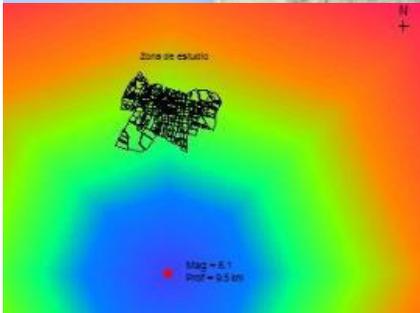
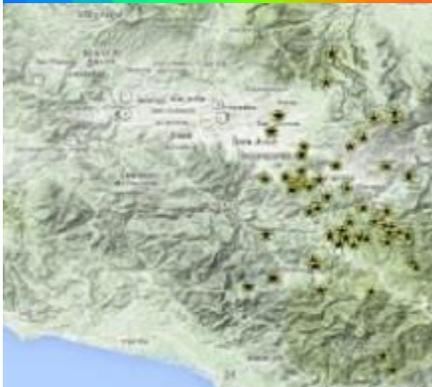


**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**



**INFORME FINAL
PROYECTO**

**EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LAS
EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE CARTAGO**

**Prof: Gustavo Rojas M.
Mayo, 2015**

Resumen

Se realizó una evaluación de los daños que pueden ocurrir en las edificaciones ubicadas en los distritos occidental y oriental del cantón central de Cartago ante la ocurrencia de un sismo fuerte. Del historial sísmico de la zona, se conoce que existen varias fallas activas que han producido en el pasado sismos de magnitudes superiores a 5.5 Mw. Estos sismos se han producido por fallamiento local en la falla llamada Aguacaliente, que se ubica al sur del cantón, y que discurre desde las cercanías del cantón de Desamparados en San José, hasta cerca de la zona del valle de Orosi. Se definieron tres escenarios posibles: el primero un sismo con una magnitud de 6.1 Mw, con una distancia de cerca de 5 km al sur de la ciudad, el segundo con una magnitud de 5.5 Mw, cerca de la zona de Paraíso, con una distancia en promedio de 12 km y el tercero con una magnitud de 5.8 con epicentro en la zona de Desamparados.

Se obtuvieron mapas de aceleración y para el primer escenario se estimó una aceleración cercana a 0.45g, para el segundo de 0.41g y para el tercer escenario de 0.35g. Además se obtuvieron mapas de intensidad sísmica, MMI, que dan como resultados intensidades de VIII, para los escenarios 1 y 2 y de VII para el último escenario. Esto implica que los daños potenciales en las edificaciones serían severos, en el caso de ocurrir un sismo similar.

Se realizó un inventario de 60 lotes aleatoriamente escogidos, de los cuales se obtuvo la información de las edificaciones en cada una de ellos, para un total de 922 edificios levantados. De ahí se obtuvieron las características prevalecientes de los edificios y se definieron cuatro tipos constructivos dominantes: madera, mampostería confinada con diafragma o no, y un sistema dual que se definió como un sistema construido en primera instancia con mampostería y que posteriormente tiene ampliaciones a base de elementos livianos. Las características principales fueron proyectadas al resto de los lotes según un criterio de vecindad, completando el mapeo de la ciudad.

Se aplicaron funciones de vulnerabilidad a los cuatro tipos constructivos seleccionados, obteniéndose niveles de daños. Se estimó que las edificaciones tipo dual, podrían sufrir un nivel de daños cercano al 100% e incluso el colapso. Las edificaciones de mampostería podrían sufrir daños entre el 50-60% y en el caso de las construcciones de madera, se espera que tendrían un mejor comportamiento, con daños menores al 20%.

A pesar de los resultados, estos se deben considerar con un carácter preliminar, dado que el estudio tiene sus limitaciones, sobre todo en cuanto al inventario de edificios, por lo que se considera necesario, mejorar el inventario para futuros proyectos.

Palabras claves: amenaza sísmica, vulnerabilidad, riesgo sísmico.

Abstract

The study performed an evaluation of the damage that can occur in buildings located in the Western and Eastern districts of the Cartago's central canton upon the occurrence of a strong earthquake. Within the seismic history of the area, it is known there are several active seismic faults that caused earthquakes in the past with magnitudes above 5.5 Mw. These earthquakes were caused by a local fault called Aguacaliente, which lies South of the canton, running from the surroundings of the city of Desamparados in San José, to the Orosi Valley area. Three possible scenarios were defined: the first, an earthquake with a magnitude of 6.1 Mw, with a distance of about 5km South of the central city, the second with a magnitude of 5.5 Mw, near the area of Paraíso, with an average distance of 12 km and the third with a magnitude of 5.8 with its epicenter near Desamparados city.

Through acceleration maps, for the first scenario an estimation of 0.45g was obtained; 0.41g for the second scenario and for the third one of 0.35g. Beside acceleration maps, seismic intensity maps were analyzed, MMI, which give results of VIII intensities for the first and second scenarios and VII for the third. This means that potential damage to buildings would be severe in the case of a similar earthquake.

A list of 60 randomly chosen lots was made, with the information of all buildings within them, totaling an amount of 922 constructions. Through it, the predominant characteristics of the buildings could be obtained and four main building types were defined: wood, confined masonry diaphragm or not, and a dual system, which consists of a system built with masonry for the first instance and the later extensions are built of light elements. The main features were projected to the rest of the lots (438 in total) with a neighbor criteria, completing the city mapping.

Vulnerability functions were applied to the four selected building types to differentiate damage levels. It was estimated that the dual type buildings could suffer a damage level close to 100% and even collapse. Masonry buildings may be damaged between 50 and 60%, and in the case of wood constructions, which are expected to have better performance, may poses minor damage up to 20%.

Despite the results, these should be considered as preliminary, given that the study has its limitations, especially in the inventory of buildings, so it is considered necessary improving in this aspect for future projects.

Key Words: seismic hazard, vulnerability, seismic risk

Contenido

Introducción	1
Objetivo general	3
Sismicidad	5
Sismicidad regional.....	15
Sismicidad de Costa Rica.....	18
Sismicidad de la zona de estudio	27
Amenaza sísmica	34
Evaluación Amenaza Sísmica.....	38
Estimación amenaza sísmica en la zona de estudio	40
Metodología para determinar la amenaza sísmica	41
Geología	44
Vulnerabilidad	56
Evaluación de la vulnerabilidad.....	59
Funciones de vulnerabilidad.....	63
Elementos expuestos.	65
Trabajo de campo.....	67
Evaluación de la vulnerabilidad.....	70
Conclusiones.....	77
Presupuesto	79

Evaluación del riesgo sísmico de las edificaciones en la ciudad de Cartago

Prof: Gustavo Rojas M.



Basilica de Nuestra Señora de los Angeles

Introducción

Los primeros meses del año de 1910, fueron tiempos pasivos y tranquilos en la Ciudad de Cartago, Costa Rica, en el cielo el cometa Halley empezaba a aparecer majestuosamente, el cual luego de las 4 de la mañana y según crónicas de la época, su cola ocupaba todo el firmamento, pareciendo arañar las montañas, pero para los pobladores esto significa un mal augurio, debido al poco conocimiento que estos tenían del fenómeno, era en estos días que frase “señales en el cielo desgracias en la tierra”, toma un significado más profundo en la gente.

Adicionalmente los periódicos locales, informaban a la población que el 8 de mayo de ese año, la tierra cruzaría la cola del cometa, sin que los científicos pudieran predecir que pasaría en ese momento, creando aún más preocupación entre las personas.

Es en este clima de preocupación, es que el 13 de abril de 1910, se ven cumplidos todos los temores de la población, a las 12:30 del mediodía, un fuerte terremoto sacude la ciudad causando graves daños a las casas, iglesias y edificios públicos de la ciudad, y sus alrededores, iniciando el peor ciclo sísmico de la historia costarricense hasta el día de hoy.

La población empezó a vivir en tiendas y galerones improvisados, en los parques y terrenos baldíos, la Municipalidad local inicia medidas para desalojar de lugares peligrosos a las personas e inicia la construcción de refugios provisionales, bodegas y centros de auxilio a los lados de la ciudad y en el parque central el 14 de abril.

El Presidente de Costa Rica, don Cleto Gonzalez Víquez, nombra una Junta Nacional de Socorro para canalizar las ayudas recibidas a los damnificados, en febrero de ese mismo las elecciones presidenciales las había ganado el señor don Ricardo Jiménez Oreamuno, quién tomaría posesión el día 8 de mayo.



Y así, transcurría el mes de abril de 1910, donde la población cartaginesa experimentaba hasta 40 sismos diarios de regular intensidad, al final de la tarde del 4 de mayo de 1910, luego de un retumbo subterráneo, a las 6:50 minutos de la tarde, un rápido y violento terremoto calculado en una magnitud de entre 7 y 7,9 grados en la escala de Richter y con una duración de 16 segundos, destruyó

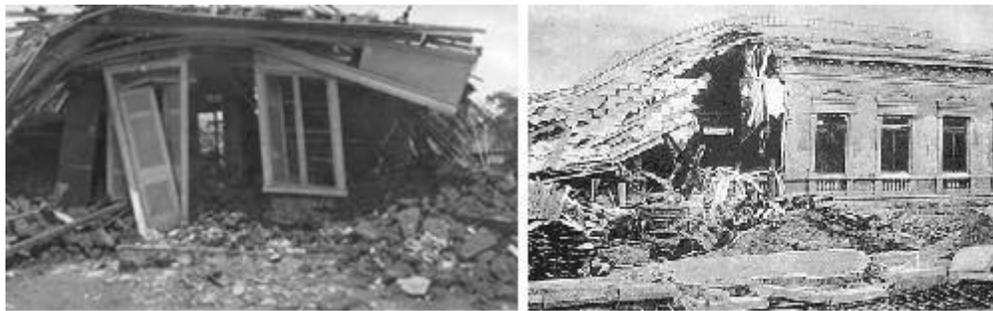
la ciudad Colonial de Cartago, percibiendo la población minutos antes un ligero levantamiento con dirección este, como se puede observar en las fotografías.

El epicentro se situó cerca de la ciudad, provocando la muertes a muchos ciudadanos en sus casas, y aceras, por la intensidad del terremoto que no permitió a las personas mantenerse en pie y huir, escuchándose luego del evento sísmico por toda la ciudad los gritos de los heridos y atrapados en los escombros o el de sus familias pidiendo ayuda.

Las ciudades aledañas de Paraíso y Aguacaliente ubicadas al sureste fueron devastadas, mientras que los poblados de Tobosí, Bermejo y San Blas mostraron pocos daños, pero la Ciudad de Cartago vio pocas construcciones en pie y las que quedaron en pie necesitaron remodelarse y reforzarse para poder utilizarse.

Pocos minutos después del terremoto los sobrevivientes pudieron apreciar una bola de fuego cruzando el firmamento desde el este, este hecho fue visto en todo el país, los tripulantes del vapor alemán Hartor que se encontraban anclados en el Golfo de Nicoya informaron también de este fenómeno, asegurando los marineros que el cielo se ilumino y la bola de fuego cayó cerca de la Isla de Chira, encrespando fuertemente el oleaje.

No se conoce la cantidad total de víctimas, por orden del presidente don Cleto Gonzalez Víquez se sepultaron en una fosa común 700 víctimas, y muchas más tuvieron que sepultarse de la misma manera en los días siguientes.



Decretando Duelo Nacional por acuerdo Nro. 183 del 5 de mayo de 1910.

Objetivo general

El objetivo principal del proyecto consiste en realizar una evaluación del riesgo sísmico de las edificaciones en la Ciudad de Cartago.

Objetivos específicos.

- Definir la amenaza sísmica en la zona de estudio.
- Definir una metodología para evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones basada en metodologías existentes y su adaptación al país.
- Desarrollar una herramienta computacional para la obtención de la información de campo, basada en el uso de dispositivos móviles y utilizar un sistema de información geográfico, para el análisis de la información y de los resultados.
- Realizar un inventario de las edificaciones en la zona de estudio.
- Realizar una estimación del riesgo sísmico.

Justificación

Nuestro país, por su ubicación geográfica, presenta una amenaza sísmica muy alta. Los sismos de las últimas décadas, que han afectado fuertemente a algunas de nuestras principales ciudades, hacen evidente la necesidad de que el país se prepare con acciones preventivas que tiendan a disminuir el riesgo sísmico, como medida racional para enfrentar los desastres. En el proyecto se propone realizar una evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Cartago, siendo ésta una de las ciudades más importantes por su economía, y que por su historia conocida es propensa a sufrir el embate de los sismos.

Zona de estudio

La zona de estudio se ha definido como el cantón Central de la provincia de Cartago, específicamente los distritos oriental y occidental. Estos distritos comprenden la zona más antigua de la ciudad, presentando una mayor diversidad de edificaciones tanto residenciales como comerciales y de otra índole. Además es la zona en donde se desarrolla con mayor grado el comercio del cantón, por ser precisamente la zona central. En los últimos años o décadas, la ciudad se ha desarrollado hacia sus alrededores, dándose un mayor crecimiento habitacional hacia la zona norte y sur del cantón, hacia el oeste se tiene un desarrollado principalmente de industrias y hacia el este el desarrollado a sido un poco más variado con desarrollo residencial, industrial y comercial. En otros trabajos (Jiménez, 2012), se han realizado estimaciones del riesgo sísmico, enfocándose principalmente hacia las zonas con mayor densidad habitacional, por lo que se considera importante estudiar la zona central del cantón, tal como lo propone el presente proyecto.



Figura 1. Zona de estudio, distritos Oriental y Occidental del cantón Central de Cartago.
Fuente: Google Earth.

Sismicidad

Aproximadamente 2 millones de terremotos se produjeron en el siglo XX. La mayoría de ellos fueron de baja magnitud, causando bajas fatalidades. Una alta magnitud es un término relativo, pero como una guía, los 10 eventos más grandes desde 1910 fueron de una magnitud mayor a $M_w=8.5$. Alguna relación existe entre la magnitud de un terremoto y el impacto que el evento pueda ocasionar. Por ejemplo el sismo de Sumatra con una magnitud de $M_w= 9.1$ del 2004, está entre los 10 mayores en magnitud y en muertes, porque muchas de las pérdidas se debieron al tsunami asociado al evento sísmico, pero también han ocurrido sismos de baja magnitud, que han ocasionado grandes pérdidas de vidas humanas, como por ejemplo el sismo de Tangshan en China de 1976. Las mayores pérdidas en vidas humanas y en infraestructura ocurren cuanto el sismo ocurre en lugares con un alto nivel de exposición y vulnerabilidad.

10 mayores terremotos desde 1900			10 mayores fatalidades debidas a terremotos			
Ubicación	Año	Magnitud M_w	Ubicación	Año	Fatalidades	Magnitud estimada M_w
Chile	1960	9.5	Shensi, China	1556	830000	8
Alaska	1964	9.2	Tangshan, China	1976	255000	7.5
Sumatra	2004	9.1	Aleppo, Siria	1138	230000	
Japón	2011	9	Sumatra	2004	227898	9.1
Kamchatka	1952	9	Haití	2010	222570	7
Chile	2010	8.8	Damghan, Irán	856	200000	
Ecuador	1906	8.8	Ningxia, China	1920	200000	7.8
Alaska	1965	8.7	Ardabil, Irán	893	150000	
Indonesia	2005	8.6	Kanto, Japón	1923	142800	7.9
Assam-Tibet	1950	8.6	Ashkhabad, USSR	1948	110000	7.3

Figura 2. Mayores terremotos ocurridos a lo largo de la historia.

Causas de los terremotos

Los terremotos son causados por el repentino movimiento de las rocas, relativamente cercanas a la superficie terrestre, a lo largo de una zona pre-existente geológicamente débil llamada falla. Son producidos por un incremento del esfuerzo que se desarrolla por el movimiento de las placas tectónicas que produce una deformación progresiva y una acumulación de energía por consiguiente. Cuando se supera la resistencia de las rocas se crean fracturas. La energía almacena entonces es liberada en forma de ondas sísmicas que radian hacia la superficie. El punto de ruptura, llamado hipocentro puede ocurrir que cualquier parte entre la superficie terrestre y una profundidad de 700 km. La ruptura se propaga a lo largo de la línea de falla, radiando ondas sísmicas a lo largo del plano de falla y desde el hipocentro. El tamaño del terremoto depende de la cantidad de desplazamiento que se de en la falla.

La distribución de los terremotos es aleatoria, pero aproximadamente dos terceras partes ocurren o se localizan en el llamado Cinturón del Fuego, alrededor del océano Pacífico. Este patrón está asociado con el movimiento conocido de las placas tectónicas. La corteza terrestre está dividida en 15 placas, las se mueven alrededor del globo terrestre a una velocidad superior a 180 mm por año en promedio y este movimiento es causado por corrientes convectivas producidas en el manto.

Muchos de los terremotos ocurren por el choque de dos placas, especialmente en la zona de subducción, donde una placa se sumerge por debajo de la otra.

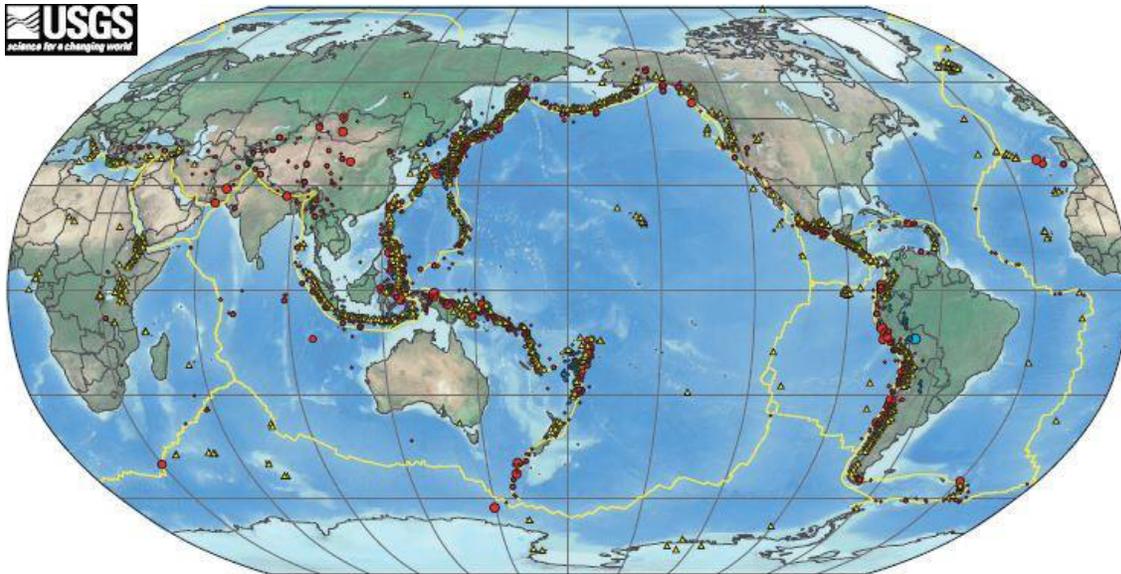


Figura 3. Zona alrededor del mundo donde se producen los mayores terremotos, conocido como el Cinturón de Fuego. Fuente: www.usgs.org

El movimiento de la Tierra, generado por el repentino desplazamiento de la corteza terrestre es llamado un terremoto o sismo, sin mayor distinción entre ambos vocablos. Los terremotos son causados por varios fenómenos naturales, tal como el proceso de tectonismo, volcanismo, falla repentina del terreno en formaciones Kársicas, así como por la misma actividad humana, como grandes excavaciones en minas, explosiones y grandes reservas de agua.

De acuerdo, con la bien aceptada teoría de placas, la corteza terrestre y la parte superior del manto de la tierra, llamada litosfera, con cerca de 50 km de espesor bajo el fondo marino y de 150 km bajo las más altas montañas, está dividida en placas tectónicas, las cuales se mueven como cuerpos rígidos, sobre la menos densa astenosfera. Cerca de la línea media de los océanos, las placas se separan permitiendo fluir hacia afuera el material magmático, enfriándose luego para formar una nueva placa. Debido a este movimiento de separación entre las placas, se produce una subducción o colisión de las mismas placas, cerca de las costas, formando trincheras oceánicas o las cadenas montañosas, según sea el caso. En otros casos, o fronteras, las placas simplemente se deslizan una respecto a otra, en una falla transformada.

Debido al desplazamiento relativo de las placas, altos esfuerzos son producidos en los materiales rocosos, hasta que se excede su resistencia, liberándose la energía acumulada en forma de un terremoto. El plano donde se produce la ruptura es llamado plano de falla o falla tectónica. En muchos casos, estas fallas, se ubican a gran profundidad como en las zonas de subducción (donde se sumerge una placa bajo otra), no siendo visibles, sin embargo existen otras fallas más superficiales que si se puede observar en la superficie. La más famosa, es la falla de San Andreas, en California, con una longitud de 1300 km y que ha producido grandes terremotos a lo largo de cientos de años.

Desde el punto de vista científico, se conocen como fallas activas aquellas que han mostrado desplazamientos en los últimos cientos de miles de años y que continuarán moviéndose en el futuro.

Desde el punto de vista ingenieril, la definición de una falla activa, depende del tipo e importancia de las estructuras que se construyen en sus cercanías. En el caso de edificaciones ordinarias, donde se contemplan terremotos con un período de retorno de 475 años en el diseño, las fallas se consideran activas se han tenido desplazamientos en los últimos 11000 años. En el caso de plantas nucleares, el criterio es más estricto, y se consideran activas aquellas fallas que han evidenciado movimientos en los últimos 350000 años.

El desplazamiento de las placas a lo largo de sus líneas de falla, puede ser vertical, horizontal o una combinación de ambas. Dependiendo de la dirección del movimiento, estos son clasificados en: fallas normales, donde un bloque se desplaza verticalmente sobre el otro, fallas inversas, donde el bloque superior se mueve hacia arriba, fallas laterales, ya sean izquierdas o derechas.

Las principales placas se listan a continuación:

1. Placa Africana
2. Placa Antártica
3. Placa Árabe
4. Placa Australiana
5. Placa de Cocos
6. Placa del Caribe
7. Placa Escocesa(Scotia)
8. Placa Euroasiática
9. Placa Filipina
10. Placa Indo-Australiana
11. Placa Juan de Fuca
12. Placa de Nazca
13. Placa del Pacífico
14. Placa Norteamericana
15. Placa Sudamericana

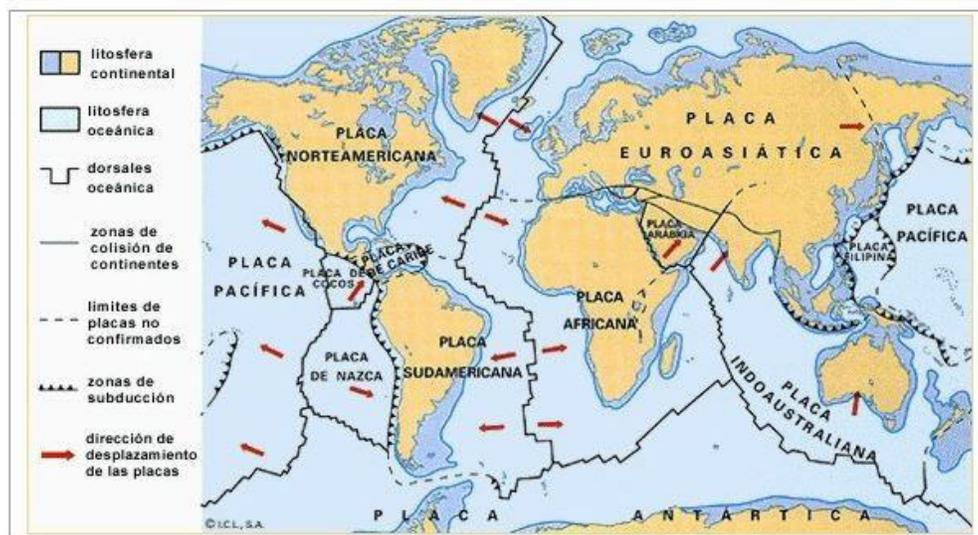


Figura 4. Placas tectónicas y su movimiento relativo. Recuperado de: www.profesorenlinea.cl.

La superficie o plano en donde se origina el movimiento y se generan las ondas sísmicas se conoce como foco o hipocentro. La proyección de este, sobre la superficie de la Tierra se le llama epicentro. o obstante que se definen como puntos, se debe entender que más bien corresponden o representan

áreas en donde se da el deslizamiento entre las placas a lo largo de las fallas y en donde el impacto del terremoto en la superficie fue más severo, respectivamente. El área epicentral depende de la intensidad del terremoto, del tamaño de la falla y de la profundidad del foco. Los terremotos son considerados superficiales o poco profundos si su foco no sobrepasa los 70 km de profundidad. En el caso de terremotos profundos están pueden generarse hasta profundidades de 700 lm, resultando que no son extremadamente fuertes o no impactan grandemente en la superficie.



Figura 5. Epicentro, hipocentro definición. Referencia: www.artinaid.com/2013/04/los-terremotos-osismos.

Onda sísmicas

Dos tipos de ondas sísmicas son generadas a partir de la zona de deslizamiento o ruptura, las cuales se propagan hasta la superficie. Son llamadas ondas de cuerpo, propiamente ondas longitudinales o de compresión, las cuales se propagan en la misma dirección como una vibración y ondas transversales o de cortante, las cuales se propagan de manera perpendicular a la vibración. Como las ondas longitudinales presentan una velocidad mayor de propagación que las ondas transversales son llamadas ondas primarias u ondas P y las segundas son llamadas ondas secundarias o ondas S.

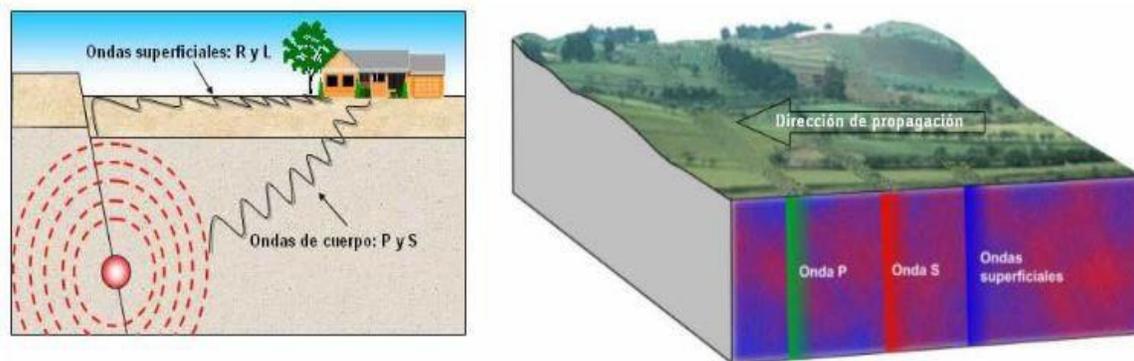


Figura 6. Ondas sísmicas propagación. Recuperado de: Laboratorio Ingeniería Sísmica.

Las ondas de superficie son el resultado de la refracción y reflexión de las ondas P y S al llegar a la superficie, durante su propagación a través de las diferentes formaciones o estratos de la corteza. Se propagan en la superficie de dos maneras: las ondas Love o L, las cuales vibran en un plano paralelo

a la superficie y en dirección perpendicular a la dirección de propagación y las ondas Raleigh o R que vibran de manera elíptica en un plano perpendicular a la superficie.

En resumen tenemos:

Las ondas P (**PRIMARIAS**) son ondas longitudinales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Velocidades típicas son 330m/s en el aire, 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito.

Las ondas S (**SECUNDARIAS**) son ondas transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que ésta.

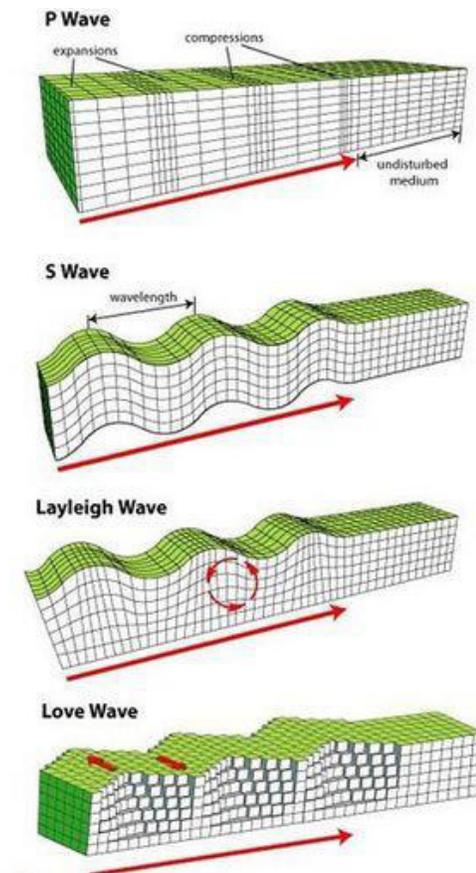


Figura 7. Ondas sísmicas. Referencia: Grajeda Genaro. www.proyecto40.com

Ondas de Rayleigh, cuando un sólido posee una superficie libre, como la superficie de la tierra, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad, y son conocidas como ondas de Rayleigh en honor al científico que predijo su existencia. La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda. Una analogía de estas ondas lo constituyen las ondas que se producen en la superficie del agua.

Ondas de Love, son otro tipo de ondas superficiales son ondas de Love llamadas así en honor del científico que las estudió. Estas se generan sólo cuando un medio elástico se encuentra estratificado, situación que se cumple en nuestro planeta pues se encuentra formado por capas de diferentes características físicas y químicas. Las ondas de Love se propagan con un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra, es decir sólo poseen la componente horizontal en la superficie. Las ondas de Love pueden considerarse como ondas S "atrapadas" en la superficie. Como para las ondas de Rayleigh, la amplitud de las mismas decrece rápidamente con la profundidad. En general su existencia se puede explicar por la presencia del vacío o un medio de menor rigidez, tiende a compensar la energía generando este tipo especial de vibraciones.

Velocidad de las ondas

Se puede demostrar teóricamente y se observa experimentalmente que la velocidad de las ondas es tal que: $V_{R,L} < V_s < V_p$. Donde V_p , V_s y $V_{R,L}$ son las velocidades de las ondas P, S y de Rayleigh y Love respectivamente. Entre estas dos últimas no puede establecerse un orden de velocidades porque esta depende de muchos factores y no siempre viajan con la misma velocidad.

Las velocidades de las diferentes ondas dependen de las características del medio; por ejemplo, en rocas ígneas la velocidad de las ondas P es del orden de 6 Km/s, mientras que en rocas poco consolidadas es de aproximadamente 2 Km/s o menor.

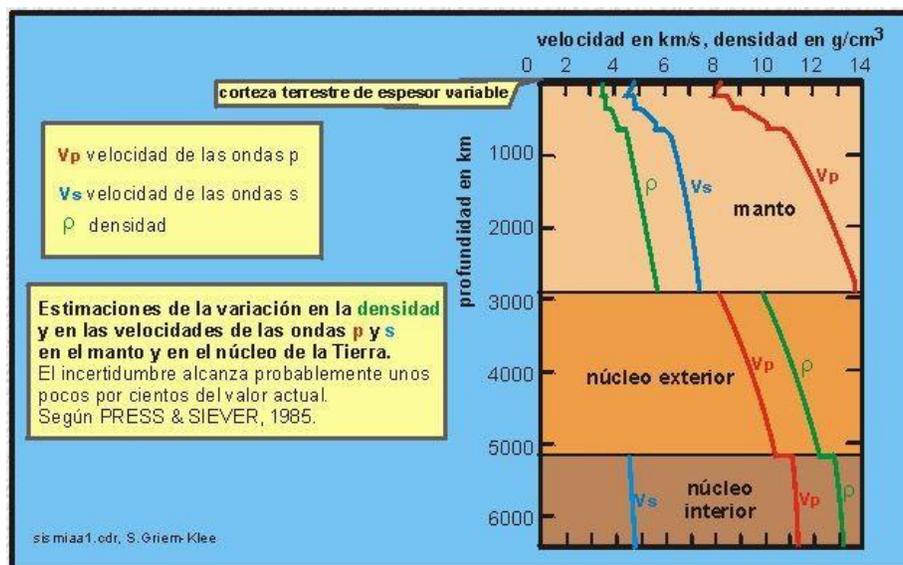


Figura 8. Velocidad de ondas sísmicas. Recuperado de: <http://www.lpi.tel.uva.es>.

La secuencia típica de un terremoto es: primero el arribo de un ruido sordo causado por las ondas ("P"), luego las ondas ("S") y finalmente el "retumbar" de la tierra causado por las ondas superficiales.

Las ondas que se generan en el foco del terremoto, se propagan a través de las diferentes capas de rocas o suelos, y en su camino hacia la superficie son reflejadas o refractadas, pero también cambian su amplitud y frecuencia de oscilación. En otras palabras. Son filtradas, atenuadas o amplificadas, debido a las diferentes características o propiedades de los materiales que atraviesan. Cuando finalmente llegan a la superficie e inducen entonces la vibración en las edificaciones, ellas reflejan no solo las características del movimiento en su punto de origen, sino que también las características propias del sitio en particular.

Magnitud

Los terremotos son medidos en el epicentro, o punto sobre la superficie de la Tierra, directamente encima del hipocentro y su tamaño o magnitud es calculada sobre la base de una escala llamada Escala Richter. Esta describe el movimiento en términos de la energía total liberada por el terremoto en forma de ondas sísmicas que irradian desde el plano de falla. La energía es calculada con un sismógrafo que capta la amplitud del movimiento durante el terremoto. Este sistema mide la magnitud local del terremoto (ML) y no permite la lectura de grandes movimientos. Hoy en día, se usa más la magnitud momento (Mw), la cual considera el área de ruptura en la falla y la cantidad de movimiento que ha producido, lo cual se considera es una medida más confiable de la cantidad de energía liberada.

Es importante conocer que la escala de Richter no es una escala lineal, sino más bien logarítmica, siendo que cada punto en la escala es 10 veces más grande que la anterior. Así un sismo de magnitud ML=7 es 10 veces más grande o liberada 10 veces más energía que un sismo de magnitud ML=6 y 1000 veces más que un sismo de magnitud ML=4. En la escala magnitud momento cada incremento en la unidad representa una liberación de energía 32 veces más grande que la predecesora, así un sismo de Mw=6.0 libera 32 veces más energía que un sismo de magnitud 5.0 y un sismo de Mw=9 cerca de un millón más de energía que uno de Mw=5. Esta escala no tiene un límite superior, pero se reconoce que un sismo debe alcanzar por lo menos una magnitud de Mw=4.0 para producir algún tipo de daño en la superficie, tales eventos ocurren varias veces cada día en todo el mundo, pero causan daños no significativos.

Descripción	Magnitud(Mw)	Promedio anual	Daño potencial
Grande	> 8	1	Destrucción total, pérdidas grandes de vidas.
Mayor	7 - 7.9	18	Serios daños en edificios, pérdidas de vida significativas.
Fuerte	6 - 6.9	120	Grandes pérdidas especialmente en zonas urbanas.
Moderado	5 - 5.9	800	Pérdidas importantes en zonas pobladas.
Ligero	4 - 4.9	6200	Usualmente sentido, algunas estructuras con daños.
Menor	3 - 3.9	49000	Sentido por las personas pero pocos daños.
Muy menor	< 3	9000 por día	No sentido por las personas, pero sí registrado.

Figura 9. Frecuencia anual de terremotos.

La cantidad de daños que un terremoto puede producir depende de varios factores entre los cuales sobresalen:

- **Duración del evento:** en general largos períodos de la sacudida producen más daños que aquellos de menor duración, para una misma magnitud del evento.
- **Distancia a la falla:** las ondas sísmicas pierden energía conforme se alejan de la fuente.
- **Condiciones locales:** muchas condiciones locales o propias de un sitio en particular afectan el paso de las ondas sísmicas, resultando que las propiedades de los suelos y rocas, alteran las características de las ondas y la propia topografía del sitio, producen una alteración significativa.
- **Densidad de población:** si la densidad de población es alta, más cantidad de personas tienen el riesgo de sufrir los efectos negativos de un terremoto.
- **Calidad de la construcción:** los edificios con deficiente calidad en sus materiales, estructuras no reforzadas, con grandes pesos, tienden a sufrir más colapsos.

Intensidad

La intensidad de un terremoto es una medida del movimiento o sacudida del terreno, que se relaciona mejor con la cantidad de daño o pérdida que con la magnitud del sismo. La intensidad es estimada según la Escala Mercalli Modificada (MM), la cual asigna un valor numérico a la observación de la naturaleza y el alcance de los daños físicos después del evento. Por ejemplo un valor de MM=1 significa que no fue sentido por las personas y un nivel de MM=XII significa total destrucción. En primera instancia la escala MM es la menos científica de las mediciones, sin embargo provee una descripción cualitativa del efecto del sismo sobre los humanos, capturando elementos importantes del impacto del movimiento sísmico.

Grado	Descripción
I. Muy débil	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
II. Débil	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III. Leve	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
IV. Moderado	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V. fuerte	La mayoría de las personas lo percibe aun en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden llegar a derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
VI. Bastante Fuerte	Lo perciben todas las personas. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien, se les oye crujir.
VII. Muy fuerte	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Se dañan los muebles. Caen trozos de mampostería, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos.
VIII. Destructivo	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aun el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
IX. Ruinoso	Pánico generalizado. Todos los edificios sufren grandes daños. Las casas sin cimentación se desplazan. Se quiebran algunas canalizaciones subterráneas, la tierra se fisura.
X. Desastroso	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. El agua de canales, ríos y lagos sale proyectada a las riberas.
XI. Muy desastroso	Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las cañerías subterráneas quedan totalmente fuera de servicio.
XII. Catastrófico	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

Figura 10. Escala de intensidad Mercalli. Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

Ocurrencia de los sismos.

Los terremotos no ocurren regularmente en tiempo ni en espacio. Mientras que su localización puede ser bien definida (a lo largo de las zonas de fallas, bien conocidas) por medio de los estudios geológicos y de la teoría de placas tectónicas, su ocurrencia en una zona dada, debe ser estimada a partir de estudios de correlación y de las observaciones instrumentales.

En el caso de que se cuenta con un buen historial sísmico, se pueden establecer relaciones entre la magnitud y el número n de terremotos de una determinada magnitud o más grande, como:

$$\log n = a - b M$$

donde a y b son constantes que dependen de la zona y del intervalo de tiempo. Utilizando un modelo de distribución de Poisson, se puede obtener la probabilidad de ocurrencia de un sismo, la cual se puede establecer según dos criterios:

- a) Evaluando el período de retorno de un sismo o
- b) Evaluando la probabilidad de ocurrencia de un evento P_T un período dado de tiempo.

El período de retorno se define como el tiempo o periodo entre dos sismos de una magnitud igual o más grande. Así en el caso de un evento con un período de retorno de 100 años, se espera que pueda ocurrir 10 veces en 1000 años.

Por consecuencia, la probabilidad de ocurrencia de un terremoto, con un período de retorno R , en una año es: $P_1 = 1/R$ (0.01 para un período de retorno de 100 años) y por lo tanto la probabilidad de que no ocurra en el mismo año es $1 - P_1$ (0.99, en el caso anterior). Estas relaciones pueden ser utilizadas para evaluar la probabilidad de ocurrencia en períodos largos de tiempo. Si el período en años se le denomina T , la probabilidad de no ocurrencia para un sismo con un período de retorno de 100 años, será $(1-P_1)^T$, así la probabilidad de que un sismo con una magnitud dada o mayor, ocurra en un período de tiempo T , puede ser estimada según:

$$P_T = 1 - (1-P_1)^T$$

Así por ejemplo, la probabilidad de que un sismo con $R=100$ años ocurra, dentro de un período de 100 años es:

$$P_{100} = 1 - (1-1/100)^{100} = 0.63$$

Por lo que la probabilidad de que no ocurra será de $1 - 0.63 = 0.37$. Se puede concluir que la probabilidad de ocurrencia de un sismo con un período de retorno R , en un intervalo de tiempo igual a R será siempre 0.63.

La probabilidad de ocurrencia de un sismo con un período de retorno de 475 años, dentro de un intervalo de 100 años, se estima como:

$$P_{100} = 1 - (1-1/475)^{100} = 0.19$$

La cual es relativamente alta, pero es de interés dado que es el período de retorno de un sismo, que es utilizado en las normas de diseño sísmico para obras de normal importancia.

Efecto sobre las edificaciones

La medida de la intensidad refleja los efectos de un terremoto sobre las edificaciones, sin embargo, puede ser usada solo para evaluar los daños en tipos de edificios similares cuando están sujetos a movimientos de similar intensidad. La intensidad no puede ser usada como un parámetro para el diseño, a menos que se correlacione como parámetros físicos como aceleración, fuerzas y otros. La aceleración del suelo, a_g es considerado como el parámetro más apropiado, dado que las fuerzas inducidas son producto de esa aceleración, en general $F = ma$, donde m sería la masa del edificio.

Por esa razón, relaciones entre la intensidad y la aceleración han sido propuestas, para ser usadas como parámetro de diseño. Por ejemplo, la fórmula siguiente, relaciona la intensidad I en la escala Mercalli, como la aceleración pico (máxima).

$$\text{Log } a_g = 0.25 I + 0.25$$

Intensidad	VII	VIII	IX
Ecuación	10	18	32

Es frecuente expresar la aceleración, obtenida de la ecuación anterior en términos de la gravedad (9.81 m/s^2), con que se obtienen los valores de la tabla anterior.

No obstante, las fuerzas inducidas en una estructura, no solo dependen de la intensidad del movimiento sino que además dependen de la respuesta de la misma estructura o sus propias características.

El movimiento producido por un sismo es complejo espacialmente, por lo que se obtienen las componentes del movimiento en sus direcciones norte-sur, este-oeste y vertical, de la aceleración, velocidad o desplazamiento.

Sismicidad regional

La región centroamericana se sitúa en una de las zonas más propensas a sufrir desastres naturales debido a su posición geográfica y a los procesos de acumulación de riesgos que se presentan, tanto por sus niveles de vulnerabilidad de la población en general, la infraestructura y el medio ambiente, así como por el incremento de las amenazas de origen natural, socio-naturales y tecnológicas.

La región de América Central se caracteriza por tener una alta sismicidad, que ha sido la causa de muchos terremotos destructivos a lo largo de su historia. La mayoría de los sismos destructores ocurren en la zona de subducción en la costa Pacífica, pero también se da una alta sismicidad producto de sus fallamientos locales. La mayoría de los sismos en América Central ocurren principalmente a lo largo de la zona de subducción y el arco volcánico. Otras zonas con actividad sísmica importante incluyen el sistema de fallas de Motagua-Polochic, en Guatemala; el cinturón Deformado del Norte de Panamá y la Zona de Fractura de Panamá. Se reconoce que el potencial de daños de los sismos de la cadena volcánica es mayor que los de la zona de subducción por su foco somero y proximidad a los centros de población más importantes.

Los principales sismos ocurridos en Centroamérica con una magnitud mayor a 6.50 durante el período de 1900-2012, se presentan en la siguiente figura, en donde se observa su ubicación a lo largo y ancho de toda la región.

