

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DE LA CIUDAD CAMAGÜEY, CUBA.

MSc. Beatriz Lao Ramos

MSc. Migdalia Marí Mendoza

MSc. Roberto Hernández Conde

CIMAC, Cuba

blao@cimac.cu

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Beatriz Lao Ramos, Migdalia Marí Mendoza y Roberto Hernández Conde: "Los sistemas de información geográfica en el estudio del peligro sísmico de la ciudad Camagüey, Cuba.", Revista Observatorio de las Ciencias Sociales en Iberoamérica, ISSN: 2660-5554 (Vol 2, Número 9, abril 2021, pp. 18-33). En línea:

<https://www.eumed.net/es/revistas/observatorio-de-las-ciencias-sociales-en-iberoamerica/ocsi-abril21/estudio-peligro-sismico>

Resumen

Los sistemas de información geográfica (SIG) constituyen herramientas importantes que permiten el almacenamiento, procesamiento y análisis de la información digital, facilitando el proceso preventivo de toma de decisiones ante la ocurrencia de peligros naturales como los eventos sísmicos. El carácter repentino del sismo hace que sea éste, uno de los peligros naturales impredecibles que ocasiona numerosas pérdidas de vidas anualmente; por lo que se requiere, incrementar el número de acciones preventivas que contribuyan a garantizar la seguridad social y económica de las regiones con eventos sísmicos registrados. El estudio tiene como objetivo mostrar una de las aplicaciones de los SIG en el manejo de la información digital para la identificación de áreas con peligro sísmico. La ciudad Camagüey, ubicada en la parte oriental del país, constituyó el polígono de trabajo. Los resultados del estudio muestran el grado del peligro sísmico para toda la ciudad; basado en la metodología establecida por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas en el 2009, se identifican las áreas de mayor peligrosidad que requieren incrementar la percepción de la población residente, con el fin de minimizar el riesgo ante éste peligro.

Palabras claves: Sistemas de Información Geográfica (SIG), peligro sísmico, ciudad Camagüey.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN THE STUDY OF SEISMIC HAZARD OF CAMAGÜEY CITY, CUBA.

Abstract

Geographic information systems (GIS) are important tools that allow the storage, processing and analysis of digital information, facilitating the preventive decision-making process in the event of natural hazards such as seismic events. The earthquake sudden nature makes it one of the unpredictable natural hazards that causes numerous human life losses every year; therefore, it is necessary to increase the number of preventive actions that contribute to guaranteeing the social and economic security of the regions with registered seismic events. The study has as aims to show one of the GIS applications to the management of digital information for the identification of seismic hazard areas. The Camagüey city, located in the eastern part of the country, constituted the work area. The results of the study show the seismic hazard degree for the entire city, based on the National Center for Seismological Research methodology established in 2009, the most hazard areas that require increase in the perception of the resident population are identify, in order to minimize the risk of this hazard.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), seismic hazard, Camagüey city.

Introducción

Los sismos son peligros naturales repentinos que anualmente ocasionan considerables pérdidas de vidas humanas y económicas. Se originan, como consecuencia de una liberación súbita de la energía existente en el interior del planeta, acumulada durante los procesos de deformación de la corteza terrestre (Candebat y Chuy, 2012). Una de las principales causas que ocasiona la deformación de las rocas lo constituyen los movimientos tectónicos originados por la existencia de sistemas de fallas activas. Los procesos volcánicos, los deslizamientos de tierra y el hundimiento de cavidades cársticas, entre otras, pueden ser otras fuentes generadoras de sismos (Pérez y Merino 2010).

La ubicación geográfica de la isla de Cuba sobre la placa norteamericana, la cual en su límite Sur presenta movimientos de desplazamientos laterales marcados por la existencia de una zona de debilidad tectónica conocida como Bartlett-Caimán, ha ocasionado un número de eventos sísmico a lo largo de todo el país (Chuy, 2013), registrándose en las provincias orientales el mayor número de eventos y por tanto los de mayores riesgos. Teniendo en cuenta que, en provincias como Camagüey, identificadas como zona de riesgo sísmico moderado, el número de eventos asociados a movimientos tectónicos se ha incrementado en estos últimos años, se impone la necesidad de realizar un estudio del peligro sísmico con un enfoque multidisciplinario. El empleo de herramientas como el Sistema de Información Geográfica (SIG), facilita el manejo y análisis simultáneo de informaciones de diversas disciplinas (Primelles, Zequeira, Acosta y Martín, 2002).

