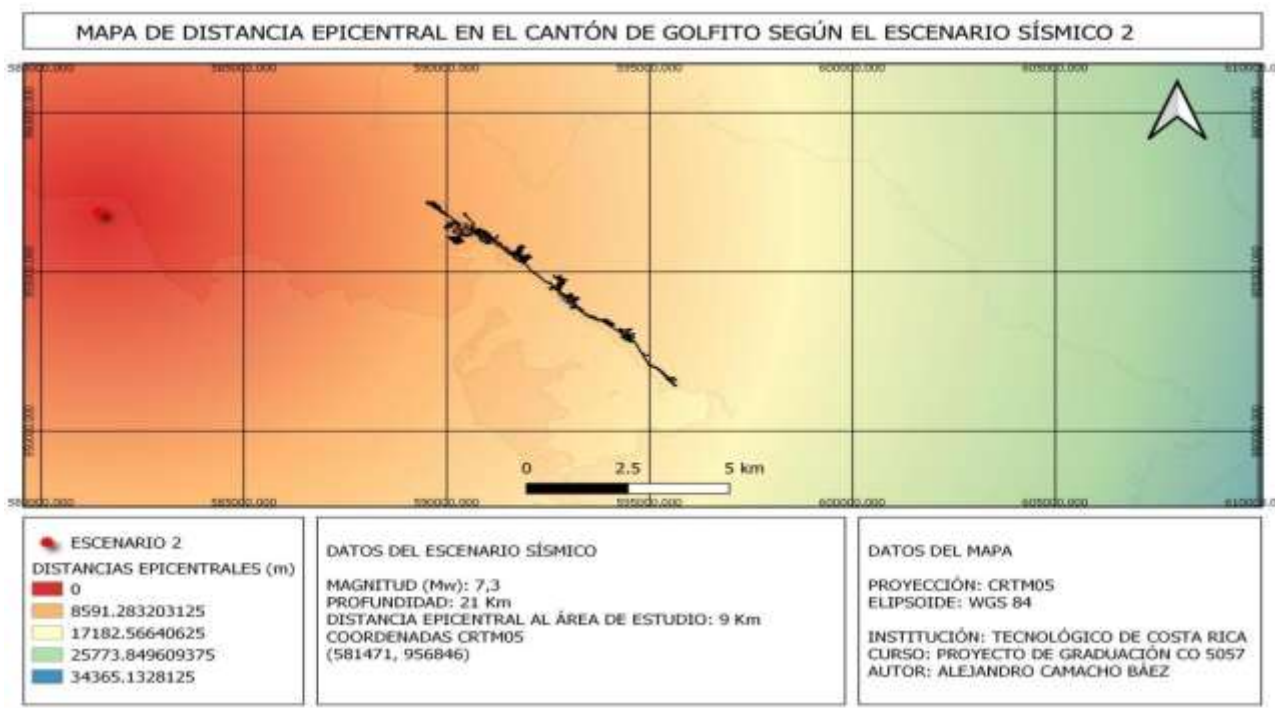
Apéndice 2.



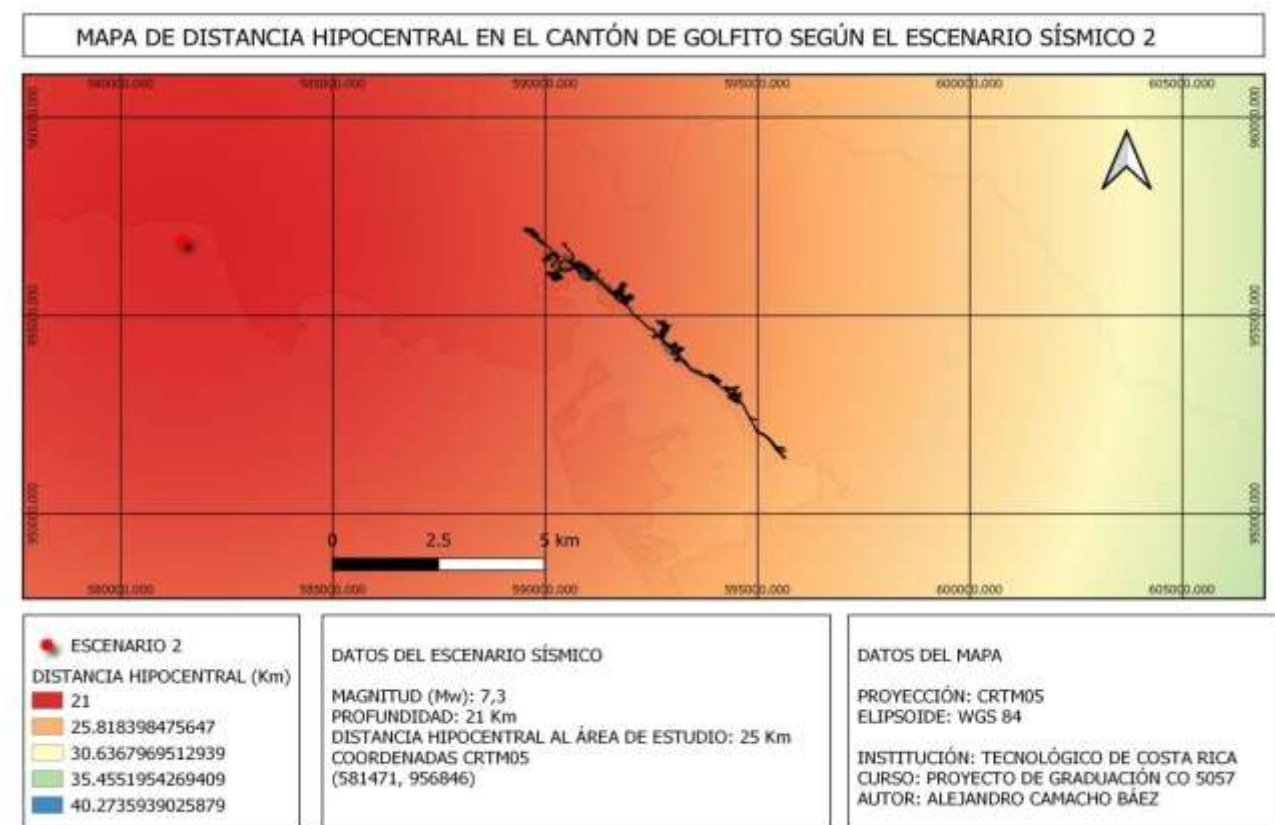
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



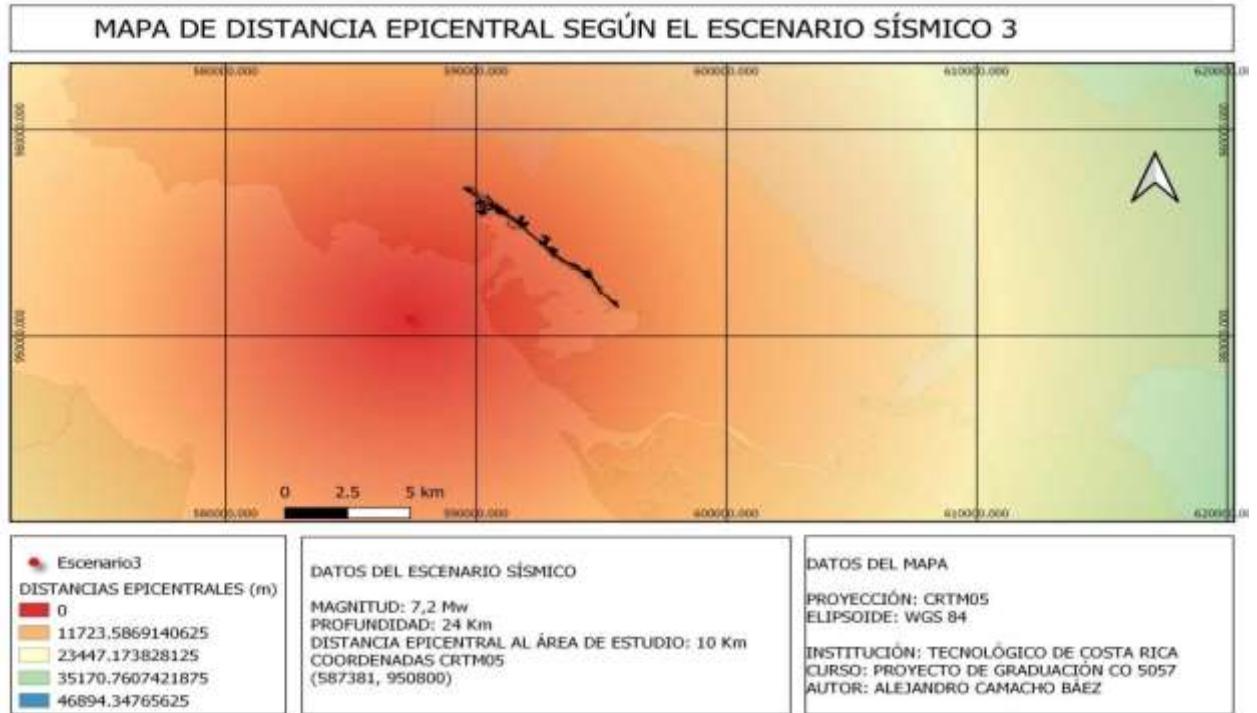
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



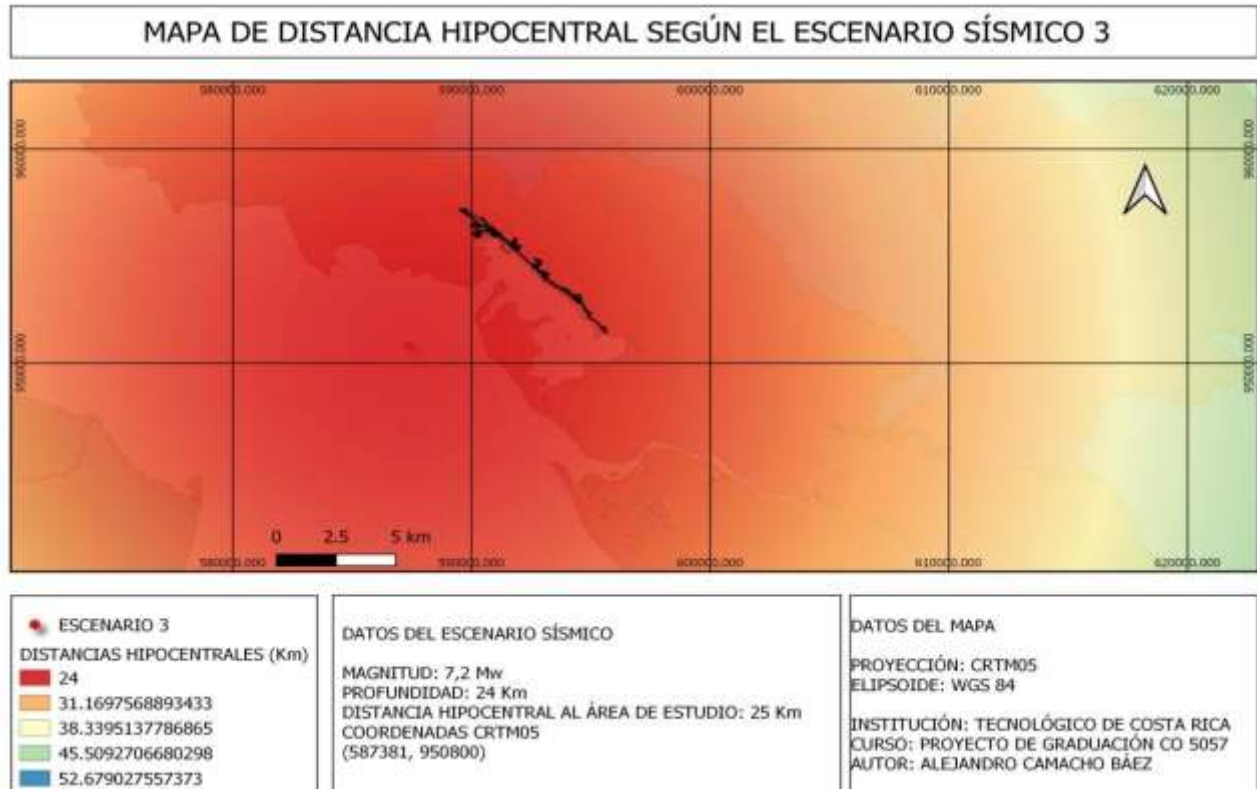
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



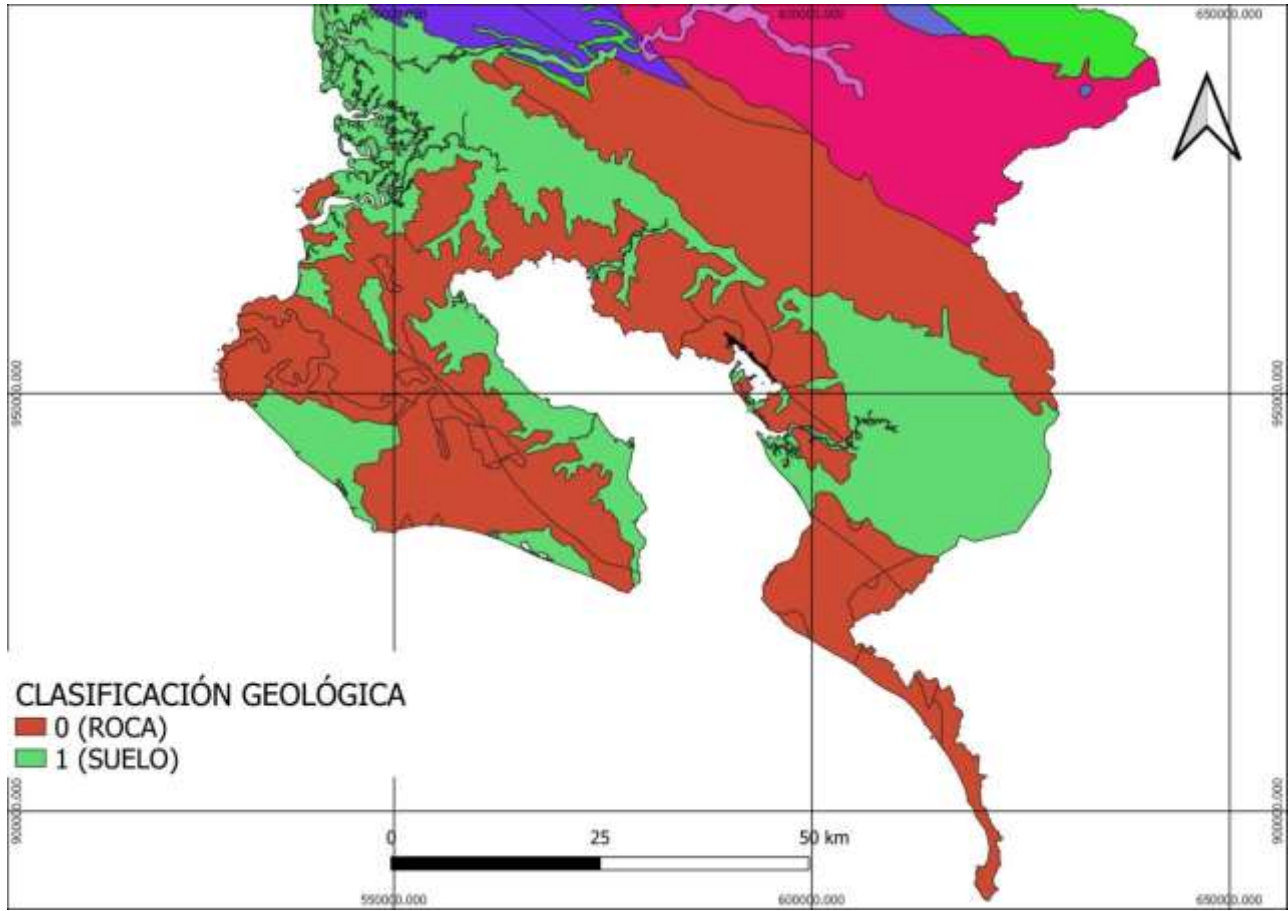
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Apéndice 3.