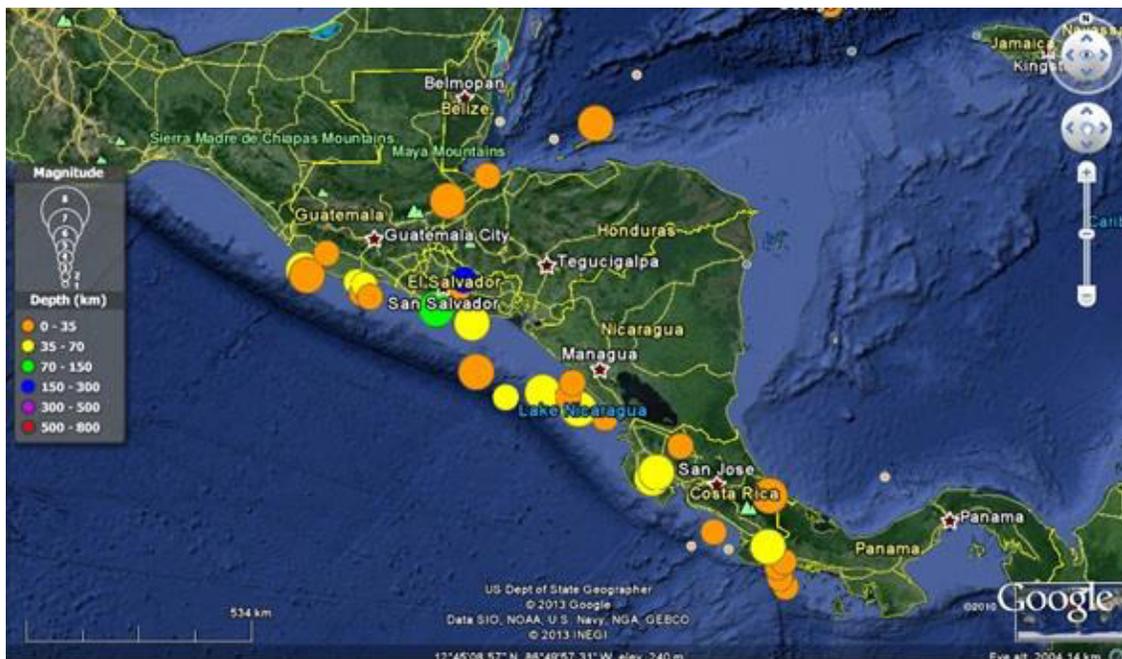


Figura 11. Principales sismos en Centroamérica - 1900-2012 con magnitud mayor a 6.50

Recuperado de: <http://www.ncedc.org/cgi-bin/catalog-search2.pl>

Catálogo ANSS Advanced National Seismic System.

Listado de sismos ocurridos en Centroamérica con magnitud mayor a 6.5.

Date	Time	Lat	Lon	Depth	Mag	Magt
1962/03/12	11:40:12.20	8.1000	-82.9000	30.00	6.75	Unk
1973/04/14	08:34:00.10	10.6790	-84.7590	33.00	6.50	Ms
1976/02/04	09:01:43.40	15.3240	-89.1010	5.00	7.50	Ms
1978/08/23	00:38:32.20	10.2040	-85.2220	56.00	7.00	Ms
1979/07/01	20:38:04.00	8.3160	-82.9430	28.00	6.50	Ms
1979/10/27	14:35:57.30	13.8330	-90.8810	58.00	6.80	Ms
1979/10/27	21:43:24.90	13.7780	-90.7300	65.00	6.60	Ms
1982/06/19	06:21:58.00	13.3130	-89.3390	81.60	7.00	Unk
1983/04/03	02:50:01.18	8.7170	-83.1230	37.00	7.30	Ms
1983/12/02	03:09:05.66	14.0660	-91.9240	67.10	7.10	Unk
1991/04/22	21:56:51.82	9.6850	-83.0730	10.00	7.60	Ms
1992/09/02	00:16:01.69	11.7420	-87.3400	44.80	7.20	Ms
1996/03/03	14:55:11.86	11.6570	-86.8560	33.00	6.80	Mw
1996/03/03	16:37:31.52	11.9050	-86.7720	33.00	6.80	Mw
1997/11/09	22:56:42.75	13.8490	-88.8080	176.40	6.50	Me
1998/01/10	08:20:05.76	14.3740	-91.4730	33.00	6.60	Mw
1998/08/23	13:57:15.38	11.6630	-88.0380	54.60	6.70	Me
1999/07/11	14:14:16.53	15.7820	-88.3300	10.00	6.70	Mw
1999/08/20	10:02:21.10	9.0440	-84.1590	20.00	6.90	Mw
2001/01/13	17:33:32.38	13.0490	-88.6600	60.00	7.70	Mw
2001/02/13	14:22:05.82	13.6710	-88.9380	10.00	6.60	Mw
2002/07/31	00:16:44.61	7.9290	-82.7930	10.00	6.50	Mw
2003/01/21	02:46:47.74	13.6260	-90.7740	24.00	6.50	Mw
2003/12/25	07:11:11.59	8.4160	-82.8240	33.00	6.50	Mw
2004/10/09	21:26:53.69	11.4220	-86.6650	35.00	7.00	Mw
2004/12/14	23:20:13.36	18.9580	-81.4090	10.00	6.80	Mw
2005/07/02	02:16:43.70	11.2450	-86.1720	27.00	6.60	Mw
2007/06/13	19:29:40.18	13.5540	-90.6180	23.00	6.70	Mw
2009/05/28	08:24:46.56	16.7310	-86.2170	19.00	7.30	Mw
2012/08/27	04:37:19.43	12.1390	-88.5900	28.00	7.40	Mw
2012/09/05	14:42:07.88	10.0990	-85.3080	35.00	7.60	Mw
2012/10/24	00:45:32.99	10.0860	-85.2980	17.00	6.50	Mw
2012/11/07	16:35:46.69	13.9630	-91.8540	24.00	7.40	Mw

Tabla 1. Recuperada de <http://www.ncedc.org/cgi.bin/catalog-search2.pl>

Marco sismotectónico

América Central está ubicada dentro de los límites de las placas del Caribe, Norteamérica, Cocos y Nazca, donde los movimientos relativos de las placas, que varían entre 2 a 9 cm/año, están acompañados por volcanismo activo y alta sismicidad superficial e intermedia. Durante los últimos 500 años se han registrado numerosos sismos destructivos con magnitudes moderadas y grandes (mayor a 5.5), los cuales se asocian a fuentes interplaca e intraplaca.

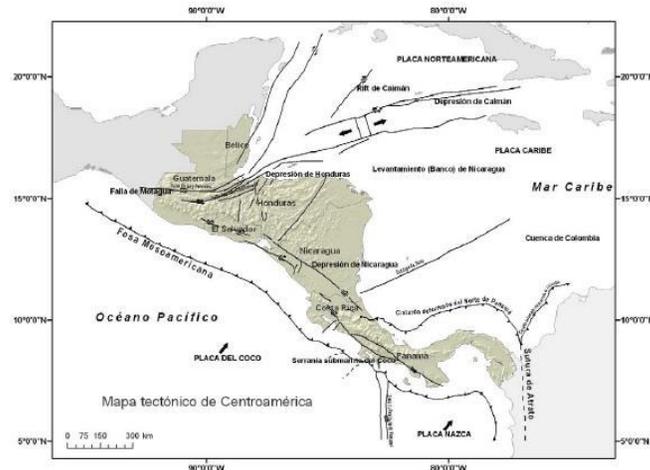


Figura 12. Mapa tectónico de Centroamérica. Referencia: Resis I

Así, la región se localiza en el extremo oeste de la placa Caribe. Esta placa está rodeada por las placas de Norte América y Cocos al suroeste, la de Nazca al sur y la de Sudamérica al este. El contacto Cocos-Caribe es de convergencia o subducción. Las placas de Nazca y Caribe están limitadas por el Cinturón Deformado del Sur de Panamá (CDSP). Las fallas de rumbo de Polochic-Motagua-Chamelecón (ZFPMCH), Zona de Fractura de Panamá (ZFP) y la Zona de Sutura del Atrato (ZSA) forman respectivamente los límites de placas Norteamérica-Caribe, Cocos-Nazca y Caribe-Sudamérica.

Estructuras intraplaca de interés sismotectónico son: el Escarpe de Hess, la Depresión de Nicaragua y la Zona de Falla del Sur de Panamá. Recientemente se postula que la mitad sur de Costa Rica, Panamá y el Noroccidente de Colombia, forman parte de una microplaca a la cual se ha denominado microplaca de Panamá.

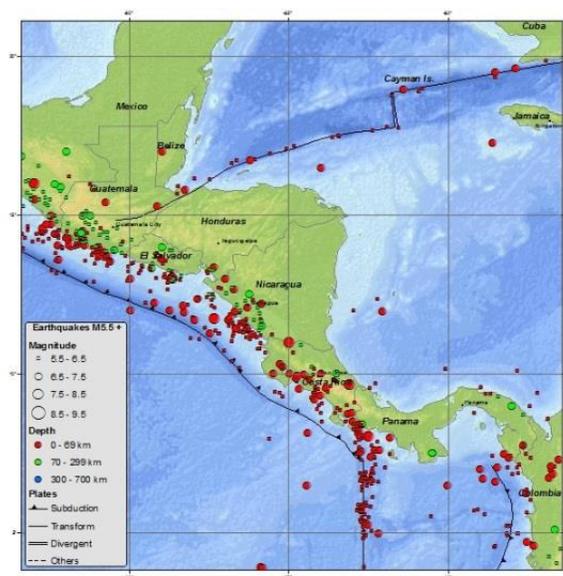


Figura 13. Principales sismos ocurridos en América Central, $M > 5.5$.

Sismicidad de Costa Rica.

Costa Rica está ubicada dentro de los límites de las placas del Caribe, Cocos, Nazca y la microplaca de Panamá, donde los movimientos relativos de las placas varían entre 2 y 9 cm/año y están acompañadas por volcanismo activo y alta sismicidad de profundidad superficial a intermedia. Durante los últimos 500 años se han registrado numerosos sismos destructivos con magnitudes moderadas y grandes entre 5.5 y 7.8 Mw, los cuales se asocian a fuentes de fallamiento cortical y de interacción de placas por subducción o rozamiento lateral.

Marco sismotectónico

Se puede dividir al país, en dos regiones sismotectónicas: la noroeste que se localiza dentro de la de la placa Caribe y la sureste que se ubica dentro de la microplaca Panamá. La frontera entre ambas placas pasa por la región Caribe del país y se denomina Cinturón deformado del Norte de Panamá, para atravesar la región luego la región centro-norte del país.

Las principales estructuras sismotectónicas que se encuentran en el país, se describen a continuación.



Figura 14. Mapa tectónico simplificado de Costa Rica. Fuente: Amenaza CR_2008.

La placa Cocos se desliza bajo el margen Pacífico de toda América Central, bajo la placa del Caribe, a partir de la fosa Mesoamericana con dirección noroeste. Hacia el sureste de la zona de subducción se encuentra la unión de tres placas (Cocos, Caribe y Nazca) zona que se conoce como el punto triple. En esta zona se han producido sismos mayores a Mw 7.0 en 1879, 1927, 1934 y 1962. Entre

los años 2002 y 2004, esta zona fue sacudida por una secuencia de 4 sismos con magnitudes mayores a Mw 6.0. El sismo de 1934 de magnitud Mw 7.4, se considera el más grande ocurrido en esta zona.

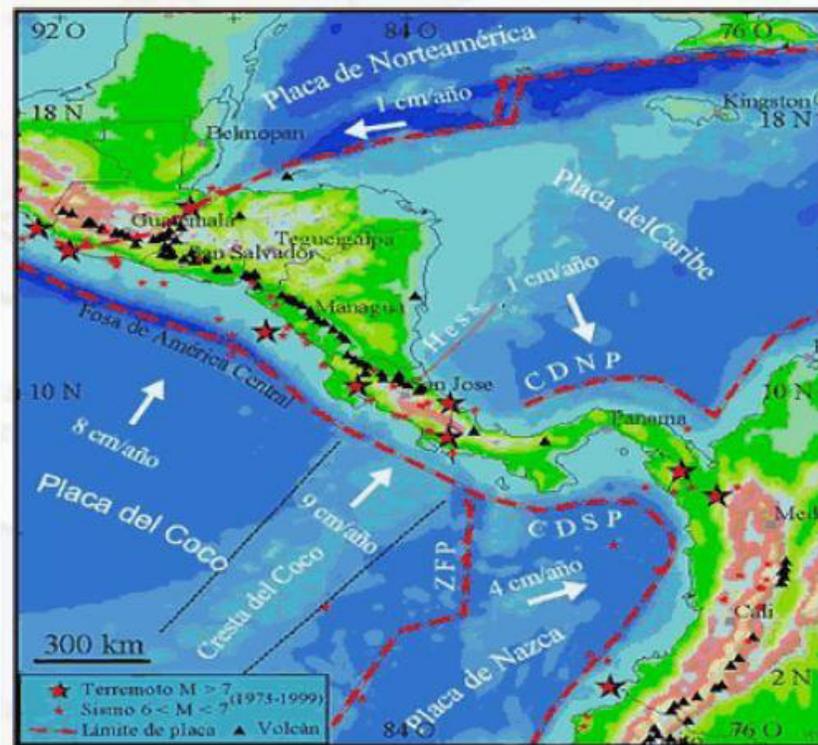


Figura 15. Sistema de placas Costa Rica. Fuente: Fuente: Amenaza CR_2008.

Al sur, la placa Cocos se mueve horizontalmente al norte con relación a la placa de Nazca, a lo largo de la falla transformada de Panamá, conocida como Zona de Fractura de Panamá. Al este del punto triple, la placa de Nazca se subduce bajo el pacífico panameño y al noroeste la placa de Nazca se desliza debajo de la placa Sudamericana.

Ambos cinturones constituyen los límites norte y oeste de la microplaca de Panamá con respecto a la Placa Caribe.

En la región central del país existe un sistema de fallas y pliegues llamado Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. El arco volcánico se extiende desde Guatemala (volcán Tacaná) hasta el volcán La Yeguada (oeste de Panamá) y se interrumpe en el país, en la Cordillera de Talamanca. Normalmente los sismos que se producen en esta zona tienen una magnitud moderada a baja ($M < 6.5$), sin embargo, han causado daños importantes y generado intensidades mayores, que sismos producidos en la zona de subducción.

Las ciudades de San José y Cartago principalmente y en general el Valle Central han sufrido daños repetitivos por sismos locales de magnitud moderada, ocurridos en 1841 y 1910. Otras localidades ubicadas en la cordillera y zonas aledañas han sufrido sismos similares en 1852, 1888, 1911, 1912, 1952 y 1955. En la región noroeste del país también han ocurrido daños por sismos en 1911 y 1973. Se ha establecido que los periodos de recurrencia de los sismos de magnitud intermedia entre 5 y 6.5 en esta región, suelen estar entre los 30 y 60 años.

En el Caribe existe un sistema compresivo compuesto por fallas inversas y pliegues que forman el llamado Cinturón Deformado de Panamá, el cual bordea el litoral Caribe de Panamá y continúa en Costa Rica hasta cerca de Limón. Es una ancha zona arqueada activa localizada en el margen Caribe de Panamá y que se extiende paralela a la costa desde la entrada del Golfo de Urabá en Colombia hasta el este del Valle Central de Costa Rica. Aquí se han registrado sismos grandes en 1822 (Mw 7.5), 1916 (M2 7.0) y en 1991 (M2 7.7). Este último fue somero con una profundidad menor a los 20 km, observándose levantamientos en la costa Caribe de Costa Rica hasta Bocas del Toro, Panamá. Se calcula períodos de recurrencia entre 200-1100 años, para sismos similares.

El Escarpe de Hess es un alineamiento prominente dentro de la Placa del Caribe que separa a una región de tectónica extensional al norte, con otra de tectónica contraccional al sur, en la Cuenca de Colombia. Esta estructura se extiende por más de 1000 km desde la costa Caribe de Nicaragua, hasta Cuba meridional. Hacia el continente, la continuidad del escarpe en el sector fronterizo de Costa Rica y Nicaragua no está bien definida. La sismicidad histórica e instrumental indica que su tasa de sismicidad es muy baja.

Catálogo sísmico.

En las figuras que siguen se presentan de manera gráfica la ocurrencia de sismos en el país, clasificados según diferentes rangos de magnitud.

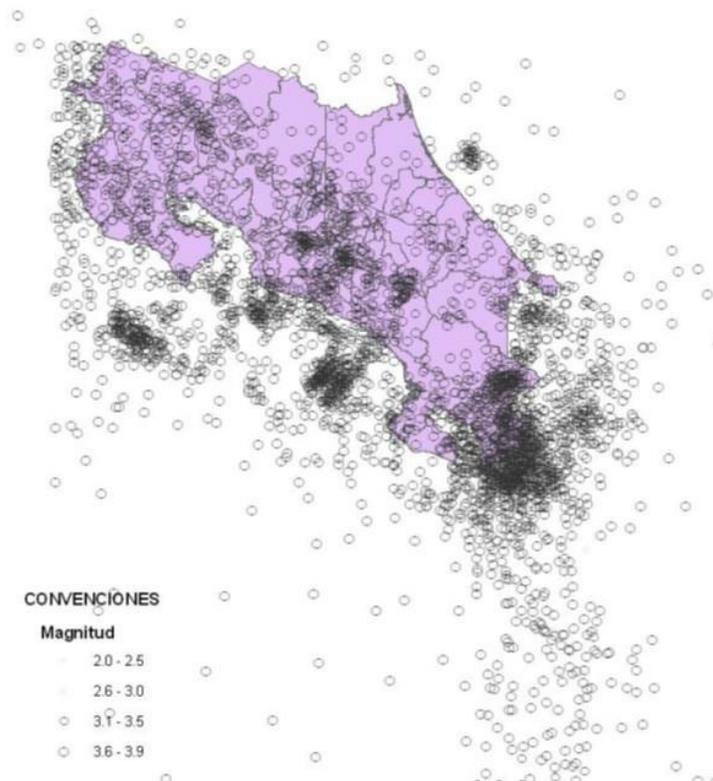


Figura 16. Catálogo sísmico de Costa Rica. Sismos de magnitudes, Mw 2 a 4. Fuente: Amenaza CR_2008.

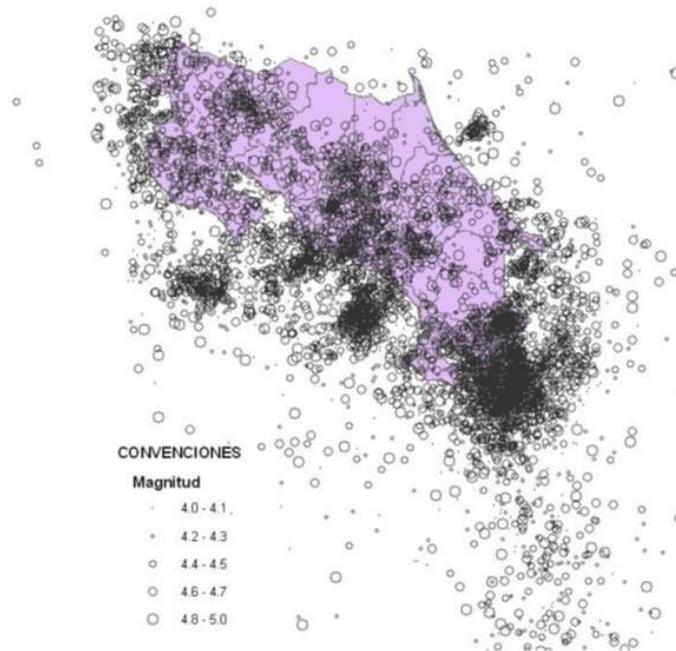


Figura 17. Catálogo sísmico de Costa Rica. Sismos de magnitudes, Mw 4 a 5. Fuente: Amenaza CR_2008.

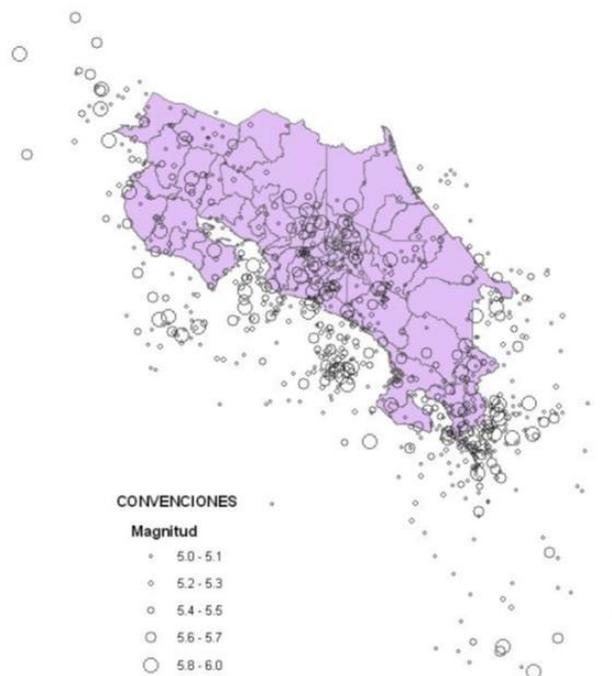


Figura 18. Catálogo sísmico de Costa Rica. Sismos de magnitudes, Mw 5 y 6. Fuente: Amenaza CR_2008.

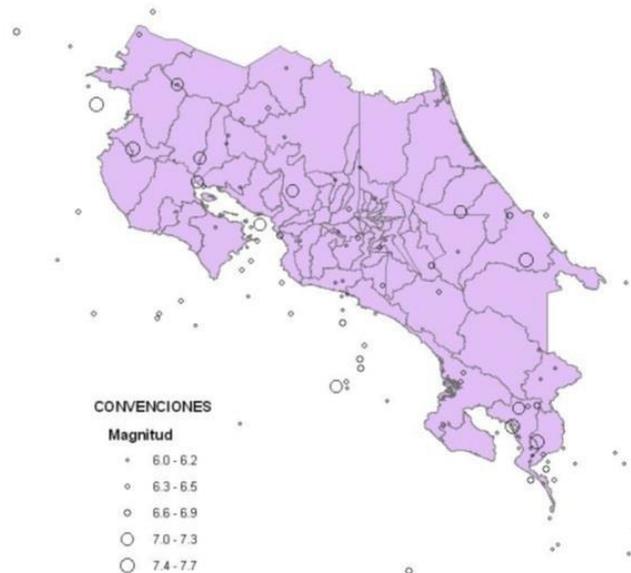


Figura 19. Catálogo sísmico de Costa Rica. Sismos de magnitudes, M_w mayores a 6. Fuente: Amenaza CR_2008.

Dentro de la historia de terremotos de Costa Rica, se destacan una serie de eventos que generaron altos niveles de afectación a la población, y pérdidas económicas importantes. Algunos de los sismos más importantes que han ocurrido en el país, se describen a continuación.

Sismo de San Estanislao, 7 de Mayo de 1822:

En la actual provincia de Limón, se presentó un evento sísmico el 7 de Mayo de 1822, el cual fue sentido principalmente en las ciudades de Cartago y San José. Probablemente corresponde al sismo más violento de comienzos del siglo XIX, con un nivel de afectación en Cartago entre V y VII.

Sismo de San Antolín, 2 de Septiembre de 1841:

Fue el terremoto más impactante para el país durante el siglo XIX. Afectó principalmente a las poblaciones de Cartago y San José. Cerca de 16 personas murieron, y 2860 viviendas quedaron destruidas. La ciudad de Cartago quedó parcialmente destruida, y su reconstrucción tomaría más de diez años en completarse. La intensidad del evento estuvo entre VI y VII, con una magnitud estimada M_w 5.8, profundidad de 10 km, y epicentro aproximado a 20 km de la ciudad de Cartago. Ha sido asociado a la falla de Aguacaliente (desplazamiento de rumbo).

Sismo de Santa Mónica, 4 de Mayo de 1910:

En la tarde del 4 de Mayo de 1910, un violento sismo destruyó por segunda vez la ciudad de Cartago. Cerca de 362 personas perdieron la vida. El evento ocurrió en la falla Aguacaliente, a poca profundidad y con una magnitud de 5.5. La afectación se clasificó entre VIII y IX. Las principales ciudades afectadas fueron Cartago, Aguacaliente, El Paraíso, El Tejar, La villa de los Tres Ríos, y en menor grado San Pedro del Mojón, Sabanilla de los Granados, Guadalupe, San Isidro de la Arenilla, entre otros. Paraíso, El Tejar, La villa de los Tres Ríos, y en menor grado San Pedro del Mojón, Sabanilla de los Granados, Guadalupe, San Isidro de la Arenilla, entre otros.

Sismo de Osa, 5 de Diciembre de 1941:

En la región de Golfo Dulce, al suroeste de Costa Rica, un sismo de magnitud 7.5 sacudió las poblaciones de península de Osa. En la población de Puerto Cortés se reportaron viviendas colapsadas, así como daños en las líneas férreas. La escuela quedó completamente destruida. Se presentaron daños en las poblaciones de Puerto Jiménez, Atenas, San Isidro de Heredia, Tibás, Guadalupe y San Miguel de Santo Domingo. Murieron una persona en Palmar Norte, una en Palmar Sur y cuatro en Golfito.

Sismo de Nicoya, 5 de Octubre de 1950:

En la península de Nicoya se generó un evento sísmico de magnitud 7.7 el 5 de Octubre de 1950. Es el sismo de mayor magnitud registrado en Costa Rica en el siglo XX. Generó afectación y daños importantes en las poblaciones de Puntarenas, Nicoya, Esparza y Alajuela, así como el levantamiento de la costa oeste de la península entre Cabo Velas al norte y Cabo Blanco al sur.

Sismo de Tilarán, 1973:

Un sismo de magnitud 6.5, con epicentro en cercanías a la población de Tilarán, sorprendió al país a las 3:35 de la madrugada. El evento destruyó buena parte de la ciudad. El sismo detonó deslizamientos que mataron 23 personas. 503 viviendas resultaron fuertemente afectadas.

Sismo de Burica, 1 de Julio de 1979:

El 1 de Julio de 1979, un evento sísmico de magnitud 6.7 azotó la península de Burica en zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá. El sismo generó graves daños en edificaciones. La escuela secundaria de Puerto Armuelles (Panamá) colapsó parcialmente por el violento movimiento.

Sismo de Golfito, 2 de Abril de 1983:

El 2 de Abril de 1983, a 15 km de la ciudad de Golfito, se presentó un evento sísmico de magnitud 7.2 a 26 km de profundidad. En zona rural entre las poblaciones de Sierpe, San Francisco de Tinoco y Villa Colón, se informó de al menos de 25 casas severamente dañadas y otras 44 con daños menores. Las rampas de aproximación de los puentes sobre los ríos Olla Cero, Sesenta, Sábalo, La Bonita y Olla Uno, se asentaron hasta 12 cm. Una persona murió. La intensidad del evento se reportó como VIII en las poblaciones de Sierpe, San Francisco de Tinoco y Villa Colón, y VII en Boruca, Térraba, Cajón, Paso Real, Chánguena, Golfito, Ciudad Nelly, Río Claro y Palmar.

Sismo de Cóbano, 25 de Marzo de 1990:

A 19 km del casco urbano de Cóbano se presentó un terremoto de magnitud 7.0 a 22 km de profundidad. La principal afectación se dio en las ciudades de Cóbano y Puntarenas, donde se reportaron 32 casas dañadas y 8 destruidas. No se reportaron muertos o heridos. Constituye el evento sísmico más importante ocurrido en Costa Rica, en la segunda mitad del siglo XX. De magnitud 7.6 y 10 km de profundidad, el evento causó la muerte de 50 personas y dejó pérdidas materiales directas por cerca de 22,000 millones de colones.

Sismo de Limón, 22 de Abril de 1991:

Constituye el evento sísmico más importante ocurrido en Costa Rica, en la segunda mitad del siglo XX. De magnitud 7.6 y 10 km de profundidad, el evento causó la muerte de 50 personas y dejó pérdidas materiales directas por cerca de 22,000 millones de colones. El terremoto ocasionó el

levantamiento de la línea costera del caribe costarricense, desde Moín al norte, hasta Gandoca al sur. Como consecuencia, el principal puerto del país perdió alrededor del 30% de su capacidad operativa. Los daños registrados (puentes, carreteras, viviendas, muelles, canales, cultivos de exportación, refinería de petróleo, instalaciones turísticas), en su mayoría fueron causados por la licuefacción de suelos aluviales, por los deslizamientos y por el levantamiento cortical (hasta 4,70m).

Sismo de Parrita, 22 de Noviembre de 2004:

En la mañana del 22 de noviembre de 2004, se presentó un sismo de magnitud 4.6, a 9 km de profundidad, con epicentro a 2 km de la población de Damas. En las regiones de Parrita y Quepos se presentaron daños y colapso en estructuras defectuosas, con un saldo total de 8 personas muertas.

En la figura siguiente se presentan algunos de los sismos que han ocurrido en el país durante el período 1900 a 2012.

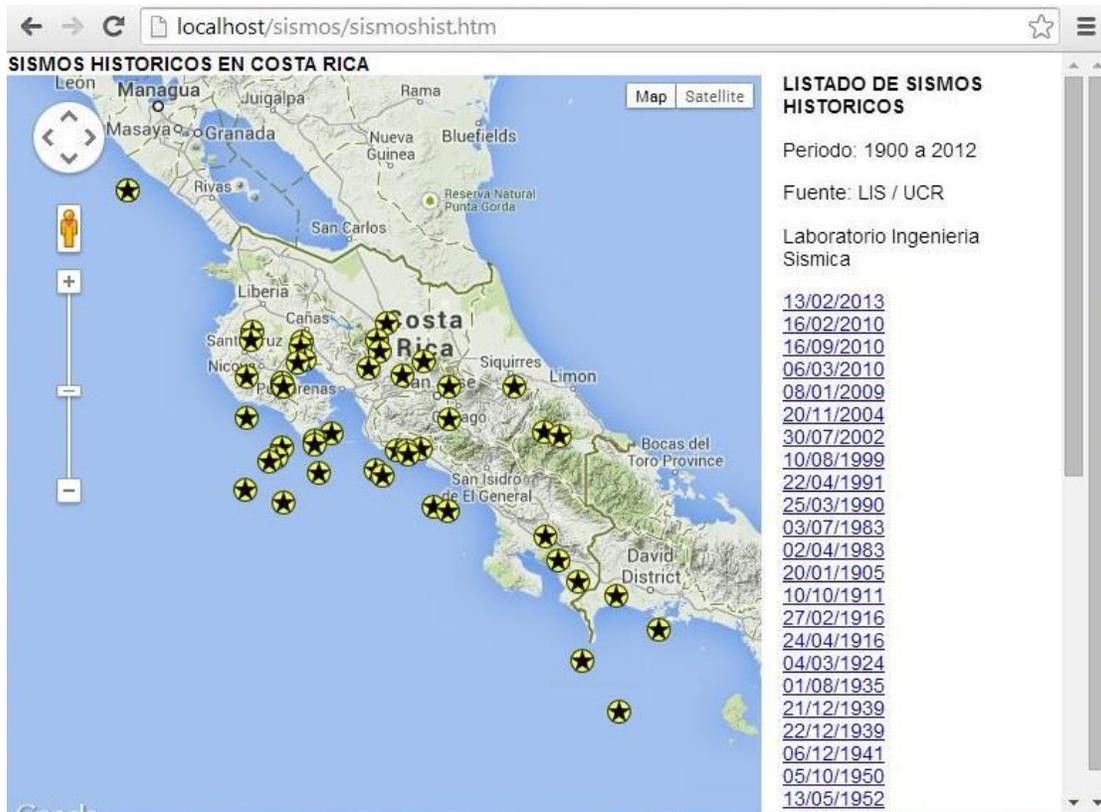


Figura 20. Sismos históricos en el país.

Principales estadísticas

La variación temporal de los sismos, se presenta en la siguiente figura, que comprende los sismos desde 1608 hasta el 2007. A partir del año 1973, se nota un aumento de los sismos, debido al inicio de la instrumentación sísmica.

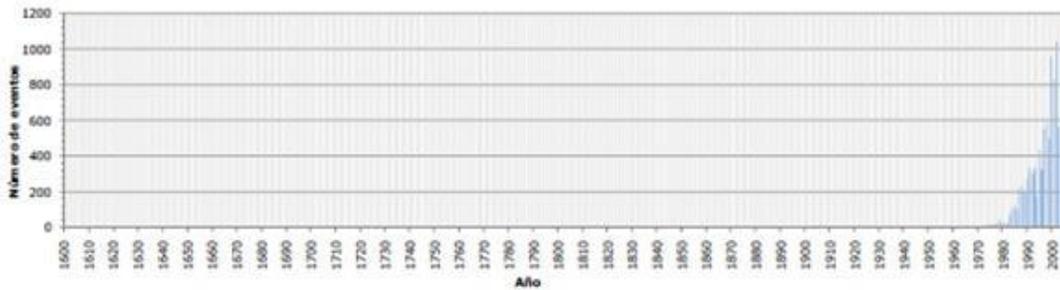


Figura 21. Número de sismos por año registrados en la historia sísmica del país. Fuente: Amenaza CR_2008.

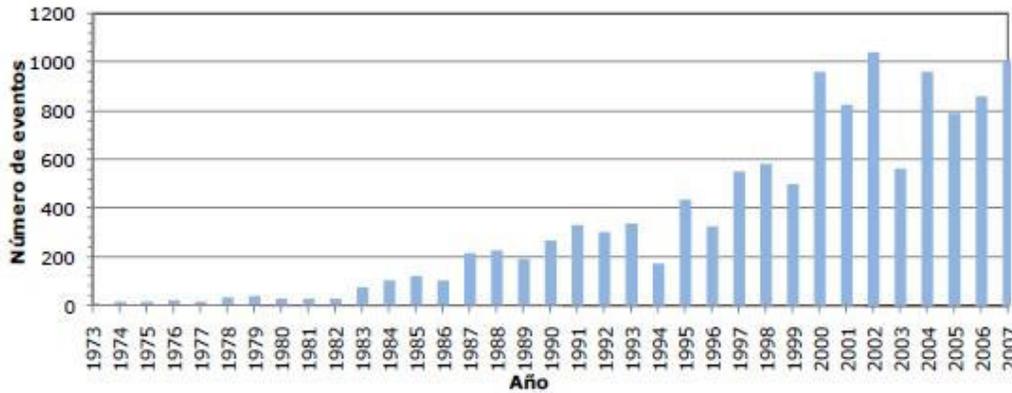


Figura 22. Número de sismos registrados a partir de 1973. Fuente: Amenaza CR_2008.

Para mayor claridad en la figura siguiente se presentan los sismos registrados históricamente por década.



Figura 23. Número de sismos, por década.

La curva de Gutenberg-Richter (muy utilizada en los análisis sísmicos) se presenta para los datos históricos, clasificados según la magnitud M_w . De dicha curva, se muestran que la mayor cantidad de sismos tienen magnitudes que van desde 4 a 5 grados, según la escala M_w y no se registran sismos con magnitudes mayores a 7.8.

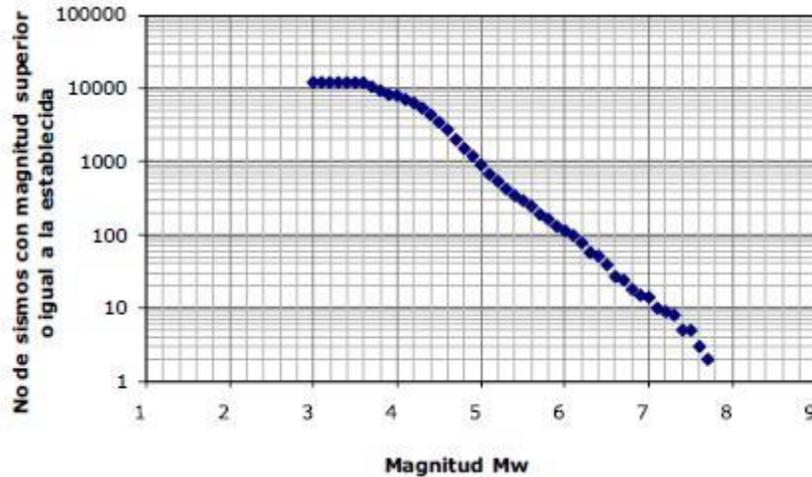


Figura 24. Relación número de sismos versus Magnitud. Relación de Guttenberg. Fuente: Amenaza CR_2008.

En cuanto a la profundidad, la figura siguiente, muestra el número de sismos en función de su profundidad, observándose que el mayor número está entre los 0 y 40 km, y un número más reducido entre los 40 y 100 km.

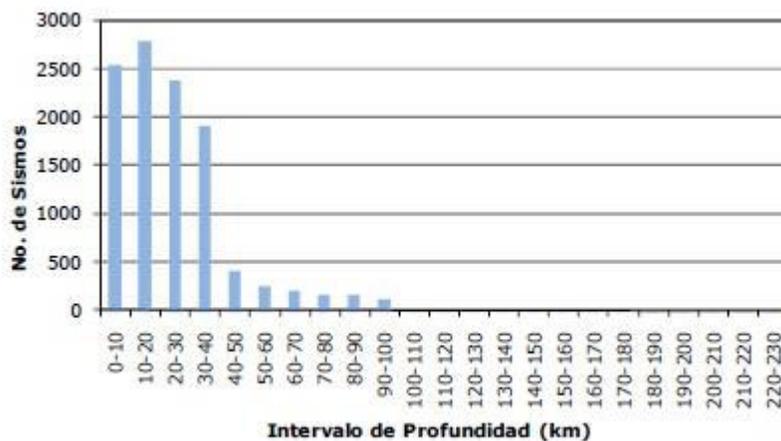


Figura 25. Número de sismos según la profundidad. Fuente: Amenaza CR_2008.

Finalmente otra estadística importante es la que se presenta del número de sismos, en función de la escala de intensidad, considerando solamente el período posterior al año 1973, que como se citó corresponde al inicio de la instrumentación en el país.

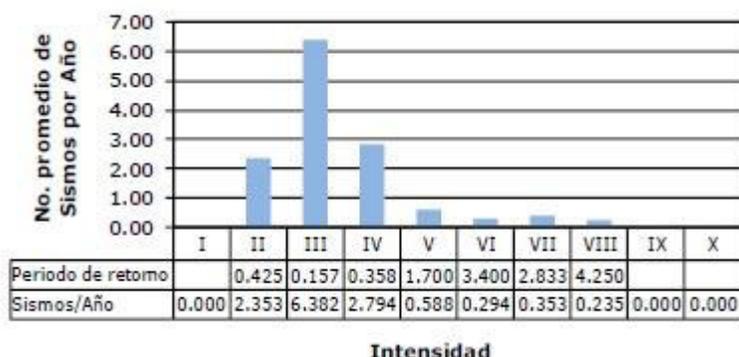


Figura 26. Promedio de sismos por año versus Intensidad. Fuente: Amenaza CR_2008.

De los datos anteriores, se puede establecer en forma general que en promedio en Costa Rica se presenta un evento con características destructivas cada 18 años. De acuerdo con la distribución de sismos en el país, se observa que la mayor cantidad de eventos ocurre en la parte central y sur de Costa Rica.

Sismicidad de la zona de estudio

El 4 de mayo de 1910, ocurrió un terremoto cerca de la ciudad de Cartago. El registro fotográfico que se tiene muestra la destrucción casi completa de la ciudad y evidencia que el sismo tuvo que haber ocurrido muy cerca de la ciudad. En aquella época no se contaba con ningún tipo de regulación para las construcciones, como los modernos Códigos Sísmicos. Sin embargo, este sismo no ha el único que ha ocurrido cerca, sino que se conocen otros sismos, tales como:

En 1842, sucedió el sismo de Alajuelita, el cual tuvo una magnitud entre Ms 5.0 y 5.5.

En 1910, ocurrieron dos sismos importantes en la falla de Agua Caliente. El primero el 13 de abril que se presentó muy cerca de la ciudad de San José, estimándose una intensidad de VII en la escala Mercalli y el segundo el 4 de mayo, que se dio más cerca de la ciudad de Cartago, con una magnitud estimada en la misma escala de VIII.

En el año de 1951, sucedió otro terremoto muy cerca de Paraíso.

En el año 1980, se presentaron varios sismos que tuvieron magnitudes aproximadamente de 3.0 grados. Estos ocurrieron al suroeste de la ciudad de Cartago ubicándose en la Falla Navarro.

En junio de 1994 se dio otro enjambre con sismos de magnitud máxima de 3.0 grados, ubicándose entre las fallas de Jaris, Agua Caliente y Río Azul.

En el mes de octubre del mismo año, se presentó otro enjambre, esta vez con magnitud máxima de 4.2, ubicados en la falla de Agua Caliente.

En 1997, otro enjambre sísmico con magnitud de 3.7 grados se presentó entre las fallas Jericó y Agua Caliente.

En el año de 2004, un nuevo enjambre se produjo entre Aserrí y Desamparados, con un máximo en magnitud de 3.7

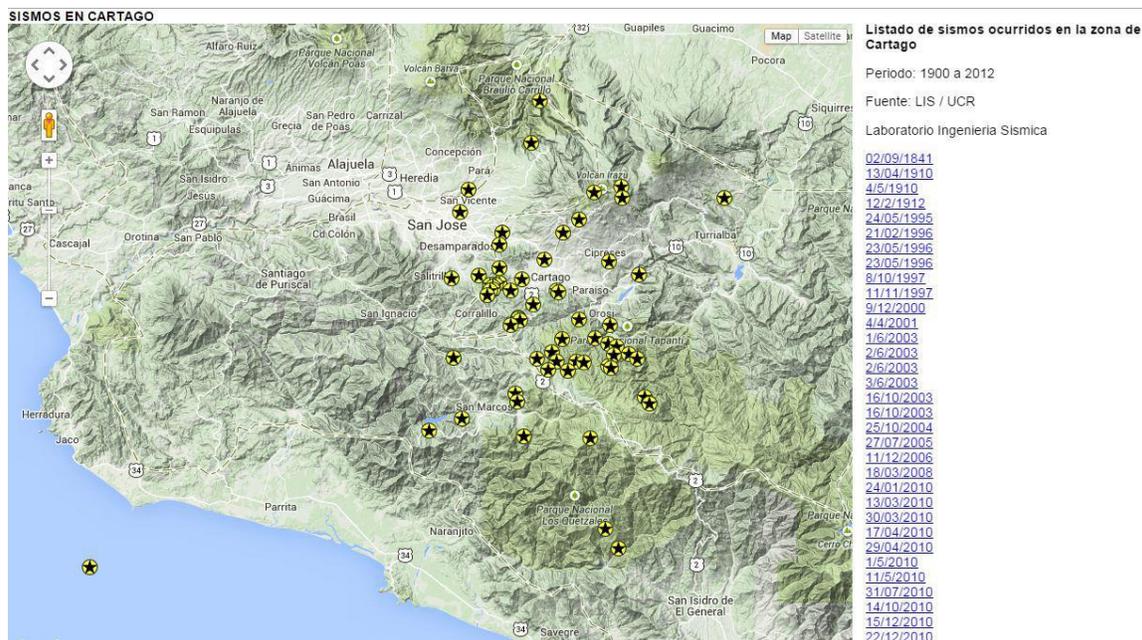


Figura 27. Sismos ocurridos cerca de la ciudad de Cartago, período 1900-2012. Fuente: LIS.

Investigadores citan que el terremoto del Tablazo de 1910, el de Santa Mónica del mismo año, y el de Tres Ríos en 1912, fueron parte de una misma secuencia sísmica, que posteriormente se dió un período de tranquilidad sísmica que duró 39 años, que se interrumpió por el sismo de Paraíso de 1951 y otros sismos hasta el año de 1955. Después de ese año, un nuevo período de tranquilidad llega hasta el año 1985. Así se puede concluir que el período medio de los sismos para el Valle Central es de 29.9 +/- 9,9 años.

De la evidencia histórica, se puede concluir:

En la zona del sureste de San José y suroeste de Cartago, es común que se sucedan enjambres sísmicos, cuya magnitud estaría cercana a los 4.0 grados, mientras no se presente un evento mayor.

En el caso de que ocurriese un evento fuerte, se estima que es muy probable que su magnitud estaría entre los 5.0 a 6.0 grados, que históricamente los sismos fuertes han rondado esa magnitud.

Marco tectónico local

En el último estudio de amenaza sísmica hecho para Centroamérica: RESIS 2008, se localizaron diferentes zonas sismogénicas, entre ellas la Cordillera Volcánica Central. Allí indican características importantes del sistema de fallas Aguacaliente, el cual representa el mayor riesgo para la zona de estudio que se conoce.