El trabajo tiene como objetivo mostrar una de las aplicaciones de los SIG en el manejo de la información digital para la identificación del peligro sísmico en la ciudad Camagüey. El estudio identifica áreas con peligro sísmico moderado y sectores donde pueden ocurrir fenómenos secundarios asociados, tales como la licuefacción del suelo; propone además, incrementar la percepción del peligro en la población y en los tomadores de decisiones, así como, perfeccionar el proceso de construcción de viviendas en las áreas de mayor peligro, entre otros.

Características generales de la ciudad Camagüey

La ciudad Camagüey es una de las primeras siete villas fundadas por los colonizadores españoles, el 2 de febrero de 1514, llamada Santa María del Puerto del Príncipe, también conocida como Puerto Príncipe. En el año 1516 se trasladó hacia las márgenes del río Caonao, luego alrededor del año 1528, hacia el centro del territorio, donde alcanzó su posterior desarrollo (Mendieta, 2002).

La ciudad posee uno de los centros históricos más extensos y antiguos del país con aproximadamente 300 ha de una trama diferente al resto de las ciudades de la nación e incluso del resto de las áreas urbanizadas de la ciudad. El Centro Histórico, en forma de radio concéntrico estructurado en torno al mismo, posee una tipología urbana compacta con edificaciones de puntal alto básicamente de una planta, mientras que en el resto de la ciudad predominan las viviendas individuales con jardines y patios alrededores. Su Centro Histórico es hoy Monumento Nacional y Patrimonio Cultural Urbano de la Humanidad, por los valores arquitectónicos, históricos y ambientales que encierra. En zonas periféricas generalmente, se encuentran nuevos desarrollos de edificios multifamiliares donde prevalecen los 4 y 5 niveles con ubicaciones puntuales de 12 y 18 plantas. Asociada a la periferia aparecen además, barrios como consecuencia de una urbanización espontánea, con estructura caótica. Las calles son estrechas, sinuosas, con imprevistas plazas y plazuelas, manteniendo el encanto de las ciudades coloniales fundadas por la conquista. La mayoría de sus instalaciones han sobrevivido al tiempo, esto la convierte en una de las ciudades más tradicionales y que mejor conservan las características hispano - árabes en el urbanismo, la arquitectura, el arte y las costumbres religioso en la Isla (Mendieta, 2002).

La población de los consejos populares en la ciudad, según estimado de la Dirección Provincial de Estadísticas correspondiente al año 2018, es de 308 240 habitantes, lo que representa el 93,1 % de la población del municipio. El 91% de la población habita en la zona residencial, que ocupa un área de 29,6 km² y representa el 37,4 % del área urbana, mientras que el resto de la población de la ciudad, alrededor del 9%, vive en el área no residencial, que ocupa 49,4 km², lo que representa el 62,5 % de la ciudad. La población se encuentra distribuida en 17 consejos populares urbanos.

Materiales y Métodos

El estudio del peligro sísmico desarrollado en la ciudad Camagüey tuvo como base metodológica la guía establecida para la determinación del Peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en escenarios físicos, elaborada por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), con la aplicación del SIG. El trabajo fue desarrollado en tres etapas, las cuales aparecen detalladas a continuación.

La primera etapa de trabajo se encuentra relacionada con la recopilación de la información necesaria para la realización del trabajo. Dentro de esta encontramos:

- El límite de la ciudad y de los consejos populares urbanos establecidos por la Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF) en el año 2015.
- El esquema regional precisado para el aprovechamiento hidráulico del sur de la provincia de Camagüey. Investigación hidrogeológica e ingeniero-geológica a escala 1: 100 000, elaborado por el Instituto de Recursos Hidráulicos de la provincia en el año 1987.
- El mapa geológico unificado del Polígono Camagüey a escala 1: 100 000 de 1995.
- Informes de Investigaciones Ingeniero geológicas de la ciudad de Camagüey elaborados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), en los años 1985-2004.
- El Mapa de Suelos la ciudad de Camagüey a escala 1: 25 000 obtenido de la Tesis de Maestría de Mendieta (2002).
- El mapa topográfico de la ciudad a escala 1:25000, obtenido de la hoja cartográfica Camagüey, elaborada por el Centro de Investigaciones Medio Ambiente Camagüey (CIMAC), durante 1987.
- El mapa hidrográfico de la provincia a escala 1:25000, elaborado por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) durante 1998.
- Mapa provincial de los valores de aceleración pico PGA y su intensidad sísmica equivalente para 475 años de período de retorno (Chuy, Noa e Infantes, 2013).
- Otras fuentes: la norma cubana NC: 46-1999, artículos científicos y otros.
- Datos Macrosísmicos de la Tesis de Doctorado de Chuy (1999).