Aceleración Horizontal máxima para la condición de Suelo, considerando un sismo de Mw = 6,5

R (km)	ln R	ln PGA	PGA (m/s ²)	PGA (cm/s ²)	PGA (%g)
5	1,61	2,11	8,21	820,82	83,67
10	2,30	1,72	5,57	557,23	56,80
15	2,71	1,48	4,41	441,49	45,00
20	3,00	1,32	3,73	372,62	37,98
25	3,22	1,18	3,26	325,59	33,19
30	3,40	1,07	2,91	290,80	29,64
35	3,56	0,97	2,64	263,68	26,88
40	3,69	0,88	2,42	241,76	24,64
45	3,81	0,80	2,24	223,54	22,79
50	3,91	0,73	2,08	208,08	21,21
55	4,01	0,67	1,95	194,73	19,85
60	4,09	0,60	1,83	183,06	18,66
65	4,17	0,55	1,73	172,73	17,61
70	4,25	0,49	1,64	163,50	16,67
75	4,32	0,44	1,55	155,19	15,82
80	4,38	0,39	1,48	147,66	15,05
85	4,44	0,34	1,41	140,79	14,35
90	4,50	0,30	1,34	134,49	13,71
95	4,55	0,25	1,29	128,68	13,12
100	4,61	0,21	1,23	123,31	12,57
105	4,65	0,17	1,18	118,32	12,06
110	4,70	0,13	1,14	113,67	11,59
115	4,74	0,09	1,09	109,33	11,14
120	4,79	0,05	1,05	105,26	10,73
125	4,83	0,01	1,01	101,43	10,34
130	4,87	- 0,02	0,98	97,83	9,7
135	4,91	- 0,06	0,94	94,43	9,63
140	4,94	- 0,09	0,91	91,21	9,30
145	4,98	- 0,13	0,88	88,17	8,99
150	5,01	- 0,16	0,85	85,28	8,69
155	5,04	- 0,19	0,83	82,54	8,41
160	5,08	- 0,22	0,80	79,93	8,15
165	5,11	- 0,26	0,77	77,44	7,89
170	5,14	- 0,29	0,75	75,06	7,65

175	5,16	- 0,32	0,73	72,80	7,42
180	5,19	- 0,35	0,71	70,63	7,20
185	5,22	- 0,38	0,69	68,56	6,99
190	5,25	- 0,41	0,67	66,57	6,79
195	5,27	- 0,44	0,65	64,66	6,59
200	5,30	- 0,46	0,63	62,83	6,40
205	5,32	- 0,49	0,61	61,08	6,23
210	5,35	- 0,52	0,59	59,39	6,05
215	5,37	- 0,55	0,58	57,76	5,89
220	5,39	- 0,58	0,56	56,20	5,73
225	5,42	- 0,60	0,55	54,69	5,58
230	5,44	- 0,63	0,53	53,24	5,43
235	5,46	- 0,66	0,52	51,84	5,28
240	5,48	- 0,68	0,50	50,49	5,15
245	5,50	- 0,71	0,49	49,19	5,01
250	5,52	- 0,74	0,48	47,93	4,89
255	5,54	- 0,76	0,47	46,71	4,76
260	5,56	- 0,79	0,46	45,53	4,64
265	5,58	- 0,81	0,44	44,39	4,53
270	5,60	- 0,84	0,43	43,29	4,41
275	5,62	- 0,86	0,42	42,22	4,30
280	5,63	- 0,89	0,41	41,19	4,20
285	5,65	- 0,91	0,40	40,19	4,10
290	5,67	- 0,94	0,39	39,22	4,00
295	5,69	- 0,96	0,38	38,28	3,90
300	5,70	- 0,98	0,37	37,37	3,81

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Aceleración Horizontal máxima para la condición de Suelo, considerando un sismo de Mw = 7

R (km)	ln R	ln PGA	PGA (m/s ²)	PGA (cm/s ²)	PGA (%g)
5	1,61	2,38	10,82	1 082,25	110,32
10	2,30	1,99	7,35	734,71	74,89
15	2,71	1,76	5,82	582,10	59,34
20	3,00	1,59	4,91	491,30	50,08
25	3,22	1,46	4,29	429,29	43,76
30	3,40	1,34	3,83	383,42	39,08
35	3,56	1,25	3,48	347,67	35,44
40	3,69	1,16	3,19	318,76	32,49

45	3,81	1,08	2,95	294,74	30,04
50	3,91	1,01	2,74	274,35	27,97
55	4,01	0,94	2,57	256,76	26,17
60	4,09	0,88	2,41	241,36	24,60
65	4,17	0,82	2,28	227,74	23,22
70	4,25	0,77	2,16	215,58	21,98
75	4,32	0,72	2,05	204,63	20,86
80	4,38	0,67	1,95	194,69	19,85
85	4,44	0,62	1,86	185,63	18,92
90	4,50	0,57	1,77	177,32	18,08
95	4,55	0,53	1,70	169,67	17,30
100	4,61	0,49	1,63	162,58	16,57
105	4,65	0,44	1,56	156,01	15,90
110	4,70	0,40	1,50	149,88	15,28
115	4,74	0,37	1,44	144,15	14,69
120	4,79	0,33	1,39	138,78	14,15
125	4,83	0,29	1,34	133,74	13,63
130,	4,87	0,25	1,29	128,99	13,15
135	4,91	0,22	1,25	124,50	12,69
140	4,94	0,18	1,20	120,27	12,26
145	4,98	0,15	1,16	116,25	11,85
150	5,01	0,12	1,12	112,44	11,46
155	5,04	0,08	1,09	108,83	11,09
160	5,08	0,05	1,05	105,38	10,74
165	5,11	0,02	1,02	102,10	10,41
170	5,14	- 0,01	0,99	98,97	10,09
175	5,16	- 0,04	0,96	95,98	9,78
180	5,19	- 0,07	0,93	93,13	9,49
185	5,22	- 0,10	0,90	90,39	9,21
190	5,25	- 0,13	0,88	87,77	8,95
195	5,27	- 0,16	0,85	85,26	8,69
200	5,30	- 0,19	0,83	82,85	8,44
205	5,32	- 0,22	0,81	80,53	8,21
210	5,35	- 0,24	0,78	78,30	7,98
215	5,37	- 0,27	0,76	76,16	7,76
220	5,39	- 0,30	0,74	74,10	7,55
225	5,42	- 0,33	0,72	72,11	7,35
230	5,44	- 0,35	0,70	70,20	7,16
235	5,46	- 0,38	0,68	68,35	6,97
240	5,48	- 0,41	0,67	66,57	6,79
245	5,50	- 0,43	0,65	64,85	6,61

250	5,52	- 0,46	0,63	63,19	6,44
255	5,54	- 0,48	0,62	61,58	6,28
260	5,56	- 0,51	0,60	60,03	6,12
265	5,58	- 0,54	0,59	58,53	5,97
270	5,60	- 0,56	0,57	57,08	5,82
275	5,62	- 0,59	0,56	55,67	5,67
280	5,63	- 0,61	0,54	54,31	5,54
285	5,65	- 0,64	0,53	52,99	5,40
290	5,67	- 0,66	0,52	51,71	5,27
295	5,69	- 0,68	0,50	50,47	5,14
300	5,70	- 0,71	0,49	49,27	5,02

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Aceleración Horizontal máxima para la condición de Suelo, considerando un sismo de Mw = 7,5

R (km)	ln R	ln PGA	PGA (m/s ²)	PGA (cm/s ²)	PGA (%g)
5	1,61	2,66	14,27	1 426,96	145,46
10	2,30	2,27	9,69	968,73	98,75
15	2,71	2,04	7,68	767,51	78,24
20	3,00	1,87	6,48	647,79	66,03
25	3,22	1,73	5,66	566,02	57,70
30	3,40	1,62	5,06	505,54	51,53
35	3,56	1,52	4,58	458,40	46,73
40	3,69	1,44	4,20	420,29	42,84
45	3,81	1,36	3,89	388,62	39,61
50	3,91	1,29	3,62	361,74	36,87
55	4,01	1,22	3,39	338,54	34,51
60	4,09	1,16	3,18	318,24	32,44
65	4,17	1,10	3,00	300,28	30,61
70	4,25	1,04	2,84	284,24	28,97
75	4,32	0,99	2,70	269,80	27,50
80	4,38	0,94	2,57	256,70	26,17
85	4,44	0,90	2,45	244,76	24,95
90	4,50	0,85	2,34	233,80	23,83
95	4,55	0,81	2,24	223,71	22,80
100	4,61	0,76	2,14	214,37	21,85
105	4,65	0,72	2,06	205,69	20,97
110	4,70	0,68	1,98	197,61	20,14
115	4,74	0,64	1,90	190,06	19,37
120	4,79	0,60	1,83	182,98	18,65

125	4,83	0,57	1,76	176,33	17,97
130	4,87	0,53	1,70	170,07	17,34
135	4,91	0,50	1,64	164,16	16,73
140	4,94	0,46	1,59	158,57	16,16
145	4,98	0,43	1,53	153,28	15,62
150	5,01	0,39	1,48	148,26	15,11
155	5,04	0,36	1,43	143,49	14,63
160	5,08	0,33	1,39	138,95	14,16
165	5,11	0,30	1,35	134,62	13,72
170	5,14	0,27	1,30	130,50	13,30
175	5,16	0,24	1,27	126,56	12,90
180	5,19	0,21	1,23	122,79	12,52
185	5,22	0,18	1,19	119,18	12,15
190	5,25	0,15	1,16	115,73	11,80
195	5,27	0,12	1,12	112,41	11,46
200	5,30	0,09	1,09	109,23	11,13
205	5,32	0,06	1,06	106,18	10,82
210	5,35	0,03	1,03	103,24	10,52
215	5,37	0,00	1,00	100,42	10,24
220	5,39	- 0,02	0,98	97,70	9,96
225	5,42	- 0,05	0,95	95,08	9,69
230	5,44	- 0,08	0,93	92,56	9,43
235	5,46	- 0,10	0,90	90,12	9,19
240	5,48	- 0,13	0,88	87,77	8,95
245	5,50	- 0,16	0,86	85,51	8,72
250	5,52	- 0,18	0,83	83,32	8,49
255	5,54	- 0,21	0,81	81,20	8,28
260	5,56	- 0,23	0,79	79,15	8,07
265	5,58	- 0,26	0,77	77,17	7,87
270	5,60	- 0,28	0,75	75,26	7,67
275	5,62	- 0,31	0,73	73,40	7,48
280	5,63	- 0,33	0,72	71,61	7,30
285	5,65	- 0,36	0,70	69,87	7,12
290	5,67	- 0,38	0,68	68,18	6,95
295	5,69	- 0,41	0,67	66,54	6,78
300	5,70	- 0,43	0,65	64,96	6,62

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Aceleración Horizontal máxima para la condición de roca, considerando un
sismo de Mw = 6,5

R (km)	ln R	ln PGA	PGA (m/s ²)	PGA (cm/s ²)	PGA (%g)
5	1,61	1,78	5,92	591,88	60,33
10	2,30	1,39	4,02	401,81	40,96
15	2,71	1,16	3,18	318,35	32,45
20	3,00	0,99	2,69	268,69	27,39
25	3,22	0,85	2,35	234,78	23,93
30	3,40	0,74	2,10	209,69	21,38
35	3,56	0,64	1,90	190,14	19,38
40	3,69	0,56	1,74	174,33	17,77
45	3,81	0,48	1,61	161,19	16,43
50	3,91	0,41	1,50	150,04	15,29
55	4,01	0,34	1,40	140,42	14,31
60	4,09	0,28	1,32	132,00	13,46
65	4,17	0,22	1,25	124,55	12,70
70	4,25	0,16	1,18	117,90	12,02
75	4,32	0,11	1,12	111,91	11,41
80	4,38	0,06	1,06	106,48	10,85
85	4,44	0,02	1,02	101,52	10,35
90	4,50	-0,03	0,97	96,98	9,89
95	4,55	-0,07	0,93	92,79	9,46
100	4,61	-0,12	0,89	88,92	9,06
105	4,65	-0,16	0,85	85,32	8,70
110	4,70	-0,20	0,82	81,97	8,36
115	4,74	-0,24	0,79	78,83	8,04
120	4,79	-0,28	0,76	75,90	7,74
125	4,83	-0,31	0,73	73,14	7,46
130	4,87	-0,35	0,71	70,54	7,19
135	4,91	-0,38	0,68	68,09	6,94
140	4,94	-0,42	0,66	65,77	6,70
145	4,98	-0,45	0,64	63,58	6,48
150	5,01	-0,49	0,61	61,50	6,27
155	5,04	-0,52	0,60	59,52	6,07
160	5,08	-0,55	0,58	57,63	5,87
165	5,11	-0,58	0,56	55,84	5,69
170	5,14	-0,61	0,54	54,13	5,52
175	5,16	-0,64	0,52	52,49	5,35
180	5,19	-0,67	0,51	50,93	5,19
185	5,22	-0,70	0,49	49,43	5,04

190	5,25	-0,73	0,48	48,00	4,89
195	5,27	-0,76	0,47	46,63	4,75
200	5,30	-0,79	0,45	45,31	4,62
205	5,32	-0,82	0,44	44,04	4,49
210	5,35	-0,85	0,43	42,82	4,37
215	5,37	-0,88	0,42	41,65	4,25
220	5,39	-0,90	0,41	40,52	4,13
225	5,42	-0,93	0,39	39,44	4,02
230	5,44	-0,96	0,38	38,39	3,91
235	5,46	-0,98	0,37	37,38	3,81
240	5,48	-1,01	0,36	36,41	3,71
245	5,50	-1,04	0,35	35,47	3,62
250	5,52	-1,06	0,35	34,56	3,52
255	5,54	-1,09	0,34	33,68	3,43
260	5,56	-1,11	0,33	32,83	3,35
265	5,58	-1,14	0,32	32,01	3,26
270	5,60	-1,16	0,31	31,22	3,18
275	5,62	-1,19	0,30	30,45	3,10
280	5,63	-1,21	0,30	29,70	3,03
285	5,65	-1,24	0,29	28,98	2,95
290	5,67	-1,26	0,28	28,28	2,88
295	5,69	-1,29	0,28	27,60	2,81
300	5,70	-1,31	0,27	26,94	2,75

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Aceleración Horizontal máxima para la condición de roca, considerando un sismo de Mw = 7

R (km)	ln R	ln PGA	PGA (m/s ²)	PGA (cm/s ²)	PGA (%g)
5	1,61	2,05	7,80	780,40	79,55
10	2,30	1,67	5,30	529,79	54,01
15	2,71	1,43	4,20	419,74	42,79
20	3,00	1,26	3,54	354,27	36,11
25	3,22	1,13	3,10	309,55	31,55
30	3,40	1,02	2,76	276,48	28,18
35	3,56	0,92	2,51	250,70	25,56
40	3,69	0,83	2,30	229,85	23,43
45	3,81	0,75	2,13	212,53	21,66
50	3,91	0,68	1,98	197,83	20,17
55	4,01	0,62	1,85	185,14	18,87
60	4,09	0,55	1,74	174,04	17,74

65	4,17	0,50	1,64	164,22	16,74
70	4,25	0,44	1,55	155,45	15,85
75	4,32	0,39	1,48	147,55	15,04
80	4,38	0,34	1,40	140,39	14,31
85	4,44	0,29	1,34	133,86	13,64
90	4,50	0,25	1,28	127,86	13,03
95	4,55	0,20	1,22	122,34	12,47
100	4,61	0,16	1,17	117,24	11,95
105	4,65	0,12	1,12	112,49	11,47
110	4,70	0,08	1,08	108,07	11,02
115	4,74	0,04	1,04	103,94	10,60
120	4,79	0,00	1,00	100,07	10,20
125	4,83	-0,04	0,96	96,43	9,83
130	4,87	-0,07	0,93	93,01	9,48
135	4,91	-0,11	0,90	89,78	9,15
140	4,94	-0,14	0,87	86,72	8,84
145	4,98	-0,18	0,84	83,83	8,55
150	5,01	-0,21	0,81	81,08	8,27
155	5,04	-0,24	0,78	78,47	8,00
160	5,08	-0,27	0,76	75,99	7,75
165	5,11	-0,31	0,74	73,62	7,51
170	5,14	-0,34	0,71	71,37	7,28
175	5,16	-0,37	0,69	69,21	7,06
180	5,19	-0,40	0,67	67,15	6,85
185	5,22	-0,43	0,65	65,18	6,64
190	5,25	-0,46	0,63	63,29	6,45
195	5,27	-0,49	0,61	61,48	6,27
200	5,30	-0,52	0,60	59,74	6,09
205	5,32	-0,54	0,58	58,07	5,92
210	5,35	-0,57	0,56	56,46	5,76
215	5,37	-0,60	0,55	54,92	5,60
220	5,39	-0,63	0,53	53,43	5,45
225	5,42	-0,65	0,52	52,00	5,30
230	5,44	-0,68	0,51	50,62	5,16
235	5,46	-0,71	0,49	49,29	5,02
240	5,48	-0,73	0,48	48,00	4,89
245	5,50	-0,76	0,47	46,76	4,77
250	5,52	-0,79	0,46	45,57	4,64
255	5,54	-0,81	0,44	44,41	4,53
260	5,56	-0,84	0,43	43,29	4,41
265	5,58	-0,86	0,42	42,21	4,30

270	5,60	-0,89	0,41	41,16	4,20
275	5,62	-0,91	0,40	40,14	4,09
280	5,63	-0,94	0,39	39,16	3,99
285	5,65	-0,96	0,38	38,21	3,89
290	5,67	-0,99	0,37	37,29	3,80
295	5,69	-1,01	0,36	36,39	3,71
300	5,70	-1,03	0,36	35,53	3,62