Hacia el sur y sureste de la zona, se encuentra un sistema de fallas, que pasa al sur de la ciudad de Cartago, la principal es la falla Aguacaliente donde se originó posiblemente el terremoto que destruyó la ciudad de Cartago el 4 de mayo de 1910 (M 6.4). Esta falla está conectada hacia el suroeste con el sistema de fallas de Escazú, Belo Horizonte, Aserrí y Jericó. Otra interconectada con este sistema es la falla Navarro, con la que se asocia el terremoto de Paraíso del 21 de agosto de 1951 (5.4 M). También pertenece a este sector la falla Orosi de rumbo noroeste. (RESIS, 2008)

Por otro lado, hacia el Sureste del Cantón existe un sistema de fallas hacia la población de Orosi, que en caso de que se reactiven podrían causar daños significativos.”

Entre las fallas tectónicas que se encuentran entre San José y Cartago son las siguientes (Fernández & Montero, 2002):

- Falla Escazú
- Falla Belo Horizonte
- Falla Aserrí
- Falla Jericó
- Falla Patalillo
- Falla Río Azul
- Falla Cipreses y sistema de pliegues asociados.
- Falla Agua Caliente
- Falla Cangreja
- Sistema de falla de Ochomogo (Falla Orosi y Falla Navarro)

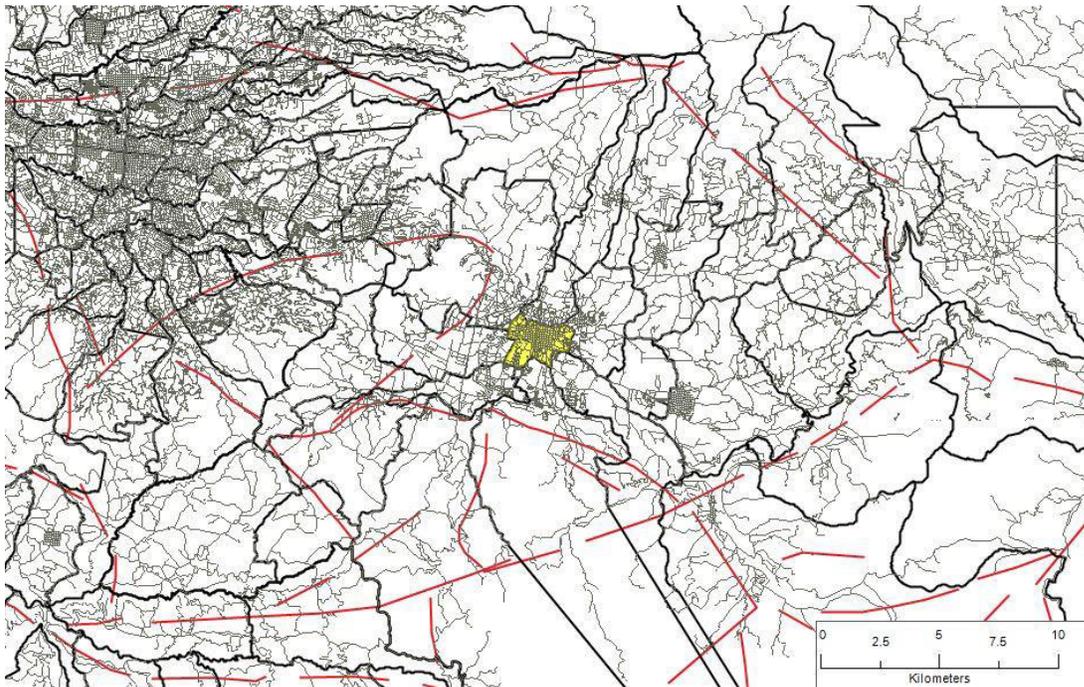


Figura 28. Principales fallas cercanas a la zona de estudio. Referencia: Simulación estocástica de aceleraciones máximas para un terremoto entre Cartago y San José. Aarón Moya, Revista Ingeniería, UCR. Vol.22, Número 2 2012.

El sistema de fallas Aguacaliente es de gran longitud, abarca desde el suroeste de San José hasta el sur de la ciudad de Cartago. “Esta zona sísmica se localiza cerca del límite del Valle Central con las estribaciones norte de la cordillera de Talamanca” (Montero et. al, 2005)

Al oeste, se dice que la falla Aguacaliente, continúa con un relevo compresivo que incluye las fallas Patalillo, Aserrí, Belo Horizonte y Escazú. Al este se agregan la serie de fallas inversas y ciegas de Cipreses, la falla Río Azul y la falla Navarro.

“La falla Aguacaliente se considera de desplazamiento predominantemente sinistral. La traza de la falla tiene, en general, una forma sinuosa con un rumbo variable entre Este-Noreste y Oeste-Noroeste. Al sur de San José, el trazo principal pasa del lado sur de la loma Salitral y continúa hacia el este con un rumbo cercano al Este-Oeste hasta salir al valle de Coris. Más al este, la falla se ubica del lado sur de la ciudad de Cartago, y puede que continúe hasta terminar contra la falla Navarro”. (Montero & Kruse, 2006)

Entre las características importantes de las fallas aledañas a la de Aguacaliente y que forman parte de este sistema de fallas están (Fernández & Montero, 2002):

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

La falla Cipreses y sistema de pliegues asociados, de rumbo noroeste, se ubican entre Granadilla y Tres Ríos y es una falla activa.

La falla Navarro es de movimiento sinistral de rumbo este-noreste y se localiza del lado norte del valle del río Navarro.

La falla de Escazú es de rumbo noroeste y tiene una extensión de 6,5 km y podría tener continuidad con las fallas Belo Horizonte, Jericó y Aserrí.

La falla Belo Horizonte tiene una longitud de 3 km y se ubica al pie de los cerros que se encuentran entre el oeste de Alajuelita y Belo Horizonte. Parece estar sísmicamente activa y tiene continuidad con la falla Escazú y Jericó.

La falla Aserrí tiene rumbo noroeste y una longitud de 4km, puede que tenga continuidad con la falla Belo Horizonte y Jericó. Según la sismicidad reciente y actividad neotectónica se confirma que es una falla activa.

Falla Patalillo se une mediante un trazo de falla sugerida con el extremo oeste de la falla Aguacaliente, la cual se ha identificado según sismicidad reciente.

La falla Aguacaliente, de acuerdo con su longitud, representa la principal amenaza sísmica para la región del Gran Área Metropolitana. Pero, los sistemas de fallas tanto al oeste de la falla Aguacaliente (Patalillo, Belo Horizonte, Aserrí y Jericó) como al este (Río Azul, Cipreses, Navarro) también lo son, debido a la cercanía de asentamientos urbanos importantes que cada día se expanden más.

Sismicidad local

De la descripción anterior se concluye que alrededor del cantón de Cartago, existen una cantidad de fallas activas que hacen que la sismicidad de la zona sea alta, las cuales podrían generar sismos de

magnitud alta y podrían ocasionar grandes daños a las poblaciones circunvecinas. A continuación se describen algunos de los sismos más importantes que han ocurrido.

Sismicidad asociada a la falla de Aguacaliente.

Entre Cartago y San José han ocurrido seis terremotos históricos que han causado daños estructurales importantes así como, pérdidas humanas. Todos estos eventos han tenido su epicentro al sur y sureste de San José, en zonas de fallamiento reconocido; la mayoría de ellos más cerca de Cartago que de San José.

Nombre	Fecha	Magnitud (Ms)
Terremoto de Cartago	02/09/1841	6.0-6.5
Terremoto de Alajuelita	1842	5.0-5.5
Terremoto de Tablazo	13/04/1910	5.8
Terremoto de Cartago	04/05/1910	6.4
Terremoto de Tres Ríos	21/02/1912	5.0-5.5
Terremoto de Paraíso	22/08/1951	5.4

Tabla 2. Eventos sísmicos históricos en la zona de estudio

A la falla de Aguacaliente se le atribuye el terremoto de Cartago de 1910 y el de Tres Ríos de 1912. Además, dos enjambres de temblores ocurridos en el año 1994, entre el 5 y 10 de junio y entre el 25 de octubre y 2 de noviembre, estos ocurridos entre Desamparados y Aserrí, sobre la traza de la falla Aguacaliente, al sur de San José, el sismo de mayor magnitud de esa secuencia tuvo una magnitud $M_d = 4,2$. (Fernández & Montero, 2002)

En esta misma zona ocurrió un nuevo enjambre sísmico entre el 3 de abril y el 16 de abril del 2004.

Por la falla Navarro se produjo un enjambre de temblores en setiembre de 1980 y se sugiere, debido a la distribución de los daños, que el terremoto de Paraíso-Orosi de $M_s = 5,4$ se generó allí también. (Montero, 2001)

A través de la historia se han conocido varios terremotos destructivos que redujeron ciudades del Valle Central a escombros. Entre estas ciudades esta Cartago, la cual ha sido víctima de varios desastres sísmicos como por el ejemplo, el terremoto del 2 de setiembre de 1841 y el del 4 de mayo de 1910, antes mencionados, estos eventos se han caracterizado por ser superficiales y destructivos.

La región del Valle del Guarco, especialmente en su parte sur, ha presentado sismos que aunque, de moderada magnitud ($5 < M < 6,5$), han provocado daños a las ciudades de Cartago y San José. (Taylor, 1994)

A continuación, se describirá brevemente la actividad sísmica de Cartago a través de los años, los daños causados, las fuentes de origen de los sismos, entre otros aspectos.

1841	<p>2 de setiembre. Sismo de San Antolín.</p> <p>Fue el temblor más importante del país durante el siglo XIX, considerando el nivel de daños y el número de muertes que produjo, especialmente en la ciudad de Cartago. También afectó lugares como Paraíso, Tres Ríos, Curridabat, San José y Heredia. Se dice que la intensidad máxima fue probablemente VII a VIII (Mercalli Modificada) el epicentro se supone al Noreste de Tres Ríos y al noroeste de Cartago y se sugiere que la falla Lara fue la posible fuente de este terremoto, también suponen una profundidad de 10 km. y una magnitud de 6,5 Ms. (Perlado, 2005). Se contabilizaron un total de 38 defunciones, 16 de ellas en la ciudad de Cartago, 1520 viviendas destruidas.</p>
1905	<p>27 al 29 de setiembre</p> <p>Un enjambre sísmico cercano a la ciudad de Cartago, ocurrido entre el 27 y el 29 de diciembre causó daños con una intensidad IMM de VII. (Taylor, 1994)</p>
1910	<p>13 de abril. Temblor del Tablazo.</p> <p>El sismo recibe este nombre debido a que se localizó al sureste de San José, cerca del Tablazo. Tuvo una magnitud de 5,8 Ms, posiblemente de poca profundidad y su origen fue por fallamiento local. Basándose en los daños provocados a las construcciones que colapsaron, así como la alarma que provocó en la población, la intensidad máxima sería de VII según la escala de (Rossi-Forel) y fue registrada en la ciudad de Cartago la cual fue la más afectada. El terremoto se sintió en todo el territorio nacional desde Limón hasta Nicoya. Provocó muchos daños, tanto en el centro urbano de la ciudad de Cartago como en las poblaciones vecinas. Varias casas se vieron afectadas a tal punto que fueron declaradas inhabitables. Lo mismo sucedió con los principales edificios públicos e iglesias, los cuales mostraban grietas de gran tamaño y caída de repellos. En San José también hubo daños en infraestructura. Es importante resaltar que desde este día hasta el 4 de mayo del mismo año se inicia el peor ciclo de temblores que se conoce en la historia de nuestro país. Todos los días se contabilizan más de cuarenta temblores fuertes y centenares de microsismos.</p>
1910	<p>4 de mayo Temblor de Santa Mónica.</p> <p>Se produce una segunda destrucción en la ciudad de Cartago. Nuevamente el terremoto fue somero y tuvo una magnitud estimada de 6,4 Ms. Fue sentido prácticamente en todo el territorio nacional desde Limón hasta Nicoya y Liberia. En la zona cerca del epicentro, como la ciudad de Cartago y sus alrededores, la intensidad máxima fue de VIII. Cerca de Tres Ríos las intensidades disminuyeron a VII y VI. Para la ciudad de San José y varias zonas de Heredia y Alajuela se reportaron intensidades de V. En San Ramón fue de III. Se desconoce el dato exacto ya que muchas personas fueron enterradas casi inmediatamente después del terremoto para evitar pestes y enfermedades por lo que muchas víctimas no fueron oficialmente documentadas. Sin embargo se puede estimar que superan los 400 y podrían llegar hasta los 700, convirtiéndose en el desastre que ha cobrado más vidas humanas en toda la historia de Costa Rica. La ciudad de Cartago, que había sufrido daños con el terremoto del 13 de abril, resultó totalmente destruida. Las construcciones que habían quedado en pie después del terremoto del 13 de abril colapsaron totalmente, incluyendo todas las iglesias, conventos, escuelas y otros edificios públicos. Los refuerzos y previsiones que los arquitectos habían recomendado fueron insuficientes, muchas</p>

	de las edificaciones tuvieron que ser dinamitadas días después del terremoto para evitar más problemas. No quedó ninguna casa en pie, la mayoría tiene daños estructurales y son declaradas inhabitables. En Agua Caliente, a 3 km del centro de Cartago, el evento sísmico fue desastroso. El puente sobre el río Agua Caliente, colapsó y cayó sobre las aguas del río. El pueblo de Paraíso fue devastado. La mayoría de las casas cayeron con el movimiento. La iglesia quedó hecha ruinas pero con los años fue reconstruida. Por ser esta la segunda vez que la ciudad de Cartago era destruida y por la gran cantidad de daños estructurales que ocurrieron, el gobierno a cargo del presidente Cleto González Víquez, propone la implementación de un nuevo código sísmico de construcción para así evitar situaciones como estas en el futuro.
1951	9 de agosto Un terremoto causó daños en Paraíso, Orosí y lugares aledaños. Tuvo una intensidad máxima de VII IMM. Está asociada tal vez al extremo sureste del Valle de Corís (Taylor, 1994).
1952	30 de diciembre. Terremoto de Patillos No causó daños considerables a la infraestructura, provocó 21 pérdidas humanas en las faldas del Volcán Irazú debido a deslizamientos.
1980	Se presentaron varios sismos que tuvieron magnitudes de cerca de 3.0 grados. Los sismos ocurrieron al suroeste de Cartago y se atribuyen a la falla Navarro.
1991	El año 1991 se caracterizó por una fuerte e intensa actividad sísmica en todo el país, y ocurrieron 5 sismos destructivos, entre los cuales está el del 22 de abril que afectó seriamente la zona atlántica de Costa Rica y Panamá. En este año fueron reportados 7 sismos en la zona sur de Cartago en el mes de Abril, 10 en Agosto y 1 en setiembre.
1994	En junio se presenta un enjambre que la Red Sismológica Nacional ubica entre las fallas de Jaris, Agua Caliente y Río Azul con máximos de 3.0 grados. En octubre de 1994 se presente otro enjambre en la misma zona con máximos de 4.2 grados (RSN, informe de 1994). Se sugiere que la actividad fue provocada por la falla Agua Caliente
1997	Se presenta nuevamente otro enjambre sísmico con magnitud máxima de 3.7 grados en la intersección de las fallas Jericó y Agua Caliente.
2000-2001	Se presenta una Secuencia sísmica bajo el este de la ciudad de San José. Entre diciembre del 2000 y setiembre del 2001 ocurrieron 25 sismos bajo la zona urbana del este de San José. Los temblores tuvieron profundidades entre 3 y 15 km y magnitudes de 1,4 y 3,8 Mc en cuanto al número de eventos y la liberación de energía, esta secuencia sísmica ha sido la más importante ocurrida en la zona urbana de San José desde que se instalaron las estaciones sismológicas de la UCR en 1974. (RSN, 2002). Esta sismicidad puede estar relacionado con un sistema de fallas de rumbo noroeste el cual es paralelo al que se localiza entre Escazú y Aserrí. También puede originarse en una falla inversa, que es la expresión del sistema Aguacaliente - Río Azul o del sistema de fallas ciegas y pliegues Cipreses. (RSN, 2002).
2010	En Pacayas de San Rafael de Oreamuno de Cartago se registró un enjambre sísmico, algunos de esos eventos reportados como sentidos en la zona de Pacayas y Oreamuno, principalmente el día 2 de marzo. Estos sismos tuvieron magnitudes moderadas y se originaron en fallamiento local. (RSN, 2011)
2011	Durante el 2011 se presentaron muchos eventos sísmicos, principalmente a finales de julio y en el mes de diciembre. Los eventos de julio fueron más débiles comparados con los de diciembre.

Amenaza sísmica

Zona de estudio

La ciudad de Cartago, a lo largo de su historia ha sufrido eventos sísmicos importantes, que incluso han ocasionado su destrucción, tales como los mencionados ya con anterioridad, además ciertas características particulares de la zona, hacen que la zona sea interés de estudio.



Figura 29. Delimitación zona de estudio. Distritos Oriental y Occidental, cantón central de Cartago.

La provincia de Cartago tiene una extensión de 287.77 km² y una población cercana a los 158500 habitantes. En el siguiente gráfico se presenta porcentualmente, la distribución del país, por provincia, en donde se observa que la provincia de Cartago, ocupa el tercer lugar en importancia con un 11% de la población total del país de aproximadamente 4 500 000 hab.

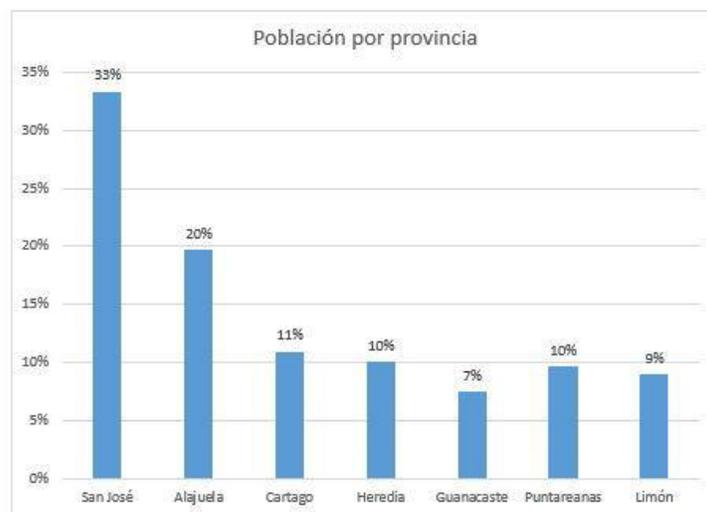


Figura 30. Elaboración propia. Fuente: INEC 2011

El cantón central de la provincia, Cartago, se divide a su vez en 11 distritos: Oriental, Occidental, San Nicolás, Agua Caliente, Guadalupe, Corralillo, Tierra Blanca, Dulce Nombre, Llano Grande y Quebradilla, en donde la distribución poblacional se presenta en el siguiente gráfico.

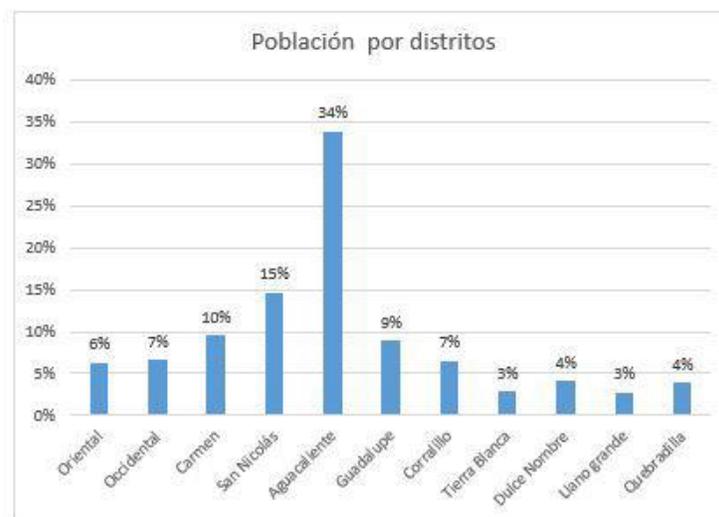


Figura 31. Población por distritos, cantón central de Cartago. Elaboración propia. Fuente: INEC-2011

Se observa que el desarrollo habitacional del cantón Central, se ha dado sobre todo en los distritos de Aguacaliente con un 34% de la población y el distrito de San Nicolás con un 15%. Los distritos oriental y occidental, que se puede afirmar forman el caso central del cantón, representan en conjunto un 13% de la densidad poblacional del cantón.

Los distritos oriental y occidental (objeto de estudio) tienen un área de 4.38 km² y una población de 22128 hab. Las principales actividades económicas de sus pobladores se presentan en el gráfico siguiente:



Figura 32. Actividades económicas del distrito central (Oriental y Occidental). Elaboración propia. Fuente: INEC-2011

Así, se desprende que el comercio ocupa el primer lugar con un 23%, le siguen la industria y manufactura con un 17.7% y la enseñanza con un 14.5%, como actividades económicas principales de la población.

En cuanto a la infraestructura y en específico los distritos oriental y occidental, tienen cerca de 6481 viviendas, con la composición que se observa en el siguiente gráfico.



Figura 33. Tipo de vivienda. Elaboración propia. Fuente: INEC-2011

Los materiales que prevalecen en la construcción de viviendas, se presenta en el gráfico que sigue:

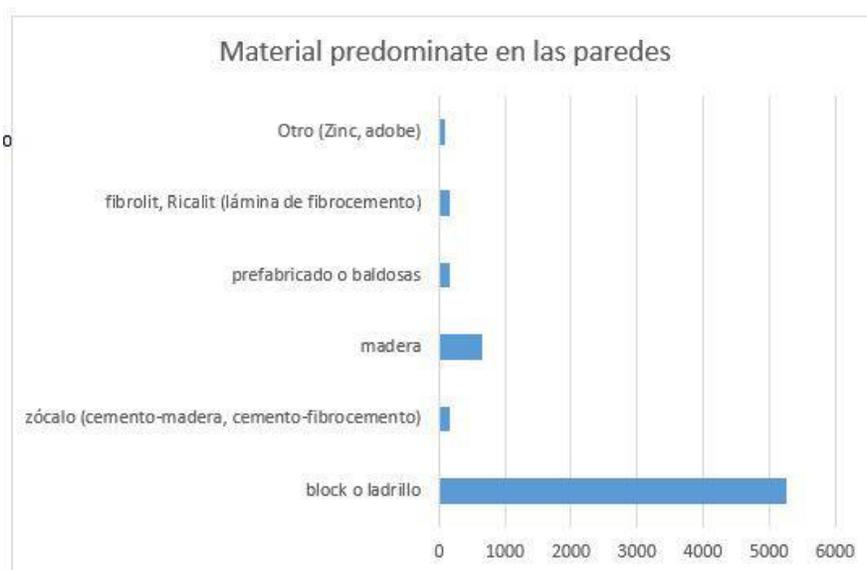


Figura 34. Material predominante en las paredes. Elaboración propia. Fuente: INEC-2011

Como se observa, el material predominante en las paredes es de bloques de concreto y le sigue la madera y los sistemas prefabricados de concreto.

Por último, se presenta un gráfico del estado de las viviendas, en bueno, regular y malo.

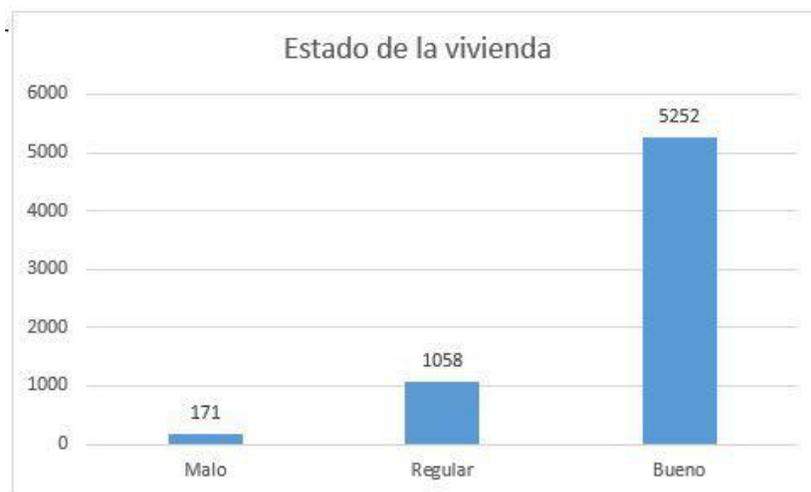


Figura 35. Estado de la vivienda. Elaboración propia. Fuente INEC-2011

Evaluación Amenaza Sísmica.

El análisis de la amenaza sísmica sobre un sitio se puede ser llevado a cabo bajo dos aproximaciones: el método determinístico y el probabilístico, dependiendo en gran medida de los datos disponibles y de la profundidad o precisión que se requiera en un estudio particular de un sitio. Aquí solamente se resume el primero de ellos, dado que es el que se utilizará más adelante.

Método determinístico.

El método determinístico DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis) por sus siglas en inglés, requiere en general, la ejecución de 4 etapas: identificación de la fuente u origen, determinación del sismo que controla cada fuente, selección de la relación del movimiento y estimación de los parámetros del movimiento.

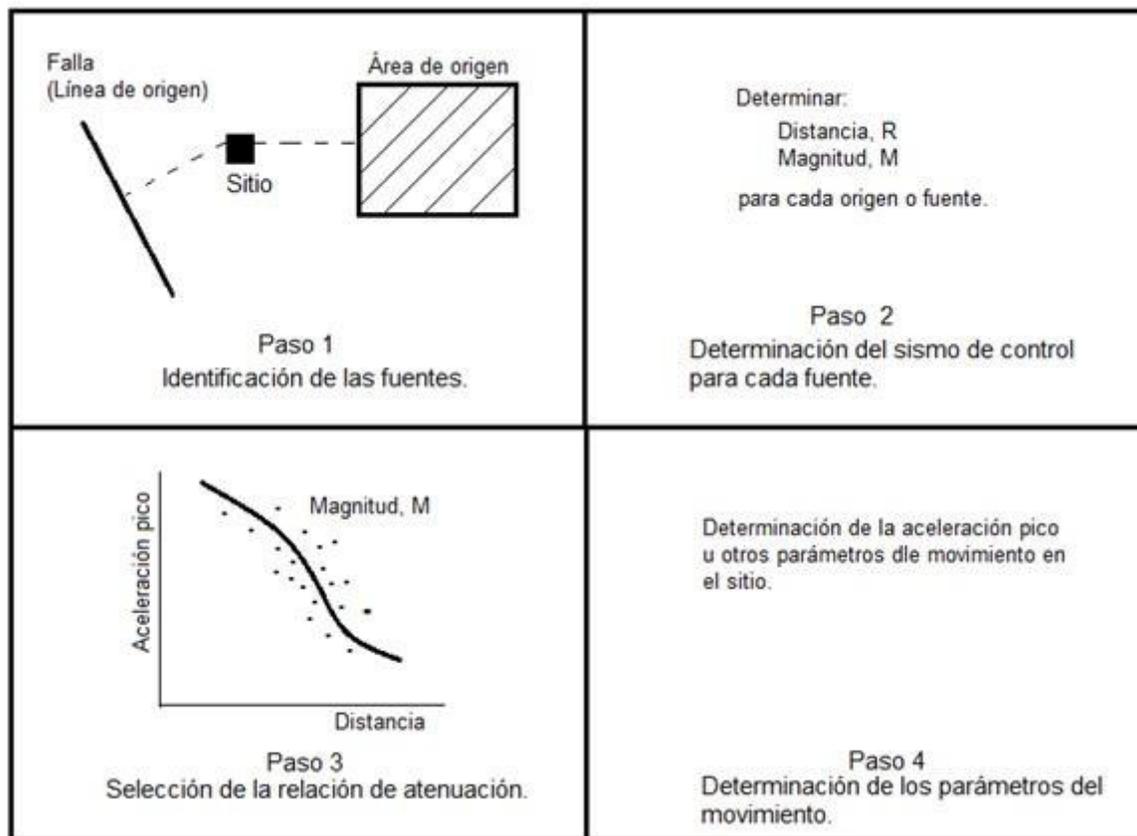


Figura 36. Método determinístico para determinar la amenaza sísmica de una región.

Paso 1. Identificación de las fuentes.

Se deben investigar todas las fuentes posibles que pueden producir algún grado de daño para el sitio particular. La identificación de las fuentes involucra el conocimiento geológico, geofísico y sismológico de cada fuente. Las fuentes se pueden representar por puntos, líneas o áreas.

Paso 2. Selección del sismo de control.

Una vez que las fuentes activas son identificadas, es de escoger el sismo representativo de cada fuente. En cierta medida, esta selección es subjetiva y depende en cierta medida del tipo de estudio que se realiza y de la importancia de la obra o sitio. De manera general, se puede escoger el sismo como uno razonable que se espera que ocurra por lo menos una vez durante la vida útil de la obra. Muchos códigos de diseño sismorresistente utilizan un sismo de diseño de un evento con un período de retorno de 475 años. Para obras de gran importancia, como plantas nucleares, químicas se utiliza el sismo de mayor magnitud que se ha producido en determinada fuente o falla.

La correcta definición del sismo, depende del registro histórico, siendo esto último una gran limitación, dado que las bases de datos disponibles, están limitadas a un período de tiempo relativamente pequeño.

Paso 3. Selección de la relación de atenuación.

Generalmente se utiliza como parámetro principal la aceleración pico, PGA (Peak Ground Acceleration), para obtener relaciones entre la magnitud del sismo y la distancia. La relación de atenuación es una función del tipo de falla, por ejemplo subducción, de la fuente.

Paso 4. Estimación de los parámetros en el sitio.

Con la ley de atenuación anterior (paso 3), se obtiene la aceleración en el sitio, la cual se asocia con parámetros que permitan valorar los daños. Es común, asociar la aceleración con la escala de intensidad Mercalli, la cual permite de manera subjetiva, valorar el nivel de daños en las estructuras.

Grado	Descripción
I. Muy débil	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
II. Débil	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III. Leve	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
IV. Moderado	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V. fuerte	La mayoría de las personas lo percibe aun en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden llegar a derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
VI. Bastante Fuerte	Lo perciben todas las personas. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien, se les oye crujir.
VII. Muy fuerte	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Se dañan los muebles. Caen trozos de mampostería, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos.
VIII. Destructivo	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aun el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
IX. Ruinoso	Pánico generalizado. Todos los edificios sufren grandes daños. Las casas sin cimentación se desplazan. Se quiebran algunas canalizaciones subterráneas, la tierra se fisura.
X. Desastroso	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. El agua de canales, ríos y lagos sale proyectada a las riberas.
XI. Muy desastroso	Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las cañerías subterráneas quedan totalmente fuera de servicio.
XII. Catastrófico	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

Figura 37. Escala de intensidad sísmica Mercalli.

Estimación amenaza sísmica en la zona de estudio

Como se ha mencionado anteriormente, la zona de estudio comprende los distritos Oriental y Occidental del cantón Central de Cartago. Una vez definida la zona de estudio, y con base en la sismicidad de la zona, se definieron los escenarios sísmicos basados en el método determinístico, el cual como ya se explicó implica la definición de un escenario particular (o escenarios particulares). Cada escenario se define en términos de su ubicación espacial, magnitud del sismo y profundidad. Así para el presente estudio se definieron tres escenarios posibles, los cuales se muestran en la figura 44.

Escenario 1

Magnitud: 6.1 Mw
 Profundidad: 9.5 km
 Ubicación: 508689.55, 1085898.52 (CRTM05)

Escenario 2

Magnitud: 5.5 Mw
 Profundidad: 6.0 km
 Ubicación: 514516.84, 1083653.58 (CRTM05)

Escenario 3

Magnitud: 5.8 Mw
 Profundidad: 10 km
 Ubicación: 497178.25, 1086949.34



Figura 38. Escenarios sísmicos. Elaboración propia: Fuente: Google Earth.

Metodología para determinar la amenaza sísmica

Usando sistemas de información geográfica y los programas MapWindow e Ilwis se construyeron los mapas de amenaza, los cuales básicamente son mapas de aceleración del suelo (PGA), que se construyen siguiendo los siguientes pasos:

1. Mapa con la ubicación del sismo, según cada escenario.
2. Mapa de distancias epicentrales
3. Mapa de aceleración máxima horizontal del suelo.

Para estimar la aceleración máxima (PGA) se usó la ecuación de atenuación de Climent (Climent et al 1994), de amplio uso en el área centroamericana.

$$\ln \text{PGA} = -1.687 + 0.553M - 0.537 \ln R - 0.00302 R + 0.327 S + \sigma_{\text{PGA}}$$

Donde:

PGA: aceleración máxima del suelo (m/s²). (Peak Ground Acceleration).

M: magnitud del sismo (magnitud 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: 0.75.

Mapa de intensidad sísmica.

El mapa de intensidad sísmica (Escala Mercalli) se obtiene a partir del mapa de aceleración máxima, utilizando la relación de Trifunac & Brady (1975):

$$\text{MMI} = 1/0.30 * \log_{10}(\text{PGA} * 980) - 0.014$$

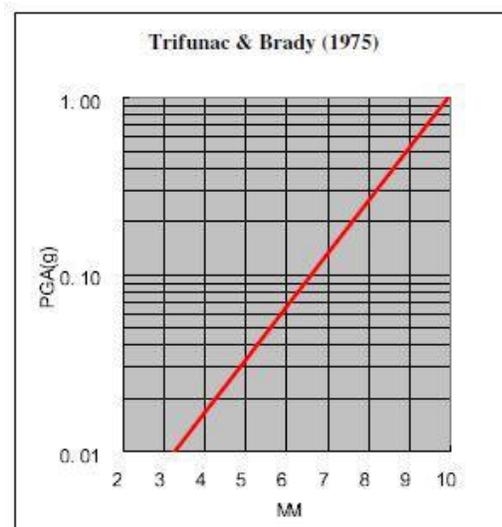


Figura 39. Relación MMI-PGA

Posteriormente se clasifica el mapa de intensidades en clases de intensidad según la siguiente tabla:

MMI	Clase
1.5	I
2.5	II
3.5	III
4.5	IV
5.5	V
6.5	VI
7.5	VII
8.5	VIII
9.5	IX
10.5	X
11.5	XI
12.5	XII

Mapas de distancias epicentrales

A partir de la ubicación de los escenarios definidos anteriormente, se obtuvieron los mapas de distancias, para cada uno de los sismos, los cuales se muestran en las figuras siguientes:

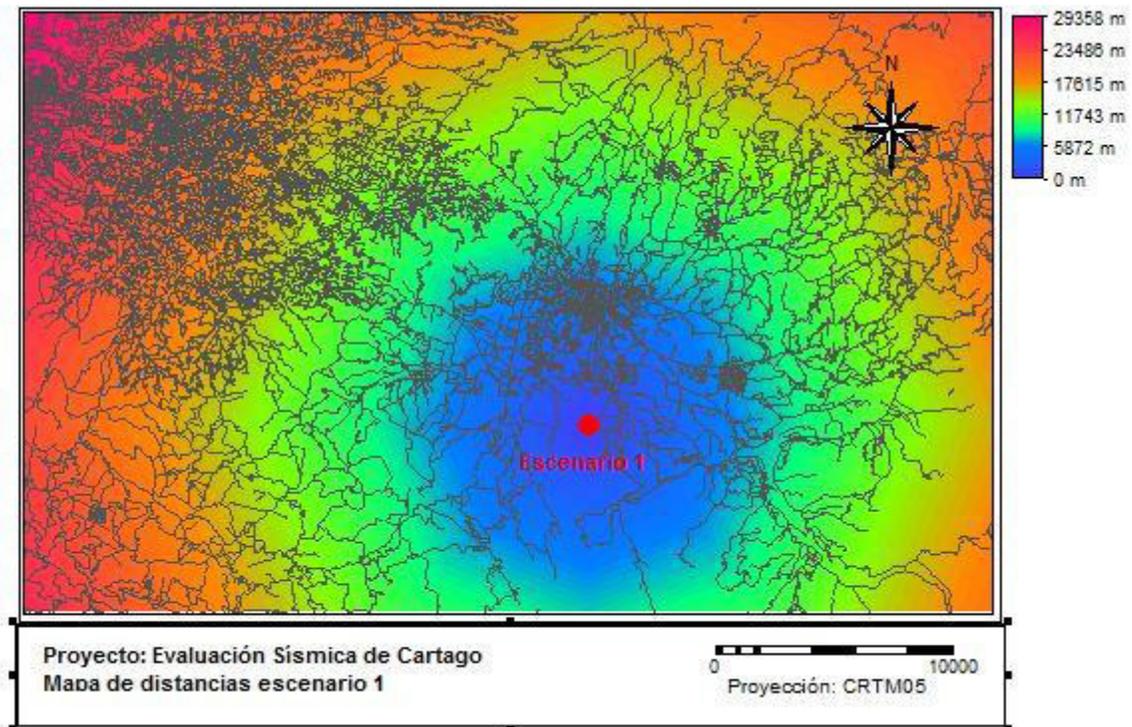


Figura 40. Mapa de distancias, escenario 1.

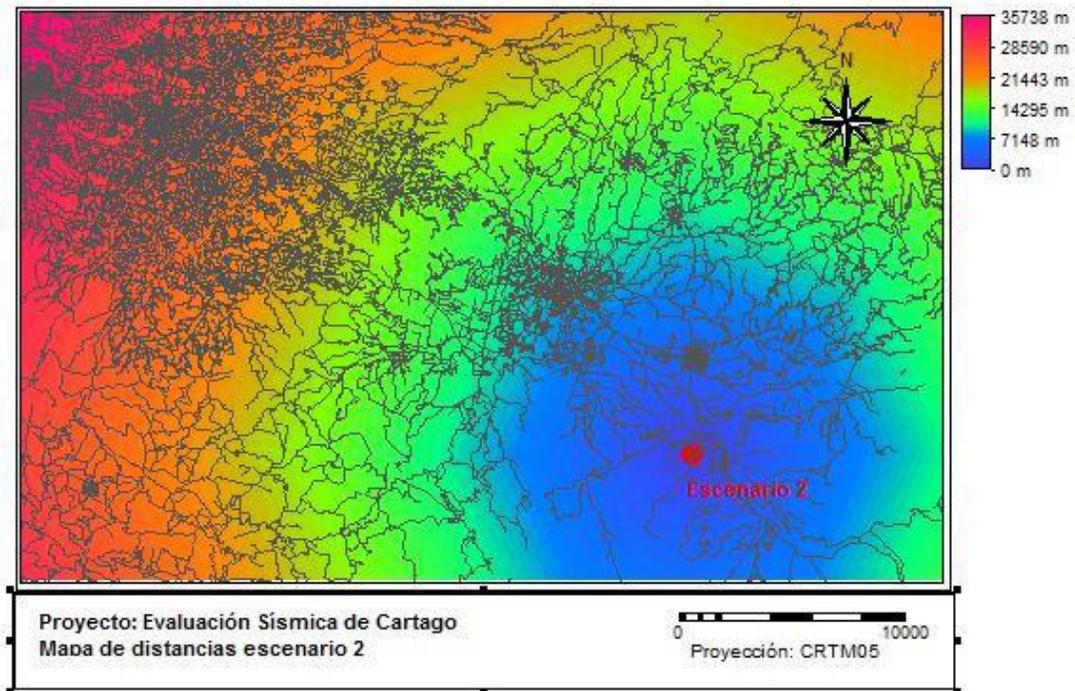


Figura 41. Mapa de distancias, escenario 2.

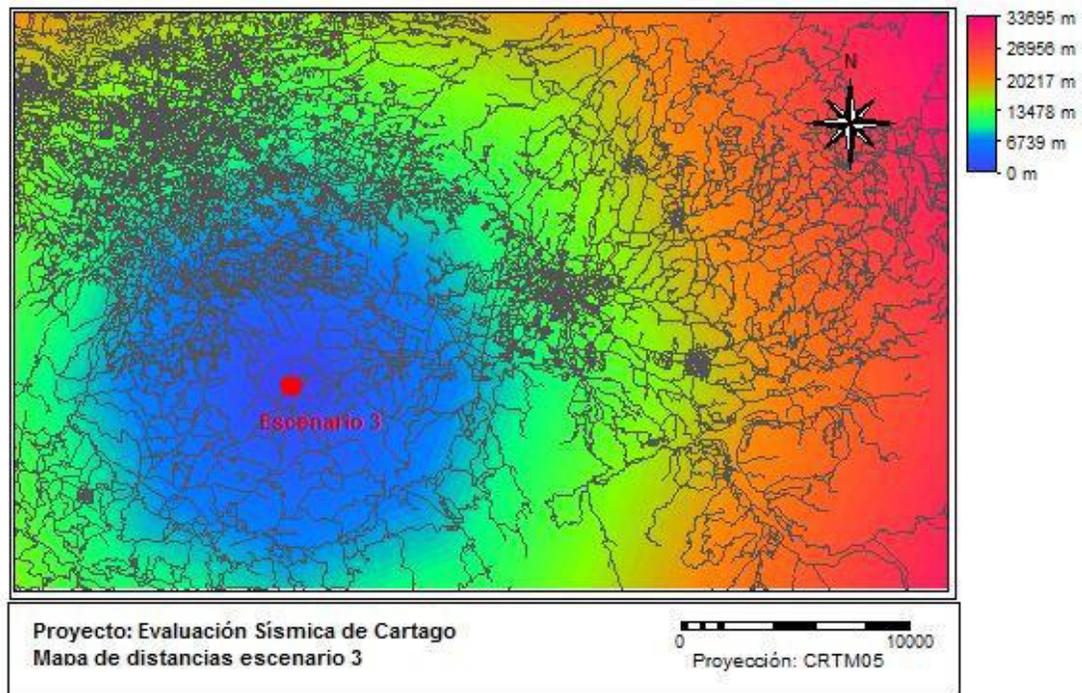


Figura 42. Mapa de distancias, escenario 3.

Geología

En el presente proyecto no se realizaron pruebas de campo para comprobar el tipo de materiales existentes en la zona de estudio. En lugar de esto, se utilizó la información disponible en la literatura y sobretodo la información disponible en el Atlas de Costa Rica 2008.

A manera de resumen, los suelos se clasifican para efectos de determinar la amenaza sísmica en tres grandes grupos que son: suelos blandos, suelos firmes y rocas, que presentan las siguientes características:

- El suelo blando, desde el punto de vista geotécnico, corresponde con depósitos de relleno del Cuaternario, aluviones, lahares, cenizas, escombros rocosos, generalmente con espesores superiores a los 30 metros”.
- El suelo firme corresponde con rocas que han sufrido algún tipo de meteorización y degradación del material original (suelos residuales compactados).
- Roca es aquel material original, sin importar la edad geológica y sin un grado de alteración (meteórica o hidrotermal) apreciable.

En el Código Sísmico de Costa Rica y siguiendo si se quiere los criterios más globales, los suelos se clasifican según 4 grupos, a saber:

- TIPO S1 (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 2500-4000 m/s.
- TIPO S2 (Firme): Rocas sedimentarias (areniscas, lutitas, calizas, brechas y conglomerados), rocas volcánicas (flujos piroclásticos, lavas y lahares), con espesores de arcilla inferiores a 20 m y velocidades de la onda cortante 1500-1700 m/s.
- TIPO S3 (Blando): Rocas volcánicas (lavas y depósitos piroclastos), fuertemente alterados, donde los niveles freáticos son altos, los espesores de arcilla de hasta 10 m sobre suelo tipo S2, y velocidad de la onda cortante 800-1200 m/s.
- TIPO S4 (Muy blando): Rocas volcánicas (lahares, cenizas y tobas), rocas sedimentarias (diatomitas, lacustres y lutitas), depósitos recientes (aluviones y coluvios), de baja calidad mecánica, con niveles freáticos someros, son rocas fuertemente alteradas, espesores de acilla mayores a 50 m sobre suelos tipo S1, S2 y S3, velocidad de onda cortante 235-330 m/s. El espectro de respuesta presenta valores mayores a 0,7 s.

La ciudad de Cartago se formó dentro de una cuenca cerrada, delimitada por las estribaciones de la cordillera de Talamanca (sur), el volcán Irazú (norte y oeste), y los cerros de la Carpintera (oeste). Por lo tanto, debajo de la ciudad se pueden encontrar depósitos provenientes de la erosión de las montañas, de erupciones volcánicas, acumulación de lavas y cenizas generadas por la actividad del Volcán Irazú, además de avalanchas laháricas y depósitos lagunares.