La segunda etapa de trabajo estuvo enmarcada en la preparación de los datos que integrarían el Sistema de Información Geográfica (SIG) de la ciudad Camagüey. El mismo comprende la cartografía correspondiente a la información recopilada en la etapa anterior y la creación de la base de datos asociada a esta.

La tercera etapa de trabajo abarcó la aplicación de la metodología elaborada por el CENAI. Durante esta etapa, considerando como unidad de análisis los consejos populares, se realizó la clasificación de los suelos según la NC: 46-1999, tomando como base la información existente en el SIG creado. Como resultado se obtuvo el mapa de perfil de suelo, y se determinaron los valores de aceleración pico PGA e intensidad para 475 años de período de retorno por cada consejo popular. Finalmente se determina la categoría del peligro sísmico para cada área de la ciudad y se evalúan los daños pronosticados basados en la Escala Macrosísmica Europea (EMS) de 1998.

Los SIG como herramienta de trabajo en el manejo de la información multidisciplinaria.

El SIG surge como una necesidad identificada durante el proceso de manejo de la información, con el fin de organizar y mantener actualizada toda la información multidisciplinaria disponible.

Para la elaboración del SIG se tuvo en cuenta la información existente en formato digital y la transformación de la información analógica. La cartografía se obtuvo por el proceso de intercepción de los mapas regionales existentes y el límite de la ciudad. En algunos casos, como parte del pre-

procesamiento de la información, fue necesario la georeferenciación y digitalización de los mapas existentes en formato analógico.

- Límite de la ciudad y de los consejos populares urbanos.

La ciudad de Camagüey posee un área de 79 km², distribuidos especialmente en 17 consejos populares: Modelo-Imán, Juruquey-Edén, Buenos Aires-Bella Vista, Previsora, Agramonte-Simoni, La Belén, San Juan de Dios, América Latina, Centro, Vigía-Florat, Puerto Príncipe, Lenin-Albaisa, La Esperanza, Vista Hermosa, Garrido, Julio Antonio Mella y Jayamá (figura 1).

- Esquema regional precisado para el aprovechamiento hidráulico del sur de la provincia de Camagüey (1987).

El esquema preparado por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico muestra un predominio de depósitos eluviales dentro de los límites establecidos por la ciudad. Hacia la parte norte, los eluvios están representados por suelos plásticos a veces con gravas o gravosos, arenas y suelos fracturados gruesos con o sin relleno de suelos plásticos; con valores de potencia que oscilan entre 10.0-15.0 m. En esta área, los depósitos eluviales yacen sobre la formación Caobilla, compuesta por rocas vulcanógeno terrígeno carbonatadas del Campaniano, lavas masivas, lavas brechas, clasto - lavas, tobas, areniscas, aleurolitas, margas y calizas; la potencia oscila entre 3.0-5.0 m. Aparecen además, aislados afloramientos de rocas pertenecientes a esta formación con potencias inferiores a los 2.0 m. En la parte central, noroeste y sureste de la ciudad, los depósitos eluviales yacen sobre granodioritas, cuarzdioritas y granitos del Cretácico Superior tardío, con potencias entre 3.0-5.0 m. En esta parte de la ciudad los suelos se caracterizan por ser plásticos (arcillas, suelos arcillosos y suelos arenosos). Hacia el centro de la ciudad, a lo largo de sus ríos principales (Tímina y Hatibonico) aparecen los depósitos aluviales, con potencias menores a 10 m y representados por suelos plásticos, arenosos, a veces guijarros, arenas y cantos rodados, frecuentemente intercalados. Por otro lado, hacia el noreste de la ciudad, encontramos los depósitos de eluvios sobre rocas ultramáficas, ultramafitas y gabros serpentinizados. Los suelos se caracterizan por ser arcillosos, con gravas a gravosos. La distribución espacial del primer horizonte del nivel freático muestra que hacia el sur, en la cercanía de los depósitos aluviales, se encuentran los más bajos niveles de profundidad (1.0 – 2.0 m), llegando a alcanzar los 10 m de profundidad hacia el noreste de la ciudad, donde se localizan las rocas ultramáficas (figura 2).