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Aceleración Horizontal máxima para la condición de roca, considerando un sismo de Mw = 7,5

R (km)	In R	In PGA	PGA (m/s ²)	PGA (cm/s ²)	PGA (%g)
5	1,61	2,33	10,29	1 028,96	104,89
10	2,30	1,94	6,99	698,53	71,21
15	2,71	1,71	5,53	553,44	56,42
20	3,00	1,54	4,67	467,11	47,62
25	3,22	1,41	4,08	408,15	41,61
30	3,40	1,29	3,65	364,54	37,16
35	3,56	1,20	3,31	330,55	33,69
40	3,69	1,11	3,03	303,06	30,89
45	3,81	1,03	2,80	280,22	28,57
50	3,91	0,96	2,61	260,84	26,59
55	4,01	0,89	2,44	244,11	24,88
60	4,09	0,83	2,29	229,48	23,39
65	4,17	0,77	2,17	216,53	22,07
70	4,25	0,72	2,05	204,96	20,89
75	4,32	0,67	1,95	194,55	19,83
80	4,38	0,62	1,85	185,10	18,87
85	4,44	0,57	1,76	176,49	17,99
90	4,50	0,52	1,69	168,59	17,19
95	4,55	0,48	1,61	161,31	16,44
100	4,61	0,44	1,55	154,58	15,76
105	4,65	0,39	1,48	148,32	15,12
110	4,70	0,35	1,42	142,50	14,53
115	4,74	0,32	1,37	137,05	13,97
120	4,79	0,28	1,32	131,95	13,45
125	4,83	0,24	1,27	127,15	12,96
130	4,87	0,20	1,23	122,63	12,50
135	4,91	0,17	1,18	118,37	12,07
140	4,94	0,13	1,14	114,34	11,66

145	4,98	0,10	1,11	110,53	11,27
150	5,01	0,07	1,07	106,91	10,90
155	5,04	0,03	1,03	103,47	10,55
160	5,08	0,00	1,00	100,19	10,21
165	5,11	-0,03	0,97	97,07	9,90
170	5,14	-0,06	0,94	94,10	9,59
175	5,16	-0,09	0,91	91,26	9,30
180	5,19	-0,12	0,89	88,54	9,03
185	5,22	-0,15	0,86	85,94	8,76
190	5,25	-0,18	0,83	83,45	8,51
195	5,27	-0,21	0,81	81,06	8,26
200	5,30	-0,24	0,79	78,77	8,03
205	5,32	-0,27	0,77	76,56	7,80
210	5,35	-0,30	0,74	74,45	7,59
215	5,37	-0,32	0,72	72,41	7,38
220	5,39	-0,35	0,70	70,45	7,18
225	5,42	-0,38	0,69	68,56	6,99
230	5,44	-0,40	0,67	66,74	6,80
235	5,46	-0,43	0,65	64,99	6,62
240	5,48	-0,46	0,63	63,29	6,45
245	5,50	-0,48	0,62	61,66	6,29
250	5,52	-0,51	0,60	60,08	6,12
255	5,54	-0,54	0,59	58,55	5,97
260	5,56	-0,56	0,57	57,08	5,82
265	5,58	-0,59	0,56	55,65	5,67
270	5,60	-0,61	0,54	54,27	5,53
275	5,62	-0,64	0,53	52,93	5,40
280	5,63	-0,66	0,52	51,63	5,26
285	5,65	-0,69	0,50	50,38	5,14
290	5,67	-0,71	0,49	49,16	5,01
295	5,69	-0,73	0,48	47,98	4,89
300	5,70	-0,76	0,47	46,84	4,77

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Aceleración Horizontal máxima para la condición de roca, considerando un sismo de Mw = 8

R (km)	ln R	ln PGA	PGA (m/s ²)	PGA (cm/s ²)	PGA (%g)
5	1,61	2,61	13,57	1 356,69	138,30
10	2,30	2,22	9,21	921,02	93,89
15	2,71	1,99	7,30	729,71	74,38

20	3,00	1,82	6,16	615,89	62,78
25	3,22	1,68	5,38	538,15	54,86
30	3,40	1,57	4,81	480,64	49,00
35	3,56	1,47	4,36	435,83	44,43
40	3,69	1,39	4,00	399,59	40,73
45	3,81	1,31	3,69	369,48	37,66
50	3,91	1,24	3,44	343,92	35,06
55	4,01	1,17	3,22	321,87	32,81
60	4,09	1,11	3,03	302,57	30,84
65	4,17	1,05	2,85	285,49	29,10
70	4,25	0,99	2,70	270,24	27,55
75	4,32	0,94	2,57	256,51	26,15
80	4,38	0,89	2,44	244,06	24,88
85	4,44	0,84	2,33	232,70	23,72
90	4,50	0,80	2,22	222,29	22,66
95	4,55	0,75	2,13	212,69	21,68
100	4,61	0,71	2,04	203,81	20,78
105	4,65	0,67	1,96	195,57	19,94
110	4,70	0,63	1,88	187,88	19,15
115	4,74	0,59	1,81	180,70	18,42
120	4,79	0,55	1,74	173,97	17,73
125	4,83	0,52	1,68	167,65	17,09
130	4,87	0,48	1,62	161,69	16,48
135	4,91	0,45	1,56	156,08	15,91
140	4,94	0,41	1,51	150,76	15,37
145	4,98	0,38	1,46	145,73	14,86
150	5,01	0,34	1,41	140,96	14,37
155	5,04	0,31	1,36	136,42	13,91
160	5,08	0,28	1,32	132,11	13,47
165	5,11	0,25	1,28	127,99	13,05
170	5,14	0,22	1,24	124,07	12,65
175	5,16	0,19	1,20	120,32	12,27
180	5,19	0,15	1,17	116,74	11,90
185	5,22	0,12	1,13	113,31	11,55
190	5,25	0,10	1,10	110,03	11,22
195	5,27	0,07	1,07	106,88	10,89
200	5,30	0,04	1,04	103,85	10,59
205	5,32	0,01	1,01	100,95	10,29
210	5,35	-0,02	0,98	98,16	10,01
215	5,37	-0,05	0,95	95,47	9,73
220	5,39	-0,07	0,93	92,89	9,47

225	5,42	-0,10	0,90	90,40	9,21
230	5,44	-0,13	0,88	88,00	8,97
235	5,46	-0,15	0,86	85,68	8,73
240	5,48	-0,18	0,83	83,45	8,51
245	5,50	-0,21	0,81	81,30	8,29
250	5,52	-0,23	0,79	79,21	8,07
255	5,54	-0,26	0,77	77,20	7,87
260	5,56	-0,28	0,75	75,26	7,67
265	5,58	-0,31	0,73	73,37	7,48
270	5,60	-0,33	0,72	71,55	7,29
275	5,62	-0,36	0,70	69,79	7,11
280	5,63	-0,38	0,68	68,08	6,94
285	5,65	-0,41	0,66	66,43	6,77
290	5,67	-0,43	0,65	64,82	6,61
295	5,69	-0,46	0,63	63,27	6,45
300	5,70	-0,48	0,62	61,76	6,30

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Apéndice 4.

Identificación	Zona	Número estructuras	Área (m ²)	Cantidad de formularios
1	Km 5_a	17	5.109	5
2	Km 5_b	16	2.067	5
3	Km 5_c	20	3.761	5
4	Km 5_d	10	3.717	5
5	Km 5_e	16	5.861	5
6	Km 5_f	16	5.683	5
7	Km 5_g	8	3.387	5
8	Km 3_a	11	1.775	5
9	Km 3_b	25	5.669	5
10	Km 3_c	24	6.314	5
11	Km 3_d	14	3.724	5
12	Km 3_e	8	1.355	5
13	Km 3_f	10	1.426	5
14	Km 3_g	14	1.945	5
15	Km 3_h	20	5.813	5
16	Km 3_i	35	11.865	10
17	Km 3_j	32	3.812	5
18	Km 3_k	33	6.926	5
19	Km 3_l	22	14.407	10
20	Km 3_m	13	3.607	5
21	Km 3_n	14	8.924	5
22	Km 3_o	5	1.164	5
23	Km 3_p	16	4.397	5
24	Km 2_a	17	8.909	5
25	Km 2_b	33	10.859	10
26	Km 2_c	15	3.894	5
27	Km 2_d	15	21.924	10
28	Km 2_e	7	1480	5
29	Km 2_f	15	1.952	5
30	Km 2_g	10	2.250	5
31	Km 2_h	9	1.518	5
32	Km 2_i	9	1.709	5
33	Km 2_j	10	2.623	5
34	Km 2_k	18	2.310	5
35	Km 2_l	22	2.694	5
36	Km 2_m	20	4.381	5
37	Km 2_n	23	4.181	5

38	Km 2_o	4	2.458	5
39	Km 2_p	19	5.230	5
40	Km2_q	10	3.464	5
41	Km 2_r	6	2.690	5
42	Km 2_s	9	2.883	5
43	Km 2_t	4	3.210	5
<hr/>				
44	Km 1_a	19	3.768	5
45	Km 1_b	18	3.428	5
46	Km 1_c	9	3.438	5
47	Km 1_d	21	3.756	5
48	Km 1_e	7	1.264	5
49	Km 1_f	23	7.332	5
50	Km 1_g	17	4.766	5
51	Km 1_h	15	2.451	5
52	Km 1_i	13	3.302	5
53	Km1_j	8	5.352	5
54	Km1_k	10	3.058	5
55	Km 1_l	17	3.866	5
56	Km 1_m	6	2.331	5
57	Km 1_n	13	4.247	5
58	Km1_o	16	4.082	5
59	Km1_p	10	2.580	5
60	Km1_q	5	2.015	5
61	Km1_r	8	5.710	5
<hr/>				
62	Bellavista_1	18	5.981	5
63	Bellavista_2	14	3.829	5
64	Bellavista_3	10	2.077	5
65	Bellavista_4	26	3.661	5
66	Bellavista_5	18	3.677	5
67	Bellavista_6	20	3.022	5
68	Bellavista_7	16	1.690	5
69	Bellavista_8	11	2.688	5
70	Bellavista_9	10	2.437	5
71	Bellavista_10	22	8.260	5
72	Bellavista_11	5	1.201	5
73	Bellavista_12	10	3.220	5
74	Bellavista_13	8	1.227	5
75	Bellavista_14	8	2.349	5
76	Bellavista_15	22	2.770	5
77	Bellavista_16	5	3.761	5

78	Bellavista_17	12	2.549	5
79	Bellavista_18	9	3.292	5
80	Bellavista_19	8	3.148	5
81	Bellavista_20	12	2.909	5
82	Bellavista_21	18	4.032	5
83	Bellavista_22	25	7.994	5
84	Bellavista_23	16	5.287	5
85	Bellavista_24	10	5.904	5
86	Bellavista_25	12	4.860	5
87	Bellavista_26	26	13.938	10
88	Hospital_1	10	8.443	5
89	Hospital_2	10	9.774	5
90	Hospital_3	20	12.481	10
91	Hospital_4	7	8.916	5
92	Hospital_5	5	9.630	5
93	Hospital_6	6	9.228	5
94	Alamedas_1	21	32.240	15
95	Alamedas_2	27	32.355	15
96	Alamedas_3	11	7.694	5
97	Alamedas_4	7	9.520	5
98	Alamedas_5	15	21.759	10
99	Alamedas_6	16	18.959	10
100	Alamedas_7	10	11.046	10
101	Alamedas_8	5	3.964	5
102	Alamedas_9	5	8.159	5
103	Alamedas_10	5	7.212	5
104	DLCG_1	8	13.160	10
105	DLCG_2	18	15.694	10
106	DLCG_3	20	30.971	15
107	DLCG_4	15	6.097	5
108	DLCG_5	10	4.832	5
109	DLCG_6	17	11.208	10
110	DLCG_7	20	12.501	10
111	DLCG_8	8	9.543	5
112	DLCG_9	15	8.980	5
113	DLCG_10	10	50.318	20
114	Llanobonito_1	25	6.105	5
115	Llanobonito_2	25	5.136	5
116	Llanobonito_3	12	2.716	5
117	Llanobonito_4	14	3.698	5

118	Llanobonito_5	9	3.846	5
119	Llanobonito_6	10	4.465	5
120	Llanobonito_7	10	3.988	5
121	Llanobonito_8	9	3.890	5
122	Llanobonito_9	8	2.681	5
123	Llanobonito_10	10	1.899	5
124	Llanobonito_11	12	2.435	5
125	Ureña_1	8	1.858	5
126	Ureña_2	7	1.566	5
127	Ureña_3	6	1.674	5
128	Ureña_4	20	5.556	5
129	Ureña_5	5	3.483	5
130	Ureña_6	22	5.297	5
131	Ureña_7	10	4.551	5
132	Ureña_8	18	6.520	5
133	Ureña_9	28	7.654	5
134	Ureña_10	18	4.915	5
135	Ureña_11	7	8.627	5

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Apéndice 5.

Identificación	Zona	Número estructuras	Área (m ²)	Cantidad de formularios
1	Km 5_a	17	5.109	5
3	Km 5_c	20	3.761	5
6	Km 5_f	16	5.861	5
9	Km 3_b	25	5.669	5
13	Km 3_f	10	1.426	5
16	Km 3_i	35	11.725	10
17	Km 3_j	32	3.812	5
18	Km 3_k	33	6.926	5
22	Km 3_o	5	1.164	5
24	Km 2_a	17	8.909	5
25	Km 2_b	33	10.859	10
26	Km 2_c	15	3.894	5
27	Km 2_d	15	21.924	10
30	Km 2_g	10	2.250	5
34	Km 2_k	18	2.310	5
35	Km 2_l	22	2.694	5
36	Km 2_m	20	4.381	5
39	Km 2_p	19	5.230	5
41	Km 2_r	6	2.690	5
42	Km 2_s	9	2.883	5
44	Km 1_a	18	3.768	5
48	Km 1_e	7	1.264	5
50	Km 1_g	17	4.766	5
51	Km 1_h	15	2.451	5
52	Km 1_i	13	3.302	5
55	Km 1_l	17	3.866	5
57	Km 1_n	13	4.247	5
58	Km1_o	16	4.082	5
59	Km1_p	10	2.580	5
61	Km1_r	8	5.710	5
65	Bellavista_4	26	3.661	5
67	Bellavista_6	18	3.677	5
68	Bellavista_7	16	1.690	5
70	Bellavista_9	10	2.437	5
73	Bellavista_12	22	7.387	5
74	Bellavista_13	8	1.227	5
78	Bellavista_17	12	2.909	5

81	Bellavista_20	12	4.860	5
88	Hospital_1	10	8.443	5
93	Hospital_6	6	9.228	5
94	Alamedas_1	21	32.240	15
95	Alamedas_2	27	32.355	15
97	Alamedas_4	7	9.520	5
99	Alamedas_6	16	18.959	10
101	Alamedas_8	5	3.964	5
107	DLCG_4	10	4.832	5
108	DLCG_5	8	9.543	5
110	DLCG_7	15	8.980	5
114	Llano bonito_1	25	6.105	5
120	Llano bonito_7	10	3.988	5
121	Llano bonito_8	9	3.890	5
122	Llano bonito_9	8	2.681	5
125	Ureña_1	8	1.858	5
127	Ureña_3	6	1.674	5
129	Ureña_5	5	3.483	5
134	Ureña_10	18	8.627	5

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Apéndice 6.