Según el mapa de geología superficial, elaborado por el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la UCR (1994) todos los suelos de la ciudad de Cartago son clasificados como tipo S4, o sea son suelos blandos, y por lo tanto sufren de los efectos locales, o amplificación de las ondas sísmicas.

La geología superficial de la zona de estudio es un factor preponderante a la hora de calcular la amenaza sísmica y por consiguiente, a tomar en cuenta para el diagnóstico de vulnerabilidad. Los suelos muy blandos, con espesores importantes de arcillas y niveles freáticos superficiales son capaces de modificar la intensidad de las ondas sísmicas, amplificándolas.

Todos los efectos que produce la geología sobre los parámetros del movimiento sísmico se llaman efectos de sitio (Moya 2009) : “Los efectos de sitio son todas aquellas variaciones en amplitud, contenido frecuencial y duración que experimenta una señal sísmica en el sitio de registro. Normalmente tales efectos tienden a amplificar las ondas sísmicas cuando los sedimentos son de baja impedancia como el aluvión o las cuencas sedimentarias. Los sitios ubicados sobre calizas, lavas y granito por el contrario amplifican poco la señal. Sumado a esto, se ha comprobado que en Cartago se han sentido las mayores aceleraciones en el terreno debido a terremotos históricos, como el de Limón en 1991 (ML =7,2). En San José (20 km de diferencia de distancia epicentral con Cartago), se registró una aceleración de 0,15 g y en Cartago fue de 0,27 g, casi el doble.

Otro ejemplo se da en el terremoto de Piedras Negras de 1990 (ML =6,4), en Alajuela se presentó la aceleración más grande: 0,43 g (distancia epicentral de 20 km), en San José: 0,20 g (30 km de distancia epicentral) y en Cartago: 0,31 g (43 km de distancia epicentral), un 33% más de aceleración que en San José a una mayor distancia epicentral.

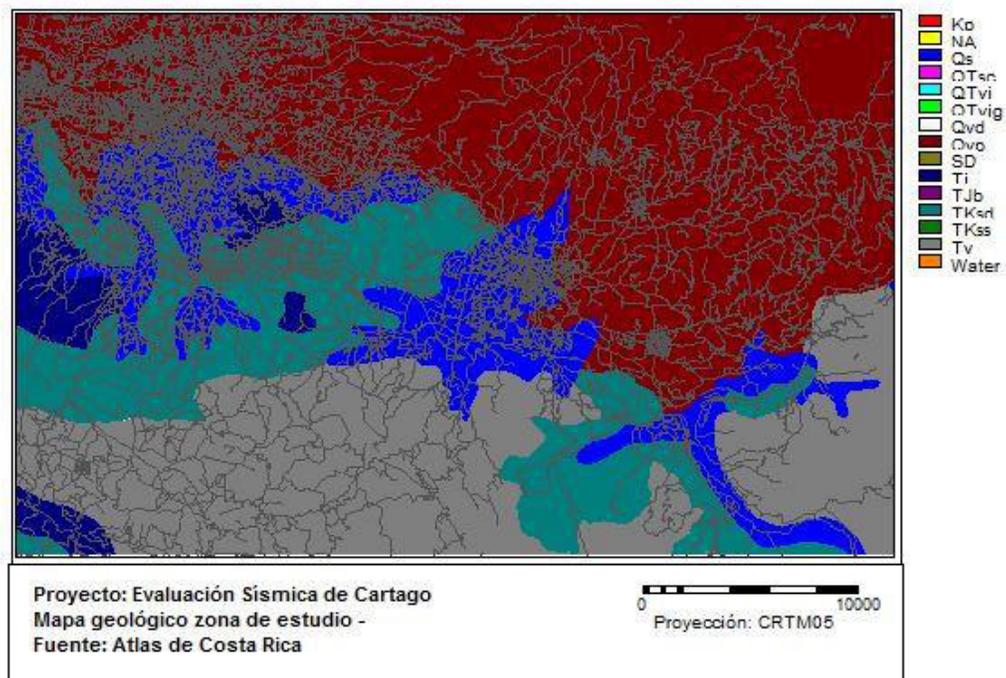


Figura 43. Geología zona de estudio. Elaboración propia. Fuente: Atlas de Costa Rica, 2008

Con base en el mapa geológico, se definió el mapa de suelos, el cual básicamente asigna un valor de 1 a los suelos y un valor de 0 a la roca.

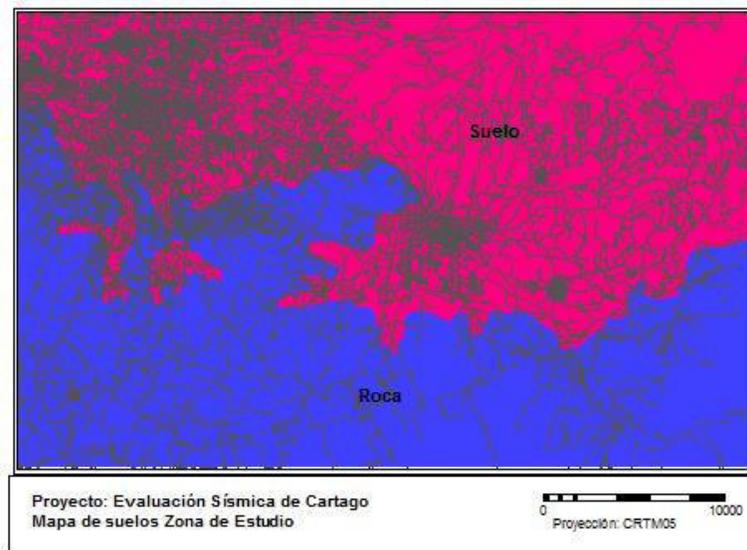


Figura 44. Geología zona de estudio. Elaboración propia. Fuente: Atlas de Costa Rica, 2008

Estimación de la aceleración máxima del suelo.

La aceleración máxima del suelo (PGA) se obtuvo aplicando la ecuación de atenuación de Climent (Climent et al 1994), según se explicó anteriormente. A continuación se presentan los mapas de aceleración para los tres escenarios en estudio.

Aceleración PGA, para el escenario 1.

Para el escenario 1, con una distancia en promedio de 5 km al centro de la ciudad, se obtuvieron aceleraciones máximas del orden 0.45g, en la zona de estudio. Cerca de la fuente se tiene una aceleración de 0.34g. Este valor más bajo, se puede interpretar debido a la ubicación en roca de la fuente y que por lo tanto cerca de la zona de estudio, se amplifica debido a las condiciones locales del suelo.

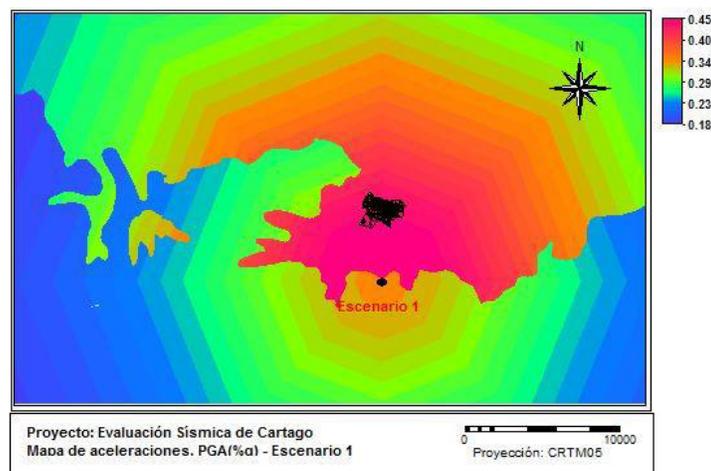


Figura 45. Mapa de aceleraciones, PGA para el escenario 1.

Aceleración PGA, para el escenario 2.

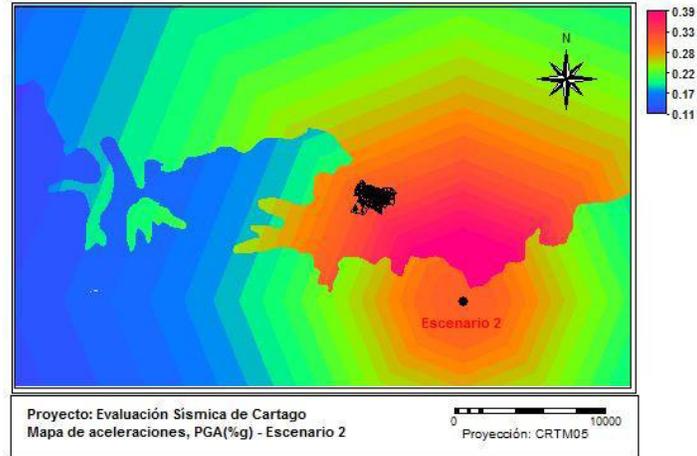


Figura 46. Mapa de aceleraciones, PGA para el escenario 2.

El escenario 2, corresponde a una ubicación de la fuente de aproximadamente 8.5 km al centro de la ciudad, obteniéndose aceleraciones en promedio entre 0.28 y 0.33g. De nuevo cerca de la fuente la aceleración es de 0.31g, un poco menor a la obtenida en la ciudad.

Aceleración PGA, para el escenario 3.

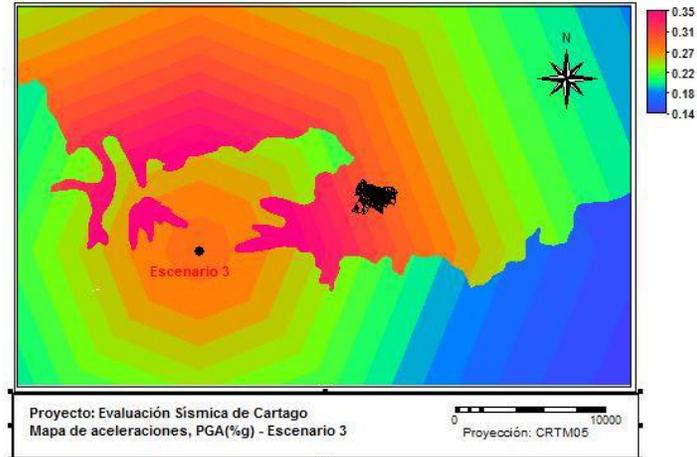


Figura 47. Mapa de aceleraciones, PGA para el escenario 3.

El escenario 3, se ubica a una distancia de alrededor de 12 km, del centro de la ciudad. En este caso las aceleraciones fluctúan en la zona de estudio entre: 0.31g y 0.28g. En la fuente la aceleración estimada es de 0.28g. La amplificación que se percibe es debido a las condiciones locales del suelo, situación ya detectada con anterioridad en otros estudios.

Aceleración utilizando la ecuación de atenuación de Joyner & Booner

Se utilizó la ecuación de atenuación de Joyner & Booner (1981) para estimar también la aceleración pico, PGA, según la ecuación:

$$PGA = 10^{(0.249 \cdot M - \text{Log}(D) - 0.00255 \cdot D - 1.02)}$$

donde:

M : magnitud del sismo.

D: distancia epicentral

Esta ecuación de atenuación, no incluye los efectos de suelo, así que para obtener la aceleración en suelo, se usó un factor de amplificación general igual a 1.30 (Schimit, 2000). La estimación de la aceleración, según la ecuación de atenuación anterior, se presenta en los mapas siguientes, para los tres escenarios en estudio:

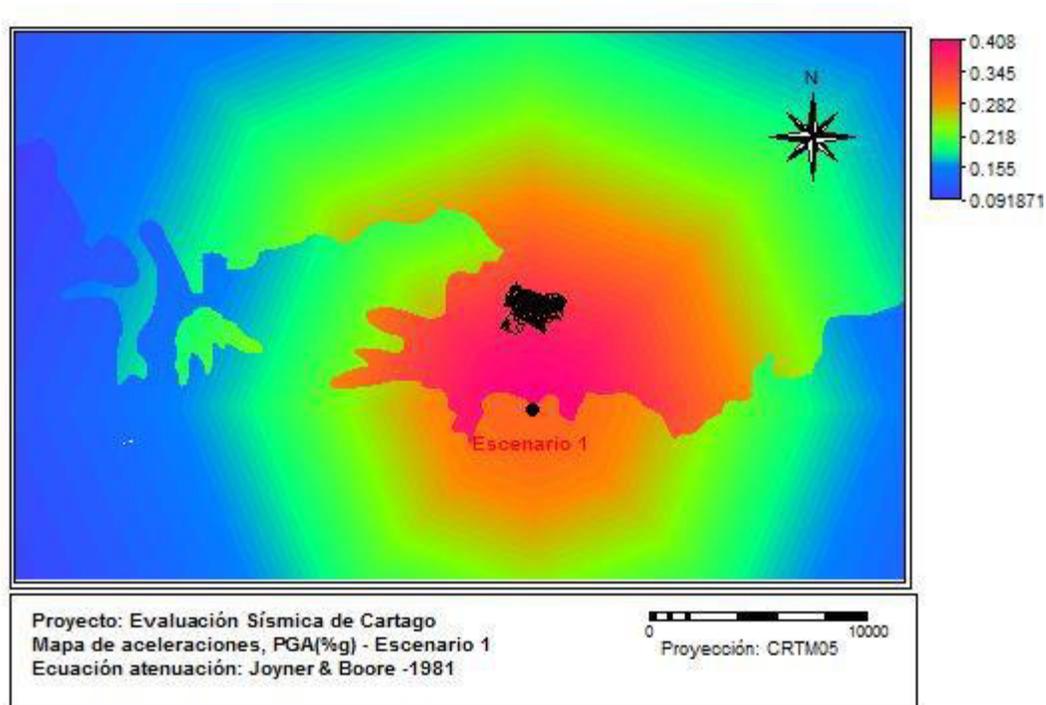


Figura 48. Mapa de aceleraciones, PGA, escenario 1

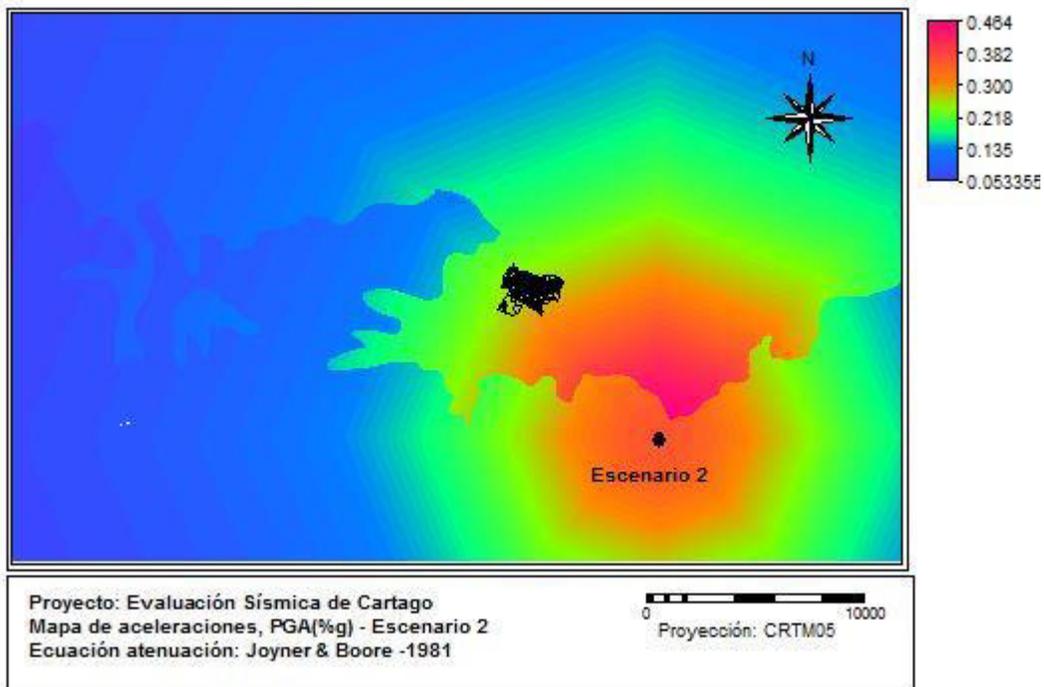


Figura 49. Mapa de aceleraciones, PGA, escenario 2

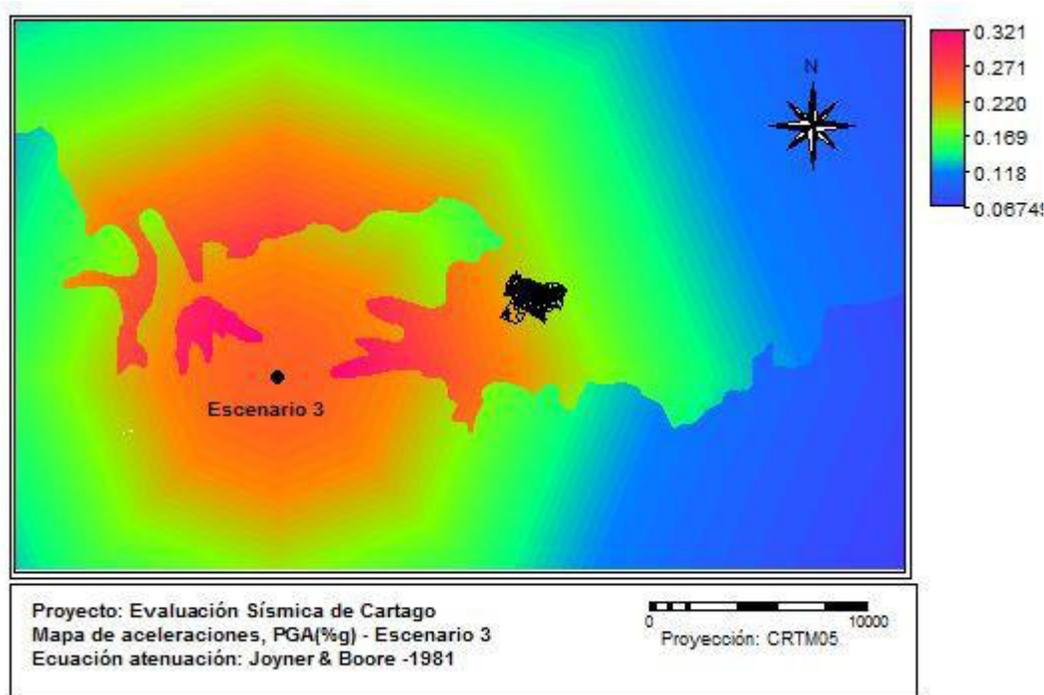


Figura 50. Mapa de aceleraciones, PGA, escenario 3

En resumen, para el escenario 1 se obtuvo una aceleración de 0.41g, para el escenario 2 de 0.36g y para el escenario 3 una de 0.32g, aproximadamente en el centro del área de estudio. Comparando con las aceleraciones obtenidas según la ecuación de atenuación de Climent, estas resultan un poco más conservadoras.

Dos importantes relaciones se presentan en el gráfico siguiente. En el gráfico de la izquierda, se muestra la relación entre PGA y distancia, que tal como es de esperar la aceleración se atenúa con la distancia, no obstante en la literatura la curva tiene una curvatura cóncava hacia abajo. En la figura de la derecha se muestra la relación entre PGA y MMI, que sigue un comportamiento lineal, de manera similar a la que se pueden observar en la literatura.

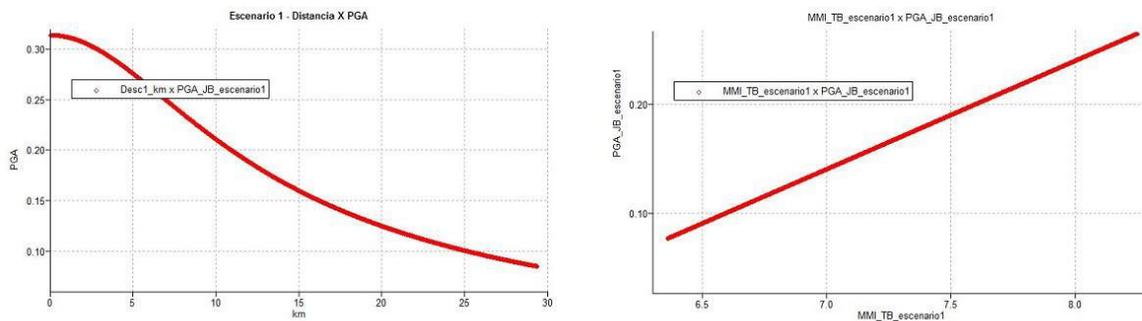


Figura 51. Relaciones PGA-distancia y relación PGA-MMI.

Estimación de la intensidad sísmica

Finalmente, se utilizó la ecuación que relaciona PGA con la escala de intensidad sísmica, MMI (Trifunac & Braddy, 1975), que aunque es una escala en términos subjetivos, es un buen indicador de los daños o consecuencias de un sismo sobre las edificaciones y las personas, ampliamente usada en la literatura, para relacionar niveles de daño con la sacudida sísmica. Según determinación de la aceleración con ecuación de atenuación Climent.et al.

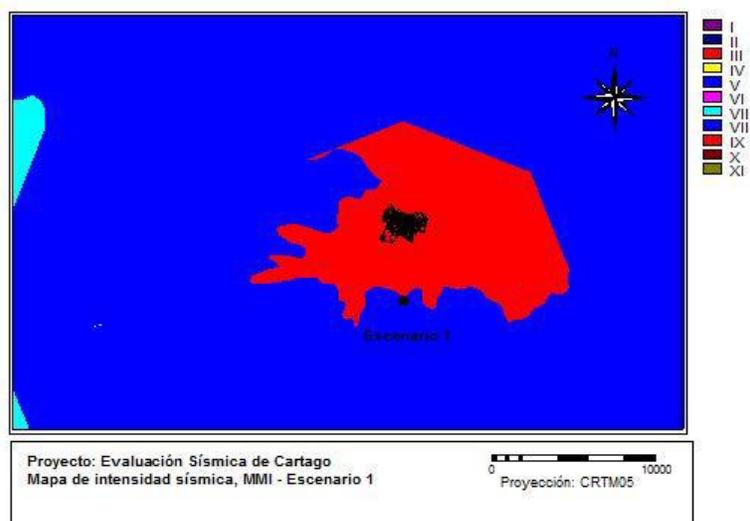


Figura 52. Mapa de intensidad sísmica, MMI, escenario 1.

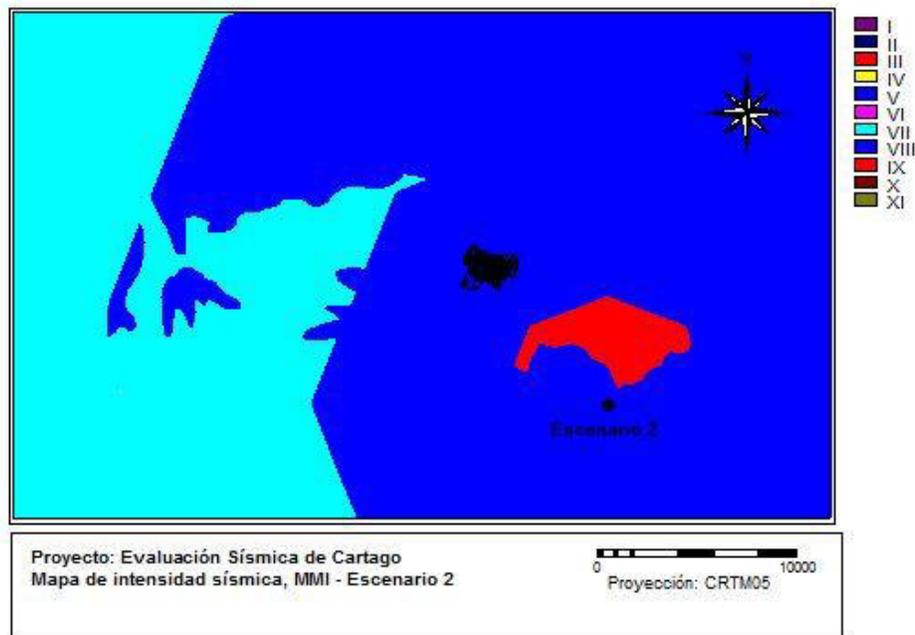


Figura 53. Mapa de intensidad sísmica, MMI, escenario 2.

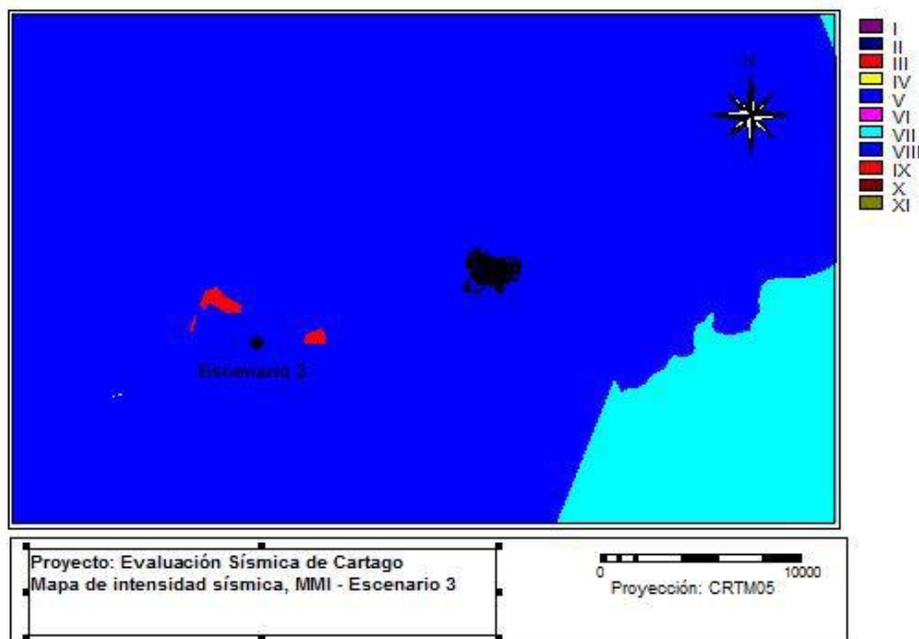


Figura 54. Mapa de intensidad sísmica, MMI, escenario 3.

MMI, según determinación de la aceleración por Joyner

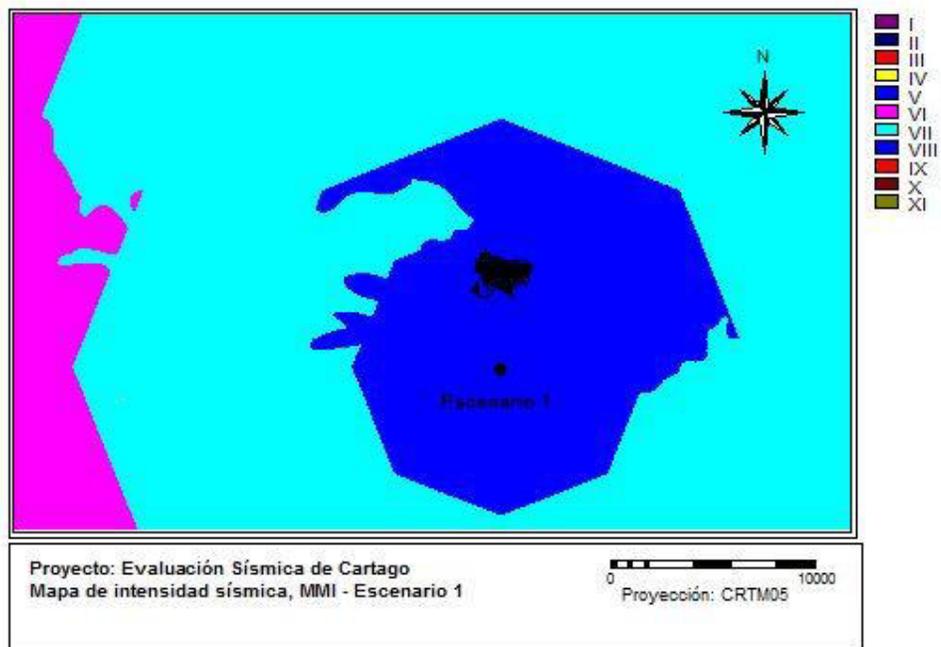


Figura 55. Mapa de intensidad sísmica, MMI, escenario 1.

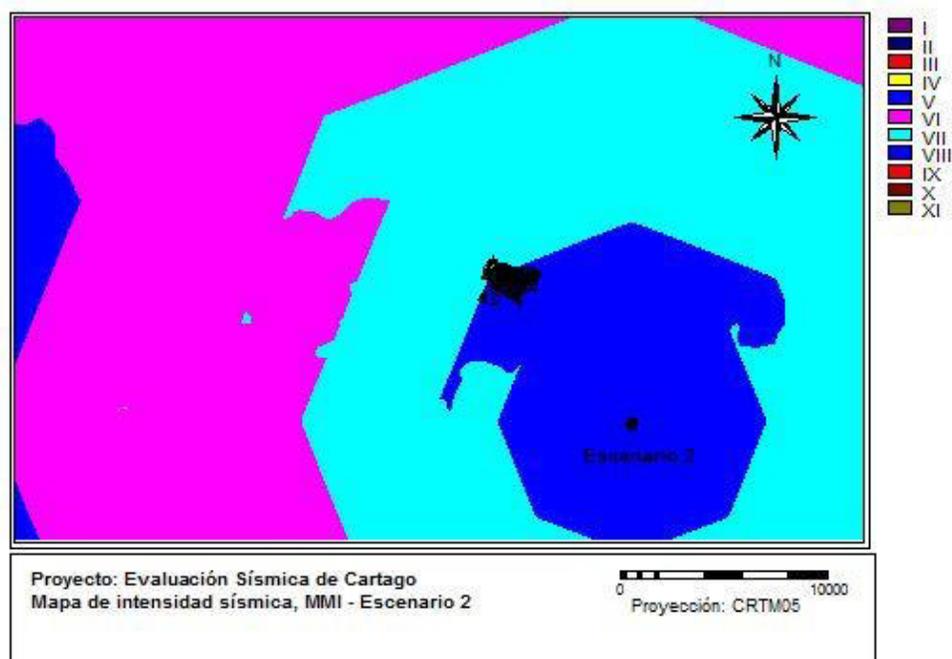


Figura 56. Mapa de intensidad sísmica, MMI, escenario 2.

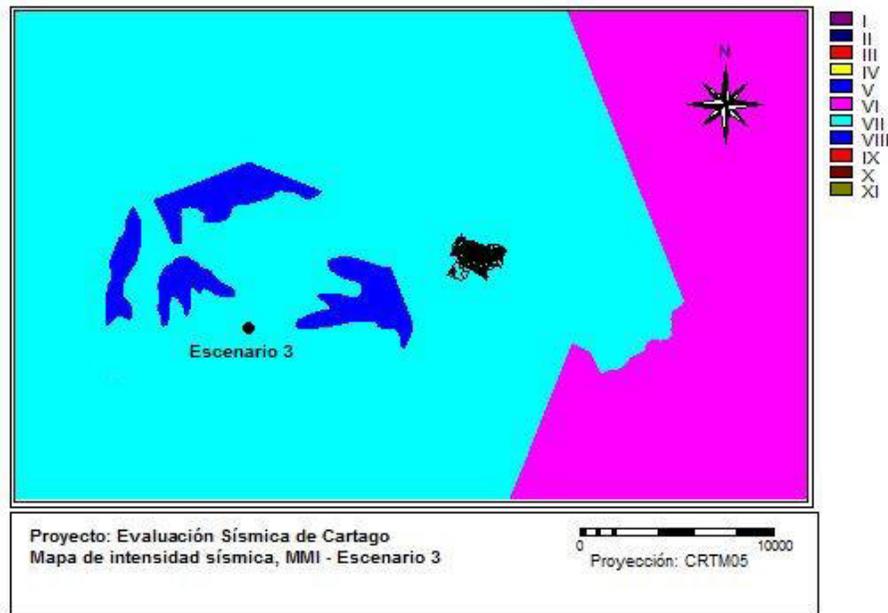


Figura 57. Mapa de intensidad sísmica, MMI, escenario 3.

En general y según las valoraciones de la propia escala Mercalli, para el escenario 1, se obtiene que el sismo produciría intensidades sísmicas del orden en la escala MMI entre VIII, y IX, según la relación de atenuación que se utilice. No obstante con intensidades sísmicas de esta magnitud, se esperarían daños considerables en las estructuras, y daño severo en estructuras no bien construidas.

Para el escenario 2, se obtuvieron intensidades del orden XIII, en la escala MMI, la cual haría esperar daños considerables también en las estructuras pobremente construidas, mampostería con daños severos.

Para el escenario 3, se tienen intensidades entre VIII y VII, según la relación de atenuación que se utilice. Sin embargo, deberíamos de esperar pocos daños en estructuras con un buen nivel de diseño sísmico y algunos daños en las edificaciones de mampostería y un mayor daño en las pobremente construidas.

Otra forma, más adecuada para evaluar los daños en estructuras y no tanto dirigida a la como lo sienten el movimiento las personas es la Escala Mercalli instrumental, desarrollada por el USGS (www.usgs.org) para medir el efecto sobre las estructuras. Esta escala se divide en 10 grupos, según la aceleración pico (PGA) y la relaciona con el daño potencial.

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)	<0.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	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 58. Escala Mercalli Instrumental- Fuente: Manual de ShakeMap.

Los resultados de la aplicación a los mapas de aceleración PGA, para los tres escenarios son los siguientes:

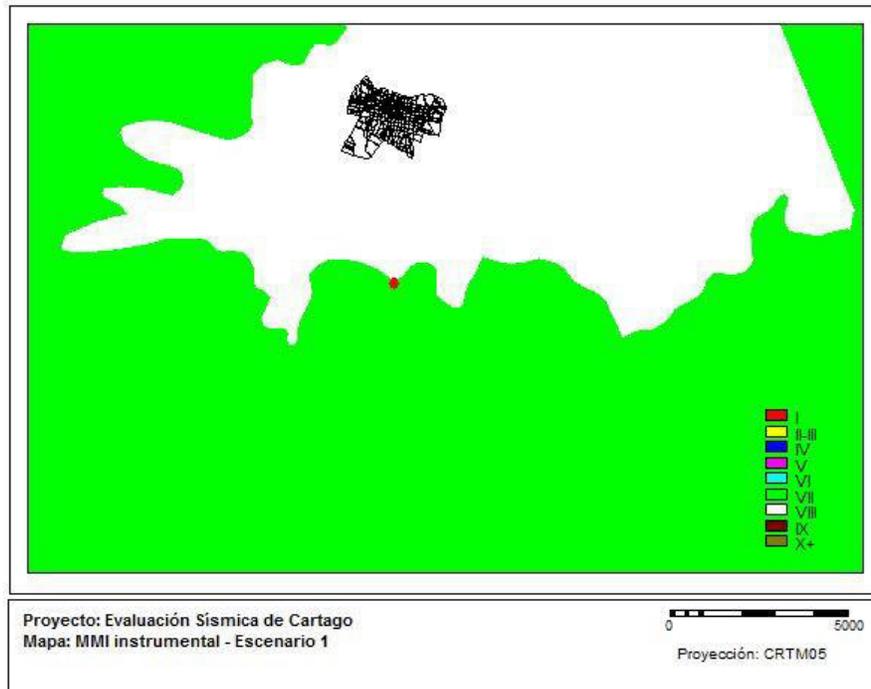


Figura 59. Escala Mercalli Instrumental- Escenario 1

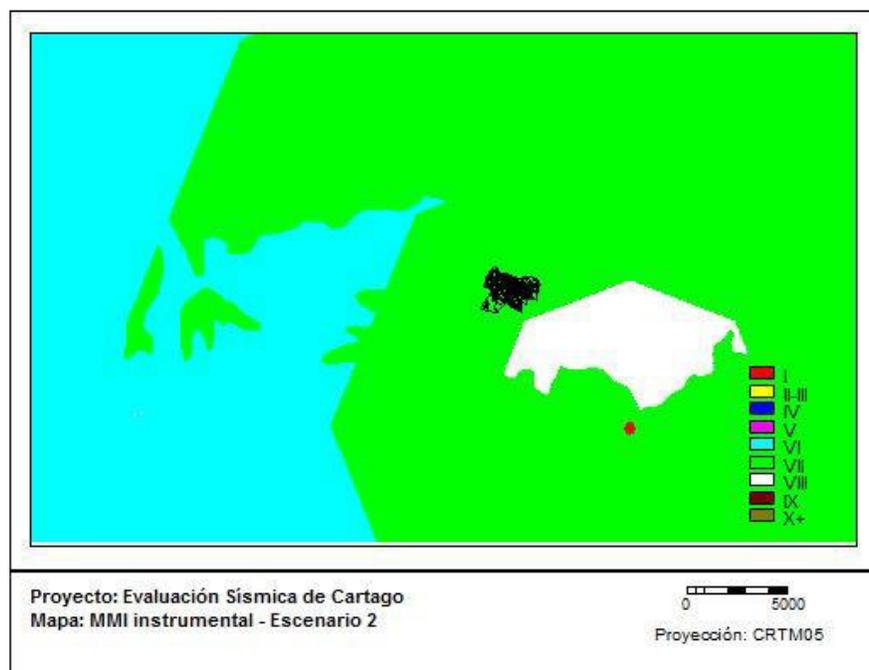


Figura 60. Escala Mercalli Instrumental- Escenario 2

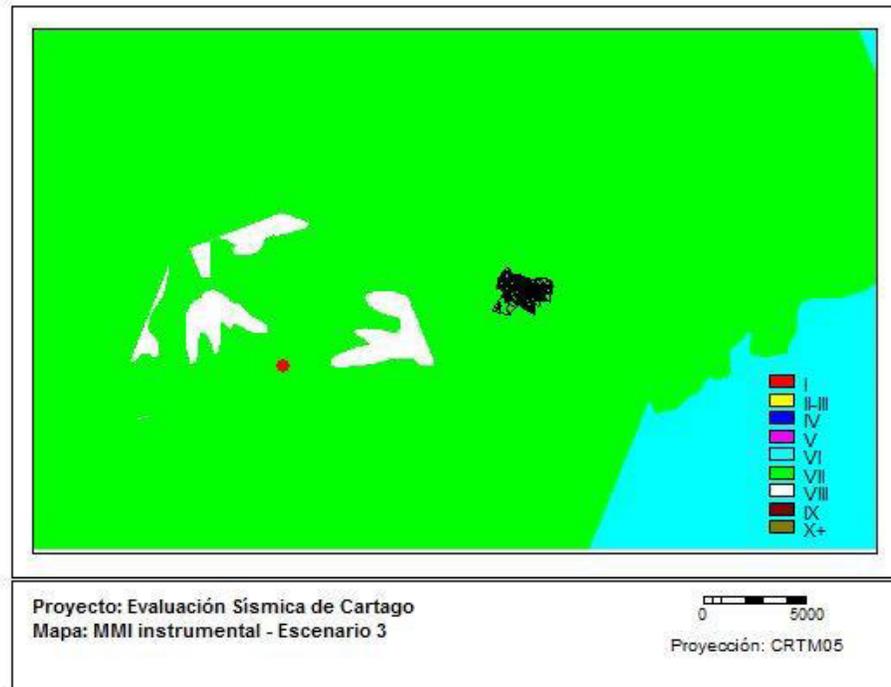


Figura 61. Escala Mercalli Instrumental- Escenario 3

Para el escenario 1, se obtuvo un valor de MMI, en todo el área en estudio de VIII, lo cual implicaría un daño potencial severo, según la tabla anterior. Para el escenario 2, se obtuvo un valor en el área de estudio de VII, lo cual representaría un daño moderado y para el escenario 3, se tiene un valor de MMI en la zona del cantón central de Cartago de VII, con el cual se estiman daños moderados en la ciudad.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se define como la predisposición de un sistema, ya sea un elemento físico o humano a sufrir daños o afectación ante la posible ocurrencia de una amenaza específica. Así, se debe evaluar y asignar a cada uno de los componentes expuestos y para cada tipo de amenaza que se considere. En el caso, del presente estudio, la vulnerabilidad a tratar corresponde a la vulnerabilidad estructural solamente, y se refiere entonces al daño que podría sufrir un activo determinado ante la ocurrencia de un sismo. Usualmente se mide en términos de un porcentaje de daño o valor requerido de reparación del bien afectado.

La vulnerabilidad se expresa en términos de las llamadas funciones de vulnerabilidad que definen la distribución de probabilidad de las pérdidas como una función de la intensidad producida durante un escenario dado.

Las funciones de vulnerabilidad pueden evaluarse mediante diferentes técnicas a saber:

- Observaciones del comportamiento de diferentes tipos estructurales ante que producen desastres.
- Estudios experimentales de componentes es 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 la considerar.
- Experiencia acumulada de expertos.
- Funciones publicadas en la bibliografía internacional.

Ejemplo de una curva de vulnerabilidad se presenta en la figura siguiente en donde se ha utilizado el programa ERN-Vulnerabilidad para su generación, usando datos disponibles en la literatura. La curva superior muestra el porcentaje de daños, según la intensidad del movimiento sísmico, dado en gals y la curva inferior es la curva de desviación estándar. Esta curva fue generada para datos de mampostería confinada, con diafragma flexible y cubierta liviana, para una estructura de 2 niveles.

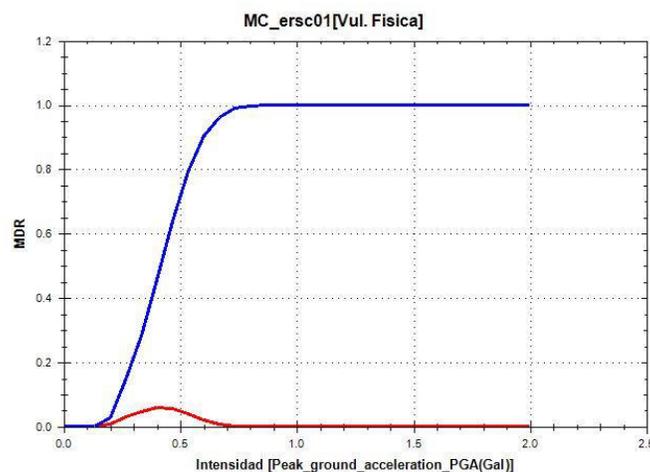


Figura 62. Curva de vulnerabilidad. Elaboración propia. Fuente: ERN_Latinoamericana.

Los parámetros utilizados o definidos en el formulario corresponden a: Uso del suelo, Tipo de edificio, Edad, Regularidad, y Estado.

Uso del suelo		Tipo edificio		Edad		Regularidad	
R	Residencial	W	Muros de madera	N	>2002	R	Regular
C	Comercial	MCDR	Marcos concreto, diafragma rígido	M	1974-2001	I	Irregular
I	Industrial	MCDF	Mampostería confinada- diaf.flexible	V	Antes 1974		
E	Educacional	MRDF	Mampostería reforzada, diaf.flexible				
OI	Institucional	MRDR	Mampostería reforzada, diaf.rígido				
Re	Recreacional	MSR	Mampostería sin refuerzo	Estado			
A	Agricultura	MA	Marcos de acero	B	Bueno		
V	Vacío	MCODF	Marcos concreto diaf. flexible	M	Regular		
		MM	Marcos y muros de concreto	R	Pobre		
		T	Tugurio	A	Abandono		
		CP	Concreto prefabricado				
		O	Otro o antiguo				
		D	Mampostería y piso sup liviano				

Figura 64. Parámetros del formulario de evaluación.

Uso del suelo: se definieron los siguientes usos del suelo: residencial, comercial, industrial, educacional, institucional, recreacional, agrícola y vacío.

Tipo de edificio: muros de madera, marcos de concreto con diafragma flexible, mampostería confinada con diafragma flexible, mampostería reforzada con diafragma flexible, mampostería reforzada con diafragma rígido, mampostería sin refuerzo, marcos de acero, marcos de concreto con diafragma flexible, marcos y muros de concreto, tugurio, concreto prefabricado, antiguo, mampostería y piso superior liviano. Estos se consideran son los tipos constructivos más representativos en el país.

Edad: después del año 2002, entre 1974 y 2001 y antes de 1974, que corresponden con los diferentes años de aparición de los códigos sísmicos con que ha contado o cuenta el país.