- Mapa geológico de la ciudad Camagüey

En el área de la ciudad se identifican cinco complejos litológicos: granodiorítico, de diques y gabroides, gabrosienítico, cumulativo y peridotítico (Iturralde et. al. 1995). Ocupando además, pequeñas extensiones hacia la parte norte, las formaciones geológicas: Piragua y Camujiro (figura 3).

- Mapa de suelos de la ciudad Camagüey.

La información de suelos de la ciudad fue determinada por criterio de expertos a partir del conocimiento de las clasificaciones genética y morfológica realizadas en los años '75 y '60. En el área de estudio los suelos varían fundamentalmente de poco a medianamente profundos (50 cm aproximadamente) con predominio de los pardos grisáceos y en menor medida de los pardos sin carbonato y los fersialíticos rojo parduzco ferro magnesiales. Hacia la parte central de la ciudad, en la

cercanía de los cauces de los ríos y sus afluentes, aparecen los suelos aluviales (Mendieta, 2002) ocupando las menores extensiones superficiales (figura 4).

- Mapa topográfico de la ciudad.

La topografía en la ciudad se caracteriza por la presencia de un relieve llano, con valores altimétricos que varían entre 80-120 m snm, encontrándose los máximos valores hacia la parte noreste de la ciudad. Los mínimos valores de altura son reflejados hacia el centro y suroeste del área, en los alrededores de los cauces de los ríos, donde se observa la presencia de terrazas fluviales (figura 5).

- Mapa hidrográfico de la ciudad.

La ciudad Camagüey se encuentra enclavada en la cuenca hidrográfica San Pedro, compuesta por las sub-cuencas del río Hatibonico y la del río Tílima (Primelles,2010). El río Hatibonico, nace a 130 m snm, cerca del caserío "La Experiencia", a 10 km al norte de la ciudad de Camagüey; converge con el río Tílima, formando ambos el río San Pedro que corre hacia la vertiente sur del territorio. A su paso por el área urbana, se le incorporan los afluentes Guije, Juan del Toro y el Santa Cruz. En el área de la ciudad existen varios microembalses, siendo el Micro 17, ubicado en el consejo popular Julio Antonio Mella, el de mayores dimensiones (figura 6).

- Mapa de los pozos Ingeniero geológico perforados por la ENIA en la ciudad.

En el área de la ciudad se registraron un total de 213 pozos perforados por la ENIA en los años 1985-2004, distribuidos de forma irregular en cada uno de los consejos populares, encontrándose el mayor número de pozos registrados en el consejo popular Lenin-Albaisa (figura 7). Teniendo en cuenta, que el número de pozo existente o la distribución espacial de los mismos en algunos consejos populares es poco representativa, se consideró la información de los pozos ubicados en el área externa próximos al límite de la ciudad.

Resultados y discusión

El Sistema de Información Geográfica (SIG) elaborado durante la segunda etapa de trabajo, permitió el análisis simultáneo de la cartografía digital correspondiente a la información geológica, de suelos, hidrogeológica, topográfica, etc., de la ciudad mostrada en los mapas anteriores. Además, de los atributos espaciales que posee cada mapa y con el fin de determinar el tipo de suelo, se superpone la base datos creada con la información ingeniero-geológica de todos los pozos realizados por la ENIA en la ciudad en el período de 1985-2004.

Caracterización del suelo según su composición litológica.

Teniendo en cuenta que, en los 213 pozos utilizados existe una diversidad litológica, se propone la creación de una leyenda que permita la representación espacial de los principales tipos de suelos según su composición litológica (figura 8).

La caracterización del tipo de suelo, basado en la información de los pozos de la ENIA, muestra que en los consejos populares ubicados hacia la parte central y Sur de la ciudad existe un predominio de suelos eluviales. El eluvio de diorita está representado por una arena arcillosa de color pardo amarillento a verdoso, con algunos perdigones de hierro y grava angulosa; con potencia que varía desde 1.5-5.8 m. Hacia la parte sureste de la ciudad parecen además, eluvios de granodioritas,

representado por arcillas algo limosa de color pardo amarillento, con gravas angulosas y duras hasta de 0.4 cm de diámetro. Este material presenta plasticidad baja y consistencia dura hasta muy dura, con potencia entre 2.4-3.4 m. Estos depósitos eluviales yacen sobre rocas dioritas y granodioritas respectivamente.