Sector	Cuadrante	Formulario	Pisos	Tipo entrepiso	Sistema Estructural	Estado de Conservación	Código Sísmico Vigente
Km 5	1	F001	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
		F002	1	Sin diafragma	Muros de madera	Regular	Antes 1974
		F003	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	1974-2001
		F004	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974
		F005	1	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	3	F006	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F007	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F008	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F009	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F010	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Bueno	1974-2001
	6	F011	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974-2001
		F012	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F013	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F014	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F015	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	1974-2001
Km 3	9	F016	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F017	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
		F018	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F019	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	13	F020	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F021	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
		F022	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F023	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
		F024	1	Sin diafragma	Mampostería	Excelente	1974-2001

				Reforzada		
	F025	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F026	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F027	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F028	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F029	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
16	F030	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F031	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F032	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F033	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F034	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F035	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F036	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F037	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
17	F038	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F039	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F040	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F041	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F042	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
18	F043	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F044	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F045	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F046	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F047	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
22	F048	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F049	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F050	1	Sin diafragma	Mampostería	Regular	1974-2001

				Reforzada			
Km 2		F051	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	Después 2001
		F052	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	Después 2001
	24	F053	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	Después 2001
		F054	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
		F055	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F056	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F057	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
		F058	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
		F059	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	25	F060	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F061	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
		F062	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F063	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F064	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F065	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
		F066	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	26	F067	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	Después 2001
		F068	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	Después 2001
		F069	1	Sin diafragma	Muros de madera	Regular	1974-2001
		F070	2	Flexible	Muros de madera	Regular	1974-2001
		F071	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
		F072	2	Rígido	Pórticos de concreto	Excelente	Después 2001
	27	F073	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
		F074	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F075	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
	F076	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001	

	F077	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F078	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F079	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F080	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F081	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F082	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
30	F083	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F084	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F085	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F086	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F087	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
34	F088	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F089	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
	F090	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F091	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F092	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
35	F093	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F094	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F095	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F096	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
	F097	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
36	F098	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F099	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F100	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F101	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
39	F102	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F103	1	Sin diafragma	Mampostería	Bueno	1974-2001

				Reforzada		
	F104	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F105	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F106	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F107	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
41	F108	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F109	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F110	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F111	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F112	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
42	F113	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F114	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F115	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F116	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F117	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
44	F118	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F119	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F120	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F121	1	Sin diafragma	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F122	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	1974-2001
Km 1	48	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	1974-2001
	F124	2	Flexible	Muros de madera	Regular	1974-2001
	F125	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F126	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974
	F127	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
50	F128	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F129	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F130	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
51	F131	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974

	F132	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F133	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Bueno	1974-2001
	F134	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F135	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F136	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
52	F137	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F138	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974
	F139	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F140	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F141	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
55	F142	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F143	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F144	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F145	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
	F146	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
57	F147	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F148	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
	F149	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
	F150	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F151	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
58	F152	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F153	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F154	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F155	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F156	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
59	F157	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F158	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	Después 2001
	F159	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974
	F160	1	Rígido	Pórticos de concreto	Excelente	Después 2001
	61	F161	2	Flexible	Muros de madera	Bueno

	F162	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F163	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F164	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F165	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F166	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
65	F167	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
	F168	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F169	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F170	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F171	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	1974-2001
66	F172	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F173	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	1974-2001
	F174	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F175	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	1974-2001
67	F176	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F177	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F178	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F179	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	1974-2001
	F180	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
68	F181	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F182	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Bueno	1974-2001
	F183	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F184	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
	F185	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	1974-2001
	F186	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
70	F187	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F188	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
	F189	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F190	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974
73	F191	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
	F192	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F193	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974
	F194	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974

Bellavis
ta

		F195	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974	
		F196	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
		F197	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974	
	74	F198	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974	
		F199	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974	
		F200	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974	
		F201	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
		F202	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	Después 2001	
	78	F203	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
		F204	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
		F205	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
		F206	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	Antes 1974	
		F207	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Bueno	Antes 1974	
	81	F208	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
		F209	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
		F210	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Excelente	Antes 1974	
		F211	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
		F212	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
	88	F213	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
		F214	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
		F215	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
		F216	1	Sin diafragma	Muros de madera	Excelente	Antes 1974	
		F217	1	Sin diafragma	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
	93	F218	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
		F219	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
		F220	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
		F221	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974	
		F222	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
		F223	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974	
	Alamedas	94	F224	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F225	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
		F226	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974	
		F227	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
		F228	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974	

		F229	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
		F230	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
		F231	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
		F232	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F233	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
		F234	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
	95	F235	2	Flexible	Muros de madera	Pobre	Antes 1974
		F236	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F237	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
		F238	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F239	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F240	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F241	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
		F242	1	Sin diafragma	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
	97	F243	2	Flexible	Muros de madera	Regular	Antes 1974
		F244	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F245	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F246	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F247	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
		F248	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F249	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F250	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
	99	F251	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F252	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F253	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
		F254	2	Flexible	Muros de madera	Excelente	Antes 1974
		F255	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
		F256	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
		F257	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	101	F258	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
		F259	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
		F260	2	Flexible	Muros de madera	Bueno	Antes 1974
DLCG	107	F261	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001

	F262	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
	F263	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F264	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F265	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F266	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Excelente	1974-2001
	F267	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974-2001
108	F268	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Pobre	1974-2001
	F269	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
	F270	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
	F271	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
	F272	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
110	F273	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974-2001
	F274	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	1974-2001
	F275	1	Sin diafragma	Muros de madera	Pobre	Antes 1974
	F276	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F277	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
114	F278	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F279	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F280	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
Llano bonito	F281	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F282	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
120	F283	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F284	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F285	2	Rígido	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
	F286	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001
121	F287	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001

	F288	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
	F289	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974-2001	
	F290	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Bueno	1974-2001	
	F291	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001	
	F292	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001	
122	F293	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001	
	F294	1	Sin diafragma	Muros de madera	Regular	Antes 1974	
	F295	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001	
	F296	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
	F297	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Bueno	1974-2001	
123	F298	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	1974-2001	
	F299	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001	
	F300	2	Flexible	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001	
	F301	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
	F302	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
125	F303	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Pobre	Antes 1974	
	F304	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Pobre	Antes 1974	
	F305	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
	F306	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Bueno	Antes 1974	
	F307	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Bueno	Antes 1974	
Ureña	127	F308	1	Sin diafragma	Muros de madera	Pobre	Antes 1974
	F309	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Pobre	Antes 1974	
	F310	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001	
	F311	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	Antes 1974	
	F312	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	Antes 1974	
129	F313	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	Antes 1974	
	F314	1	Sin diafragma	Mampostería	Excelente	Después 2001	

				Reforzada		
	F315	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Excelente	Después 2001
	F316	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Pobre	Antes 1974
	F317	1	Sin diafragma	Muros Concreto Prefabricado	Regular	Antes 1974
134	F318	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F319	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Regular	1974-2001
	F320	1	Sin diafragma	Mampostería Reforzada	Bueno	1974-2001

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Sector	Cuadrante	Formulario	Pisos	Tipo entrepiso	Pesos			Media		
					Tipología	Conservación	Edad	Tipología	Conservación	Edad
Km 5	1	F001	1	Sin diafragma	3	3	3	3	5	3
		F002	1	Sin diafragma	3	5	4			
		F003	2	Flexible	3	2	3			
		F004	2	Flexible	3	5	4			
		F005	1	Rígido	3	3	3			
	3	F006	1	Sin diafragma	3	1	3	3	2	3
		F007	1	Sin diafragma	3	3	3			
		F008	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F009	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F010	1	Sin diafragma	3	2	3			
	6	F011	1	Sin diafragma	3	5	3	3	3	3
		F012	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F013	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F014	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F015	2	Flexible	3	2	3			
Km 3	9	F016	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
		F017	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F018	2	Rígido	3	2	3			
		F019	1	Sin diafragma	3	2	3			
	13	F020	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
		F021	1	Sin diafragma	3	3	3			
		F022	2	Rígido	3	2	3			
		F023	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F024	1	Sin diafragma	3	1	3			

	F025	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F026	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F027	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F028	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F029	1	Sin diafragma	3	3	3			
16	F030	1	Sin diafragma	3	3	3	3	3	3
	F031	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F032	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F033	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F034	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F035	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F036	2	Flexible	3	2	4			
	F037	2	Rígido	3	3	3			
17	F038	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
	F039	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F040	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F041	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F042	1	Sin diafragma	3	2	3			
18	F043	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
	F044	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F045	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F046	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F047	1	Sin diafragma	3	2	3			
22	F048	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
	F049	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F050	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F051	2	Rígido	3	2	2			
	F052	1	Sin diafragma	3	2	2			
24	F053	1	Sin diafragma	3	2	2	3	2	2
	F054	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F055	1	Sin diafragma	3	2	3			
Km 2	F056	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F057	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F058	1	Sin diafragma	3	3	3			
25	F059	1	Sin diafragma	3	3	3	3	3	3
	F060	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F061	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F062	1	Sin diafragma	3	2	3			

	F063	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F064	2	Rígido	3	2	3			
	F065	1	Sin diafragma	3	3	3			
26	F066	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F067	1	Sin diafragma	3	2	2			
	F068	1	Sin diafragma	3	2	2	3	3	3
	F069	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F070	2	Flexible	3	3	3			
27	F071	1	Sin diafragma	3	1	2			
	F072	2	Rígido	2	1	2			
	F073	2	Rígido	3	2	3			
	F074	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F075	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F076	1	Sin diafragma	3	1	2	2	1	2
	F077	1	Sin diafragma	3	1	2			
	F078	2	Rígido	3	1	2			
	F079	2	Rígido	3	2	3			
	F080	1	Sin diafragma	3	1	2			
30	F081	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F082	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F083	1	Sin diafragma	3	3	3	3	3	3
	F084	2	Rígido	3	2	3			
	F085	1	Sin diafragma	3	2	3			
34	F086	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F087	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F088	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
	F089	1	Sin diafragma	3	1	3			
	F090	1	Sin diafragma	3	1	2			
35	F091	1	Sin diafragma	3	1	2			
	F092	2	Rígido	3	1	2			
	F093	1	Sin diafragma	3	3	3	3	2	3
	F094	2	Flexible	3	3	4			
	F095	2	Rígido	3	2	3			
36	F096	2	Flexible	3	3	4			
	F097	2	Flexible	3	3	3			
	F098	2	Flexible	3	3	4	3	3	3
	F099	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F100	2	Flexible	3	2	3			

	F101	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F102	1	Sin diafragma	3	2	3			
39	F103	1	Sin diafragma	3	2	3	3	3	3
	F104	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F105	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F106	2	Rígido	3	2	3			
	F107	2	Rígido	3	2	3			
41	F108	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
	F109	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F110	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F111	2	Rígido	3	3	3			
	F112	2	Rígido	3	3	3			
42	F113	2	Rígido	3	2	3	3	2	3
	F114	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F115	2	Rígido	3	2	3			
	F116	2	Flexible	3	2	4			
	F117	2	Flexible	3	2	3			
44	F118	2	Rígido	3	2	3	3	2	3
	F119	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F120	2	Rígido	3	2	3			
	F121	1	Sin diafragma	3	3	4			
	F122	2	Flexible	3	2	3			
48	F123	2	Flexible	3	2	3	3	2	3
	F124	2	Flexible	3	3	3			
	F125	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F126	2	Flexible	3	5	4			
Km 1	F127	2	Flexible	3	2	4			
50	F128	2	Flexible	3	2	4	3	3	4
	F129	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F130	2	Flexible	3	2	4			
	F131	2	Flexible	3	5	4			
	F132	2	Flexible	3	2	4			
51	F133	1	Sin diafragma	3	2	3	3	3	3
	F134	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F135	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F136	2	Rígido	3	1	2			
52	F137	2	Flexible	3	2	4	3	2	4
	F138	2	Flexible	3	3	4			

	F139	2	Flexible	3	3	4			
	F140	2	Flexible	3	3	4			
55	F141	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F142	2	Flexible	3	2	4			
	F143	2	Flexible	3	2	4	3	2	4
	F144	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F145	2	Flexible	3	2	4			
57	F146	2	Flexible	3	2	4			
	F147	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F148	2	Flexible	3	2	4	3	2	4
	F149	2	Flexible	3	2	4			
	F150	2	Flexible	3	2	4			
58	F151	2	Flexible	3	2	4			
	F152	2	Flexible	3	3	4			
	F153	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	4
	F154	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F155	2	Flexible	3	3	4			
59	F156	1	Sin diafragma	3	1	2			
	F157	2	Rígido	3	2	3			
	F158	1	Sin diafragma	3	2	2	3	2	3
	F159	2	Flexible	3	5	4			
	F160	1	Rígido	2	1	2			
61	F161	2	Flexible	3	2	4			
	F162	2	Rígido	3	2	3			
	F163	2	Flexible	3	3	4	3	2	4
	F164	2	Flexible	3	2	4			
	F165	2	Rígido	3	3	3			
65	F166	2	Flexible	3	2	4			
	F167	2	Flexible	3	2	4			
	F168	2	Flexible	3	2	4	3	2	4
	F169	2	Flexible	3	2	3			
	F170	2	Flexible	3	2	4			
66	F171	2	Flexible	3	2	3			
	F172	2	Flexible	3	3	4			
	F173	2	Flexible	3	1	3	3	2	3
	F174	2	Flexible	3	2	4			
	F175	2	Flexible	3	2	3			
67	F176	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3

		F177	1	Sin diafragma	3	3	3			
		F178	2	Flexible	3	2	4			
		F179	2	Flexible	3	2	3			
		F180	2	Flexible	3	2	4			
		F181	2	Rígido	3	2	3			
		F182	1	Sin diafragma	3	2	3			
	68	F183	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
		F184	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F185	2	Flexible	3	1	3			
		F186	2	Flexible	3	1	4			
		F187	2	Flexible	3	3	4			
	70	F188	2	Flexible	3	3	4	3	2	4
		F189	2	Flexible	3	2	4			
		F190	2	Flexible	3	2	4			
		F191	2	Flexible	3	2	4			
		F192	2	Rígido	3	1	2			
	73	F193	2	Flexible	3	5	4	3	4	4
		F194	2	Flexible	3	5	4			
		F195	2	Flexible	3	5	4			
		F196	2	Flexible	3	2	4			
		F197	2	Flexible	3	2	4			
	74	F198	2	Flexible	3	3	4	3	3	4
		F199	2	Flexible	3	3	4			
		F200	2	Flexible	3	3	4			
		F201	2	Flexible	3	3	4			
		F202	1	Sin diafragma	3	2	2			
	78	F203	2	Flexible	3	3	4	3	3	3
		F204	2	Flexible	3	3	4			
		F205	2	Flexible	3	2	3			
		F206	2	Flexible	3	3	4			
		F207	2	Flexible	3	2	4			
	81	F208	2	Flexible	3	2	4	3	2	4
		F209	2	Flexible	3	3	4			
		F210	2	Flexible	3	1	4			
		F211	1	Sin diafragma	3	2	3			
Hospit	88	F212	2	Flexible	3	2	4	3	2	4
al		F213	2	Flexible	3	2	4			
		F214	2	Flexible	3	2	4			

		F215	2	Flexible	3	2	4			
		F216	1	Sin diafragma	3	1	4			
		F217	1	Sin diafragma	3	3	4			
	93	F218	2	Flexible	3	3	4	3	2	4
		F219	2	Flexible	3	3	4			
		F220	2	Flexible	3	2	4			
		F221	2	Flexible	3	1	4			
		F222	2	Flexible	3	2	4			
		F223	2	Flexible	3	1	4			
	94	F224	2	Flexible	3	1	4			
		F225	2	Flexible	3	3	4	3	2	4
		F226	2	Flexible	3	2	4			
		F227	2	Flexible	3	3	4			
		F228	2	Flexible	3	5	4			
		F229	2	Rígido	3	1	3			
		F230	2	Flexible	3	2	4			
		F231	2	Rígido	3	1	2			
		F232	2	Flexible	3	1	4			
		F233	1	Sin diafragma	3	1	2			
		F234	2	Flexible	3	1	4			
	95	F235	2	Flexible	3	5	4	3	2	4
Alame		F236	2	Flexible	3	1	4			
das		F237	2	Flexible	3	2	4			
		F238	2	Flexible	3	1	4			
		F239	2	Flexible	3	1	4			
		F240	2	Flexible	3	1	4			
		F241	2	Flexible	3	3	4			
		F242	1	Sin diafragma	3	1	4			
	97	F243	2	Flexible	3	3	4	3	2	4
		F244	2	Flexible	3	1	4			
		F245	2	Flexible	3	1	4			
		F246	2	Flexible	3	1	4			
		F247	2	Flexible	3	2	4			
		F248	2	Flexible	3	1	4			
	99	F249	2	Flexible	3	1	4	3	1	4
		F250	2	Flexible	3	1	4			
		F251	2	Flexible	3	1	4			
		F252	2	Flexible	3	1	4			

		F253	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F254	2	Flexible	3	1	4			
		F255	1	Sin diafragma	3	1	2			
		F256	2	Rígido	3	1	2			
		F257	2	Rígido	3	3	3			
	101	F258	2	Rígido	3	1	2	3	2	3
		F259	2	Flexible	3	2	4			
		F260	2	Flexible	3	2	4			
		F261	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F262	1	Sin diafragma	3	1	3			
	107	F263	1	Sin diafragma	3	2	3	3	1	3
		F264	2	Rígido	3	1	2			
		F265	1	Sin diafragma	3	1	2			
		F266	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F267	1	Sin diafragma	3	3	3			
DLCG	108	F268	1	Sin diafragma	3	5	3	3	2	3
		F269	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F270	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F271	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F272	1	Sin diafragma	3	2	3			
	110	F273	1	Sin diafragma	3	3	3	3	2	3
		F274	1	Sin diafragma	3	1	3			
		F275	1	Sin diafragma	3	5	4			
		F276	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F277	2	Rígido	3	2	3			
	114	F278	1	Sin diafragma	3	3	3	3	2	3
		F279	1	Sin diafragma	3	3	3			
		F280	2	Rígido	3	2	3			
		F281	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F282	2	Rígido	3	2	3			
Llano bonito	120	F283	1	Sin diafragma	3	3	3	3	2	3
		F284	1	Sin diafragma	3	3	3			
		F285	2	Rígido	3	2	3			
		F286	1	Sin diafragma	3	2	3			
		F287	1	Sin diafragma	3	2	3			
	121	F288	1	Sin diafragma	3	2	3	3	2	3
		F289	1	Sin diafragma	3	3	3			
		F290	1	Sin diafragma	3	2	3			

	F291	2	Flexible	3	3	3			
	F292	2	Flexible	3	3	3			
122	F293	2	Flexible	3	3	3	3	3	3
	F294	1	Sin diafragma	3	3	4			
	F295	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F296	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F297	1	Sin diafragma	3	2	3			
123	F298	1	Sin diafragma	3	3	3	3	3	3
	F299	2	Flexible	3	3	3			
	F300	2	Flexible	3	3	3			
	F301	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F302	1	Sin diafragma	3	2	3			
125	F303	1	Sin diafragma	3	5	4	3	3	3
	F304	1	Sin diafragma	3	5	4			
	F305	1	Sin diafragma	3	2	3			
	F306	1	Sin diafragma	3	2	4			
	F307	1	Sin diafragma	3	2	4			
127	F308	1	Sin diafragma	3	5	4	3	3	4
	F309	1	Sin diafragma	3	5	4			
	F310	1	Sin diafragma	3	2	3			
Ureña	F311	1	Sin diafragma	3	3	4			
	F312	1	Sin diafragma	3	3	4			
129	F313	1	Sin diafragma	3	3	4	3	2	3
	F314	1	Sin diafragma	3	1	2			
	F315	1	Sin diafragma	3	1	2			
	F316	1	Sin diafragma	3	5	4			
	F317	1	Sin diafragma	3	3	4			
134	F318	1	Sin diafragma	3	3	3	3	3	3
	F319	1	Sin diafragma	3	3	3			
	F320	1	Sin diafragma	3	2	3			

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Apéndice 7.