Regularidad: regular o irregular.

Estado: bueno, regular, pobre y abandono. Corresponden a la observación del estado de la edificación en términos subjetivos del evaluador, en cuanto a su asignación.

Evaluación de la vulnerabilidad.

Con la información primaria, se realizó un primer filtro, decidiéndose utilizar para el resto del estudio, cuatro tipos característicos de edificaciones: madera, mampostería confinada, mampostería reforzada y lo que llamamos sistema dual. Entonces para cada uno de los lotes o predios inspeccionados se obtuvieron los porcentajes de existencia de cada uno de ellos, tomando los demás atributos como edad, estado, regularidad los mayores porcentajes de cada subgrupo. Con esto definimos una serie de lotes típicos (lotes madre) que servirán para extrapolar sus características a los demás lotes no inspeccionados. Las características de cada lote típico o madre incluyen los siguientes encabezados de su tabla de atributos.

- Num
- Ocupación
- Madera (w)
 - Tipo de construcción
 - Edad
 - Número de pisos
 - Regularidad
 - Estado
- Mampostería confinada DF (ma)
 - Tipo de construcción
 - Edad
 - Número de pisos
 - Regularidad
 - Estado
- Mampostería reforzada DR (mb)
 - Tipo de construcción
 - Edad
 - Número de pisos
 - Regularidad
 - Estado
- Sistema dual (D) (mc)
 - Tipo de construcción
 - Edad
 - Número de pisos
 - Regularidad
 - Estado
- Porcentaje de w
- Porcentaje de ma
- Porcentaje de mb
- Porcentajes de mc

En la tabla de atributos de los lotes típicos, se calcularon los porcentajes de cada uno de los tipos prevalecientes que lo componen.

Para los lotes no inspeccionados, éstos heredaron las características de los lotes madre en su cercanía, tratando en lo posible que esta cercanía no fuera mayor a los 400 m, según un criterio de la CNE. Así se les otorgaron atributos a todos los lotes del área de estudio.

Se eliminaron del estudio aquellas construcciones con características especiales como son: parques, iglesias (Iglesia de los Ángeles y otras), edificios históricos (Ruinas), algunas escuelas con edificios particulares, gimnasios y los lotes vacíos.

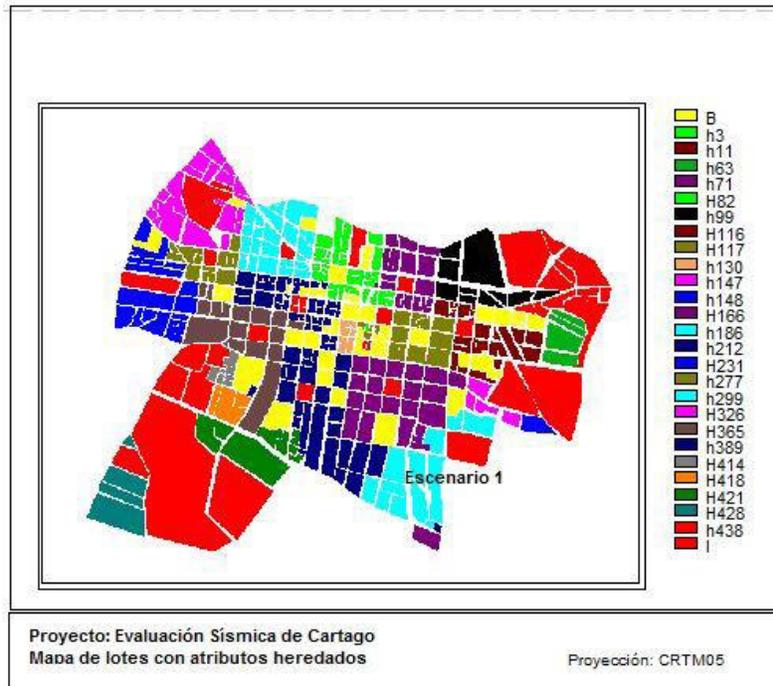


Figura 64. Mapa de lotes con herencia.

En la figura, los lotes de color amarillo, corresponden a lotes que se eliminaron por ser edificaciones especiales. Los números en el cuadro de leyendas, corresponden con el número de cada lote inspeccionado.

Finalmente, la tabla de atributos de cada uno de los lotes, quedo definida, tal como se presenta en la siguiente tabla (parcial) de características homogéneas y fue asignada al mapa de polígonos o lotes del área de estudio.

Num	Ocu	vUse	vTip	vEda	vNum	vRes	vEs	maUs	maTip	maEda	maNum	maRe	maEs	mbUs	mbTip	mbEda	mbNum	mbRe	mbEs	mcUs	mcTip	mcEda	mcNum	mcReg	mcEst	por_v	por_ma	por_mb	por_mc	
1	V	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	?	0	?	?	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	0	0	0	0
2	V	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	?	0	?	?	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	0	0	0	0
3	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	N	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.4	0.6	0	0	
4	O	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	M	1	R	B	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
5	O	?	W	?	0	?	?	R	MCDF	M	1	R	B	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
6	O	?	W	?	0	?	?	R	MCDF	M	1	R	B	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
7	O	?	W	?	0	?	?	R	MCDF	M	1	R	B	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
8	O	?	W	?	0	?	?	R	MCDF	M	1	R	B	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
9	O	?	W	?	0	?	?	R	MCDF	M	1	R	B	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
10	O	?	W	?	0	?	?	R	MCDF	M	1	R	B	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
11	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	V	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.21	0.79	0	0	0
12	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	V	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.21	0.79	0	0	0
13	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	V	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.21	0.79	0	0	0
14	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	V	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.21	0.79	0	0	0
15	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	V	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.21	0.79	0	0	0
16	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	V	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.21	0.79	0	0	0
17	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	V	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.21	0.79	0	0	0
18	O	?	W	?	0	?	?	R	MCDF	N	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
19	O	?	W	?	0	?	?	R	MCDF	N	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	1	0	0	0
20	V	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	?	0	?	?	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	0	0	0	0
21	O	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	M	1	R	B	R	MCDR	M	1	R	B	C	D	M	1	R	M	0	0.5	0.33	0.17	0
22	V	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	?	0	?	?	?	MPDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0	0	0	0	0
23	O	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	M	1	R	B	R	MCDR	M	1	R	B	C	D	M	1	R	M	0	0.5	0.33	0.17	0
24	O	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	M	1	R	B	R	MCDR	M	1	R	B	C	D	M	1	R	M	0	0.5	0.33	0.17	0
25	O	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	M	1	R	B	R	MCDR	M	1	R	B	C	D	M	1	R	M	0	0.5	0.33	0.17	0
26	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	N	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.4	0.6	0	0	0
27	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	N	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.4	0.6	0	0	0
28	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	N	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.4	0.6	0	0	0
29	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	N	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.4	0.6	0	0	0
30	O	R	W	V	1	R	M	R	MCDF	N	1	R	B	?	MCDR	?	0	?	?	?	D	?	0	?	?	0.4	0.6	0	0	0
31	O	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	V	1	R	B	C	MCDR	N	1	R	M	?	D	?	0	?	?	0	0.3	0.7	0	0
32	O	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	V	1	R	B	C	MCDR	N	1	R	M	?	D	?	0	?	?	0	0.3	0.7	0	0
33	O	?	W	?	0	?	?	?	MCDF	V	1	R	B	C	MCDR	N	1	R	M	?	D	?	0	?	?	0	0.3	0.7	0	0

Figura 65. Tabla de atributos de los lotes (en total 438 lotes), extracto

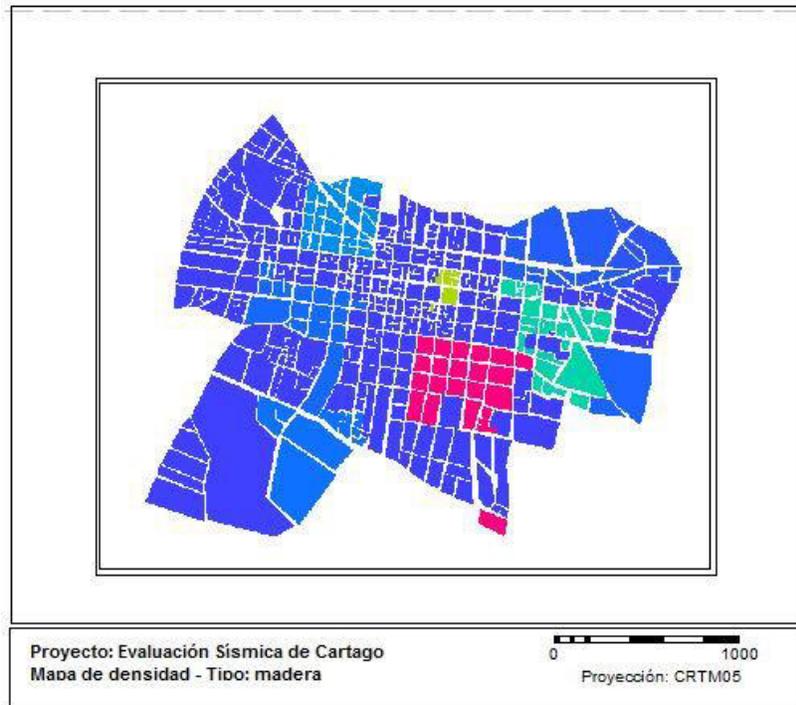


Figura 66. Mapa de densidades- Tipo Madera.

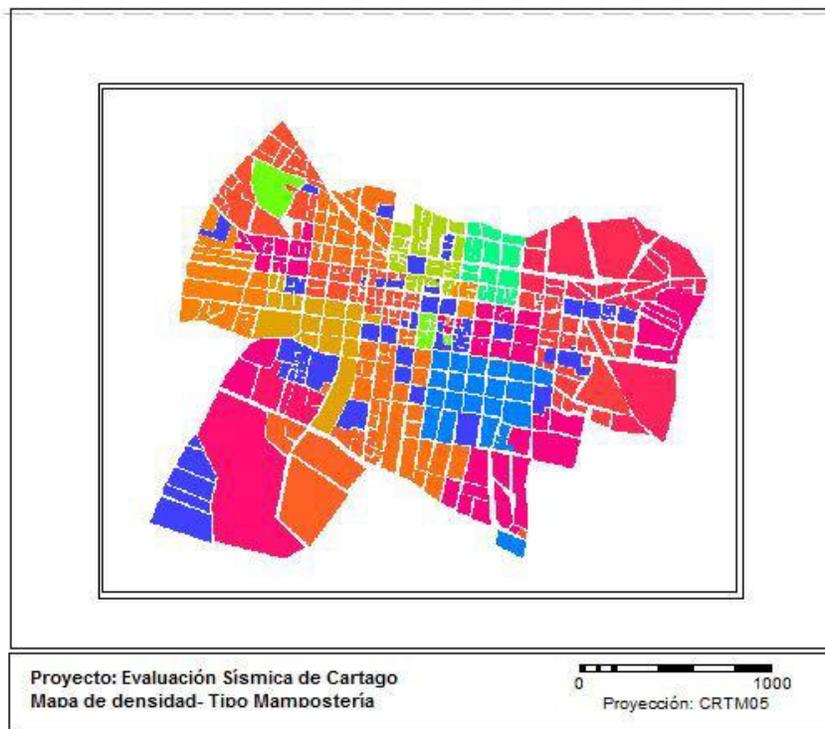


Figura 67. Mapa de densidades- Tipo Mampostería Confinada

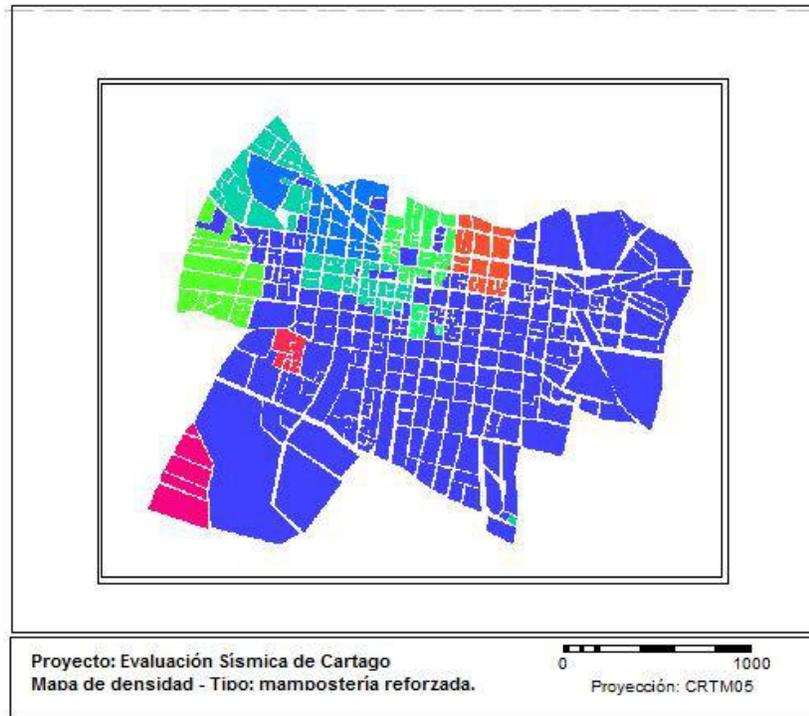


Figura 68. Mapa de densidades- Tipo Mampostería reforzada.

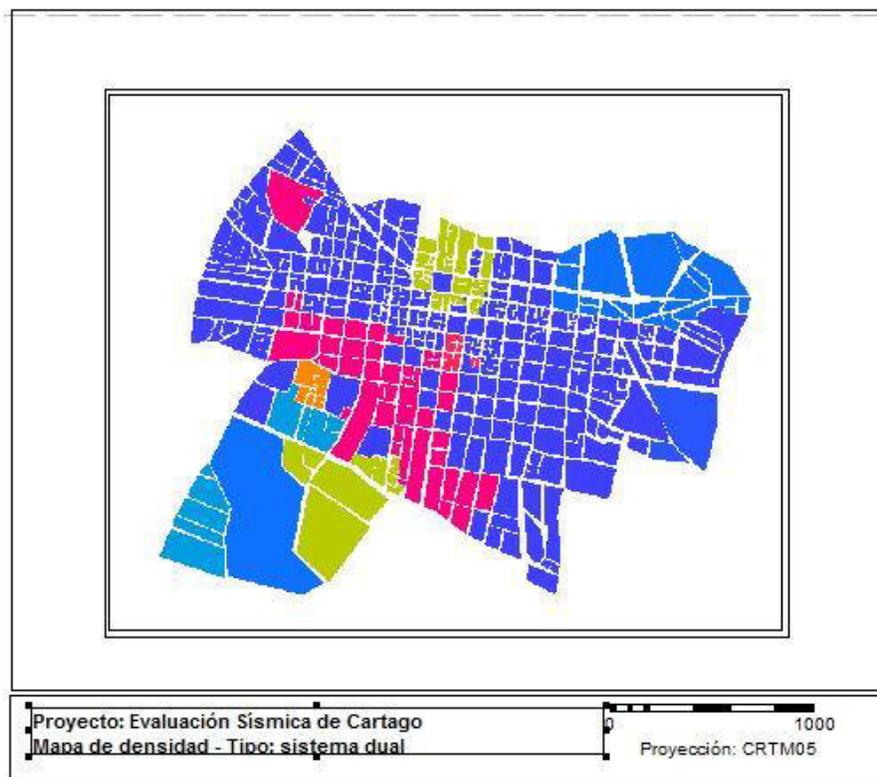


Figura 69. Mapa de densidades- Tipo sistema dual.

Funciones de vulnerabilidad.

En el proyecto se utilizaron las funciones de vulnerabilidad para Costa Rica, presentadas en el informe T2-5 - Caracterización de la Vulnerabilidad de Edificaciones_COR (ERN-Capra). En el informe se presentan curvas de vulnerabilidad, para 15 tipos constructivos. De ahí, se obtuvieron las curvas para los tipos que se incluyen en el presente estudio: madera, mampostería confinada con diafragma flexible, mampostería reforzada con diafragma rígido y un tipo que se definió como dual, correspondiente a aquellas construcciones generalmente de un piso de mampostería, que posteriormente se les hace una ampliación a un segundo nivel, de materiales livianos, así que para este caso, se tomó una de las curvas que se consideró más representativa de este tipo constructivo, a falta de una curva específica. Las curvas que se utilizaron se muestran en la figura siguiente:

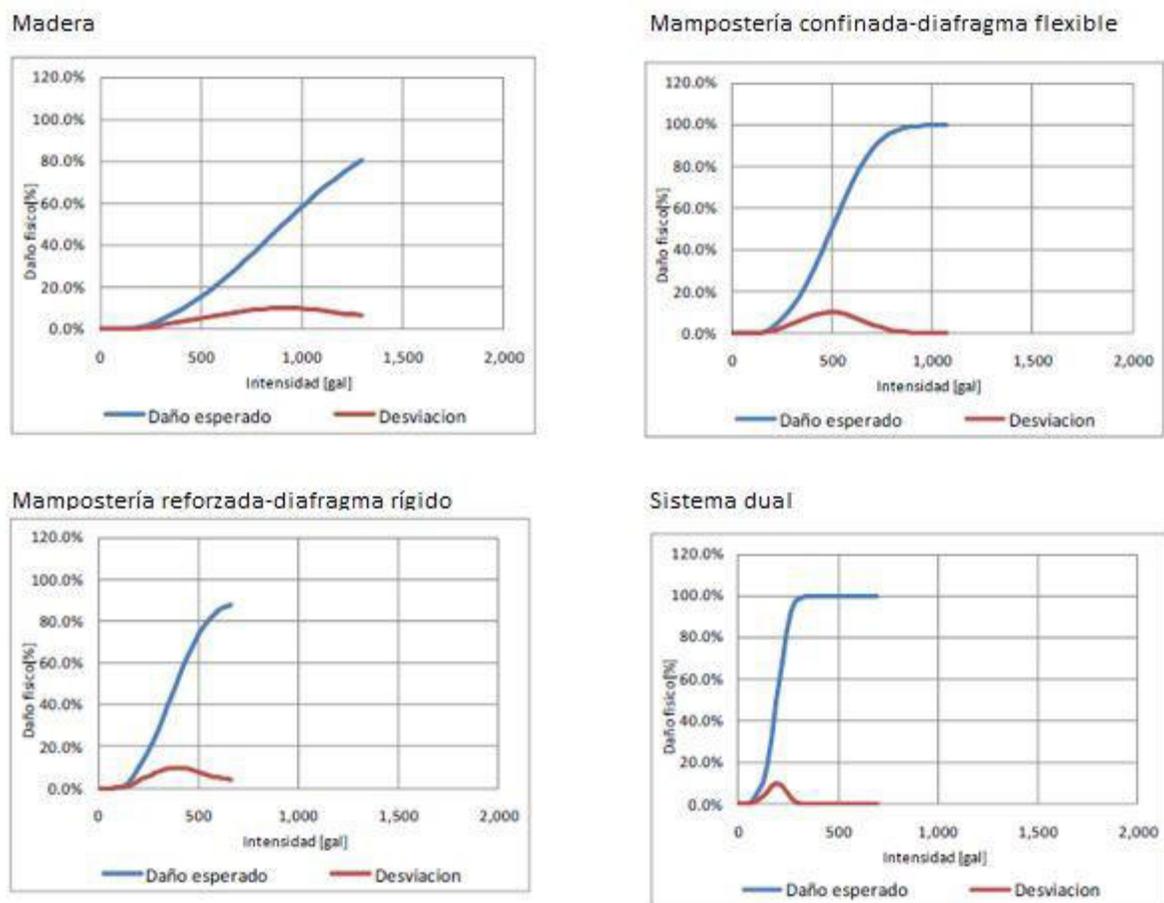
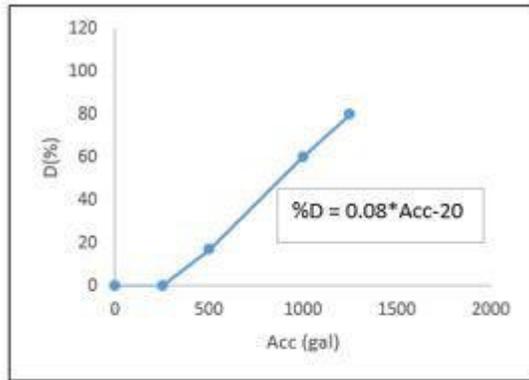


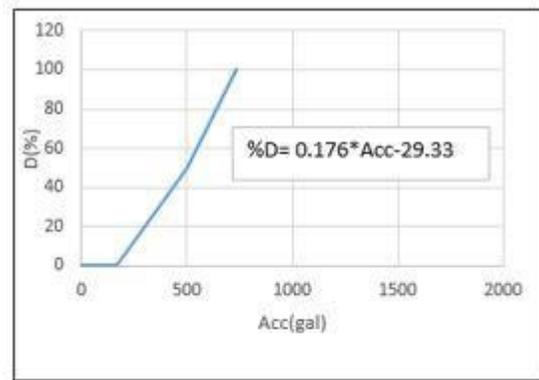
Figura 70. Curvas de vulnerabilidad, ERN-Capra.

Estas curvas fueron adaptadas para poder ser utilizadas en el programa Ilwis, para lo cual se aproximaron a líneas rectas, de varios tramos, obteniéndose entonces una ecuación para cada una de ellas. Estas se presentan en la siguiente figura:

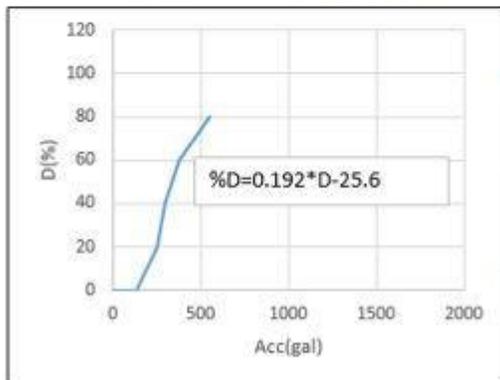
Madera



Mampostería confinada-diafragma flexible



Mampostería reforzada-diafragma rígido



Sistema dual

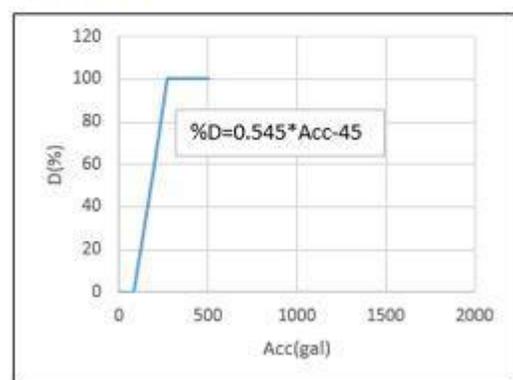


Figura 71. Curvas de vulnerabilidad adaptadas.

Las funciones desarrolladas para Ilwis tienen las siguientes ecuaciones:

<p>Madera</p> <pre>Function fvul_w(Value A) : Value Begin Return IFF(A<250, 0, IFF(A<1250, 0.08*A-20, 80)); End;</pre>	<p>Mampostería confinada- DF</p> <pre>Function fvul_ma(Value A) : Value Begin Return IFF(A<166.67, 0, IFF(A<733.33, 0.176*A-29.33, 100)); End;</pre>
<p>Mampostería reforzada - DR</p> <pre>Function fvul_mb(Value A) : Value Begin Return IFF(A<133.33, 0, IFF(A<550, 0.192*A-25.6, 90)); End;</pre>	<p>Sistema Dual</p> <pre>Function fvul_mc(Value A) : Value Begin Return IFF(A<83.33, 0, IFF(A<266.67, 0.545*A-45.33, 100)); End;</pre>

Figura 72. Ecuaciones de las funciones de vulnerabilidad.

Un resumen de la metodología para la evaluación del riesgo sísmico, desarrollado en el programa RADIUS, se presenta en la figura siguiente. Este método es el que se sigue en el presente proyecto, con ligeras variaciones.

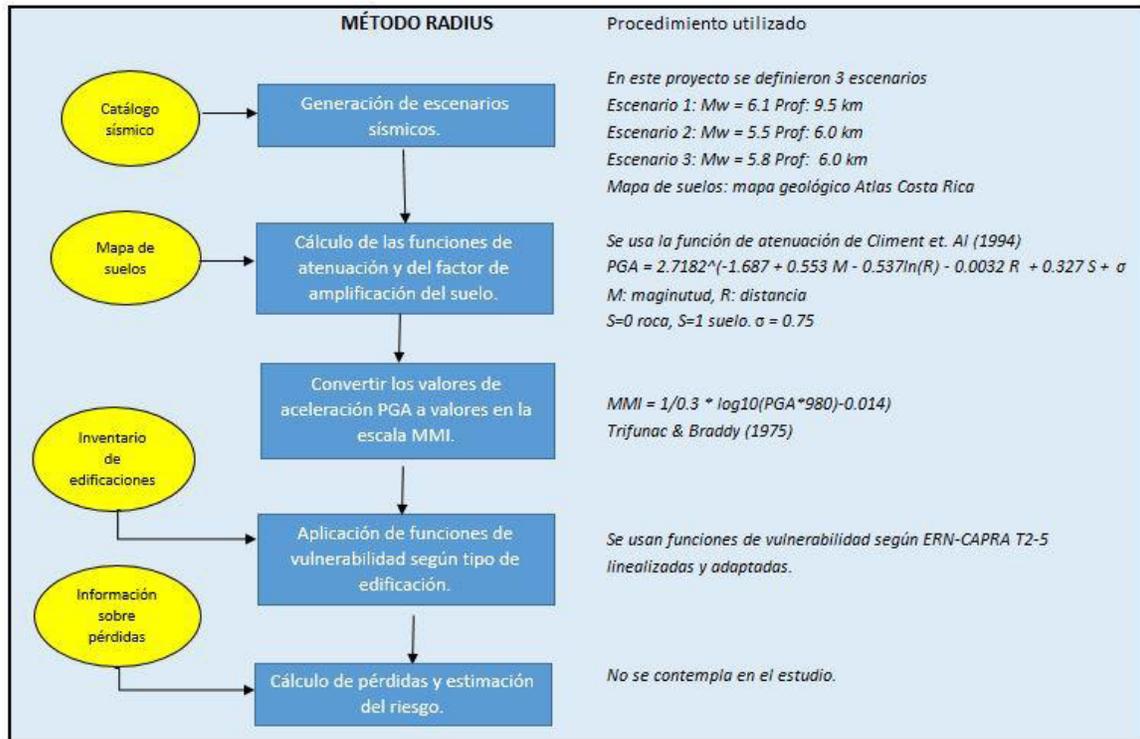


Figura 73. Metodología RADIUS.

Elementos expuestos.

Como ya se ha mencionado, la zona de estudio corresponde a los distritos Oriental y Occidental del cantón central de Cartago. Lo primero que se hizo fue realizar una lotificación de la zona de estudio, para crear un mapa de polígonos de la ciudad, que corresponden en la mayoría de las mismas manzanas en que se divide la ciudad, y en zonas un poco más extensas, en donde esta división por manzanas es un poco más confusa y en lo posible que fueran entonces áreas con cierta homogeneidad. Para ello se utilizó el programa Google Earths, y los polígonos fueron trazados sobre la imagen (previa rectificación de la imagen) y dibujados en el programa MapWindows. En total se obtuvieron 438 polígonos.



Figura 74. Definición en polígonos de la zona de estudio.

Una vez que se dibujaron los polígonos se escogieron al azar, los lotes a inspeccionar, los cuales corresponden a manzanas completas, o a zonas más extensas con cierta homogeneidad.

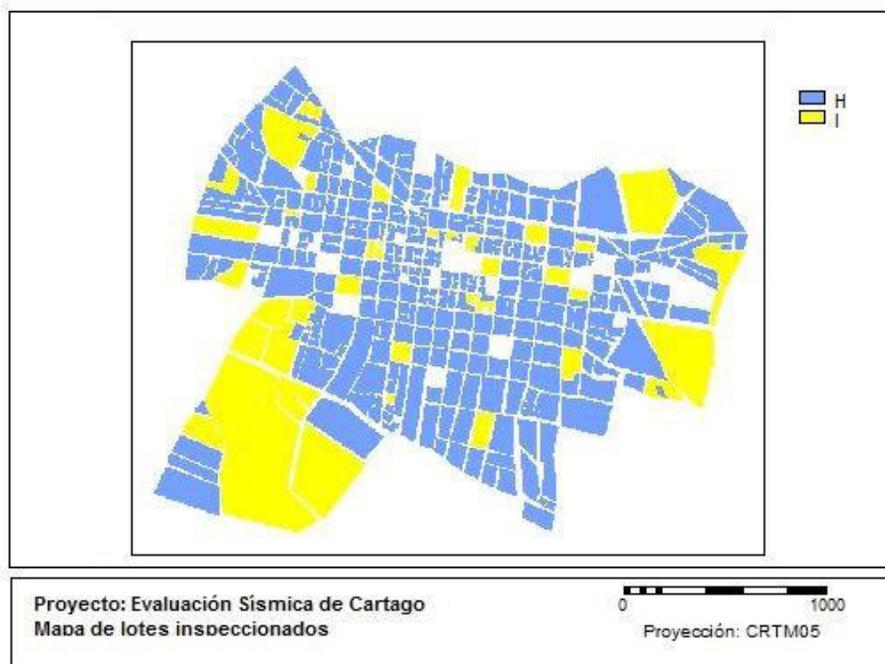


Figura 75. Mapa de zonas inspeccionadas.

En el caso de que el lote correspondiera a una sola manzana, se pasó un solo formulario, levantando todas las edificaciones en él. En el caso de zonas más extensas, se utilizaron varios formularios, hasta un máximo de 5, según un criterio de área establecido por la CNE. (Jiménez, 2010). En total las áreas definidas para la inspección fueron 60 lotes y en total se levantó información de 922 edificaciones. Las inspecciones fueron realizadas por grupos de estudiantes asistentes, a los cuales se les adiestro en una sesión de trabajo, con el significado de cada uno de los parámetros a considerar.

Trabajo de campo.

Los resultados obtenidos del trabajo de campo se presentan en los siguientes gráficos:

Uso del suelo

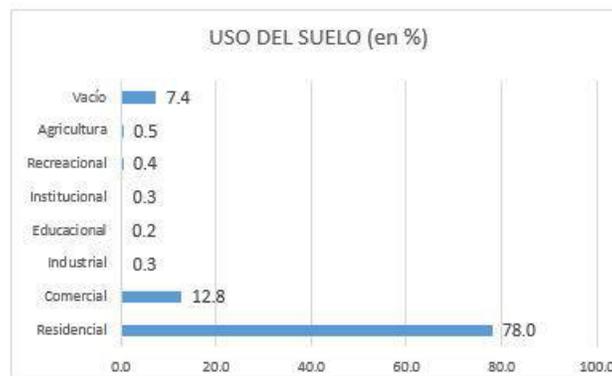


Figura 76. Uso del suelo.

El 78% de la muestra corresponde a edificaciones de uso residencial, y un 12.8% a edificios de uso comercial. El otro grupo importante corresponde a lotes vacíos.

Tipo estructural

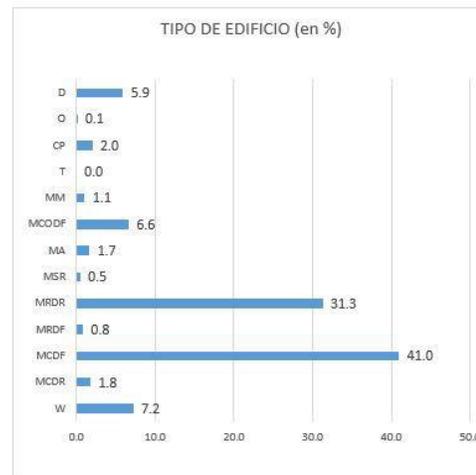


Figura 77. Tipo constructivo.

Del total de edificios un 41% corresponden a edificaciones con un sistema constructivo tipo mampostería confinada con diafragma flexible, un 31.3% a edificios de mampostería reforzada con diafragma rígido, un 7.2% a madera y un 5.9% a viviendas duales, las cuales en su gran mayoría son edificios de 2 pisos, con el primero hecho con mampostería y el segundo nivel son seguramente ampliaciones que se construyen con materiales livianos, ya sea a base de perfiles laminados en frío, madera y cerramientos de materiales a base de yeso u otro material.

Edad

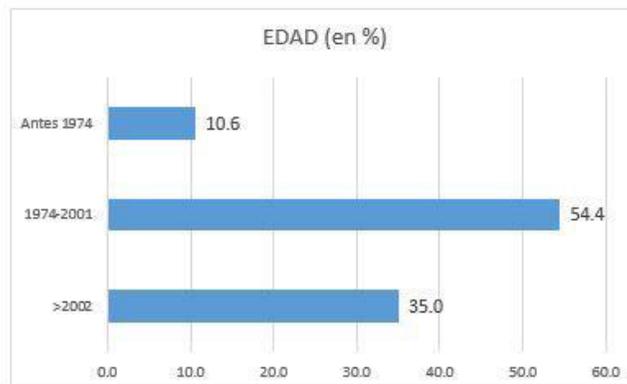


Figura 78. Edad.

El 54.4% de la muestra son edificaciones que se construyeron después del año 1974, posterior a la promulgación del primer código sísmico de Costa Rica. Un 35% son edificios relativamente nuevos posteriores al año 2002, que corresponden con el lanzamiento de la tercera edición del CSCR. El 10% de los edificios tienen más de 40 años de construidos, años en los cuales no se contaba en el país con un código sísmico.

Estado

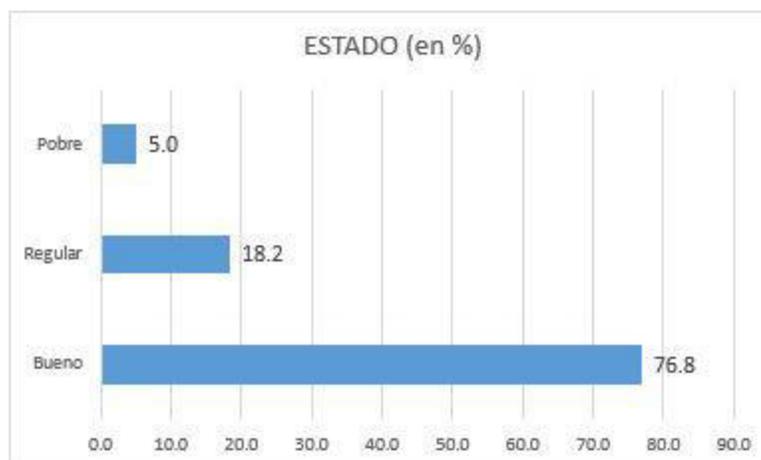


Figura 79. Uso del suelo.

El estado de los edificios se cataloga en general como bueno, un 76.8%, un 18.2% en regular estado, lo cual generalmente es representativo de un deterioro de los elementos no estructurales, como pintura, canoas, cubierta, etc. Un 5% si se consideró en estado pobre de mantenimiento pobre o nulo.

Regularidad

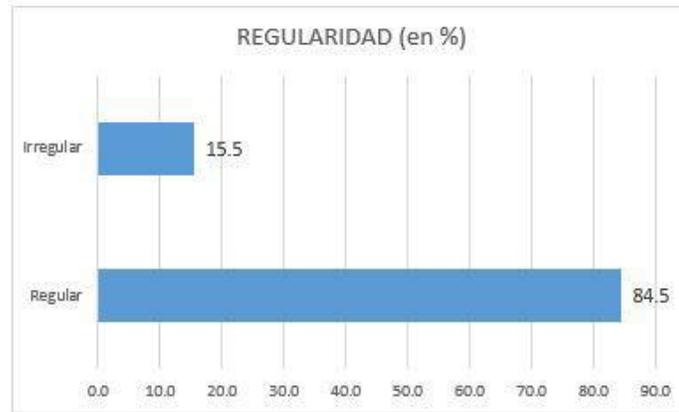


Figura 80. Regularidad.

Un 84.5% de la muestra se consideró que eran edificaciones regulares, tanto en planta como en elevación y un 15.5% como irregulares. La evaluación de este parámetro, resultó ser subjetiva, basada en el criterio del evaluador en muchos casos, dado que no se tuvo acceso al interior del edificio y entonces su valoración corresponde con lo observado exteriormente.

Número de pisos.



Figura 81. Número de pisos.

El 72% son edificaciones de un piso y el 28% son edificaciones de dos niveles. Como se observa prevalecen los edificios de un solo nivel.

De los resultados anteriores, se escogió el tipo constructivo como el más importante, y de éste se seleccionaron cuatro tipos para seguir con el estudio, los cuales son: sistema a base de madera, mampostería confinada con diafragma flexible, mampostería reforzada con diafragma rígido y el sistema dual. Aunque los marcos de concreto, representan un porcentaje significativo, de alrededor del 7%, estos al final se incluyeron como mampostería confinada, al considerar que efectivamente un representan un sistema puro, sino que en la gran mayoría se le incluyen paredes de mampostería.

Evaluación de la vulnerabilidad.

Como se mencionó en el apartado anterior, se aplicaron las funciones de vulnerabilidad en cierta medida ad

aptadas, a cada uno de los cuatro tipos constructivos escogidos en el estudio. Para ello fue necesario realizar para cada uno de ellos, un mapa de densidad, al no contar con información individual de cada edificio. La densidad de cada tipo fue obtenida como una ponderación del área total del lote y el porcentaje en el lote de cada tipo constructivo. Cada porcentaje fue relacionado con el número de píxeles, para obtener la densidad de píxeles correspondiente a cada sistema constructivo.

Así se generaron 12 mapas de vulnerabilidad. Por cada escenario, se tienen cuatro mapas de la vulnerabilidad de cada tipo constructivo y los resultados del análisis se presentan a continuación:

Escenario 1

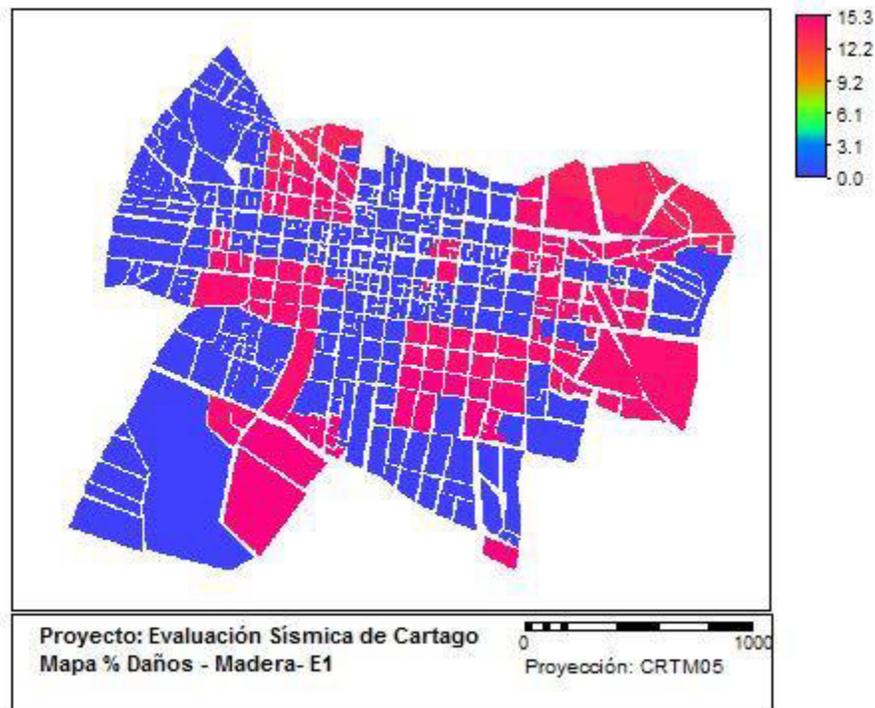


Figura 82. % Daños para tipo constructivo madera.

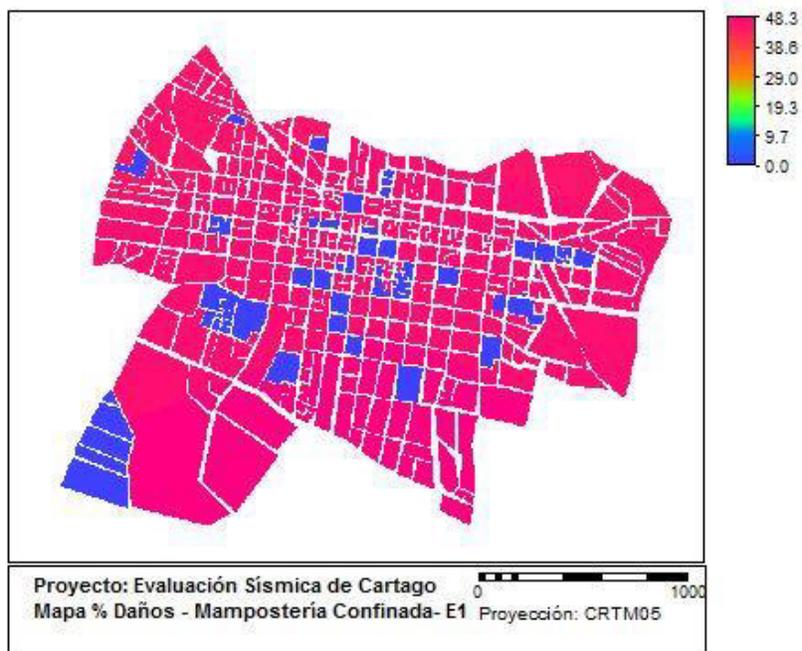


Figura 83. % Daños para tipo constructivo mampostería confinada.

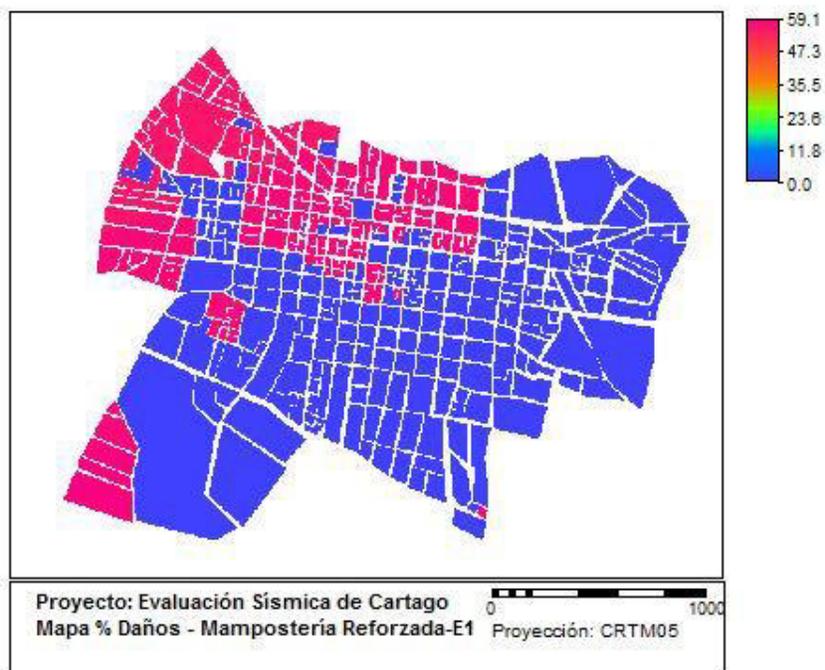


Figura 84. % Daños para tipo constructivo mampostería reforzada.