Por otra parte, en la medida que se avanza hacia el consejo popular Lenin-Albaisa, en la parte Este de la ciudad, se observa una transición hacia los depósitos eluviales serpentínicos con presencia de material arcilloso limoso, de color pardo amarillento, muy plástico, densidad baja, consistencia blanda, con gravas angulosas, de dureza media a baja. Estos depósitos yacen sobre roca serpentinita, con potencia próxima a 2.7 m, en ocasiones se encuentran cubiertos por delgadas capas de arcillas, con potencias cercanas a 1.5 m. De forma puntual se reportan además en este consejo popular, la existencia de depósitos de eluvio porfirita-andesítica, de color gris verdoso con poco contenido de gravas y arena arcillosa, los cuales yacen sobre rocas andesíticas o porfirita-andesítica, con potencia de hasta 6.3 m.

Hacia la parte Norte de la ciudad, encontramos depósitos de arcilla y de arena yaciendo sobre los depósitos eluviales de diorita. Las arcillas son de color carmelita, con numerosas gravas semiangulosas, plástica, con restos de materia orgánica, su potencia oscila entre 0.10-2.0 m. Las arenas son arcillosa eluvial, con gravas, de color grisáceo verdoso, de plasticidad medio-bajo, potencia próxima a 1.0 m. Hacia la parte Noroeste, desde 3.0-5.2 m aparecen tobas dioríticas de la Formación Piragua yaciendo bajo las arenas. Hacia el Noreste, cercano a los 6.0 m de profundidad encontramos las brechas volcánicas de la Formación Camujiro.

En la cercanía de los ríos y sus afluentes, aparece el material aluvial, representado por arcillas arenosas, con potencias inferiores a 2.0 m, depositadas sobre capas de arenas arcillosas con valores de potencia que oscilan entre 1.0-3.0 m. Por lo general, en estas áreas, las capas de arena yacen sobre los depósitos eluviales y con menor frecuencia, directamente sobre la roca diorita.

Clasificación de los suelos.

Un sistema de clasificación de los suelos es un ordenamiento de los diferentes suelos en grupos que tienen propiedades similares. En el presente trabajo se utilizó la clasificación de los suelos que aparece en la NC 46-1999 que establece los perfiles S1, S2, S3 y S4.

Dadas las características de los suelos anteriormente señaladas, los tipos litológicos y los espesores de los estratos de suelo, y atendiendo a la norma antes mencionada, se señala que los suelos en el área de la ciudad, se corresponden con el perfil de suelo S3 (ocupan 72.8 km²); con excepción de las áreas de depósitos aluviales (6.23 km²), donde el perfil de suelo es S4 (figura 9).

Los SIG en la evaluación del peligro sísmico.

La evaluación del peligro sísmico se realizó con el empleo del SIG; se utilizaron las capas del consejo popular, la capa del tipo de suelo determinada como resultado del análisis anterior y los mapas de la distribución espacial de los valores de intensidad y aceleración pico calculados por el CENAIIS para 475 años de período de retorno.

La distribución espacial de los valores de intensidad del sismo depende de la composición del suelo sobre el cual nos encontremos. Las arenas y rocas poco consolidadas amplían las ondas sísmicas, por lo que el efecto del sismo se siente más fuerte.

El mapa de intensidad sísmica para 475 años de período de retorno, en los suelos con perfil S3, en general, muestra un predominio de los valores de intensidad de VII grados EMS-MSK en todos los consejos populares de la ciudad. Los suelos con perfiles S4, muestran valores elevados que alcanzan los VIII grados EMS-MSK (figura 10).

La aceleración pico, para 475 años de período de retorno, en los suelos de perfil S3, muestra el mismo comportamiento para todos los consejos populares, obteniéndose valores de 0.12 g. En los suelos con perfil S4, la aceleración muestra un incremento significativo, obteniéndose valores de 0.16 g (figura 11).

El grado de peligrosidad sísmica para 475 años de período de retorno se establece considerando los criterios reflejados en la metodología. Finalmente se determinan tres categorías de peligro: para valores de intensidad \leq VII y aceleración \leq 0.15 g, se le asigna la categoría de peligro bajo; cuando la intensidad se encuentra entre VII - \leq VIII y la aceleración posee valores que oscilan en el rango \leq 0.15g - $<$ 0.19 g, se considera el peligro moderado y para valores de intensidad \geq VIII y aceleración $>$ 0.19 g, se le asigna la categoría de peligro alto.