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones en la Ciudad de Golfito

Inspector: Alejandro Camacho Báez

Fecha:

23/9/2019

Nº Formulario: F0012

Ubicación:

Provincia	Cantón	Distrito	Sector	Cuadrante
Puntarenas	Golfito	Golfito	Ureña	4

Fotografía



Coordenadas GPS

Coordenadas CRTM05

N:	W:	X:	Y:
8,6554	83,1856	730295,93	-9272699

Tipología según CAPRA T2-2:

W-FLFLB-1

Código sísmico vigente

Antes 1974	<input checked="" type="checkbox"/>
1974-2001	<input type="checkbox"/>
Después	<input type="checkbox"/>

Sistema Estructural

Adobe	<input type="checkbox"/>
Muros de Madera	<input checked="" type="checkbox"/>
Muros de Concreto Prefabricado	<input type="checkbox"/>
Mampostería	<input type="checkbox"/>
Pórticos de concreto	<input type="checkbox"/>
Tugurio	<input type="checkbox"/>
Otro: _____	<input type="checkbox"/>

Uso de la Estructura

Residencial	<input checked="" type="checkbox"/>
Comercial	<input type="checkbox"/>
Industrial	<input type="checkbox"/>
Oficinas	<input type="checkbox"/>
Bodegas	<input type="checkbox"/>
Salud	<input type="checkbox"/>
Otro: _____	<input type="checkbox"/>

Estado de Conservación

Excelente	<input type="checkbox"/>
Bueno	<input type="checkbox"/>
Regular	<input type="checkbox"/>
Pobre	<input checked="" type="checkbox"/>

Tipo de Cubierta

Losa de concreto	<input type="checkbox"/>
Liviana lámina de zinc	<input checked="" type="checkbox"/>
Tejas de barro	<input type="checkbox"/>
Otro: _____	<input type="checkbox"/>

Características construcción

Número de pisos	1
Frente (m)	5
Regularidad elevación	Si
Regularidad Planta	Si

Tipo de entrepiso

Flexible	<input type="checkbox"/>
Rígido	<input type="checkbox"/>
Sin diafragma	<input checked="" type="checkbox"/>

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones en la Ciudad de Golfito
 Inspector: Alejandro Camacho Báez

Fecha:
23/9/2019
 N° Formulario: F0061

Ubicación:

Provincia	Cantón	Distrito	Sector	Cuadrante
Puntarenas	Golfito	Golfito	ZA	3

Fotografía



Sistema Estructural

Adobe	<input type="checkbox"/>
Muros de Madera	<input checked="" type="checkbox"/>
Muros de Concreto Prefabricado	<input type="checkbox"/>
Mampostería	<input type="checkbox"/>
Pórticos de concreto	<input type="checkbox"/>
Tugurio	<input type="checkbox"/>
Otro: _____	<input type="checkbox"/>

Estado de Conservación

Excelente	<input checked="" type="checkbox"/>
Bueno	<input type="checkbox"/>
Regular	<input type="checkbox"/>
Pobre	<input type="checkbox"/>

Características construcción

Número de pisos	2
Frente (m)	25
Regularidad elevación	Si
Regularidad Planta	Si

Coordenadas GPS

Coordenadas GPS		Coordenadas CRTM05	
N:	W:	X:	Y:
8°38'53"	83°10'32"	730538.9	-9271604.3

Tipología según CAPRA T2-2:

W-FLFLB-2

Código sísmico vigente

Antes 1974	<input checked="" type="checkbox"/>
1974-2001	<input type="checkbox"/>
Después	<input type="checkbox"/>

Uso de la Estructura

Residencial	<input checked="" type="checkbox"/>
Comercial	<input type="checkbox"/>
Industrial	<input type="checkbox"/>
Oficinas	<input type="checkbox"/>
Bodegas	<input type="checkbox"/>
Salud	<input type="checkbox"/>
Otro: _____	<input type="checkbox"/>

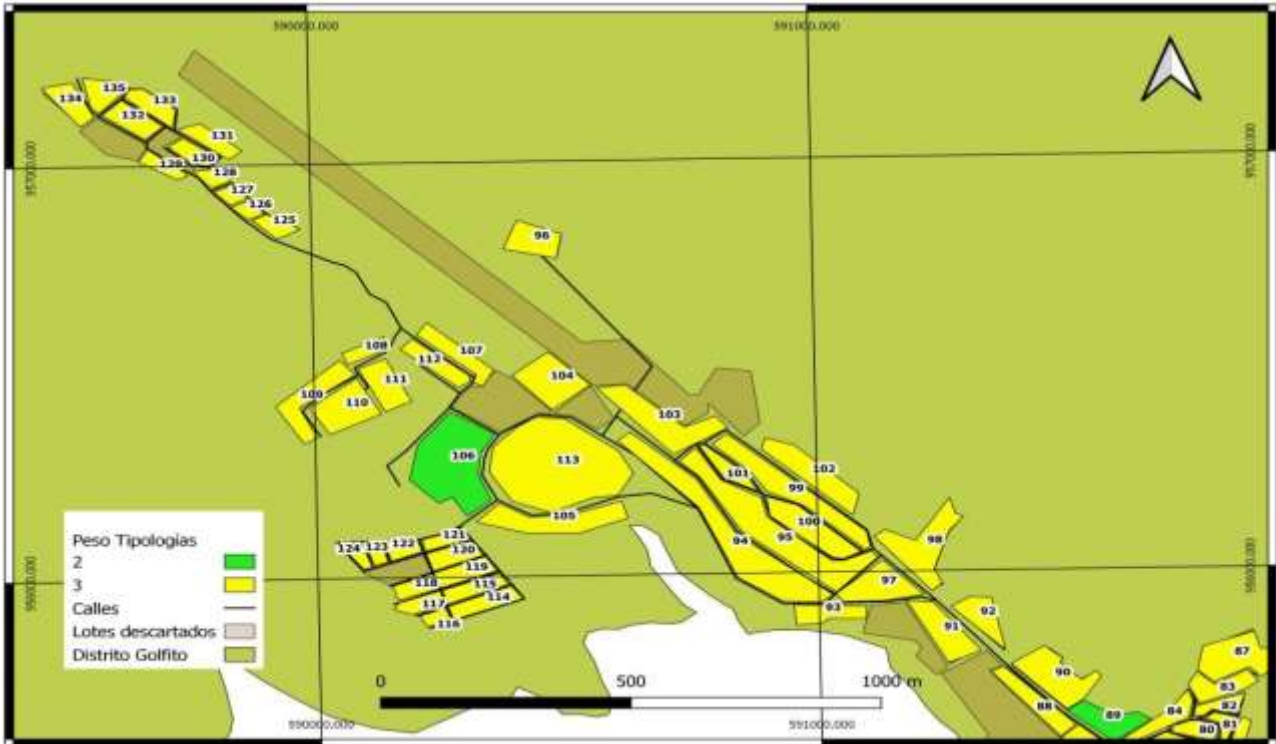
Tipo de Cubierta

Losa de concreto	<input type="checkbox"/>
Liviana lámina de zinc	<input checked="" type="checkbox"/>
Tejas de barro	<input type="checkbox"/>
Otro: _____	<input type="checkbox"/>

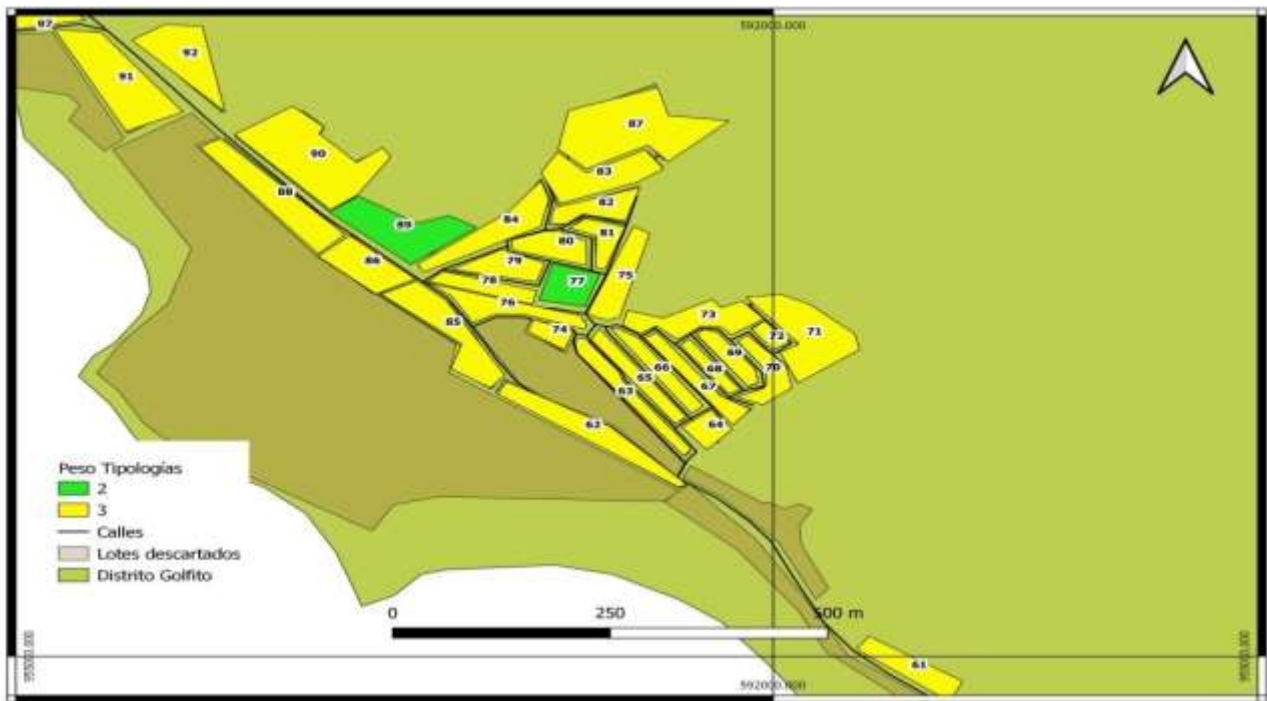
Tipo de entrepiso

Flexible	<input checked="" type="checkbox"/>
Rígido	<input type="checkbox"/>
Sin diafragma	<input type="checkbox"/>

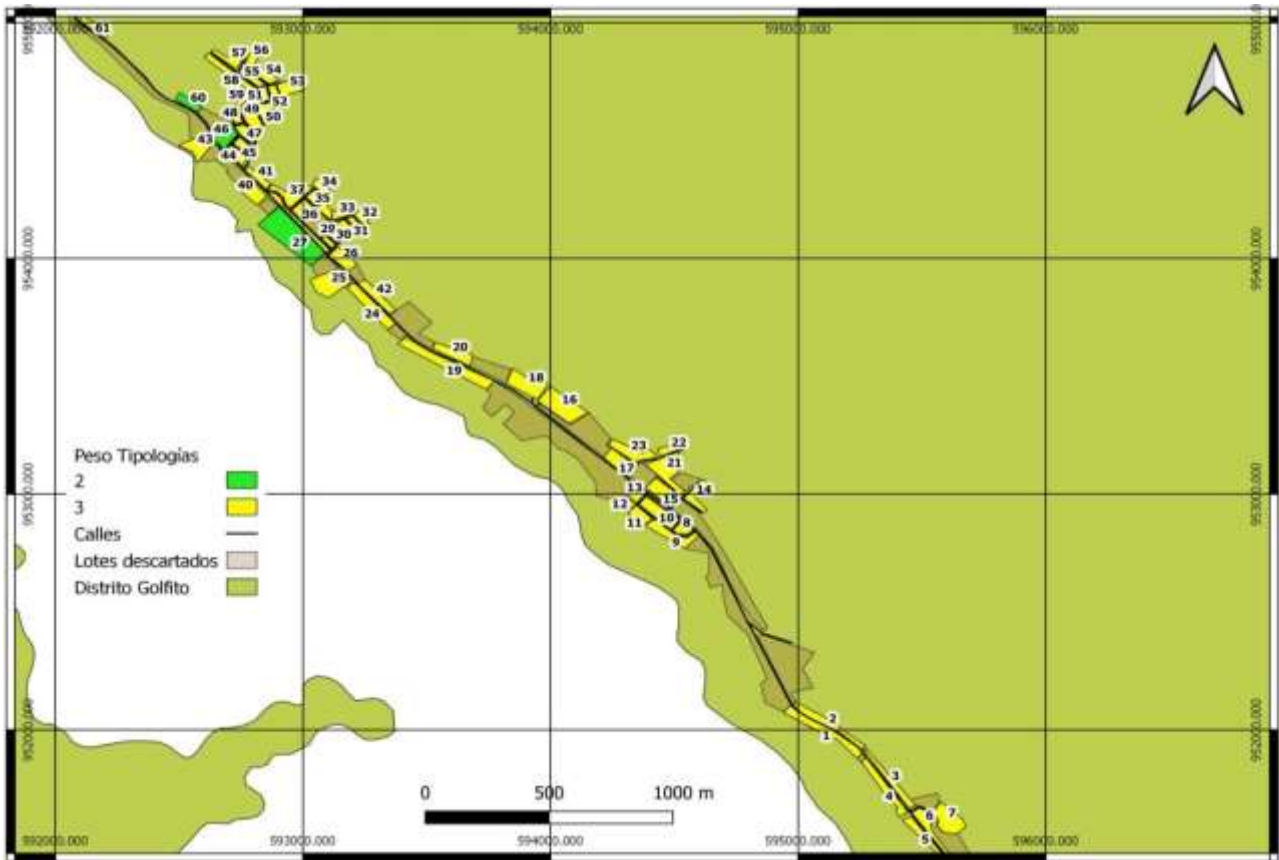
Apéndice 8.