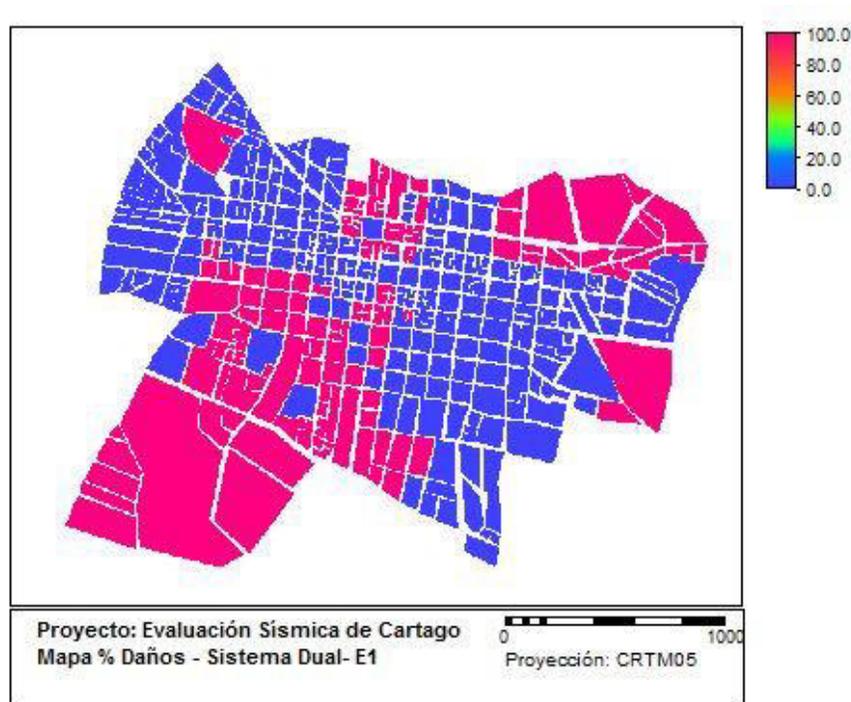


Figura 85. % Daños para tipo constructivo dual.

El escenario 1, corresponde a un sismo de magnitud 6.1 y a una distancia de aproximadamente 5 km del centro de la ciudad. Para un evento de esta naturaleza se observa en la figura correspondiente al tipo constructivo de madera, un porcentaje de daño de 15%, para la mampostería confinada un 48%, mampostería reforzada un 60% y para el sistema dual de un 100%.

En el caso de las edificaciones de madera, se espera que estas tengan un buen comportamiento, por ser un sistema muy flexible y la curva de vulnerabilidad representar edificaciones en buen estado. El caso de los sistemas duales, se esperarían que la gran mayoría tengan problemas estructurales graves, incluso el colapso, situación que se debe a que es un sistema que se construye de alguna manera un tanto empírica, como ampliación, en muchos casos sin supervisión y mala calidad de la mano de obra. En el caso de los tipos a base de mampostería se esperarían daños estructurales graves, sin ocurrir su colapso, aparición de grietas, desprendimientos y fallas de algunos de sus elementos y daños en las partes no estructurales.

Es conveniente resaltar que los mapas reflejan las áreas en donde prevalece un tipo constructivo en particular, resultando que para la mayoría de los casos, en los mismos lotes, se presentan resultados de todos los tipos.

Escenario 2

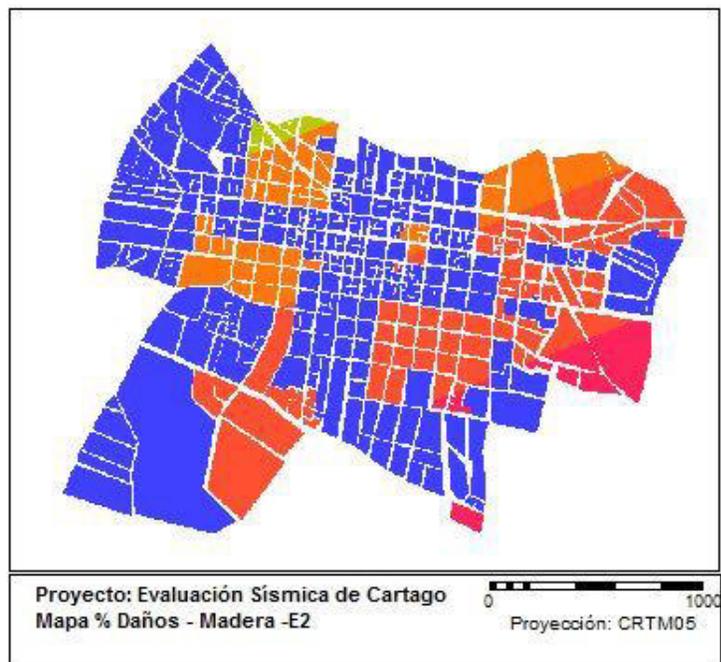


Figura 86. % Daños para tipo constructivo madera.

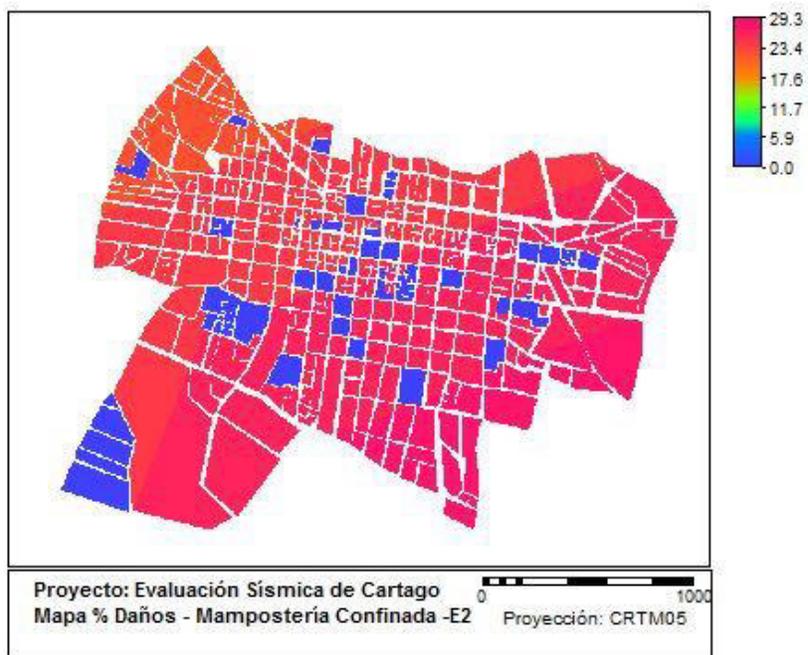


Figura 87. % Daños para tipo constructivo mampostería confinada.

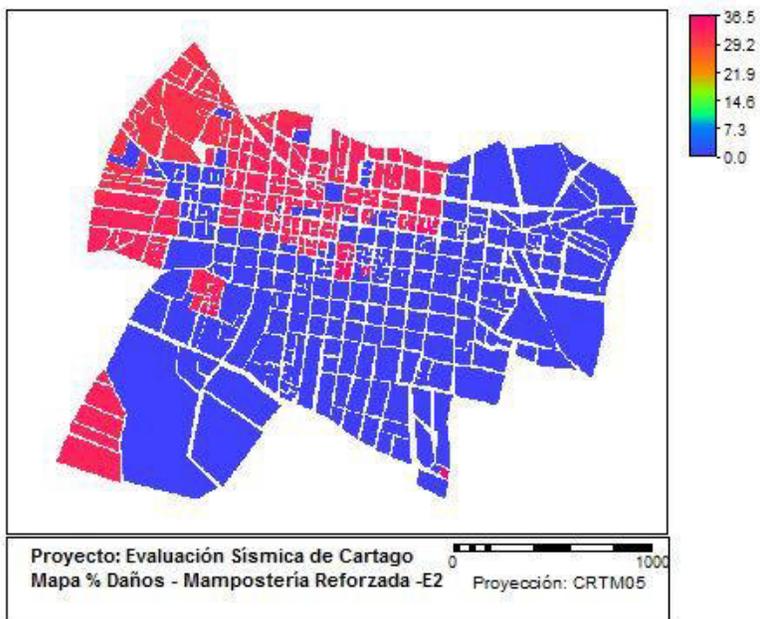


Figura 88. % Daños para tipo constructivo mampostería reforzada.

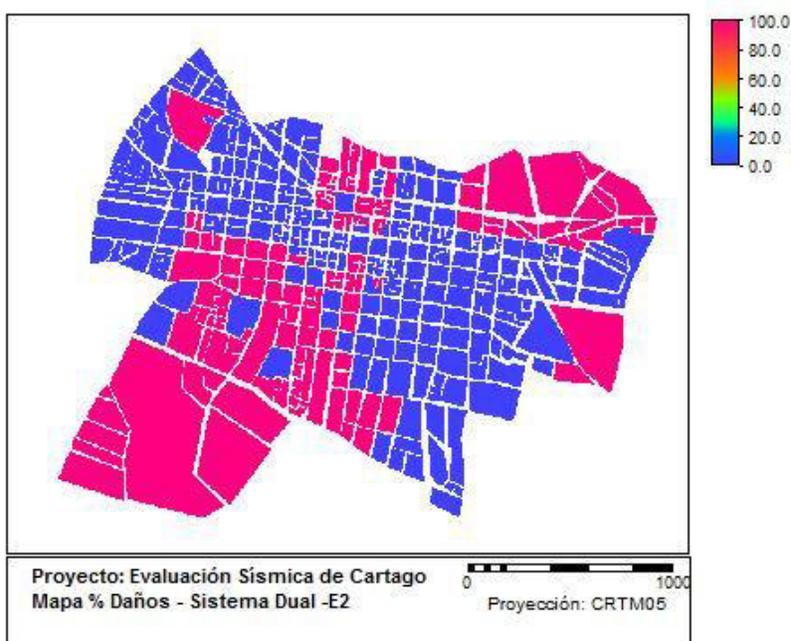


Figura 89. % Daños para tipo constructivo dual.

El escenario 2, corresponde a un sismo con epicentro cercano al cantón de Paraíso, de una magnitud de 5.5 y una distancia promedio de 12 km. En este caso, las edificaciones de madera, tendrían daños de alrededor de un 6.7%, las edificaciones de mampostería de un poco más del 30% y las de tipo dual alcanzan un valor del daño del 100%.

Esta situación es similar a la establecida con el escenario 1, en donde las viviendas de madera llegan a tener un buen comportamiento y las de mampostería tendrían algunos daños estructurales, grietas, fallas en elemento no estructurales, pero no llegan a colapsar. Caso contrario a las edificaciones del tipo dual, en donde de nuevo se estima que pueden fallar o colapsar.

Escenario 3

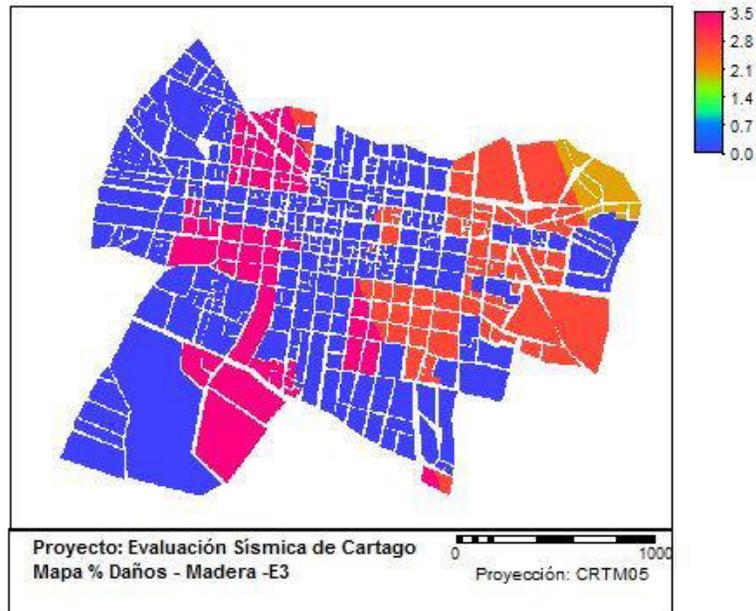


Figura 90. % Daños para tipo constructivo madera.

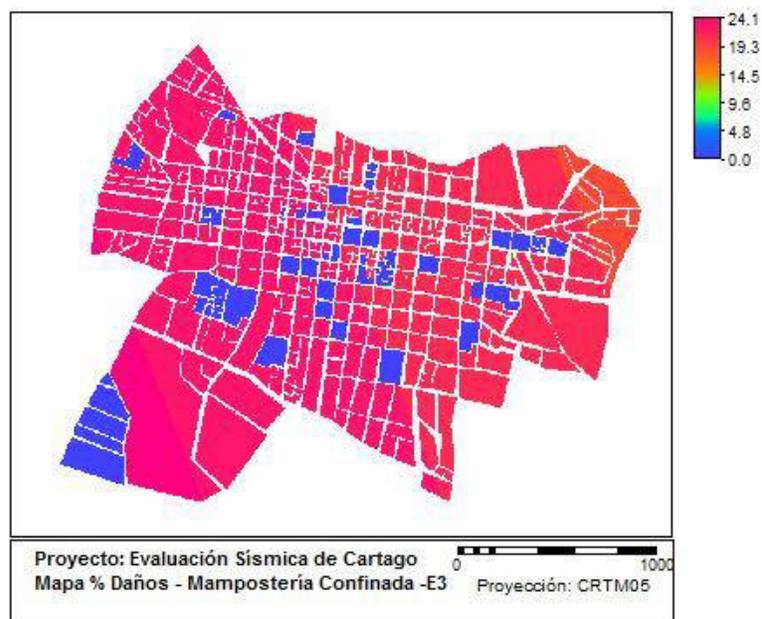


Figura 91. % Daños para tipo constructivo mampostería confinada.

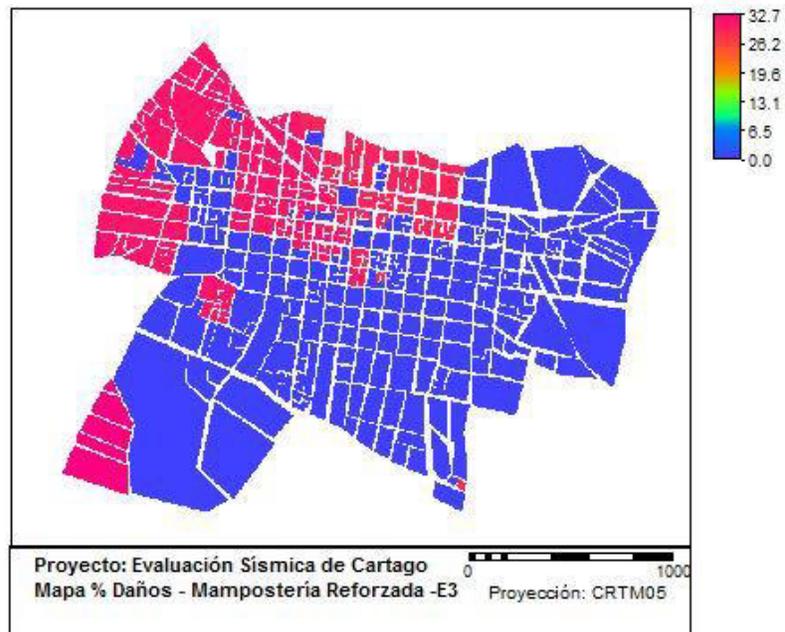


Figura 92. % Daños para tipo constructivo mampostería reforzada.

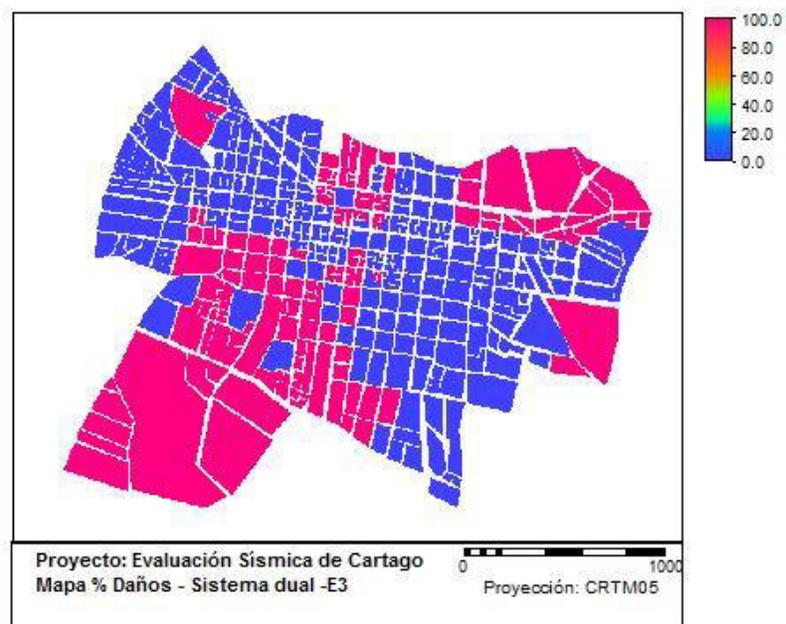


Figura 93. % Daños para tipo constructivo dual.

El escenario 3, representa un sismo de magnitud 5.8, ubicado a una distancia de cerca de 30 km del centro de la ciudad. Se esperaría que en este caso, las viviendas de madera no tengan mayor daño (3.5%), las edificaciones a base de mampostería alcanzarían daños de alrededor de un 25%, pero en general tendrían un buen comportamiento y las construcciones duales alcanzarían de nuevo la falla.

Conclusiones

Este proyecto corresponde a una actividad de fortalecimiento que desde su inicio se planteó con el propósito de desarrollar capacidades en el área de la gestión del riesgo, sobretodo en el área de los desastres ocasionados por los sismos. En este sentido, el proyecto propició y participó un grupo de estudiantes de la Escuela, los cuales de una u otra manera se adentraron en el tema. Además también participaron estudiantes de otras Escuelas, específicamente de Computación en el desarrollo de una herramienta computacional llamada CR-Sismos. Como consecuencia de esto, en la Escuela se han venido desarrollando proyectos de graduación siguiendo esta línea de acción, con lo cual se cumple con el objetivo.

Así, el desarrollo de capacidades, comprende el uso de diferentes herramientas como son el uso de sistemas de información como son el programa MapWindow e Ilwis, que se usó extensamente en el proyecto. Además de otras herramientas como Google Earths, bases de datos como PHP_My Admin, para el mantenimiento y presentación de la historia sísmica del país. También se utilizó JavaScript, CSS, HTML para generar las rutinas para presentación de la historia sísmica. Se aprendió a utilizar Joomla, para crear un portal para el proyecto, que permite su presentación y por lo tanto su futura divulgación. Además propició el proyecto, la participación de charlas a estudiantes sobre el uso avanzado de Google Earths, Maps y la creación de archivos basados en KML, el lenguaje que se usa en el manejo de mapas. También se presentó en su primera etapa correspondiente a la definición de la amenaza sísmica en el curso sobre Gestión de Riesgos, patrocinado por la AEIC, celebrado en Antigua, Guatemala a finales del año 2013.

Con respecto a los objetivos específicos del proyecto se tiene:

Se realizó una investigación de la sismicidad del país, con lo cual se generaron tres escenarios sísmicos, siguiendo una metodología determinística, los cuales tienen una probabilidad alta de ocurrencia, tanto en magnitud como en ubicación. Estos escenarios comprenden un sismo de magnitud 6.1, al sur de la ciudad de Cartago, otro sismo de magnitud 5.5, cerca del cantón de Paraíso y otro sismo, cerca de la zona de Desamparados, con una magnitud de 5.8. La evidencia histórica demuestra que sismos de características similares han ocurrido en las zonas mencionadas.

De los tres escenarios se obtuvieron mapas de aceleración, PGA (peak ground acceleration) que es un parámetro ampliamente utilizado en este tipo de proyectos. Para cada uno de los tres escenarios las aceleraciones obtenidos corresponden a valores de: 0.45g, 0.39g y 0.35g (aceleración como porcentaje de la gravedad) respectivamente, valores que se consideran aceptables, comparados con otros estudios similares. Además se crearon mapas de intensidad, en la escala Mercalli, relacionando los mapas de aceleración con dicho parámetro. Los resultados muestran intensidades entre VIII y IX para el escenario 1, de VIII para el escenario 2 y de VII para el tercer escenario. Con estas intensidades, es de esperar que se tengan graves daños a la infraestructura e incluso el colapso de algunas de ellas, según su calidad constructiva y por otro lado se esperaría que las construcciones de buena calidad no sufren colapso, pero si algunos daños extremos.

Se siguió la metodología Radius (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters) una iniciativa de las Naciones Unidas para las ciudades seguras, la cual se adaptó a las necesidades y más bien al tipo de información que se generó. Esta metodología comprende los pasos descritos en el informe.

Con la ayuda, y como parte de un proyecto de uno de sus finales, estudiantes de computación desarrollaron una herramientas para ser usada en un dispositivo Android (tableta) llamada CR-Sismos, cuyo propósito fue el de realizar el inventario de las edificaciones y que de una vez la información se almacenará en un servidor. Esta herramienta no fue utilizada, por dos razones: el

alcance del proyecto fue cortado, al no aprobarse la segunda etapa, tal como se había establecido originalmente, que comprendía precisamente la realización de un inventario minucioso, edificio tras edificio. La segunda razón fue la de no contar con un servidor, dado que los estudiantes originalmente la colocaron en un servicio gratuito, con un cierto periodo de uso.

No obstante, que no se aprobó la segunda etapa del proyecto, si se otorgó una ampliación al proyecto, siendo necesario recortar la elaboración del inventario, ahora con una muestra representativa de las edificaciones. Así, con la ayuda de estudiantes asistentes se realizó un levantamiento de información que comprendió 60 lotes y un total de 922 edificios levantados, con un formulario resumido en 6 parámetros principales como son: tipo de construcción, edad, estado, regularidad, número de pisos y uso.

Los principales resultados del levantamiento se expresan en que en la zona de estudio (distritos oriental y occidental de Cartago) prevalecen las construcciones de mampostería confinada, con un uso residencial, con una edad mediana de alrededor de 30 años, en buen estado, con una buena regularidad y de un solo nivel.

Con base en la información de los lotes levantados, se definieron cuatro tipos prevalecientes de edificaciones: madera, mampostería confinada, mampostería reforzada y sistema dual (combinación de mampostería y materiales livianos). Las características de estos cuatro grupos fueron extrapoladas al resto de los lotes con un criterio de cercanía. Al no contar con información individual, se generaron mapas de densidad (como porcentajes de las áreas de cada uno de los grupos) para cada uno de los tipos constructivos.

En cuanto a la estimación del riesgo, no se estimó éste expresamente, como una función de la amenaza por la vulnerabilidad, dado que generalmente el riesgo se expresa en términos de pérdidas económicas y no se contó con información de esta naturaleza. Más bien, en el presente estudio, el riesgo, se debe entender como la probabilidad de daño, que fue lo que se estimó al final.

Así, se adaptaron curvas de vulnerabilidad para cada sistema constructivo que se obtuvieron de la literatura y que fueron linealizadas y definidas sus ecuaciones y aplicadas a cada uno de los mapas de densidad del tipo constructivo. Se generaron en total 12 mapas de daños, correspondientes a los cuatro tipos constructivos y a los tres escenarios.

El resultado de la evaluación de las funciones de vulnerabilidad, indican que para las edificaciones de madera, debemos esperar un buen comportamiento en los tres escenarios. Las construcciones a base de mampostería, tendrían a sufrir cierto daño grave, sin colapsar y las construcciones con el sistema que se ha denominado dual, podrían sufrir grandes daños e incluso el colapso, esto debido principalmente a su baja calidad. La distribución de daños que se observa en los mapas, corresponde a zonas en donde prevalece cada tipo constructivo, así que no debe tomarse con gran precisión.

Por último, se debe aclarar que los resultados obtenidos, en cuanto a nivel de daños, corresponden a una situación supuesta y a un primer estudio, cuyo objetivo principal era el de desarrollar capacidades y no un estudio certero de las consecuencias reales de la ocurrencia de un sismo en las cercanías de la Ciudad de Cartago, para ello, se considera que debe ser mejorado grandemente el catálogo de las edificaciones sobre todo y el uso de funciones de vulnerabilidad más adecuadas.

Presupuesto

A continuación se presenta el desglose del presupuesto del proyecto en su segunda etapa o ampliación. Tal como se desprende el manejo presupuestario fue eficiente y satisfactorio.



Pág. 1
18/09/2014

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
DEPARTAMENTO FINANCIERO CONTABLE
UNIDAD DE ANÁLISIS FINANCIERO Y PRESUPUESTO
ESTADO DE PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN
AL 18/09/2014

OBJETO DE GASTO	CONCEPTO	PSTO MODIFICACIÓN	TOTAL PRESUPUESTO	REAL EJECUTADO	COMPROMISO	PRE-COMPROMISOS	SOBRANTE O (FALTANTE)
5402-1801-0477	VULNERABILIDAD SISMICA EDIF. CIUDAD CART						
2000	MATERIALES Y SUMINISTROS						
2231	ALIMENTOS Y BEBIDAS	0.00	100,000.00	97,195.00	0.00	0.00	2,805.00
	TOTAL ALIMENTOS Y PRODUCTOS	0.00	100,000.00	97,195.00	0.00	0.00	2,805.00
	TOTAL MATERIALES Y	0.00	100,000.00	97,195.00	0.00	0.00	2,805.00
6000	TRANSFERENCIAS CORRIENTES						
6227	BECAS ESTUDIANTE ASISTENTE ESPECIAL	0.00	500,000.00	426,000.00	0.00	0.00	74,000.00
	TOTAL TRANSFERENCIAS	0.00	500,000.00	426,000.00	0.00	0.00	74,000.00
	TOTAL TRANSFERENCIAS	0.00	500,000.00	426,000.00	0.00	0.00	74,000.00
	TOTAL VULNERABILIDAD SISMICA	0.00	600,000.00	523,195.00	0.00	0.00	76,805.00

0.871991667

Participantes

Durante la ejecución del proyecto participaron estudiantes como asistentes y otros como encuestadores, a los cuales debo agradecer expresamente. Ellos son:

Marcos Anchía.
Rolando Abarca A.
Angelica Gamboa P.
Ana Catalina Esquivel C.
Kimberly Alpízar C.
Alisúa Masmela Z.
Roberto Cubillo A.
Wandall Chacón A.

Bibliografía

- Arce, S. 2009. **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZUS MH EN ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO EN LA INFRAESTRUCTURA DEL ANILLO METROPOLITANO DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD**. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Barbat, A. et. al. 1998. *Evaluación probabilista del riesgo sísmico en zonas urbanas*. **REVISTA INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO Y DISEÑO EN INGENIERÍA**. España.
- 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.
- Climent, A. et. al. 1994. *Spectral strong motion attenuation in Central America*. **NORSAR**. Reporte Técnico 2-17.
- 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, 2010. **CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010**. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- ERN-CAPRA, América Latina. *Componentes Principales del análisis de Riesgo*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-1**. Nicaragua.
- ERN-CAPRA, América Latina. *Descripción general de amenazas naturales*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-2**. Nicaragua.
- ERN-CAPRA, América Latina. *Modelos de evaluación de amenazas naturales y selección*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-3**.
- ERN-CAPRA. *Metodología de definición del inventario de activos expuestos*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-5**. Nicaragua.
- ERN-CAPRA, América Latina. *Vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-5**. Nicaragua.
- ERN-CAPRA, América Latina. *Caracterización local de la vulnerabilidad de edificaciones*. **INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-5**. Costa Rica
- FEMA, 2002. **RAPID VISUAL SCREENING OF BUILDINGS FOR POTENTIAL SEISMIC HAZARDS**. Segunda Edición. Applied Technology Council. Washington, DC.
- Fema 451 B. NEHRO, **RECOMMENDED PROVISIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES: TRAINING AND INSTRUCTIONAL MATERIALS**.

Fema 221. COLLOCATION IMPACTS ON THE VULNERABILITY OF LIFELINES DURING EARTHQUAKES WITH APPLICATIONS TO THE CAJON PASS, CALIFORNIA: STUDY OVERVIEW.

Fema 266. CREATING A SEISMIC SAFETY ADVISORY BOARD. A GUIDE TO EARTHQUAKE RISK MANAGEMENT.

Fema 526. EARTHQUAKE SAFETY CHECKLIST.

Fernández, C; Santana, G. 1990. **BASES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESTRUCTURAS EXISTENTES.** Laboratorio de Ingeniería Sísmica, Universidad de Costa Rica.

Fernández, M.; Montero, W. 2002. *Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago y San José, Valle Central de Costa Rica.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL.** Costa Rica.

Fernández, M. 1996. *Evaluación del hipotético sistema de falla transcurrente Este-Oeste de Costa Rica.* **REVISTA**

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

Jiménez Monge, Daniela. **Diagnóstico de vulnerabilidad sísmica en Cartago, Costa Rica.**

Proyecto Final de graduación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 2012.

Linkimer, L. 2008. *Relationship between Peak Ground Acceleration and Modified Mercalli Intensity in Costa Rica.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL.** Costa Rica.

Longley, Paul A. et al. **GEOGRAPHIC INFORMATION. SYSTEMS & SCIENCE.** John Wiley & Sons, Inc. Third Edition. 2011

Maldonado, E. et. al, 2010. *Funciones de vulnerabilidad calculadas para edificaciones en muros de hormigón reforzado.* **REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN.** Colombia.

Montero, W. et al. 1994. *Sismicidad y marco neotectónico de Costa Rica y Panamá.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL,** volumen especial Terremoto de Limón: Costa Rica.

Montero, W. 2001. *Neotectónica de la región central de Costa Rica: frontera Oeste de la Micropalca de Panamá.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL.** Costa Rica.

Montero, W. et. al. 2005. *Los sistemas de falla Aguacaliente y Río Azul y relevos compresivos asociados, Valle Central de Costa Rica.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL.** Costa Rica.

Montero, W.; Kruse, S. 2006. *Neotectónica y geofísica de la falla Aguacaliente en los valles Coris y el Guarco, Costa Rica.* **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL.** Costa Rica.

Moya, A. 2009. *Informe final de investigación: Simulación de un escenario del terremoto de Cartago de 1910*. **LABORATORIO DE INGENIERÍA SÍSMICA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA,**

Ortiz, E.; Soto C. 2008. **ATLAS DIGITAL DE COSTA RICA**. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Peraldo, G. 2005. *El sismo de San Antolín del 2 de setiembre de 1841, un desastre en el desarrollo libre de Costa Rica*. **BOLETÍN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE EMERGENCIAS**. Costa Rica.

Quintanilla et.al., 2008. *Estratigrafía de pozos como un aporte al conocimiento de la geología del Cuaternario del Valle de El Guarco (Cartago) Costa Rica*. **REVISTA GEOLÓGICA DE AMERICA CENTRAL**. Costa Rica.

Smith, Keith. **ENVIRONMENTAL HAZARDS. ASSESSING RISK AND REDUCING DISASTER**. Editorial: Routledge, 2013.

Ramírez, R.; Santana G.; Chacón, O. 1996. *Mapa de amplificación sísmica del Valle Central, Costa Rica*. **REVISTA GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL**, 19/20: 37-55. Costa Rica

Red Sismológica Nacional. 2001. *Resumen de la actividad sísmica y volcánica durante el año 2001*. **REVISTA GEOLÓGICA DE AMERICA CENTRAL**, 26: 101-105. Costa Rica

Red Sismológica Nacional. 2011. *Resumen de la actividad sísmica y volcánica durante el año 2010*. **INFORME ANUAL DE SISMOS SENTIDOS Y ACTIVIDAD**. Costa Rica

Schmidt, V. et. al. 2005. **MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SAN JOSÉ, COSTA RICA**. Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.

Schmidt, V ; Linkimer L. 2002. *Amenaza sísmica de la zona central de Costa Rica, en coordinación con el Instituto Nacional de Seguros*. **LABORATORIO DE INGENIERÍA SÍSMICA, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**.

Taylor, W. 1994. **CARACTERÍSTICAS SISMODINÁMICAS DEL SUELO BLANDO EN LA REGIÓN CENTRAL DE LA CIUDAD DE CARTAGO, COSTA RICA**. Tesis de Licenciatura. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica.

Wald, D. et. al. 1999 *Relations between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California*. **EARTHQUAKE SPECTRA**.

Yépez, F. et. al. 1996. *Simulación de escenarios de daño sísmico en zonas urbanas*. **REVISTA INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO Y DISEÑO EN INGENIERÍA**. España

Apéndice A

Programa: CR-Sismos

Manual

Manual de Usuario

para

CR-Sismos

Versión 1.2

Desarrolladores:

Roberto Paniagua Vargas

Marino Ramírez Solórzano

Carlos Gamboa Monge

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Tabla de contenidos

1. Pantalla inicio	3
2. Mapa	4
2.1 Menú administrador	5
2.1.1 Crear Nuevo Usuario	5
2.1.2 Estadísticas	10
2.1.3 Tipo de mapa	12
2.1.4 KML	14
2.1.5 Cerrar sesión	16
2.2 Menú encuestador	17
2.2.1 Tipo de mapa	17
2.2.2 Cerrar sesión	17
2.3 Refrescar	18
2.4 Notificaciones.....	18
2.4 Búsqueda.....	20
3. Crear nuevo inmueble	23
3.1 Fotografías.....	25
4. Modificar inmueble	28

1. Pantalla inicio

Para ingresar al sistema una vez ejecutada la aplicación, se le mostrará la pantalla de la imagen 1.1 al usuario, en la cual deberá ingresar su nombre de usuario y su respectiva contraseña.

Si la contraseña o nombre de usuario son incorrectos se le mostrará un mensaje de error indicándolo, como se muestra en la imagen 1.2.



Imagen 1.1



Imagen 1.2

2. Mapa

Una vez que se haya ingresado al sistema después de iniciar sesión de manera correcta, se mostrará la pantalla principal de la aplicación, la del mapa, como se muestra en la imagen 2.1. Esta indiferentemente de si el usuario sea Administrador o Encuestador tendrá la misma visualización.

Sin embargo el menú de la esquina superior izquierda, contendrá opciones diferentes dependiendo del tipo de usuario, estos menús incluyen lo siguiente:

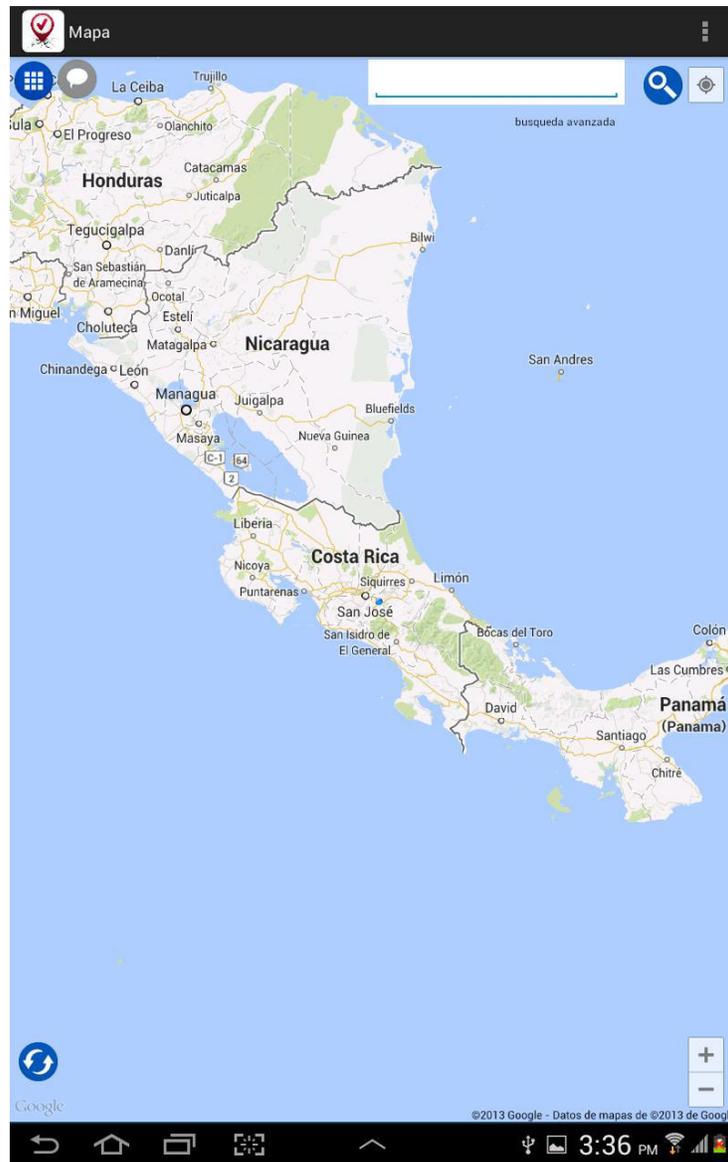


Imagen 2.1

2.1 Menú administrador

En el menú del administrador, el usuario puede seleccionar las opciones que se muestran en la imagen 2.2, las cuales son:

2.1.1 Crear Nuevo Usuario

En esta opción el usuario administrador tendrá la facultad de ya sea crear un nuevo usuario o de dar de baja a un usuario encuestador.

En el caso de crear un nuevo usuario, se debe cumplir con diferentes puntos. Primeramente como se indica en la imagen 2.3 no se puede ingresar un nombre de usuario que ya exista, o como en el caso de la imagen 2.4, se deberá ingresar tanto un nombre de usuario como una contraseña que superen los 5 caracteres. Si se cumple con lo anterior, el sistema devolverá un mensaje de confirmación del usuario creado, como en la figura 2.5.

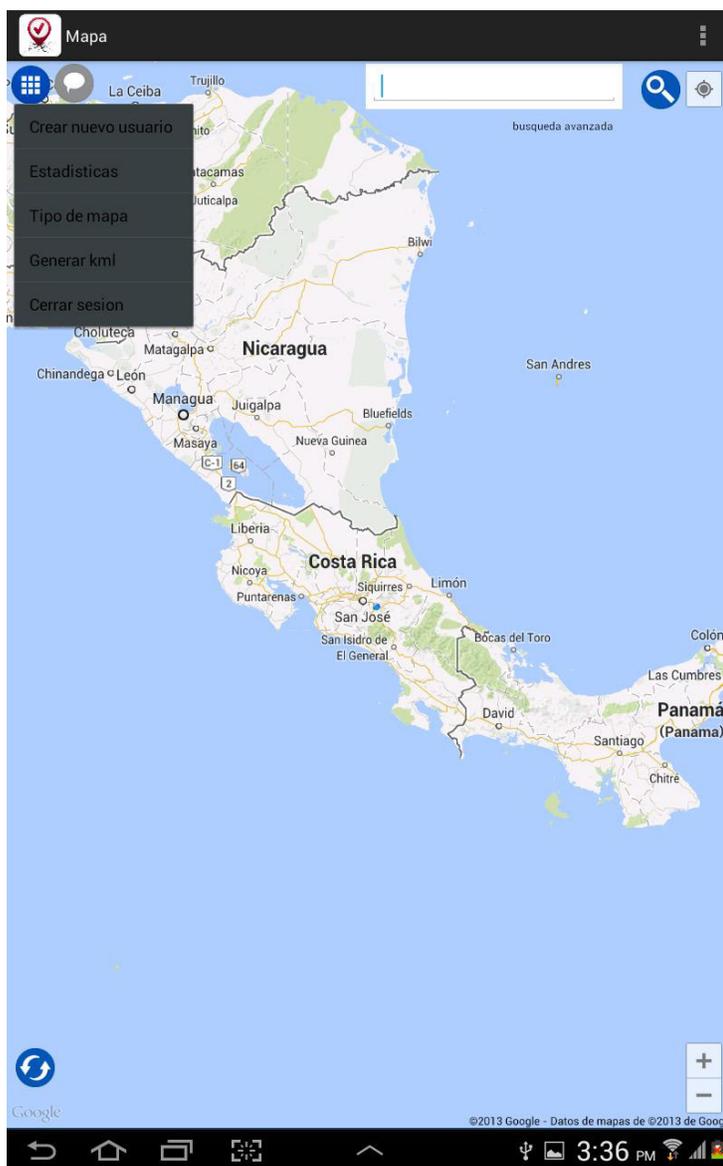


Imagen 2.2

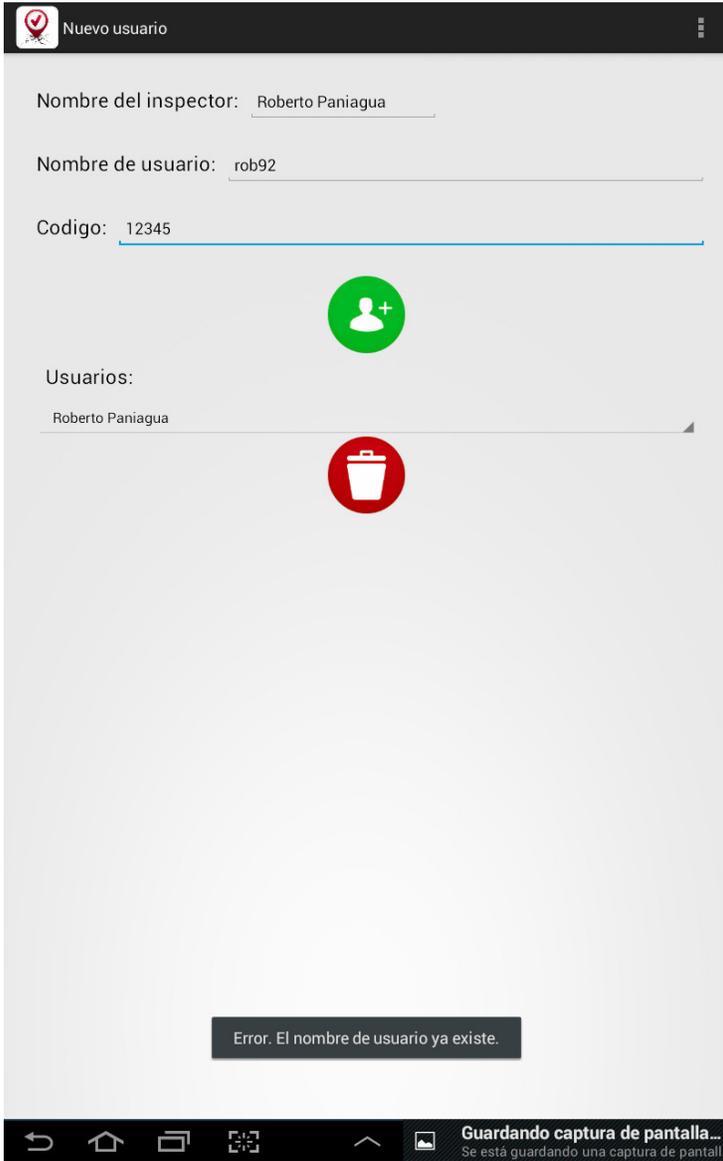


Imagen 2.3

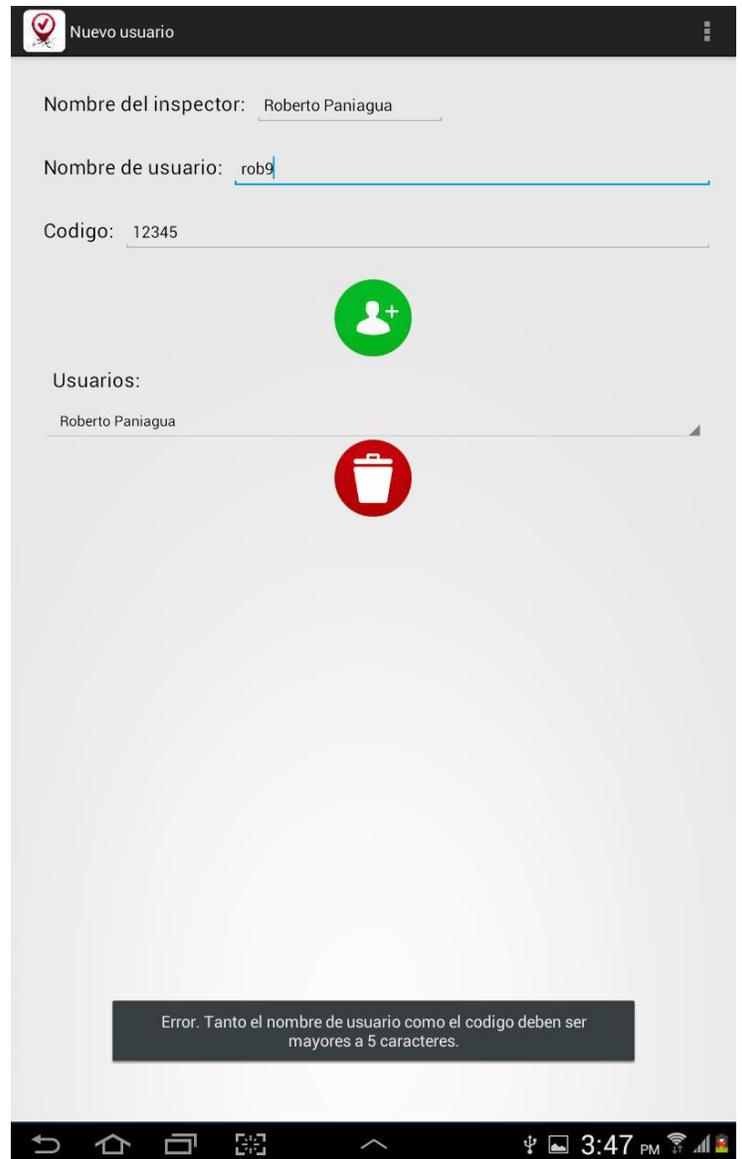


Imagen 2.4

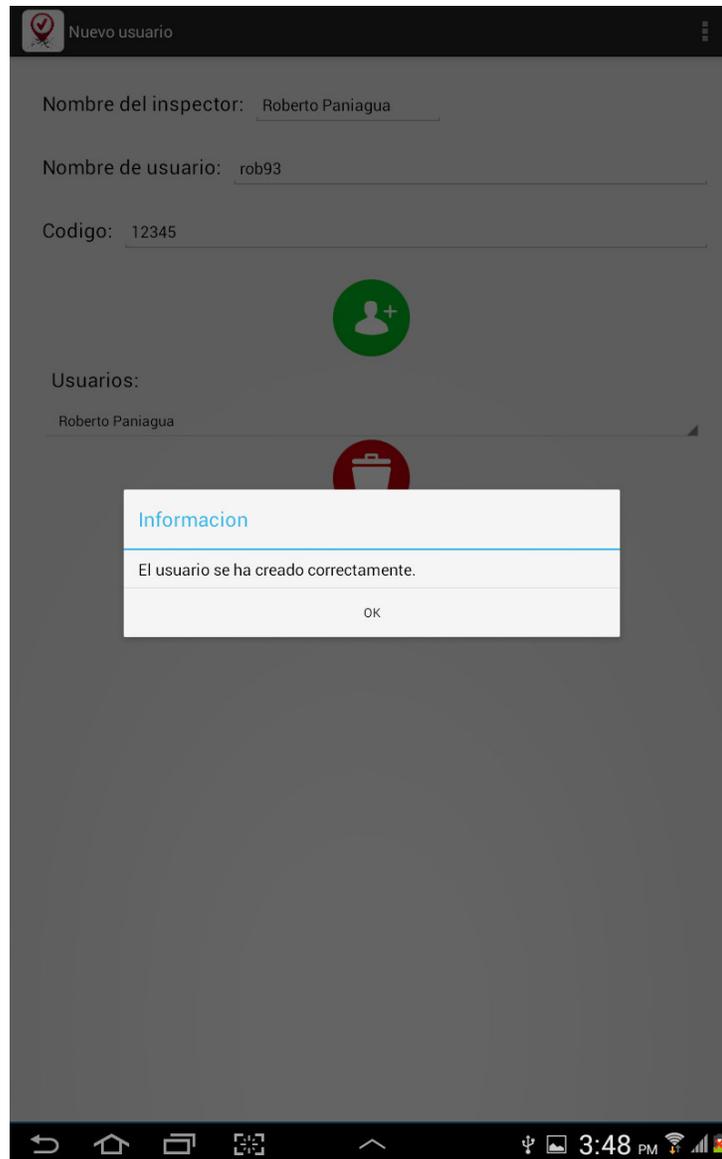


Imagen 2.5

En la opción de borrar usuario, el usuario administrador tendrá la capacidad de dar baja a un usuario encuestador. Se preguntará si en realidad desea borrarlo como en la imagen 2.6, y si fuera este el caso, se mostrará un mensaje de confirmación del borrado, como en la imagen 2.7.