El mapa de intensidad para 475 años de período de retorno refleja en los suelos de perfil S3, valores de VII grados EMS-MSK; para suelos S4 se alcanza el valor de VIII grados EMS-MSK. La aceleración sísmica, para los suelos con perfiles S3 es de 0.12 g; obteniéndose valores de 0.16 g para los suelos S4.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se concluye que, para 475 años de períodos de retorno, existe un predominio de la categoría del peligro sísmico bajo para toda el área de la ciudad donde los suelos son del tipo S3; sin embargo, para los suelos de perfil S4, el peligro sísmico es categorizado como moderado.

La evaluación de los daños, para un sismo de intensidad VII pronosticado, se realiza teniendo en cuenta los criterios establecidos en la Escala Macrosísmica Europea (EMS) de 1998.

Según la categoría dada en la escala EMS-MSK, en los suelos predominantes con categoría VII de intensidad, los efectos esperados son: muchas personas les cuesta mantenerse en pie, los muebles son desplazados, y muchos edificios vulnerables de clase A, sufren daños de grado 3 (daño estructural moderado y daño no estructural severo) y algunos de grado 4 (daño estructural severo y no estructural muy severo). Además, muchos edificios vulnerables de clase B sufren daños de grado 2 (daño estructural leve y daño no estructural moderado).

Aunque en el área de estudio existe un predominio de los valores de peligro sísmico bajo, dentro de la ciudad se identifican áreas donde el peligro es evaluado de moderado. Teniendo en cuenta, que las áreas de peligro moderado se corresponden con los suelos S4, los cuales se ubican en la cercanía de los ríos, se hace necesario precisar la posibilidad de que estas áreas puedan ser afectadas por el proceso de licuefacción, donde el material no consolidado, con poco desnivel, pasa de un estado sólido a un estado líquido, o adquiere la consistencia de un líquido pesado.

Para la determinación de las áreas susceptibles a licuefacción fueron considerados los criterios de susceptibilidad resumidos por Chozo (Chozo & Peñaloza, 2016). Teniendo en cuenta que en el área de estudio no existen reportes de eventos de licuefacción que hayan ocurrido con anterioridad, se considera que el criterio histórico no es aplicable a nuestras condiciones. Para la aplicación del criterio geológico fueron identificadas con el SIG, las capas jóvenes que contienen los depósitos aluviales y las de arenas. La aplicación del criterio composición del suelo, se basó en lo expresado por Andrews-Martin (citado por Chozo & Peñaloza, 2016), para la evaluación de licuefacción de suelos con presencia de finos.

En las áreas identificadas que pueden ser susceptible a licuefacción, se consideraron además, otros criterios como el alto contenido de arena (> 50%), cercanía a afluentes, profundidad del nivel freático, consistencia fluida y presencia de gravas, reflejadas en las características ingeniero-geológicas de cada pozo analizado.

Como resultado de la aplicación de los criterios geológicos y composición del suelo, se identificaron los suelos S4 categorizados previamente con peligro moderado, como susceptibles de licuefacción, lo que representa el 8 % de la ciudad. Teniendo en cuenta el peligro que representa esta zona en el área de la ciudad se propone, incrementar la percepción de la población residente en estas áreas y de los tomadores de decisiones relacionados con el proceso de construcción de viviendas en las áreas de mayor peligro, El mapa resultante del peligro sísmico es mostrado en la figura 12.

Conclusiones

El Sistema de Información Geográfica (SIG) de la ciudad Camagüey sentó las bases para la utilización de esta herramienta en la realización del estudio del peligro sísmico de otras ciudades de la provincia y del país; estableciendo una forma de compilar, organizar y almacenar la información de diversas disciplinas (geológica, geográfica, uso del suelo, etc.), permitiendo así su actualización y análisis; lo que facilita el proceso de toma de decisiones y la elaboración de nuevas estrategias para la planificación urbana en áreas identificadas con peligro sísmico, contribuyendo de esta forma a minimizar los riesgos.

Referencias

- Candebat, D. & Chuy, T. J. (2012). *Informe Final. Estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico Ciudad Santiago de Cuba, Cuba*. 3.
- Chozo, J.M. & Peñaloza, J. (2016). *Licuefacción de suelos*. <https://es.slideshare.net/ingcivil07/trabajo-final-de-suelos-2-licuefaccion-de-suelos>. 25-27.
- Chuy, T. J. (2013). *Sismos. Ciencia y comunidad en la gestión de riesgo de desastres. Una responsabilidad compartida*. 7.
- Chuy, T. J., Noas, J. L. & Infante, Y. (2013). *Contribución de los estudios de peligrosidad sísmica a la disminución de la vulnerabilidad sísmica de las instalaciones de salud*. Memorias de Convención de Arquitectura e Ingeniería Hospitalaria. Editorial Obras. ISBN 978-959-247-103-0. Habana, Cuba.