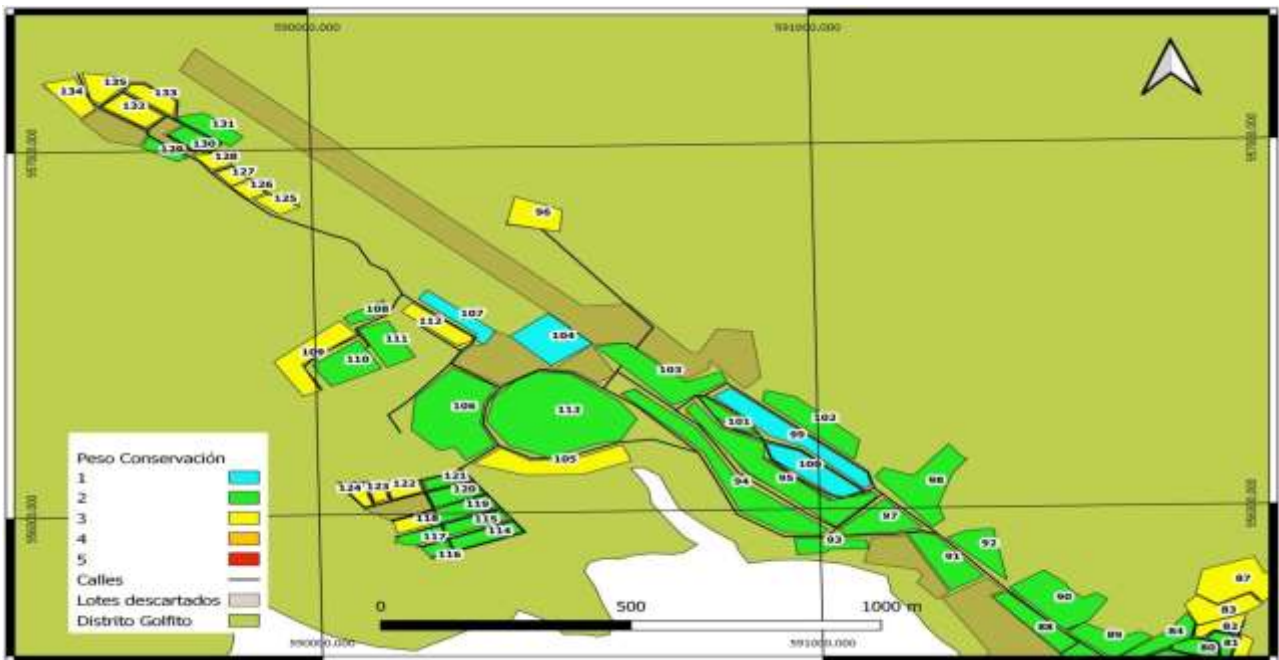
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



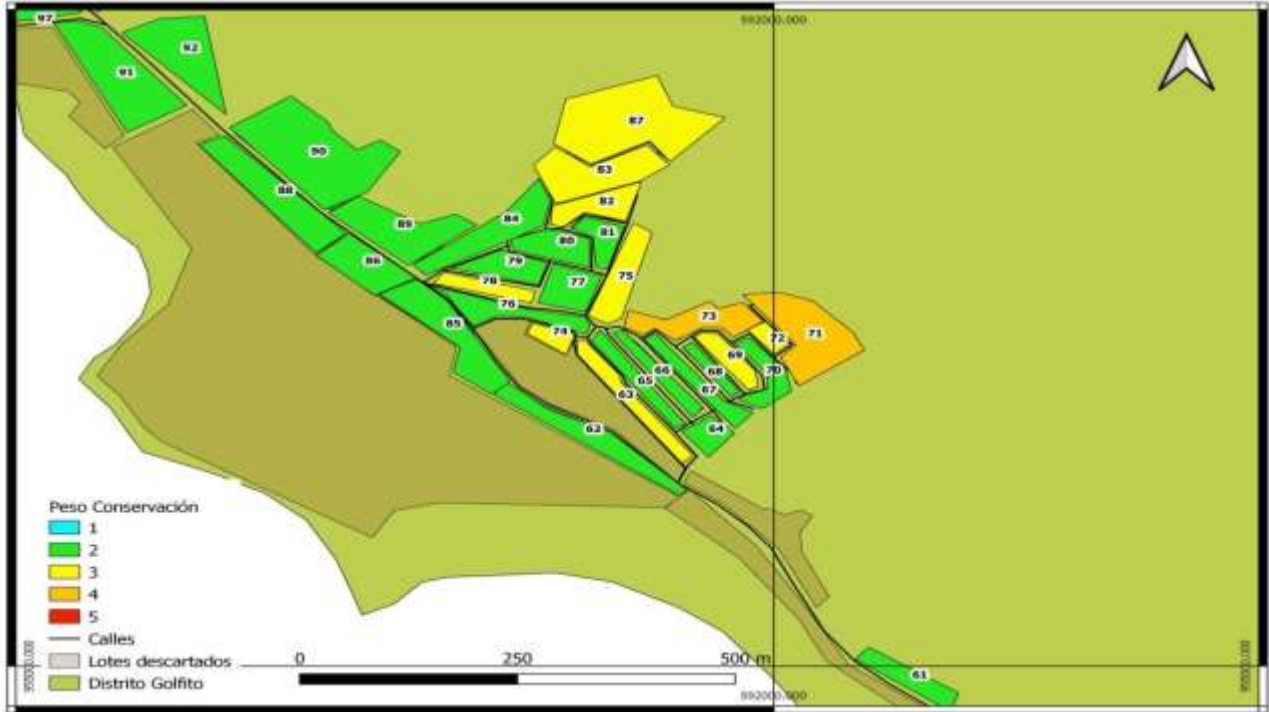
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



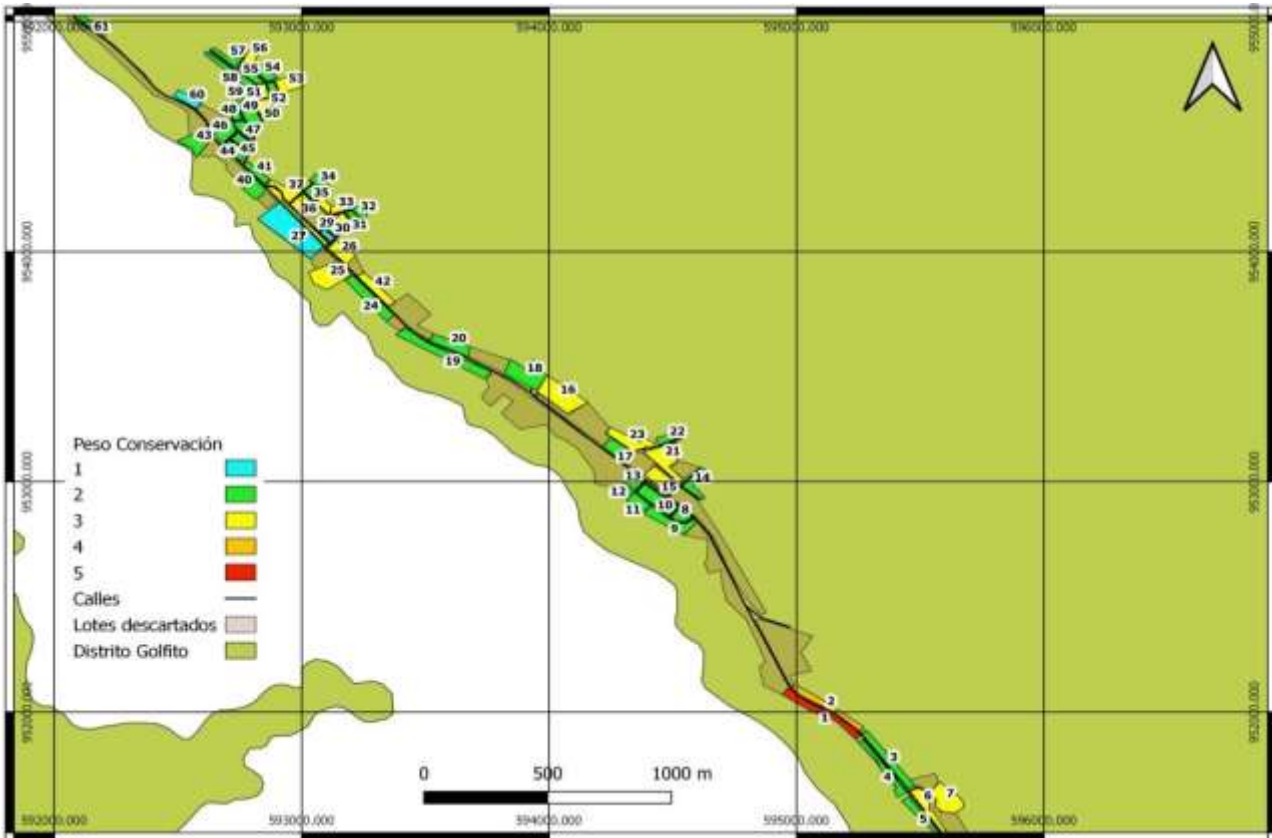
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



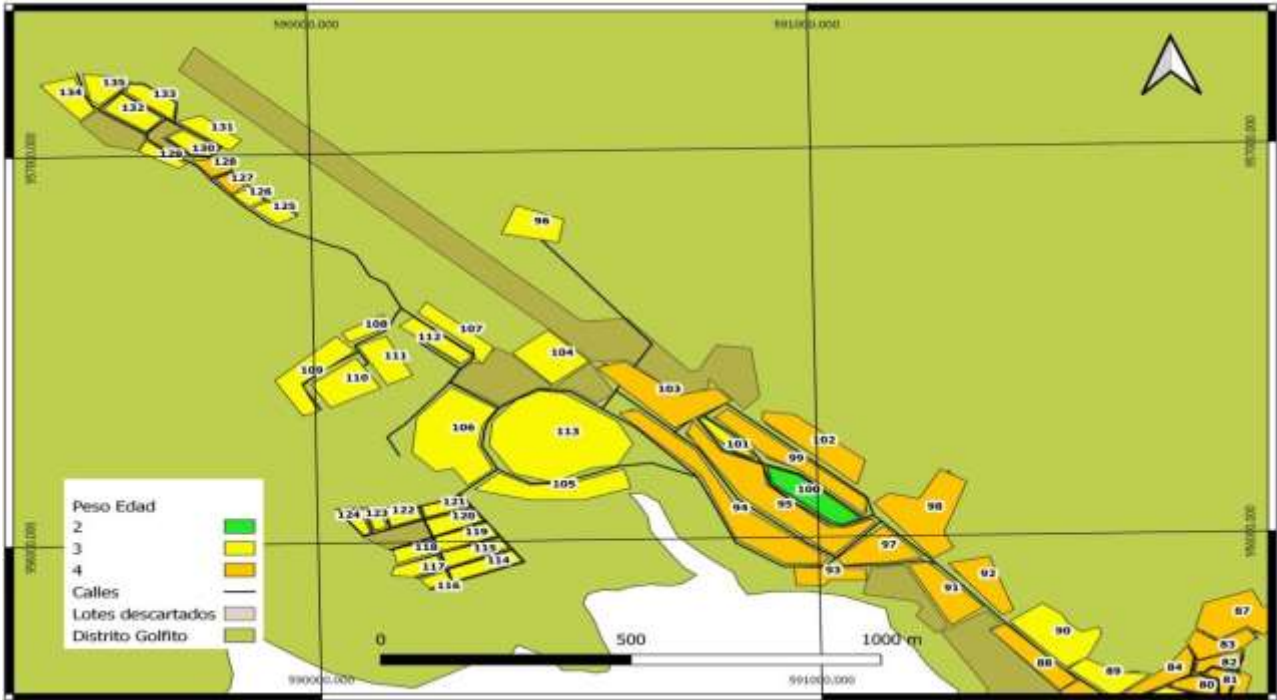
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



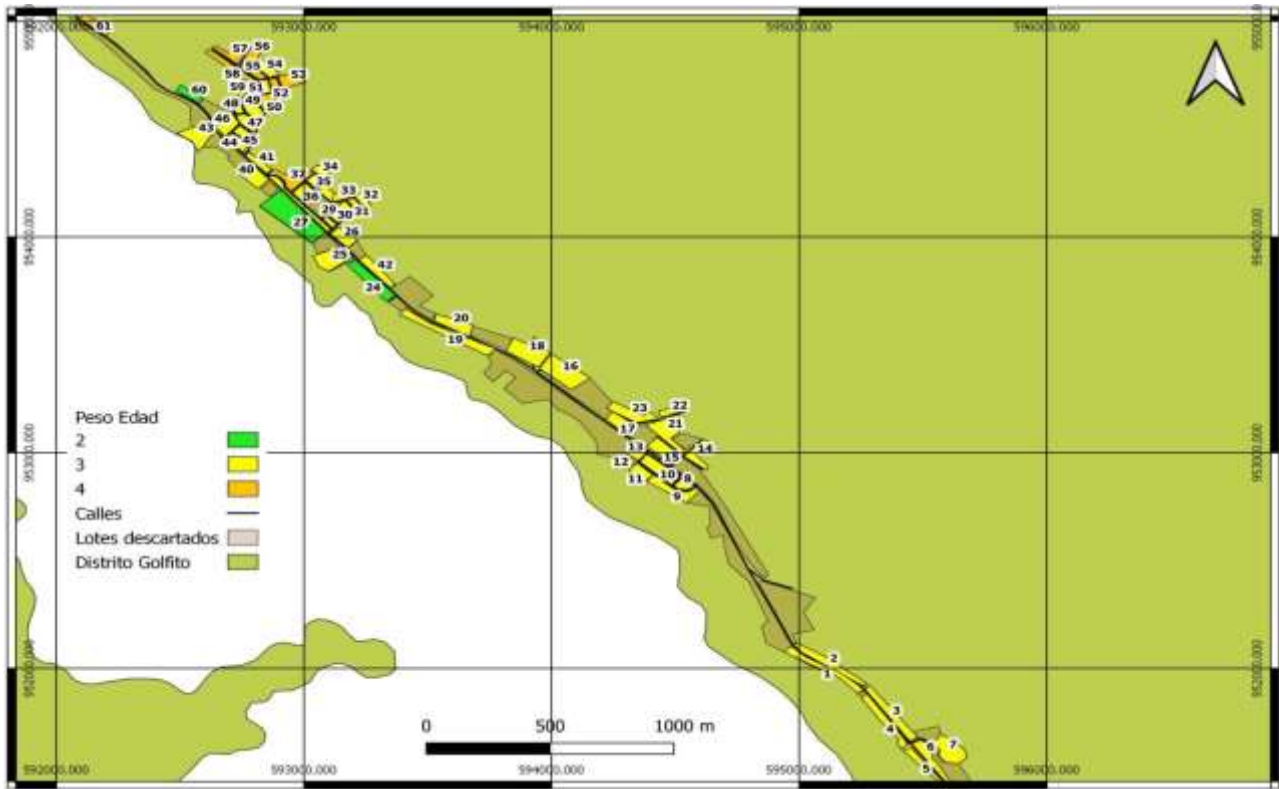
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Apéndice 9.

Índice Vulnerabilidad	Intensidad (Gal)		
	375	430	595
$lv \leq 45$	Ligero	Ligero	Leve
$45 \leq lv \leq 55$	Leve	Leve	Intermedio
$55 \leq lv \leq 65$	Intermedio	Intermedio	Considerable
$65 \leq lv \leq 75$	Considerable	Considerable	Grave
$75 \leq lv \leq 85$	Grave	Grave	Muy Grave
$lv \geq 85$	Grave	Muy Grave	Muy Grave

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Tipología	Intensidad (Gal)		
	375	430	595
W-SLFLB-1	12%	18%	22%
W-FLFLB-2	30%	40%	65%
CPM-RCFSB-2	3%	5%	15%
MR-RLFSB-2	45%	56%	85%
MR-FLFSB-2	65%	76%	100%
PCR-RCFSM-5	2%	4%	8%

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Índice Vulnerabilidad	Intensidad (Gal)		
	375	430	595
$lv \leq 45$	1%	3%	6%
$45 \leq lv \leq 55$	10%	15%	18%
$55 \leq lv \leq 65$	25%	35%	55%
$65 \leq lv \leq 75$	35%	50%	75%
$75 \leq lv \leq 85$	50%	75%	90%
$lv \geq 85$	75%	85%	100%

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Apéndice 10.

Lotes	Tipología	Conservación	Edad	375 (Gal)	430 (Gal)	595 (Gal)
1	CPM-RCFSB-2	Malo	Entre 1974 y 2001	55	65	85
2	CPM-RCFSB-2	Pobre	Entre 1974 y 2001	45	55	75
3	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
4	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
5	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
6	CPM-RCFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	30	45	65
7	CPM-RCFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	30	45	65
8	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
9	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
10	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
11	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
12	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
13	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
14	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
15	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
16	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	55	75
17	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
18	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
19	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
20	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
21	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
22	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
23	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
24	MR-FLFSB-2	Bueno	Después de 2001	10	15	20
25	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
26	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
27	MR-RLFSB-2	Excelente	Después de 2001	1	5	10
28	MR-RLFSB-2	Excelente	Entre 1974 y 2001	15	20	30
29	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
30	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
31	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
32	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
33	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
34	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
35	MR-RLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55

36	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
37	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80
38	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
39	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
40	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
41	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
42	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	75
43	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
44	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
45	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
46	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
47	W-FLFLB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
48	W-FLFLB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
49	W-FLFLB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
50	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80
51	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	25	50	75
52	W-FLFLB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	70
53	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	55	65	85
54	W-FLFLB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
55	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	70
56	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80
57	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	70
58	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	70
59	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
60	PCR-RCFSM-5	Excelente	Después de 2001	1	5	10
61	W-FLFLB-2	Bueno	Previo a 1974	45	50	75
62	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	50	60	80
63	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80
64	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	50	60	80
65	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	50	60	80
66	W-FLFLB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
67	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
68	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
69	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	70
70	W-FLFLB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
71	MR-FLFSB-2	Pobre	Previo a 1974	50	60	80
72	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80
73	MR-FLFSB-2	Pobre	Previo a 1974	50	60	80
74	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80

75	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	45	55	75
76	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
77	MR-RLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
78	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	50	70
79	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
80	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
81	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
82	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80
83	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80
84	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
85	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
86	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
87	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	50	60	80
88	W-FLFLB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
89	MR-RLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
90	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
91	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
92	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
93	W-FLFLB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
94	W-FLFLB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
95	W-FLFLB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
96	W-FLFLB-2	Regular	Previo a 1974	35	45	70
97	W-FLFLB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
98	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	45	55	75
99	W-FLFLB-2	Excelente	Previo a 1974	35	45	70
100	MR-FLFSB-2	Excelente	Después de 2001	5	10	15
101	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	25	35	60
102	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
103	MR-FLFSB-2	Bueno	Previo a 1974	45	55	75
104	MR-RLFSB-2	Excelente	Entre 1974 y 2001	15	20	50
105	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	30	40	65
106	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
107	MR-FLFSB-2	Excelente	Entre 1974 y 2001	15	20	50
108	CPM-RCFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
109	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
110	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
111	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
112	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
113	MR-RLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55

114	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
115	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
116	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
117	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
118	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
119	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
120	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
121	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
122	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
123	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	20	30	55
124	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
125	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
126	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
127	CPM-RCFSB-2	Regular	Previo a 1974	55	65	85
128	MR-FLFSB-2	Regular	Previo a 1974	55	65	85
129	CPM-RCFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
130	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
131	MR-FLFSB-2	Bueno	Entre 1974 y 2001	20	30	55
132	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
133	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
134	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70
135	MR-FLFSB-2	Regular	Entre 1974 y 2001	35	45	70

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Apéndice 11.