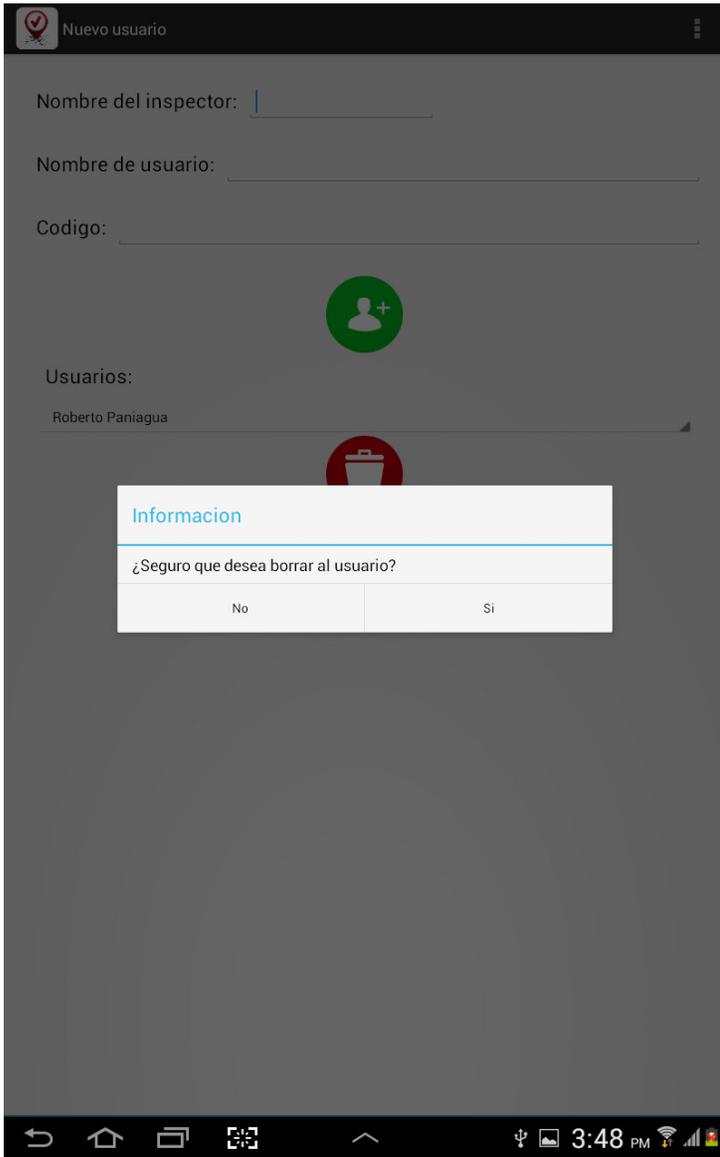


Imagen 2.6

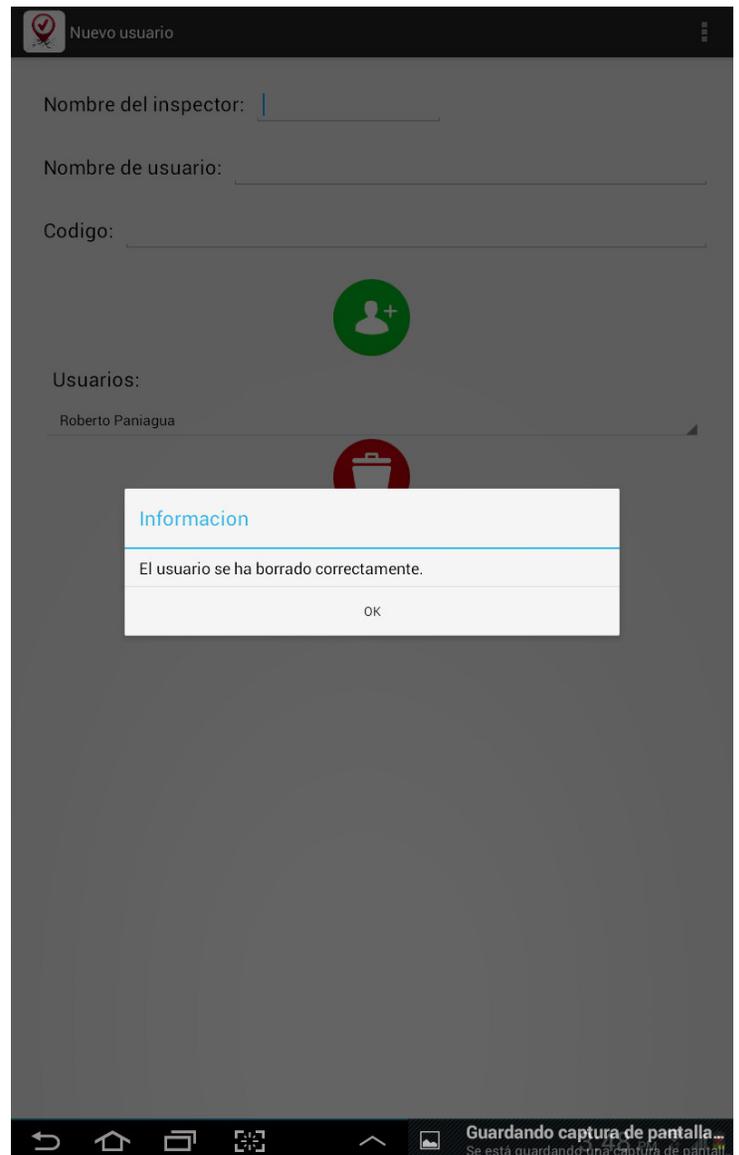


Imagen 2.7

2.1.2 Estadísticas

En esta opción el usuario administrador será capaz de observar diferentes tipos de gráficos, en los que se representarán las estadísticas en cuanto a las cantidades generales de las características de los inmuebles.

Como se muestra en la figura 2.8, el usuario tendrá a su disposición una lista con las categorías de las cuales podrá observar las estadísticas. Lo podrá visualizar de manera de gráfico circular (imagen 2.9), de barras (imagen 2.10) o en gráfico lineal (imagen 2.11), en donde podrá apreciar las cantidades de los elementos de cada categoría en números de inmuebles que lo cumplan.

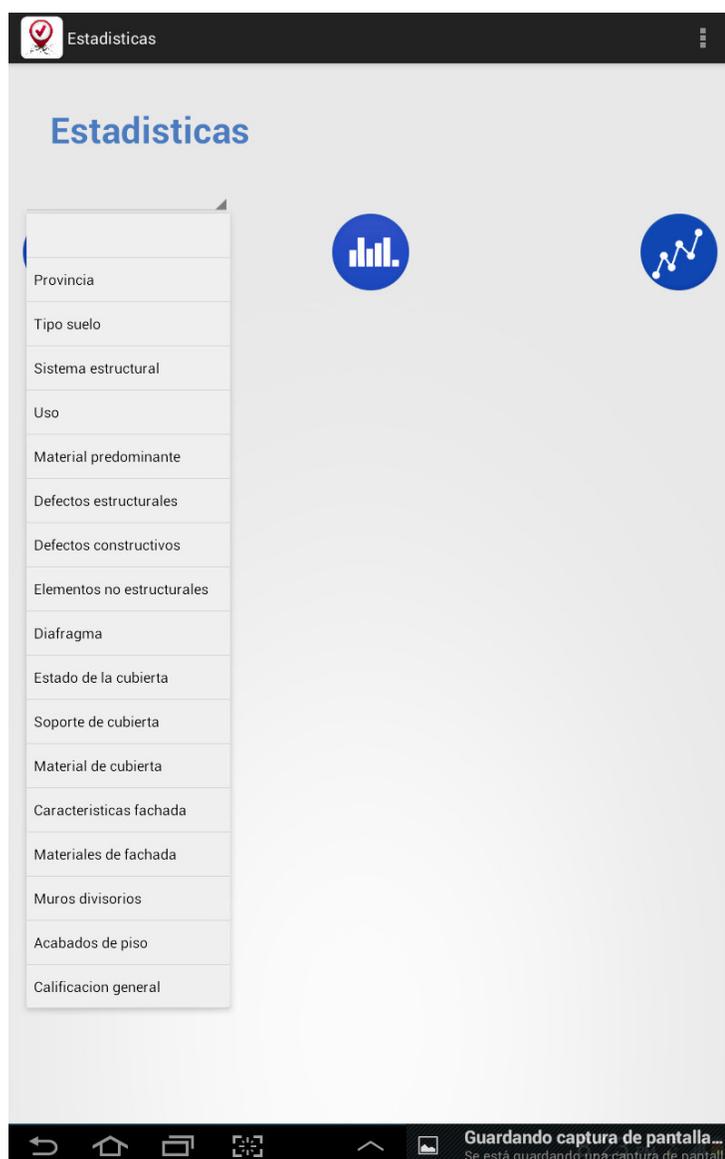


Imagen 2.8

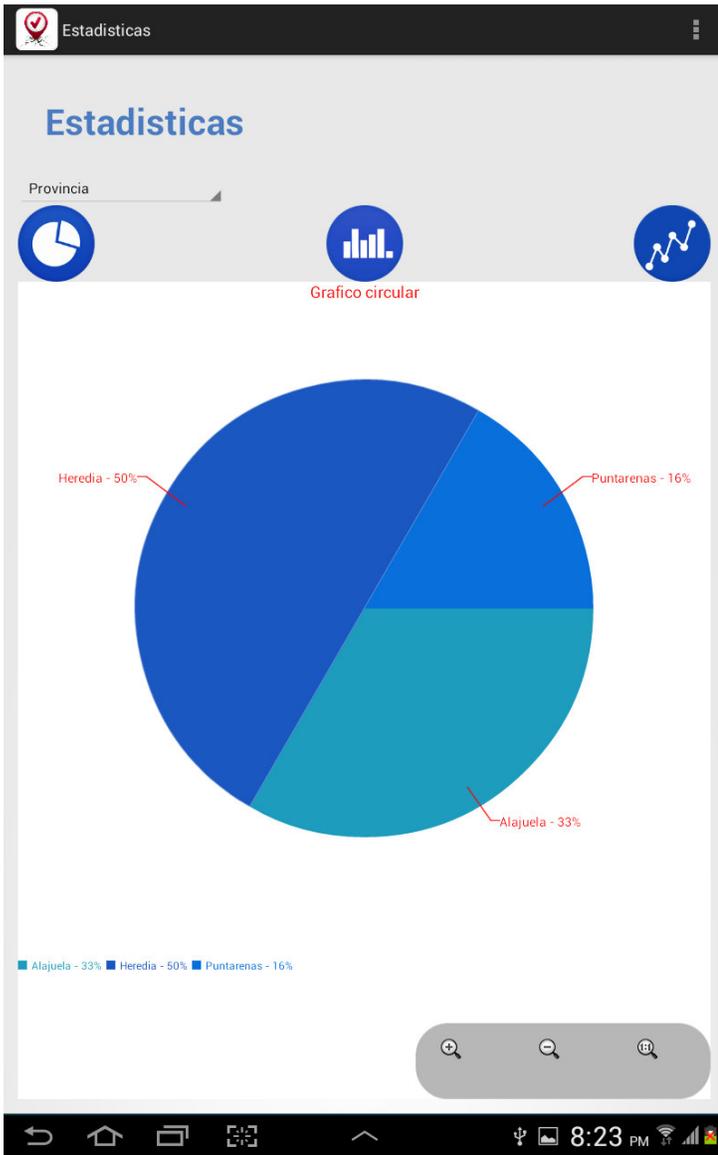


Imagen 2.10



Imagen 2.9

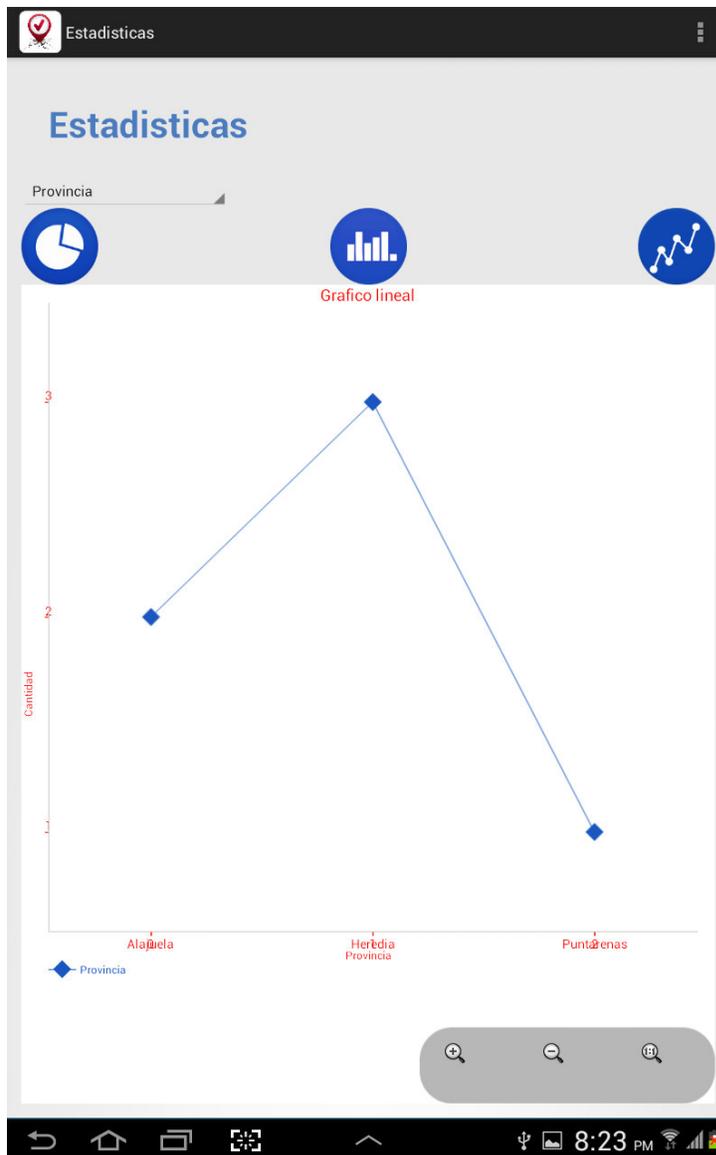


Imagen 2.11

2.1.3 Tipo de mapa

En la presente opción, el usuario tendrá la facilidad de cambiar el tipo de mapa, la visualización del mismo, dependiendo de las necesidades de este o simplemente por cuestiones propias de apariencia de su herramienta de trabajo.

Como se muestra en las figuras 2.12, 2.13, 2.14, muestran respectivamente las visualizaciones de mapa híbrido, satélite y de terreno, en las cuales también podría volver a la visualización normal con la que inicia la aplicación.

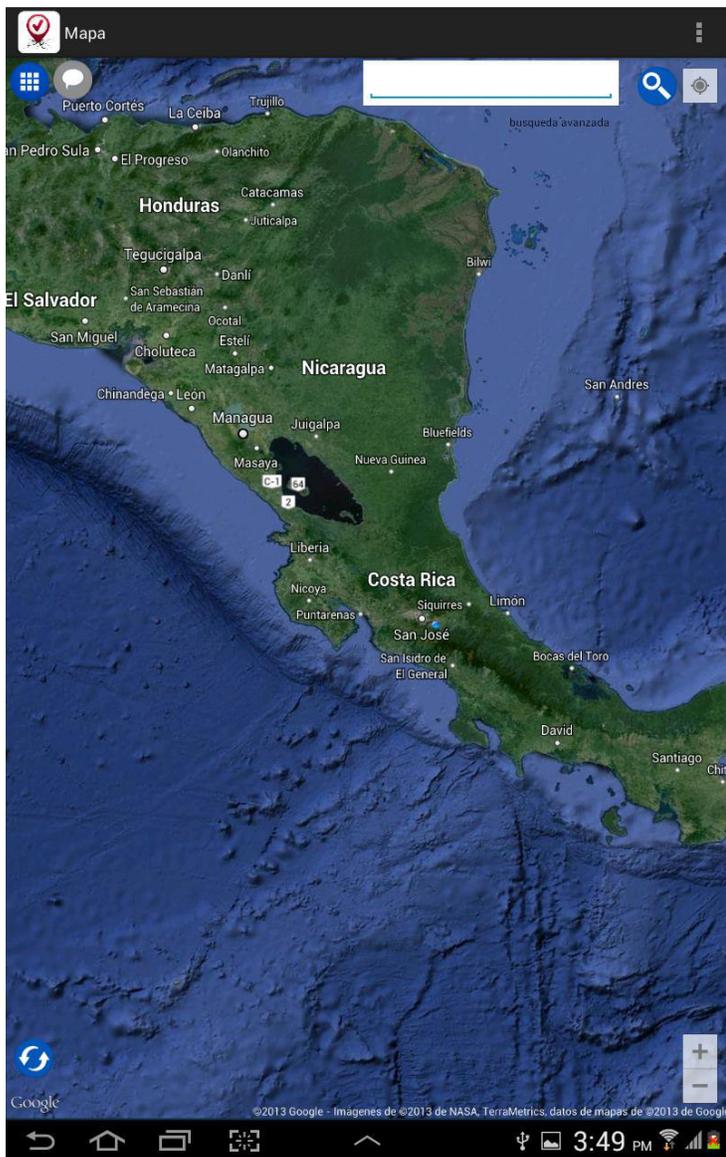


Imagen 2.12

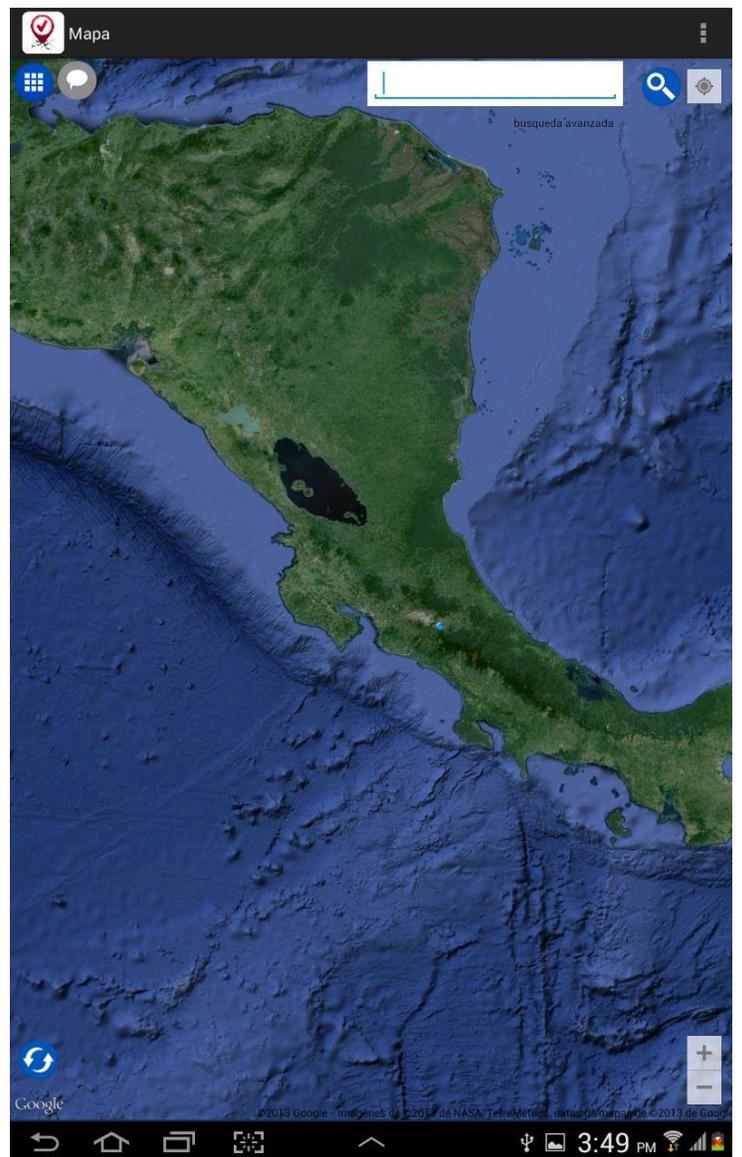


Imagen 2.13

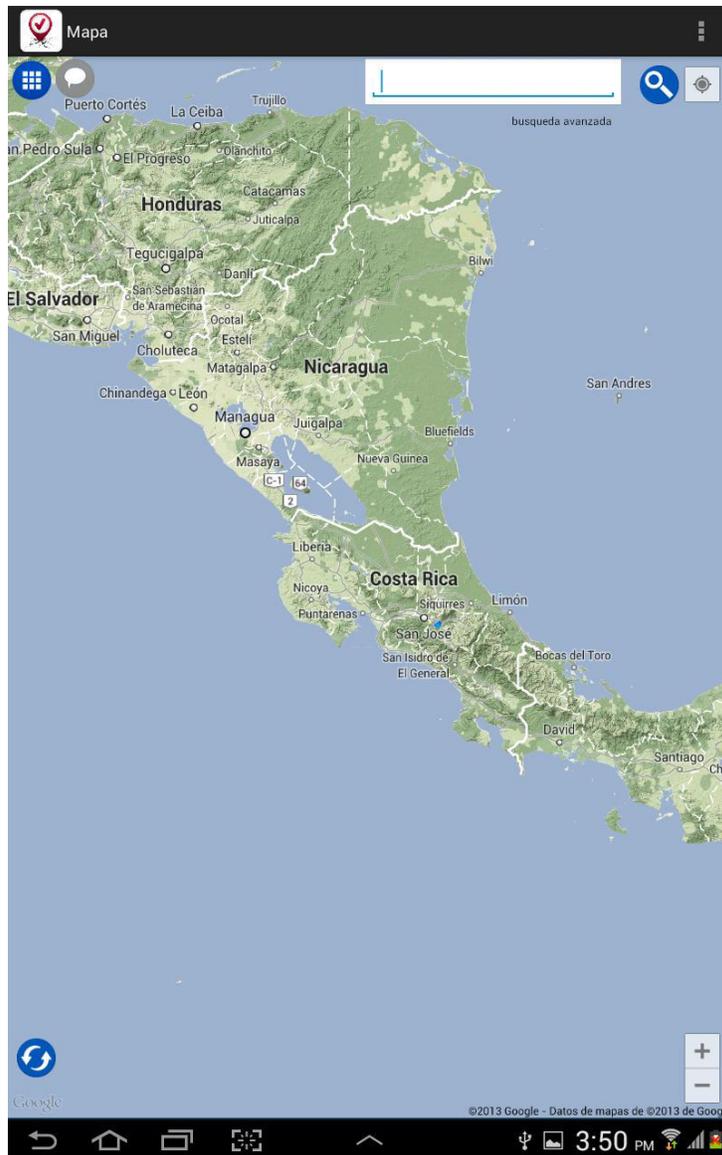


Imagen 2.14

2.1.4 KML

Para esta opción, la aplicación brinda la funcionalidad de crear un archivo de extensión .kml para ser usado por el administrador en sus Sistemas de Información, para eso, solo se debe seleccionar la opción, y automáticamente se mostrará un mensaje al usuario indicando la creación del mismo, como se muestra en la imagen 2.15. Dicho archivo se guardara en una carpeta en la memoria del dispositivo, con el nombre de KML, tal y como se muestra en la imagen 2.16.

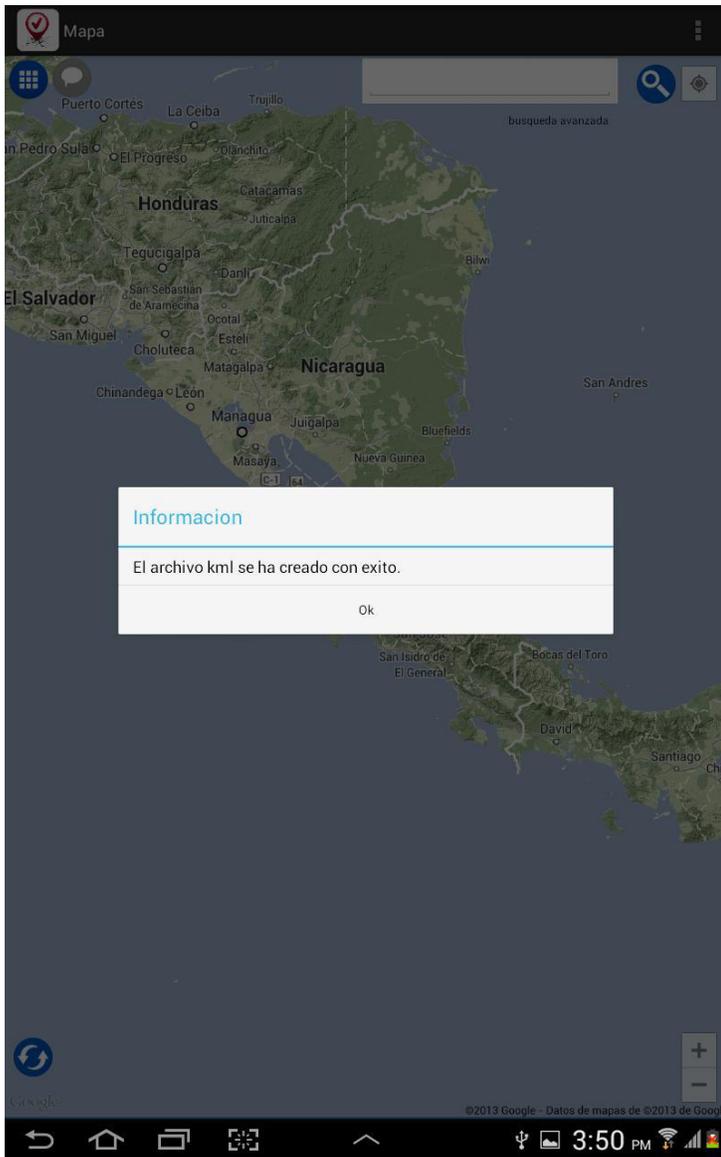


Imagen 2.15

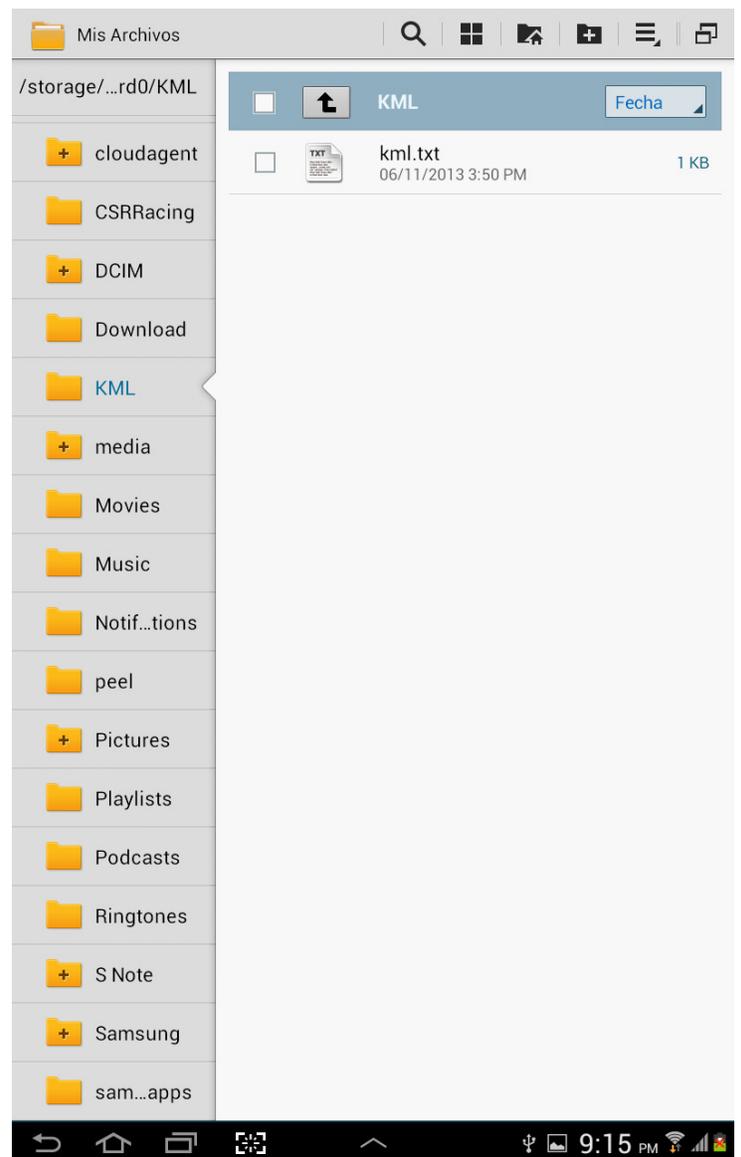


Imagen 2.16

2.1.5 Cerrar sesión

En la última opción del menú del administrador, se encuentra la parte de cerrar sesión, en donde con solo seleccionarla el sistema sacará al usuario del mismo, mostrando un mensaje previamente confirmando si desea cerrar la sesión.

Esta funcionalidad también se aplica, en el caso que el usuario le dé a la opción de ir atrás propia del dispositivo, preguntando primero si en realidad desea hacerlo, como se muestra en la figura 2.17.

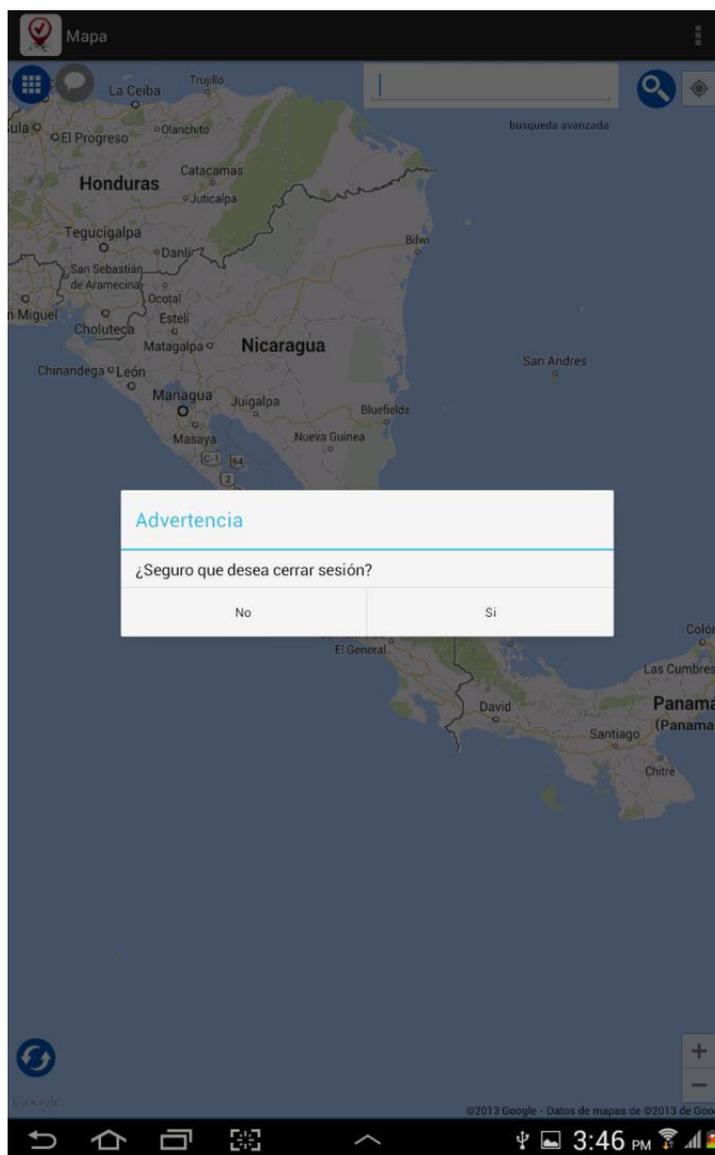


Imagen 2.17

2.2 Menú encuestador

En el menú del usuario encuestador, el usuario puede seleccionar las opciones que se muestran en la imagen 2.18, las cuales son:

2.2.1 Tipo de mapa

Tiene la misma funcionalidad que en el caso del administrador.

2.2.2 Cerrar sesión

En este caso, se aplica lo mismo que en el menú del administrador, aplicando también el tema de la opción de ir atrás del dispositivo.

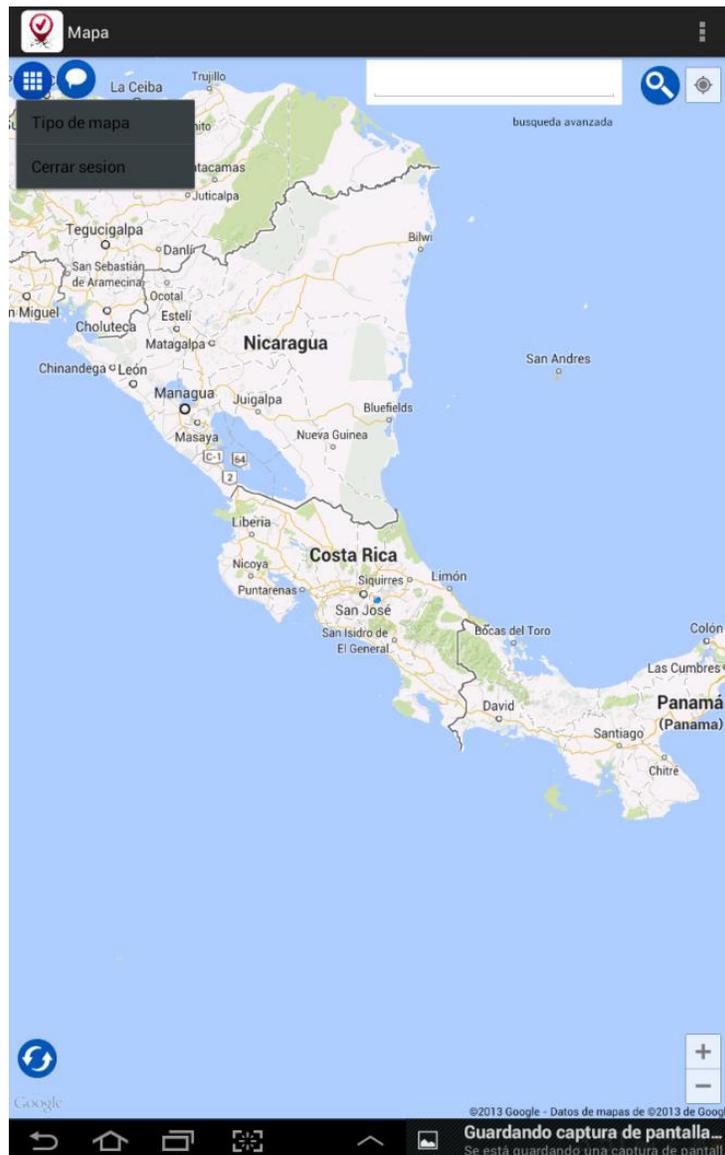


Imagen 2.18

Además de los menús, en la pantalla del mapa se encuentran otras funcionalidades a la vista, de las cuales los usuarios pueden hacer uso, entre ellas:

2.3 Refrescar

La opción de refrescar pantalla, que se encuentra representada en el icono de la parte inferior izquierda del mapa, tiene la funcionalidad de permitir al usuario, observar puntos nuevo creados por otros usuario en ese momento, o para recargar sus notificaciones, con solo el hecho de dar click sobre el icono.

2.4 Notificaciones

A un lado del menú de la esquina superior izquierda, se encuentra un icono, el cual indica las notificaciones que posee un usuario específico. Las notificaciones de un encuestador se crean cuando el usuario administrador realizada alguna modificación o elimina algún inmueble creado por él. Se puede entender que el usuario administrador una vez ingresado al sistema no tiene esta opción habilitada como se puede apreciar en las imágenes de la sección 2.1, ya que es el quien realiza las modificaciones.

Como se puede apreciar en la imagen 2.19, cuando el usuario posee notificaciones, el icono se pondrá de color rojo, e indicará con un número cuantas notificaciones nuevas posee. Para observar las notificaciones basta con dar click sobre el icono, y se abrirá una nueva pantalla con la lista de notificaciones, las cuales tendrán a un lado la indicación “[NEW]” si fuera alguna notificación que no había visto antes, como se muestra en la imagen 2.20.

Una vez vistas las notificaciones, el icono volverá a su color normal, como se aprecia en la imagen 2.21.