Guía metodológica: determinación del peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en escenarios físicos. (2009). Centro Nacional de investigaciones Sismológicas (CENAI). La Habana, Cuba.

Informes Ingeniero geológico de la ciudad Camagüey de los años 1985-2004. "n.d." Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Unidad Administrativa No.5 MICONS, Camagüey.

Mendieta, L. (2002). "n.d." *Las condiciones físico-geográficas y el proceso de urbanización como base de la situación ambiental de la ciudad Camagüey*. Instituto de Geografía Tropical, La Habana, Cuba.

Norma Cubana NC 46. (1999). *Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción*. La Habana, Cuba.

Pérez, J. & Merino, M. (2010). *Definición de sismo*. <http://definicion.de/sismo>.

Primelles, J; Zequeira, M.E; Acosta, Z; Martín, G (2002). *Sistema de Información Geográfica como soporte del diagnóstico ambiental de la cuenca del río San Pedro, Camagüey, Cuba*.

Figuras

Figura 1. Distribución espacial de los consejos populares dentro del área de la ciudad.

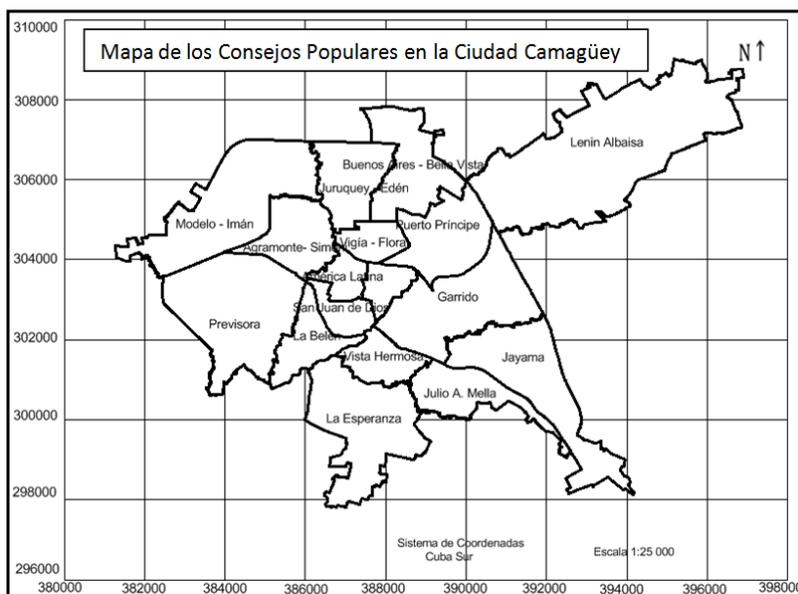


Figura 2. Esquema regional precisado para el aprovechamiento hidráulico.

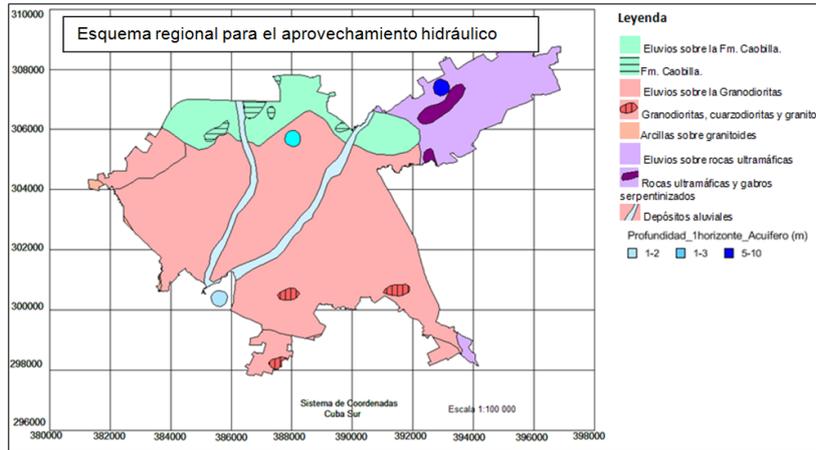


Figura 3. Mapa geológico de la ciudad Camagüey.