Porcentaje de daño	Cantidad de lotes			Porcentaje		
	375 (Gal)	430 (Gal)	595 (Gal)	375 (Gal)	430 (Gal)	595 (Gal)
1	2	0	0	1,48	0,00	0,00
5	1	2	0	0,74	1,48	0,00
10	1	1	2	0,74	0,74	1,48
15	3	1	1	2,22	0,74	0,74
20	55	3	1	40,74	2,22	0,74
25	2	0	0	1,48	0,00	0,00
30	17	55	1	12,59	40,74	0,74
35	13	1	0	9,63	0,74	0,00
40	0	1	0	0,00	0,74	0,00
45	23	15	0	17,04	11,11	0,00
50	14	15	2	10,37	11,11	1,48
55	4	23	55	2,96	17,04	40,74
60	0	14	1	0,00	10,37	0,74
65	0	4	3	0,00	2,96	2,22
70	0	0	19	0,00	0,00	14,07
75	0	0	32	0,00	0,00	23,70
80	0	0	14	0,00	0,00	10,37
85	0	0	4	0,00	0,00	2,96
90	0	0	0	0,00	0,00	0,00
95	0	0	0	0,00	0,00	0,00
100	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Total	135	135	135	100	100	100

Fuente: este estudio. Elaborado Microsoft office, Excel 2007

Anexos

Anexo 1. Mapa Geológico, Atlas CR 2014 CRTM05

Anexo 2. Mapa Geología, Atlas CR 2014 CRTM05

Anexo 3. Mapa Distritos, Atlas CR 2014 CRTM05

Anexo 4. Mapa Relieve, Atlas CR 2014 CRTM05

Anexo 5. Encuesta evaluación de la vulnerabilidad

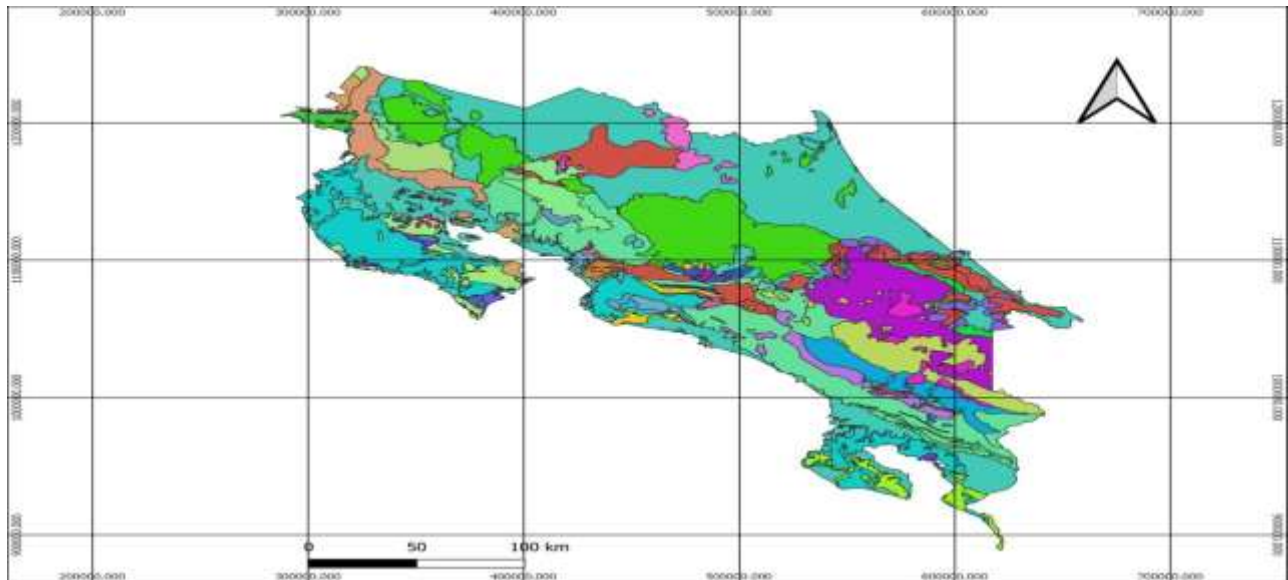
Anexo 6. Métodos cuantitativos para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones

Anexo 7. Métodos cualitativos para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones

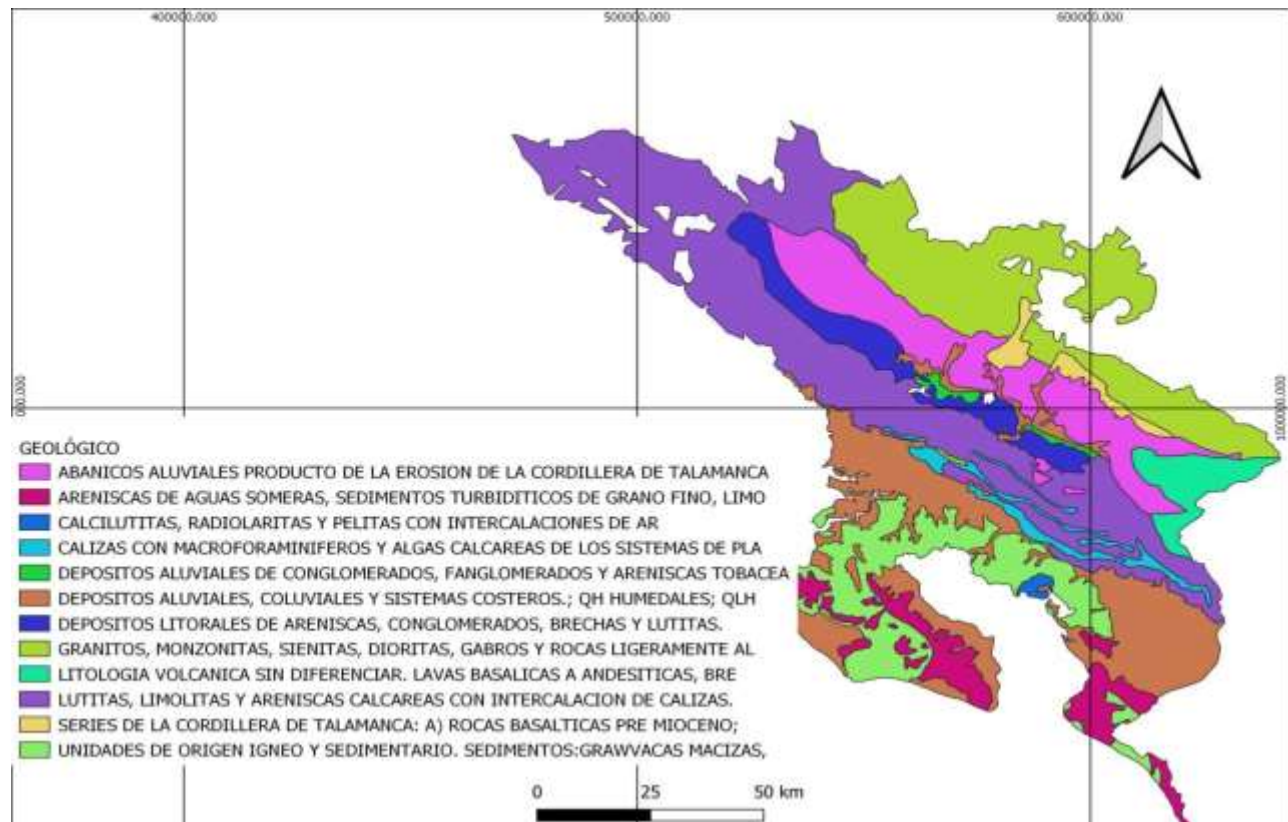
Anexo 8. Mapas aceleraciones 1000 y 2500 años periodo de retorno según Resis II

Anexo 9. Fórmulas utilizadas para convertir valores de magnitud de sismo, dadas en Ms o ML, a magnitud de momento Mw

Anexo 1.

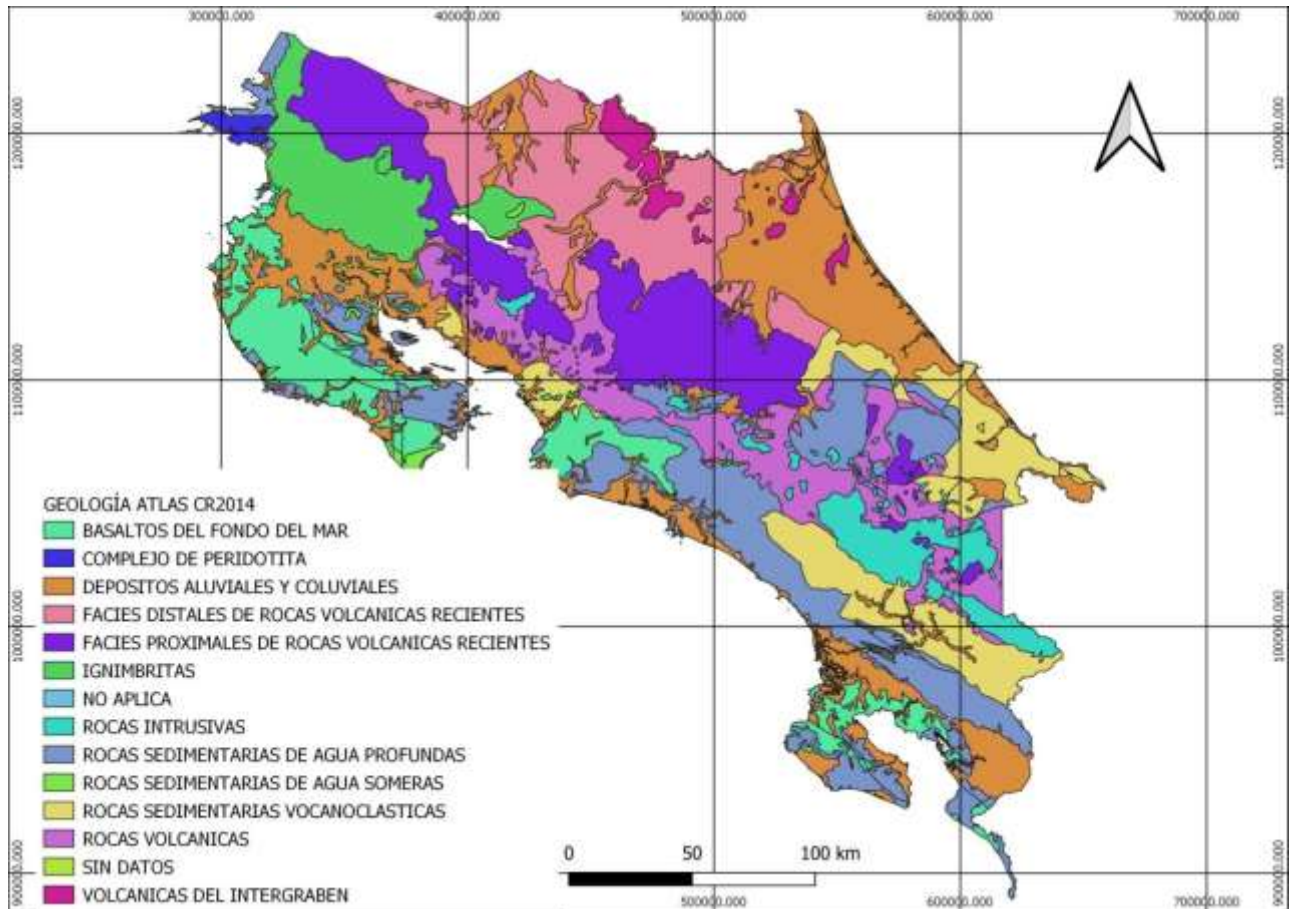


Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



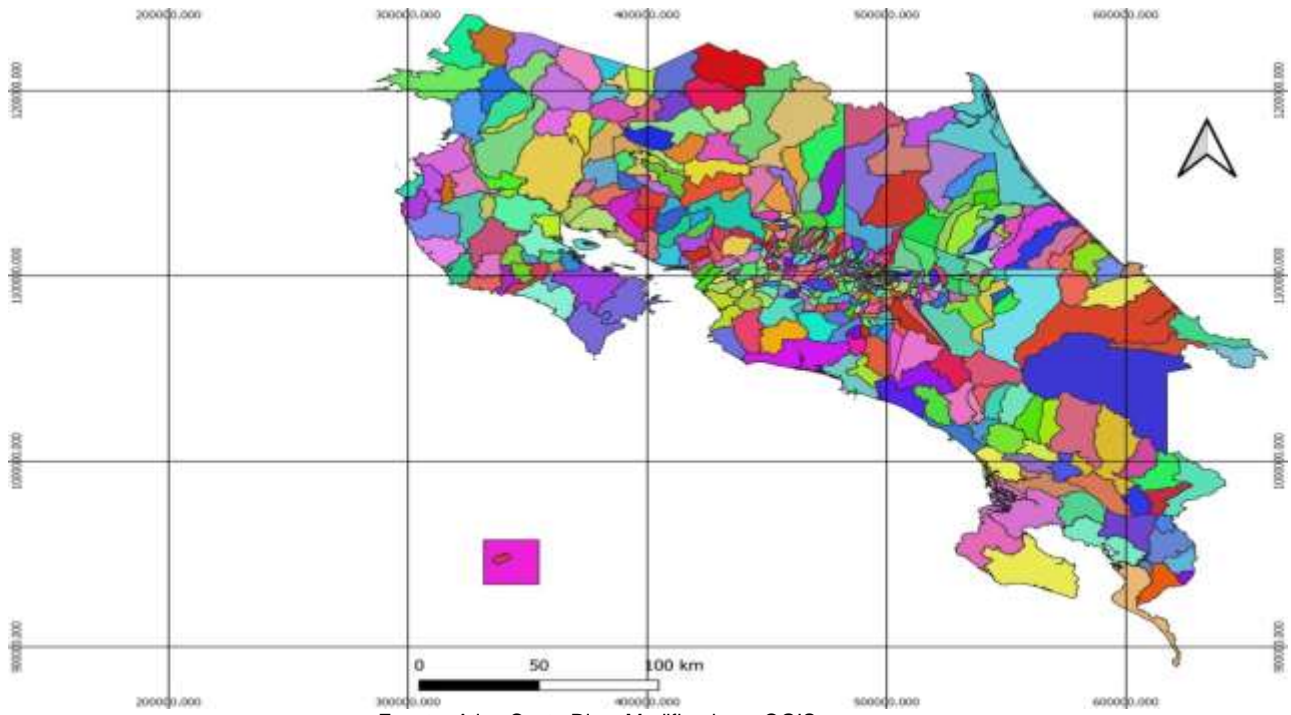
Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Anexo 2.