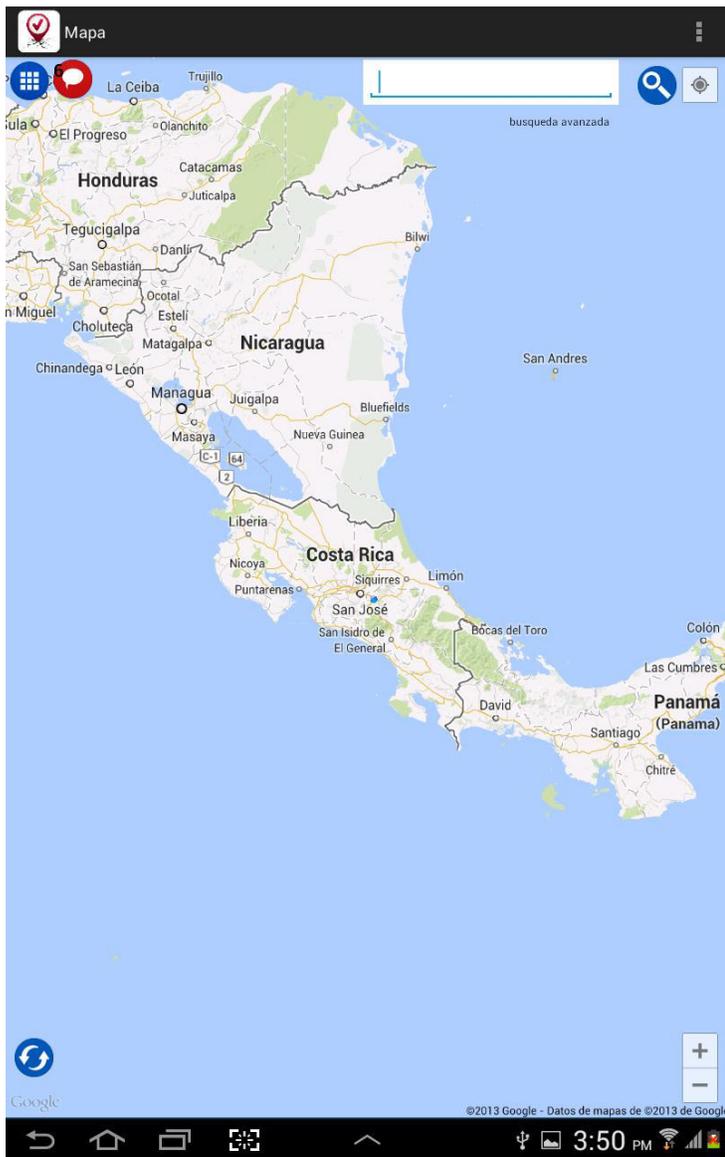


Imagen 2.19

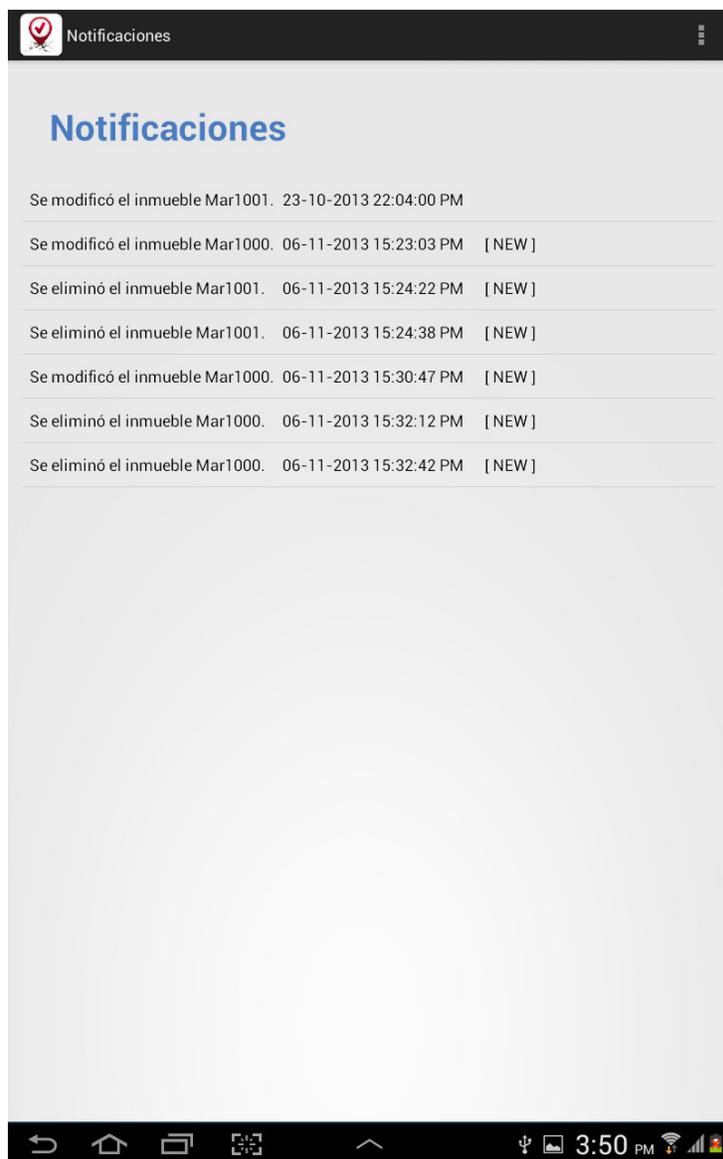


Imagen 2.20

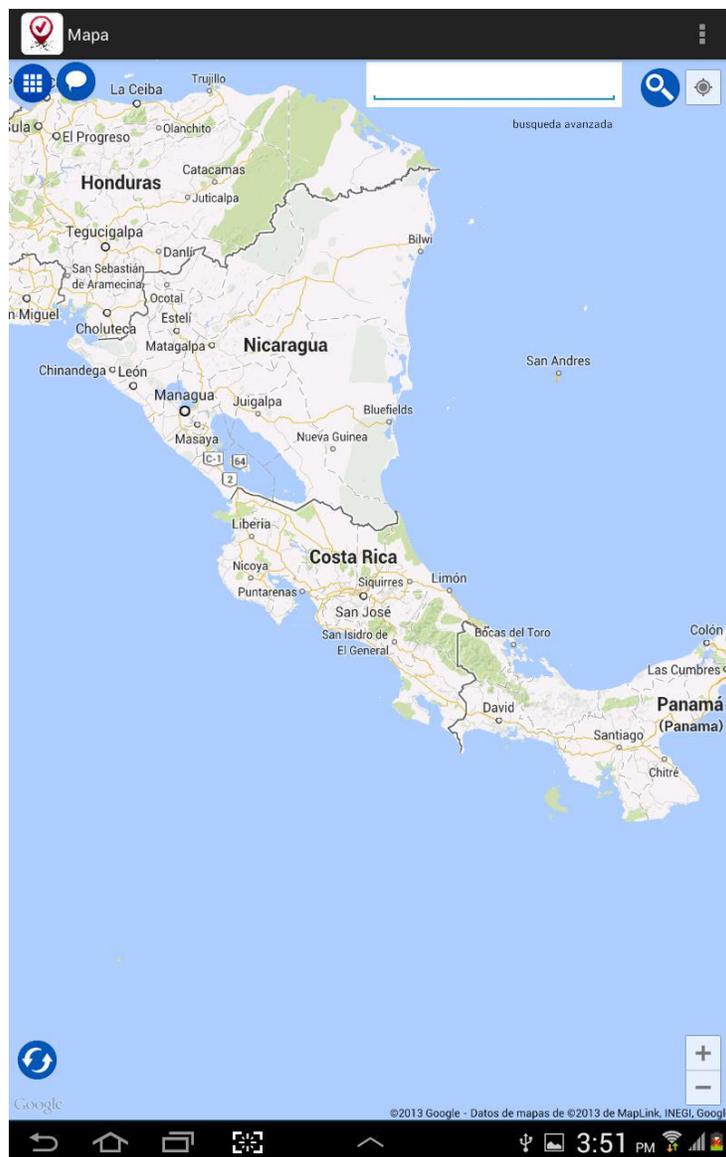


Imagen 2.21

2.4 Búsqueda

Para esta funcionalidad, el usuario tendrá la capacidad de buscar ya sea, en la barra de la esquina superior derecha, un inmueble por medio del código del mismo, o por medio de la búsqueda avanzada si deseara hacer un filtro por diferentes características.

Si utilizara la barra, el usuario deberá ingresar el código del inmueble, como se muestra en la figura 2.22. En el caso que no se encuentre, se le devolverá un mensaje de error como se muestra en la figura 2.23, indicando que no existe el inmueble. En caso de que si se encuentre, se redirigirá en el mapa al inmueble indicado, para que el usuario pueda ya sea ver su ubicación, o modificarlo.

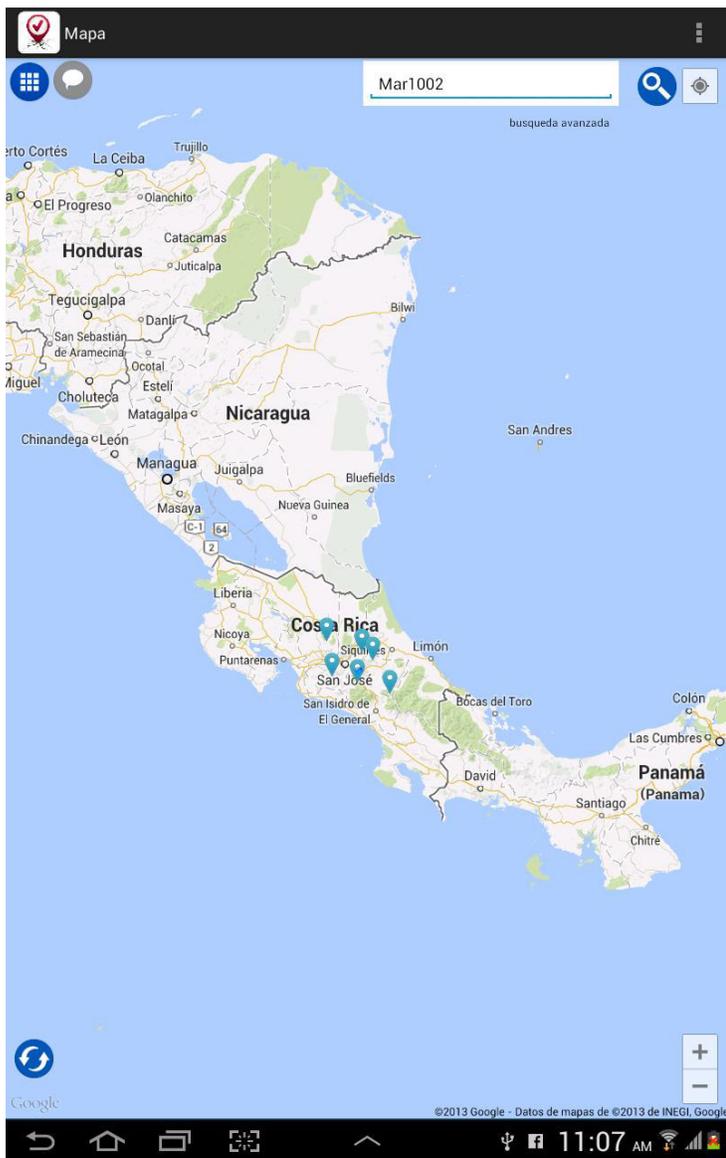


Imagen 2.22

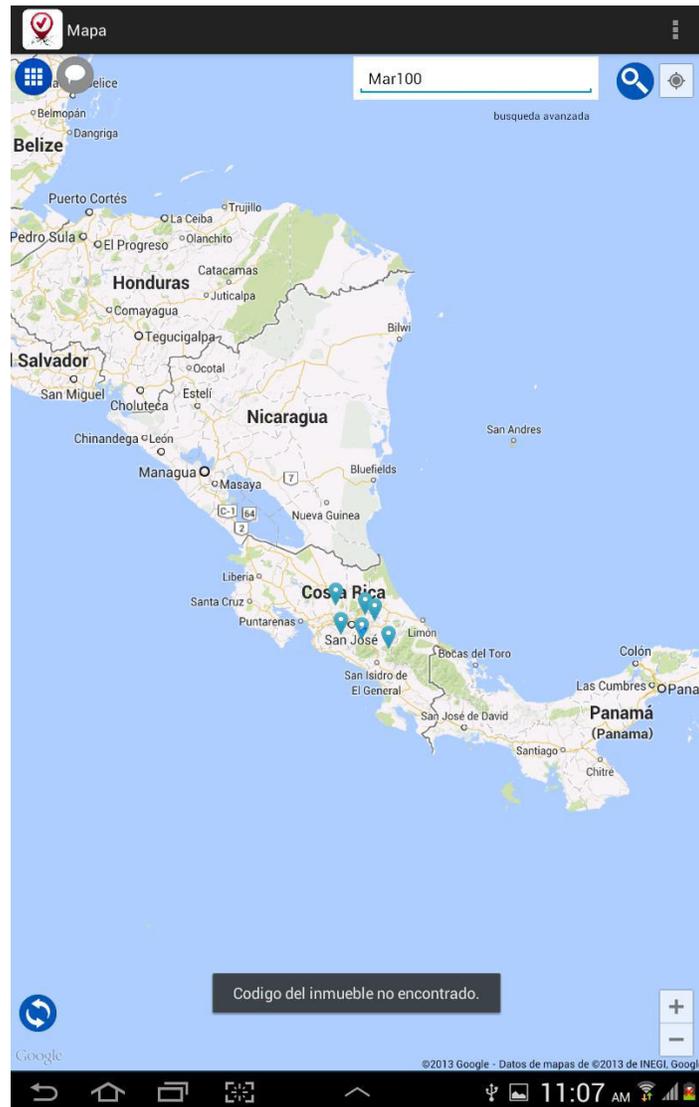


Imagen 2.23

Si se utiliza la búsqueda avanzada, se abrirá una ventana con un formulario, en donde el usuario podrá realizar uno o más filtros en la búsqueda del inmueble, ya no por su código sino por las características del mismo. Una vez realizada la búsqueda se mostrará una ventana con los inmuebles que cumplieron con el filtro. Al darle click sobre alguno de los inmuebles, se le abrirá el formulario del inmueble, por si se desea ver o modificar.

Busqueda avanzada

Provincia: _____

Área: _____ Área de construcción en m².

No. de pisos: _____

Altura: _____ desde _____ hasta _____

Año de construcción: _____ desde _____ hasta _____

Tipo de suelo: _____ Uso: _____

Sistema estructural: _____

Material predominante: _____

Defectos estructurales: _____

Defectos constructivos: _____

Elementos no estructurales:

Tanques elevados Parapetos Balcones

Características de la cubierta:

Diagrama: Rígido Flexible Sin distinción

Estado de la cubierta: Buen estado Regular estado Mal estado

Soporte de cubierta: _____

Material de cubierta: _____

Imagen 2.24

3. Crear nuevo inmueble

Para crear un nuevo inmueble, el usuario deberá seleccionar con su dedo por unos segundos sobre el punto donde desea crearlo. Una vez que lo haya hecho, se mostrará una ventana, con un formulario como se muestra en la figura 3.1, en el cual señalan las características que se necesitan del inmueble. El usuario podrá llenar los campos que pueda, y tendrá la opción de guardar el inmueble.

Si el usuario quisiera salir del formulario, el sistema le devolverá un mensaje, de si desea salir sin guardar, para evitar perder los datos guardados por error, como se muestra en la imagen 3.2.

The screenshot shows a mobile application interface with a form titled "Formulario". The form is divided into several sections with the following fields:

- Inspector Information:** "Nombre del inspector:" with the value "Marino Ramirez".
- Cadastral Data:** "Catastro:" with the value "Número de plano de catastro."
- Location:** "Provincia:" and "Cantón:" dropdown menus.
- Address and Area:** "Distrito:" dropdown menu and "Área:" with the value "Área de construcción en m²."
- Coordinates:** "Cuadrante:" dropdown menu with "Dirección exacta del inmueble." below it, "Latitud:" with the value "10.201197589586803", and "Longitud:" with the value "-84.30706936866045".
- Structural Details:** "No. de pisos:" and "Altura de pisos:" input fields.
- Dimensions and Construction:** "Dimensiones en planta:" with "Área aproximada:" and "Año de construcción:" input fields.
- Other Details:** "Tipo de suelo:" dropdown menu and "Uso:" dropdown menu.
- Structural System:** "Sistema estructural:" dropdown menu.
- Floor System:** "Diafragma de entrepiso:" with "Descripción del sistema de piso" below it.
- Materials and Defects:** "Material predominante:" dropdown menu and "Otro:" input field. Similar fields for "Defectos estructurales:" and "Defectos constructivos:".
- Non-Structural Elements:** "Elementos no estructurales:" section with sub-fields for "Tanques elevados", "Párapetos", "Balcones", and "Otro:".

Imagen 3.1

Al guardar el inmueble, el sistema mostrará un mensaje de confirmación, y en el mismo, se brindará al usuario la opción de guardar alguna fotografía o imagen del inmueble, como se muestra en la figura 3.3.

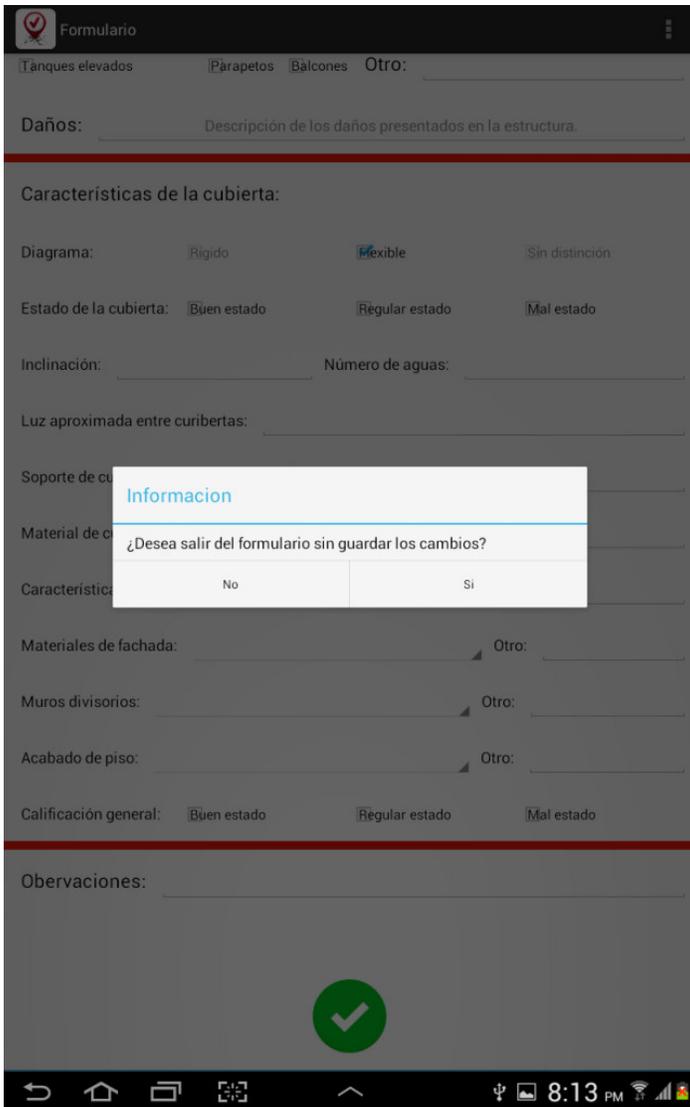


Imagen 3.2

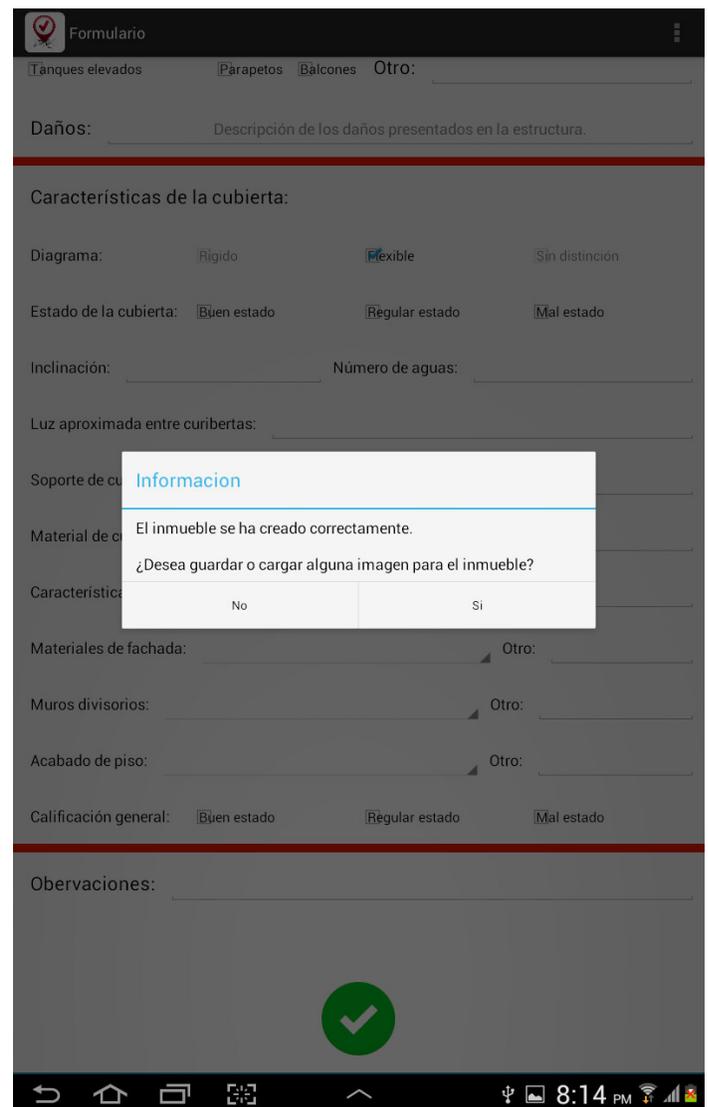


Imagen 3.3

Si el usuario no desea guardar imágenes, se devolverá a la pantalla del mapa, por el otro lado, si deseara guardar alguna fotografía o imagen para el inmueble, se devolverá la pantalla que se observa en la imagen 3.4.

3.1 Fotografías

En la pantalla de fotografías, se le presentará al usuario dos opciones principales, las cuales son la de tomar fotografía, o la de cargar alguna imagen que se encuentre en el dispositivo, como se muestra en la imagen 3.5. Cualquiera de las dos opciones que elija el usuario, lo que hará será agregar a una galería la foto o imagen, como se muestra en la imagen 3.6.

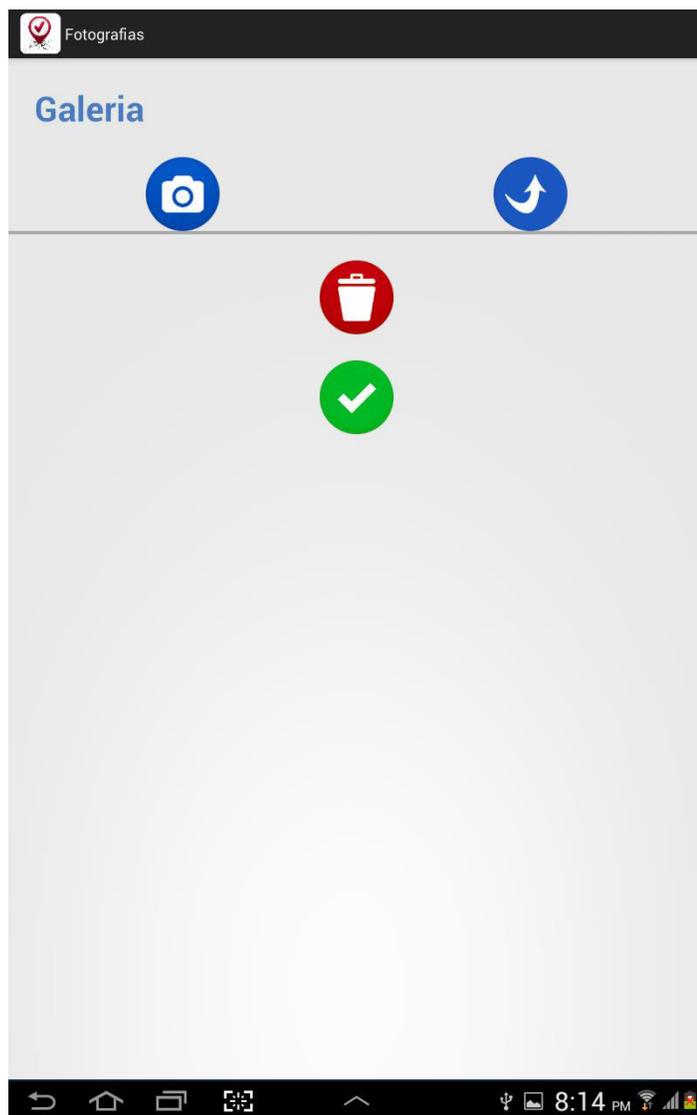


Imagen 3.6

Sin embargo, el usuario tendrá un límite de 5 imágenes por inmueble, así que cuando el mismo sobrepase esta cantidad, el sistema devolverá un mensaje indicándolo, como se muestra en la figura 3.7.

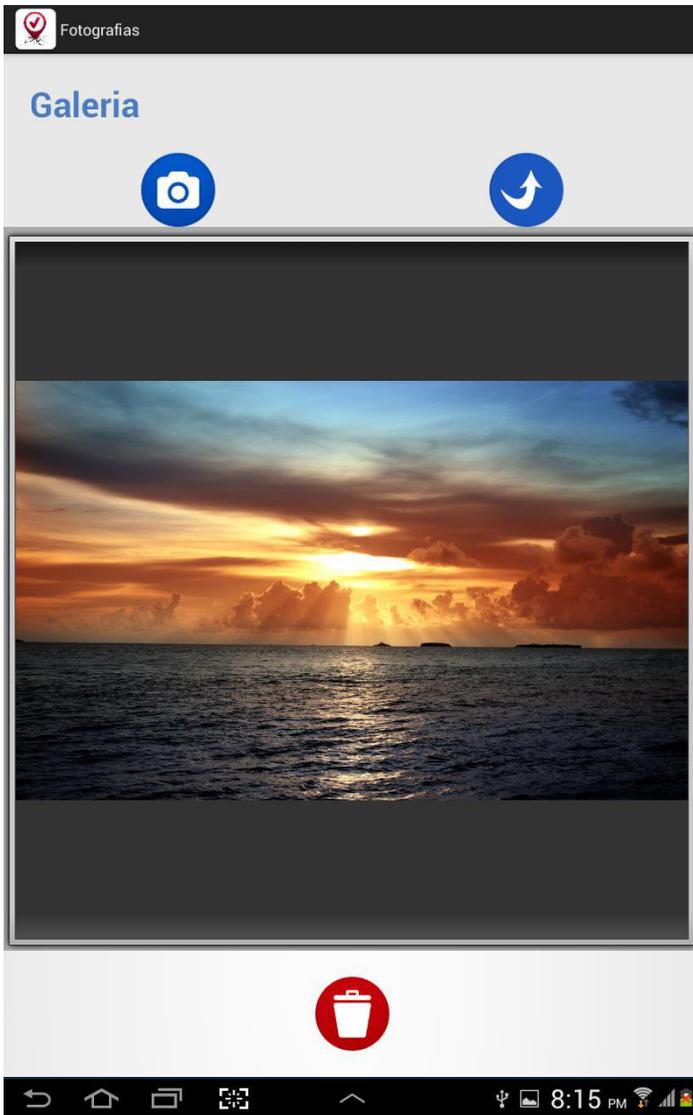
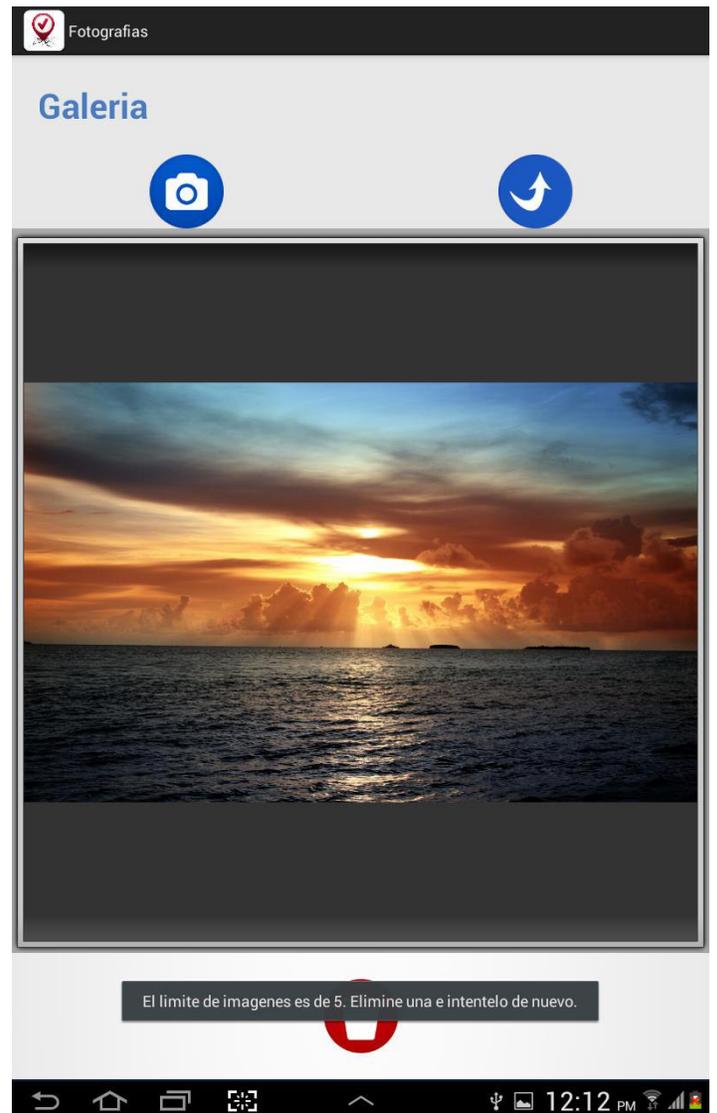


Imagen 3.7

Imagen 3.6



Una vez que el usuario haya cargado imágenes a la galería, este podrá 1. eliminar alguna si lo quisiera, solo seleccionando la imagen en la galería y seleccionando el icono de eliminar; o 2. guardar las imágenes del inmueble, para lo cual el sistema devolverá un mensaje de confirmación como el de la imagen 3.8.

Nota: Las imágenes tomadas con la cámara, se guardarán en una carpeta en la memoria del dispositivo, que posee el nombre de “CR-Sismos” dentro de la sección de imágenes del mismo, como se muestra en la imagen 3.9.

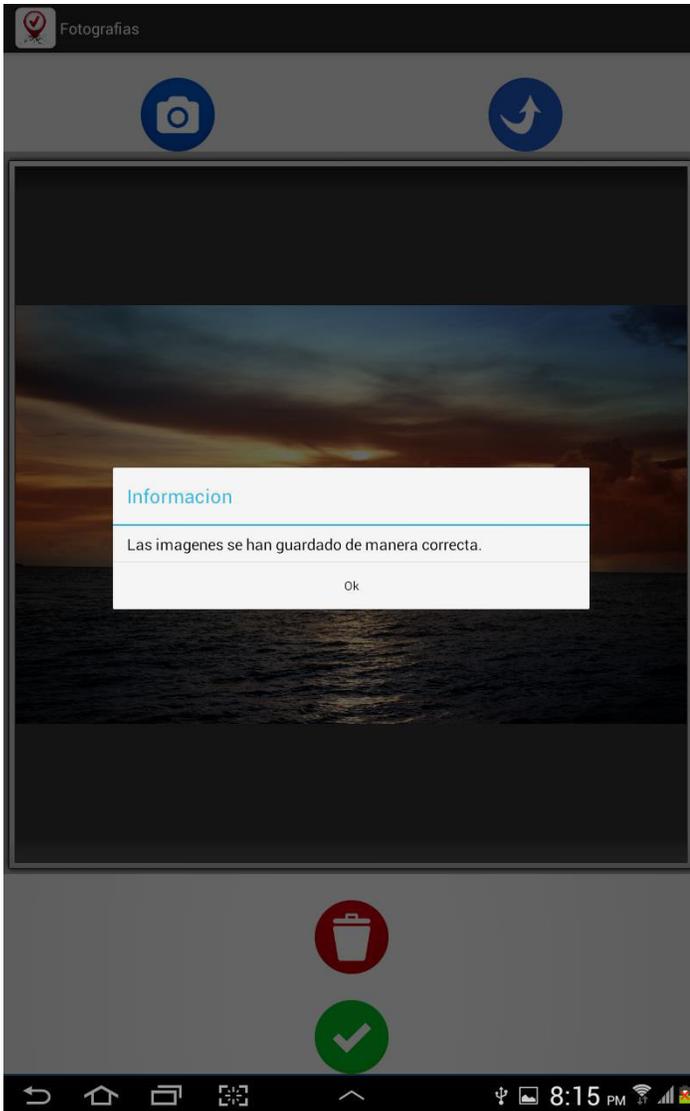
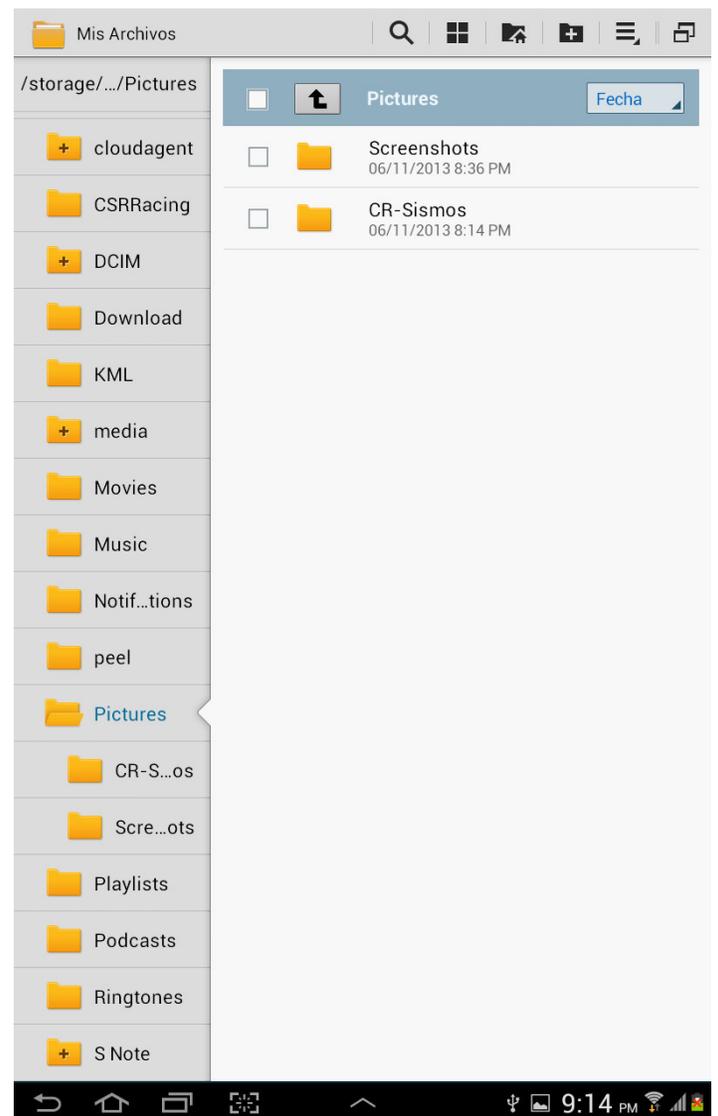


Imagen 3.9

Imagen 3.8



4. Modificar inmueble

Para modificar un inmueble deberá hacer click sobre el punto del mismo en el mapa, lo cual abrirá una nube que indica que si desea ver más información deberá hacer click sobre ella, como se muestra en la imagen 3.10.

Una vez que haya realizado la acción, el sistema mostrará una pantalla con el mismo formulario como cuando se crea un inmueble, con la diferencia que esta vez los campos contienen la información guardada del inmueble como se muestra en la imagen 3.11.

En la parte inferior del formulario, el usuario tendrá la opción de modificar la galería, guardar los cambios o eliminar el inmueble, como se observar en la imagen 3.12.

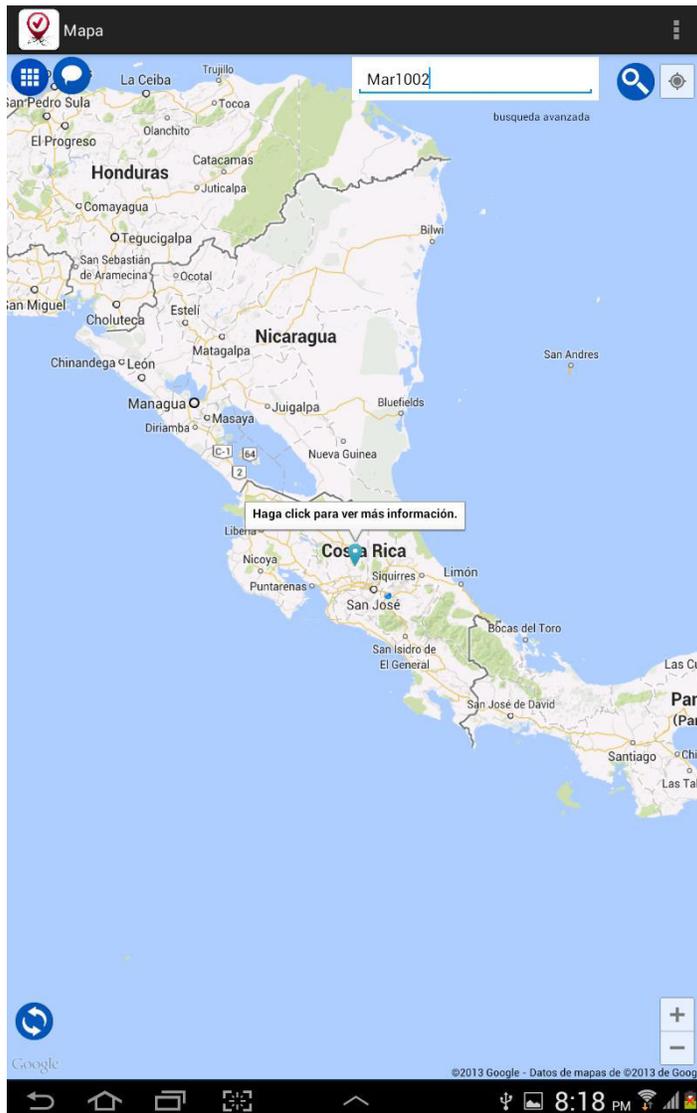


Imagen 3.10

Modificar

Nombre del inspector: Marino Ramirez

ID: Mar1002 Catastro: Número de plano de catastro.

Provincia: Cantón:

Distrito: Área: Área de construcción en m².

Cuadrante: Dirección exacta del inmueble.

Latitud: 10.201197589586803

Longitud: -84.30706936866045

No. de pisos: Altura de pisos:

Dimensiones en planta: Área aproximada. Año de construcción:

Tipo de suelo: Uso:

Sistema estructural:

Diafragma de entrepiso: Descripción del sistema de piso

Material predominante: Otro:

Defectos estructurales: Otro:

Defectos constructivos: Otro:

Elementos no estructurales:

Tanques elevados Parapetos Balcones Otro:

Imagen 3.11

Modificar

Diagrama: Rígido **Flexible** Sin distinción

Estado de la cubierta: Buen estado Regular estado Mal estado

Inclinación: Número de aguas:

Luz aproximada entre curibertas:

Soporte de cubierta: Otro:

Material de cubierta: Otro:

Características de fachada: Otro:

Materiales de fachada: Otro:

Muros divisorios: Otro:

Acabado de piso: Otro:

Calificación general: Buen estado Regular estado Mal estado

Observaciones:





Imagen 3.12

Si el usuario desea eliminar el inmueble, se le mostrará un mensaje para corroborar si en realidad desea hacerlo, para evitar algún inconveniente, como se muestra en la figura 3.13.

Además otra restricción del sistema, es que los inmuebles pueden ser modificados y borrados únicamente por el administrador, o por el usuario que lo creó; si algún otro usuario intentara hacerlo, el sistema devolverá un mensaje como se muestra en la imagen 3.14.

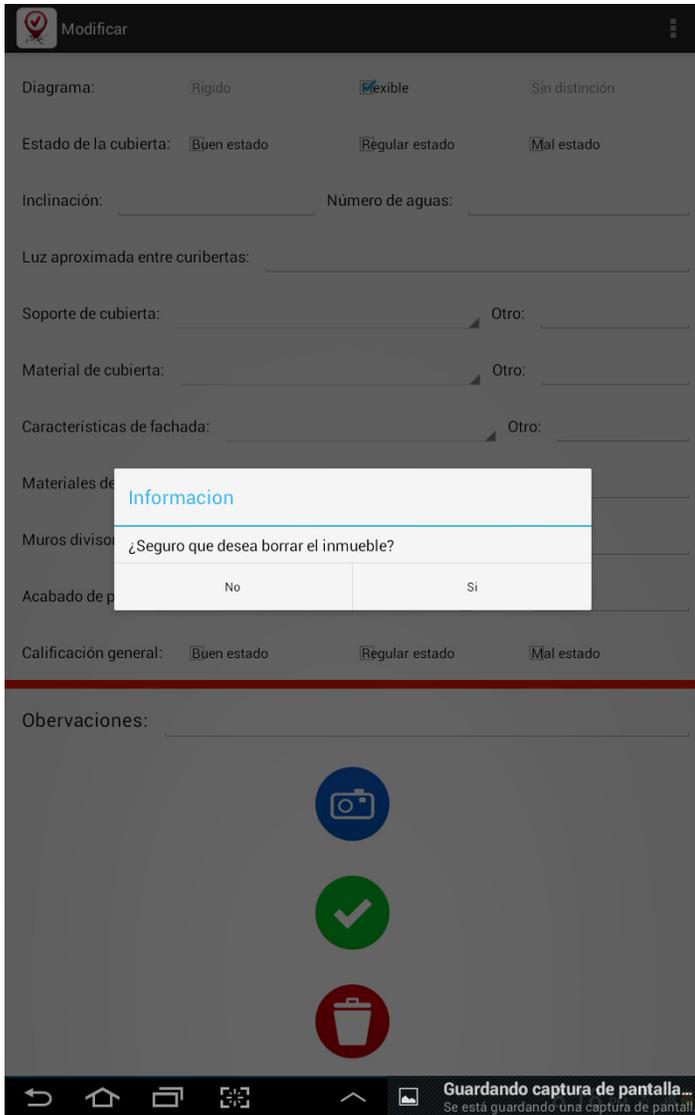
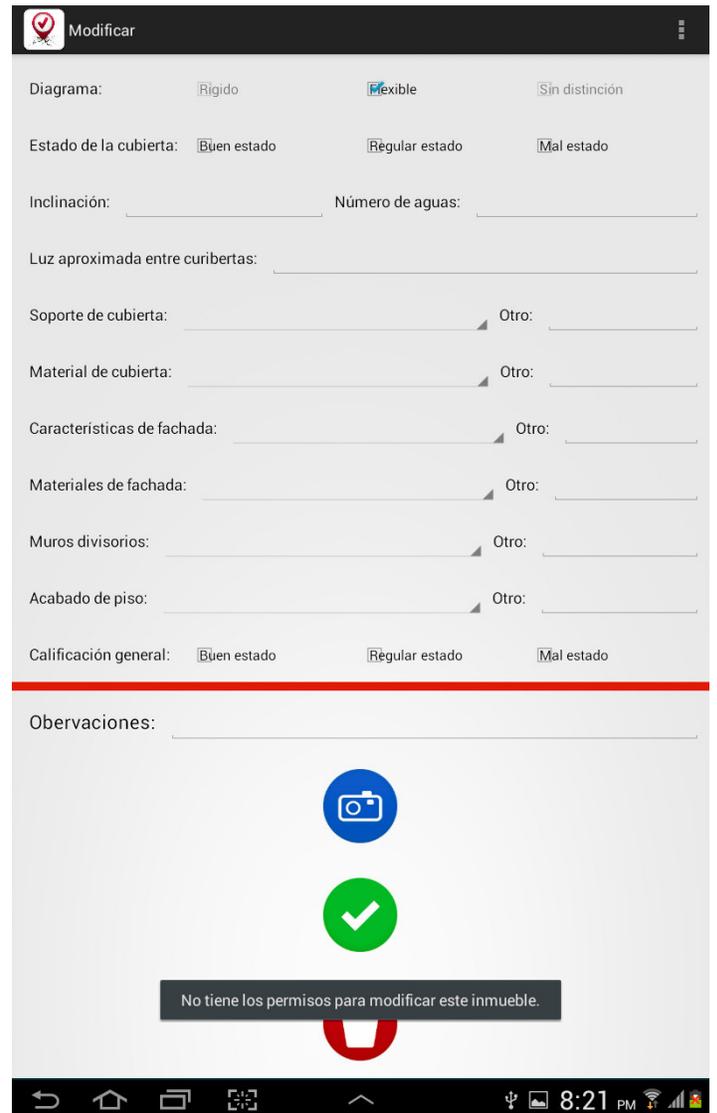


Imagen 3.14

Imagen 3.13



Si el usuario cumple con los privilegios, y guarda los cambios, el sistema devolverá un mensaje de confirmación, como en la imagen 3.15.

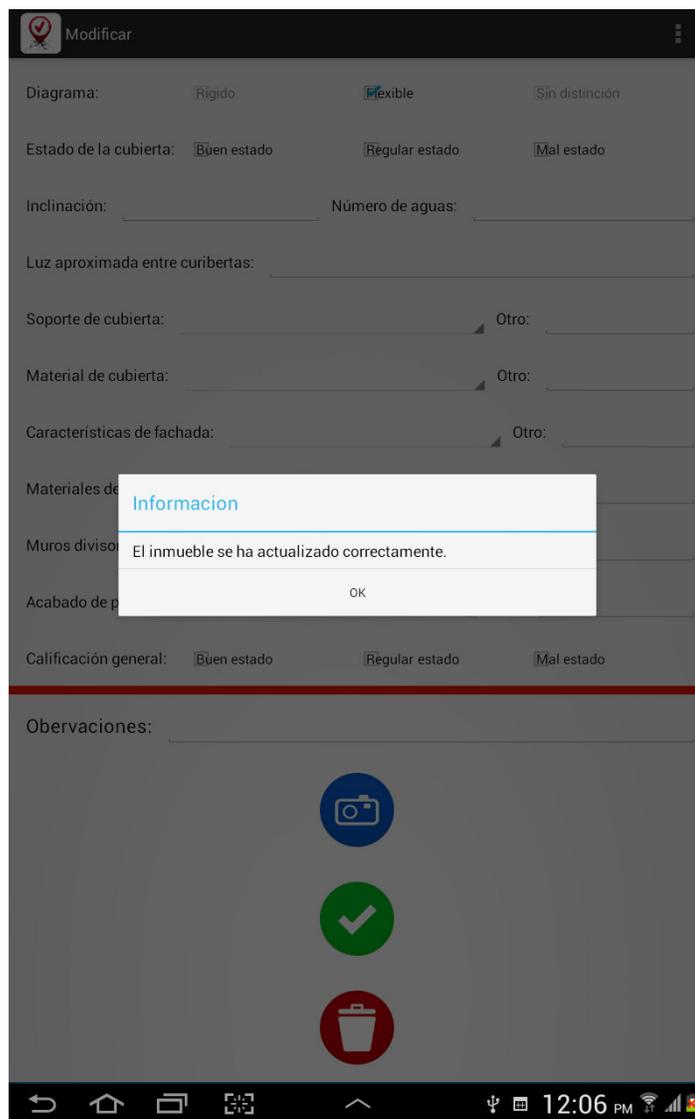


Imagen 3.15