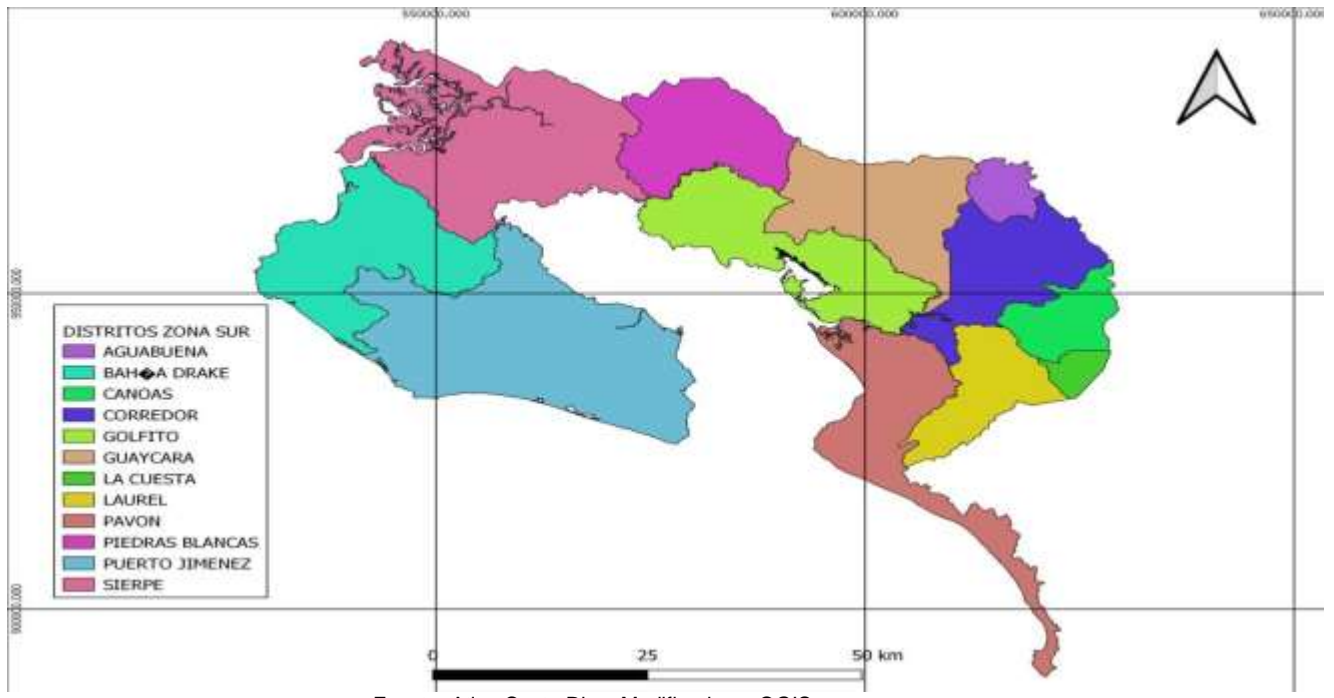


Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Anexo 3.

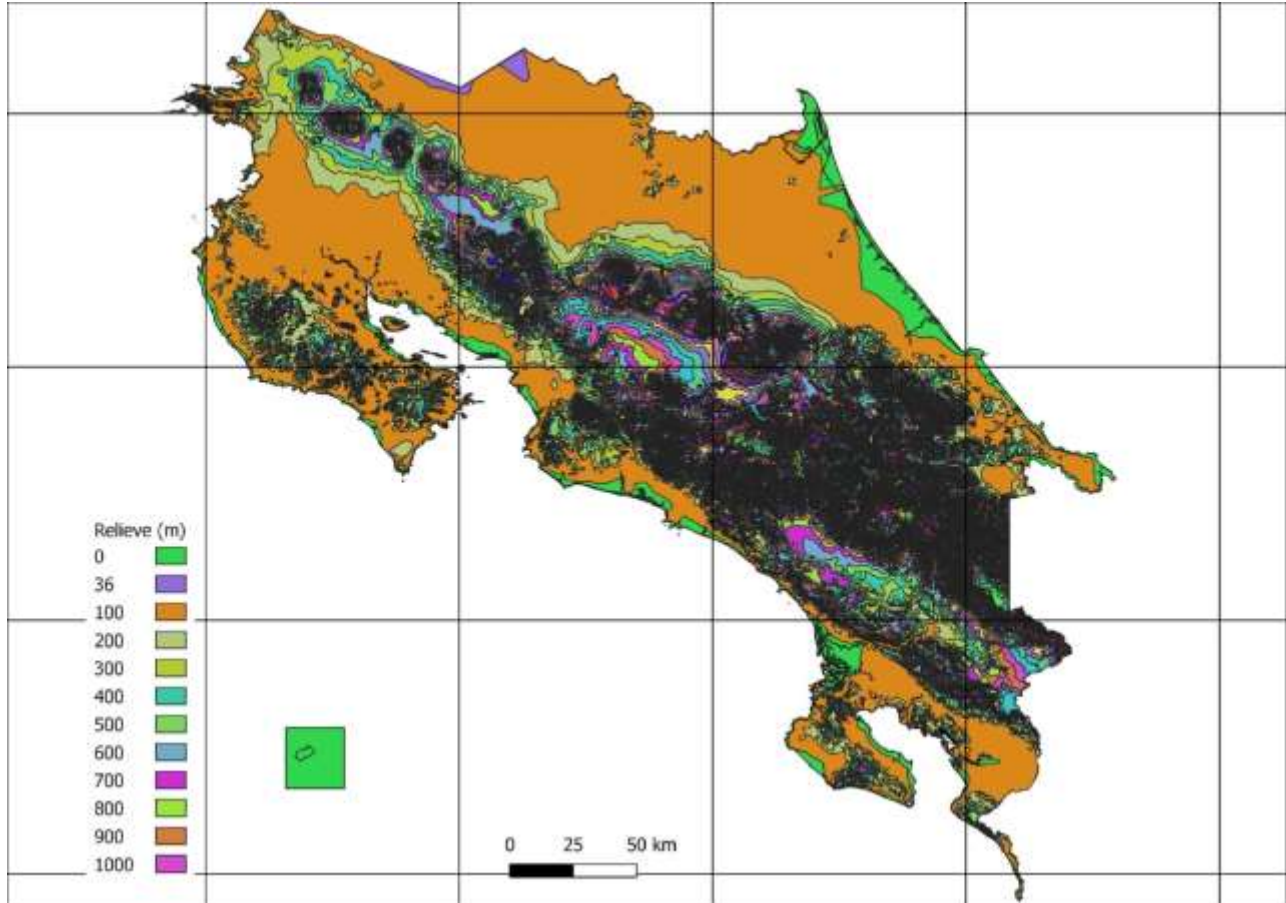


Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Anexo 4.



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Anexo 5.

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones en la Ciudad de Golfito

Inspector: _____

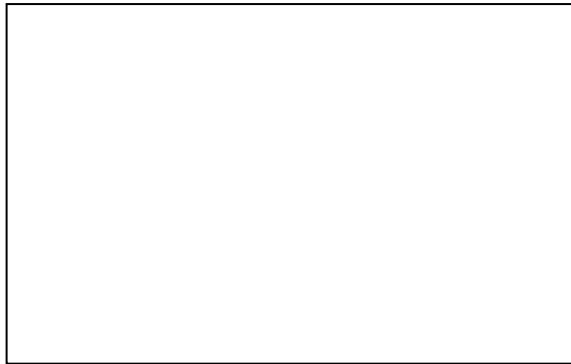
Fecha: _____

N° Formulario: _____

Ubicación: _____

Provincia	Cantón	Distrito	Cuadrante	Lote
-----------	--------	----------	-----------	------

Fotografía



Coordenadas GPS

Coordenadas
CRTM05

N: _____ W: _____

X: _____ Y: _____

Tipología según CAPRA T2-2:

Código sísmico vigente

Antes 1974	<input type="text"/>
1974-2001	<input type="text"/>
Después 2011	<input type="text"/>

Sistema Estructural

Adobe	<input type="text"/>
Muros de Madera	<input type="text"/>
Muros de Concreto Prefabricado	<input type="text"/>
Mampostería	<input type="text"/>
Pórticos de concreto	<input type="text"/>
Tugurio	<input type="text"/>
Otro: _____	<input type="text"/>

Uso de la Estructura

Residencial	<input type="text"/>
Comercial	<input type="text"/>
Industrial	<input type="text"/>
Oficinas	<input type="text"/>
Bodegas	<input type="text"/>
Salud	<input type="text"/>
Otro: _____	<input type="text"/>

Estado de Conservación

Excelente	<input type="text"/>
Bueno	<input type="text"/>
Regular	<input type="text"/>
Pobre	<input type="text"/>

Tipo de Cubierta

Losa de concreto	<input type="text"/>
Liviana lamina de zinc	<input type="text"/>
Tejas de barro	<input type="text"/>
Otro: _____	<input type="text"/>

Características construcción

Número de pisos	<input type="text"/>
Frente (m)	<input type="text"/>
Regularidad elevación	<input type="text"/>
Regularidad Planta	<input type="text"/>

Tipo de entepiso

Flexible	<input type="text"/>
Rígido	<input type="text"/>
Sin diafragma	<input type="text"/>

Anexo 6.

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 “ V_{av} ” de los elementos resistentes verticales del edificio, el cual se compara con el esfuerzo estimado del material mediante la relación “ $V_{av} / 4.26$ ”; 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 7.

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 sísmo-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 lo 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 tiene 154 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.

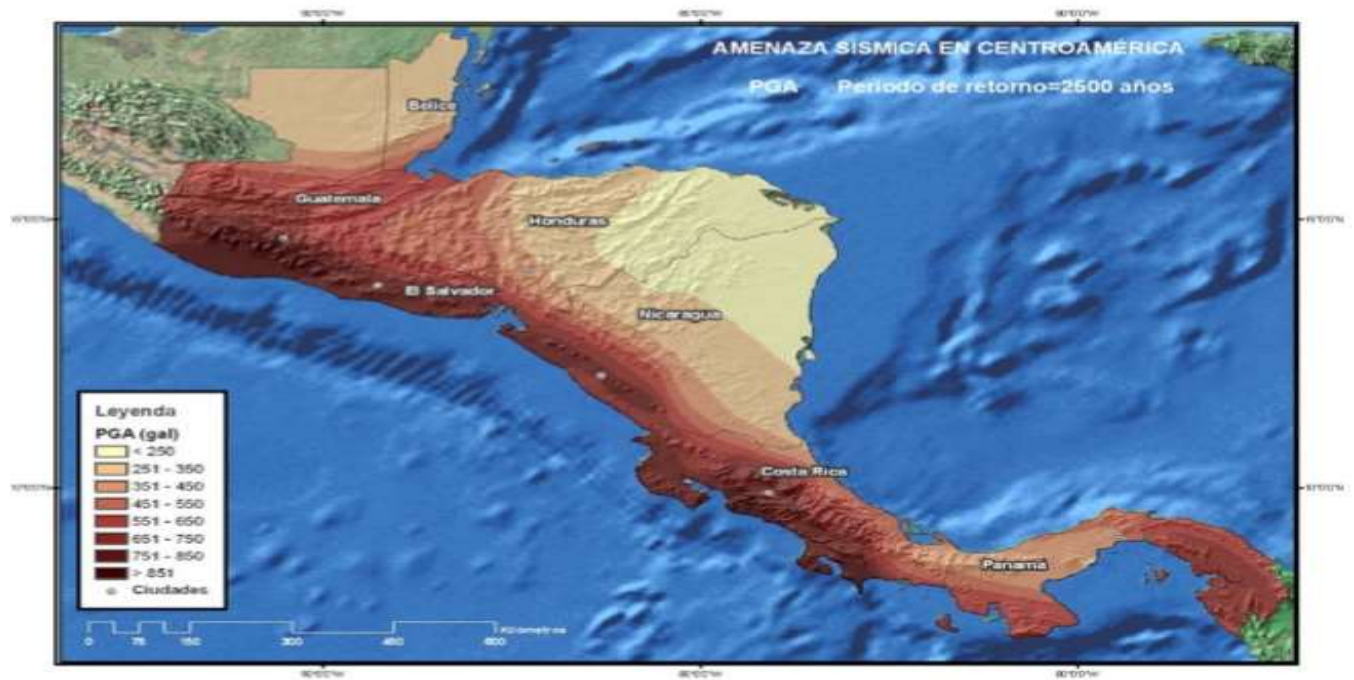
El método del índice de vulnerabilidad se comienza a desarrollar en Italia con motivo de los estudios post terremotos realizados a partir de 1976. El método se describe en 1982, año a partir del cual empieza su utilización en numerosas ocasiones. El método del índice de vulnerabilidad puede clasificarse 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 8.



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS



Fuente: Atlas Costa Rica. Modificado en QGIS

Anexo 9.

Las siguientes ecuaciones fueron extraídas del texto: **“TASAS DE RECURRENCIA SISMICA EN LA ZONA CENTRAL DE LOS ANDES COLOMBIANOS A PARTIR DE LA COMPLETITUD DEL CATALOGO HASTA EL AÑO 2004”** recuperado de la pagina de la Universidad del Quindío (<http://www.uniquindio.edu.co>), el día 06 de marzo del 2012.

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 :

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

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

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

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

Finalmente, con la ecuacion de Kanamori (1977) se calcula la magnitud del momento sísmico

$$M_w = 2/3 (\log M_o - 16,1)$$

Referencias

- 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
- Climent, A., Rojas, W., Alvarado, G., y Benito, B. (2008). Evaluación de la Amenaza Sísmica en Costa Rica. NORSAR. Proyecto **RESIS II**- Informe técnico. 131p.
- Climent, A. et. al. 1994. Spectral strong motion attenuation in Central America. **NORSAR.** Reporte Técnico
- Climent, 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.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. 2010. **CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA.** Editorial Tecnológica de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. 2019. **CAPACITACIÓN AMENAZA Y RIESGO SÍSMICO EN LA ZONA SUR.** Ciudad Neilly. Costa Rica.
- CTRD. 2015. **PLAN DE DESARROLLO RURAL TERRITORIAL OSA-GOLFITO-CORREDORES.** Inder, Costa Rica,
- ERN-CAPRA, América Latina. Caracterización local de la vulnerabilidad de edificaciones. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-5.** Costa Rica. 66 p
- ERN-CAPRA, América Latina. Componentes Principales del análisis de Riesgo. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-1.** 27 p. Nicaragua.
- ERN-CAPRA, América Latina, Modelos de Evaluación De Amenazas Naturales y Selección. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA T1-3.** El Salvador
- ERN-CAPRA, América Latina. Vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-5,** 7-22 (48p). Nicaragua.
- Giovanni Peraldo Huertas1*, Walter Montero Pohly1 & Eduardo Camacho. 2006. El terremoto del 29 de mayo de 1879: una ruptura de magnitud ms > 7,0 en la zona limítrofe sur de costa rica y panamá. **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL.** 34-35: 31-42, Costa Rica.
- Gonzales de Vallejo, L. 2002. **INGENIERÍA GEOLOGICA.** Madrid. España. Paerson Education.
- Herrera, R. 2013. Amenaza Sísmica y el Código Sísmico de Costa Rica. Costa Rica. **REVISTA INGENIERÍA.** Vol.10.
- 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. 46 p
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 1997. **ANUARIO ESTADISTICO DE COSTA RICA (1983-1987).** San José. Costa Rica
- Jimenez, D. 2012. **DIAGNÓSTICO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN CARTAGO, COSTA RICA.** (Tesis de pregrado). Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Linkimer, L. 2008. Relationship between Peak Ground Acceleration and Modified Mercalli Intensity in Costa Rica. **REVISTA GEOLÓGICA DE AMERICA CENTRAL.** 38: 81-94. COSTA RICA
- Martínez, J.R. 2002. **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y DINÁMICA GOLBAL.** Universidad de Salamanca. España.

- 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.
- Peraldo G., Montero, W. & Camacho, E., 2006: El terremoto del 29 de mayo de 1879: una ruptura de magnitud $m_s > 7,0$ en la zona limítrofe sur de costa rica y panamá, Costa Rica – **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**. (34-35): 31-42.
- Protti, M. Güendel, F. Malavasi, E. 2001. **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL SISMICO DE LA PENÍNSULA DE NICOYA**. Heredia, Costa Rica: Editorial Fundación UNA.
- QGIS 3,8. Zanzibar . 2019. **SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA LIBRE Y DE CÓDIGO ABIERTO**. Obtenido de www.qgis.org
- Santana, G. 1999. **EVALUACIÓN DEL IMPACTO INGENIERIL DE UN TERREMOTO EN LA PENÍNSULA DE NICOYA**. Costa Rica. LANAMME.
- Sauter, F. 1989. **FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA SÍSMICA**. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Solano, A. 2014. Abril 14. Ovsicori instalará estaciones sismológicas en la zona sur. **LA NACIÓN**, San José.
- Solana, H. 2019. Junio.29. Fuerte temblor del martes lleva 1000 réplicas. **LA NACIÓN**, San José. 10p.
- Vargas, F. 2016. **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN VIVIENDAS Y EDIFICIOS COMERCIALES MENORES EN EL ÁREA CENTRAL DE PÉREZ ZELEDÓN, COSTA RICA**. (Tesis de pregrado). Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Villanueva, J, C. 2015. **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE CARTAGO, COSTA RICA**. (Tesis de pregrado). Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Wald, D. et. Al. 1999 Relation between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. **EARTHQUAKE SPECTRA**, 15:557-564
- Walpole, R. Myers, S. Myers, K. 2012. **PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA PARA INGENIERÍA Y CIENCIAS**. México. Paerson Education.
- Mapas de fallas activas. Obtenido de <http://www.lis.ucr.ac.cr/>