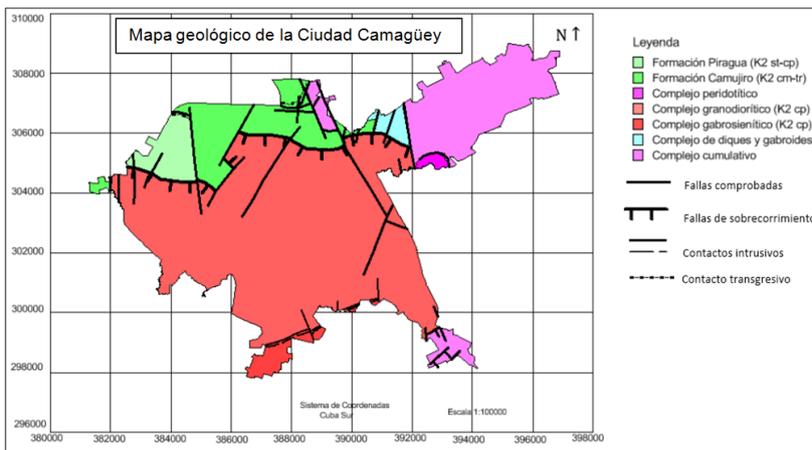


Figura 4. Mapa de suelos de la ciudad Camagüey.

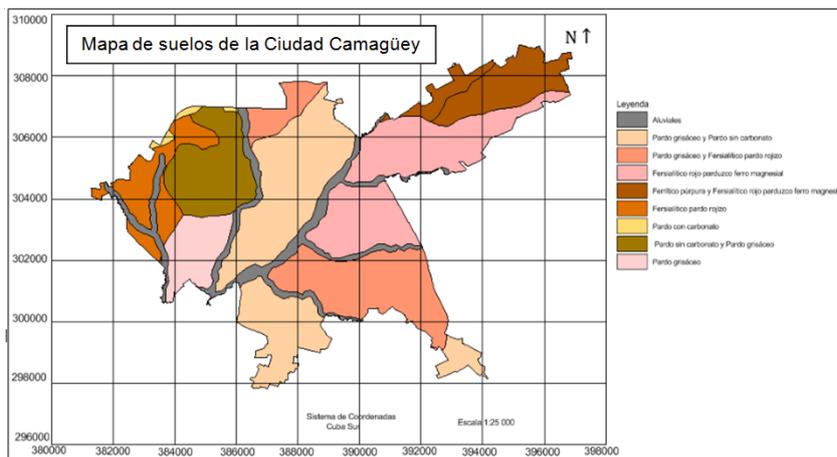


Figura 5. Mapa topográfico de la ciudad Camagüey.

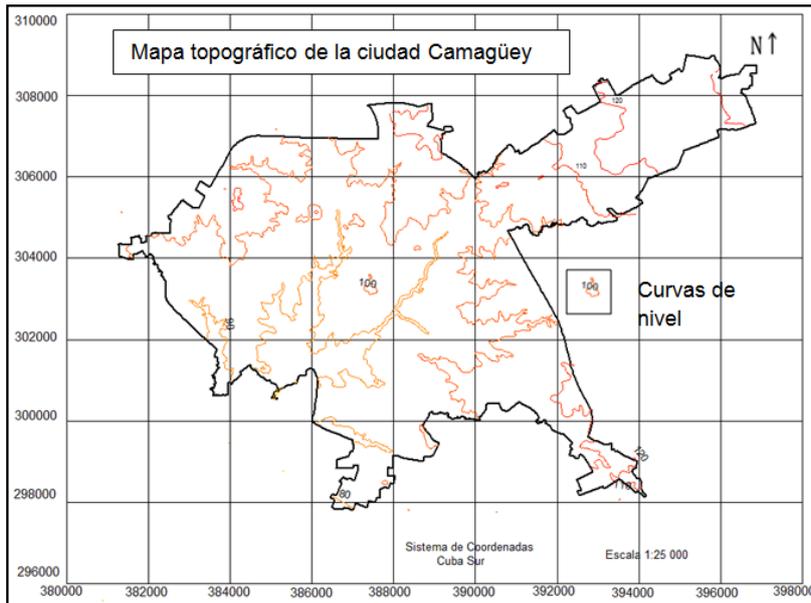


Figura 6. Mapa hidrográfico de la ciudad Camagüey.

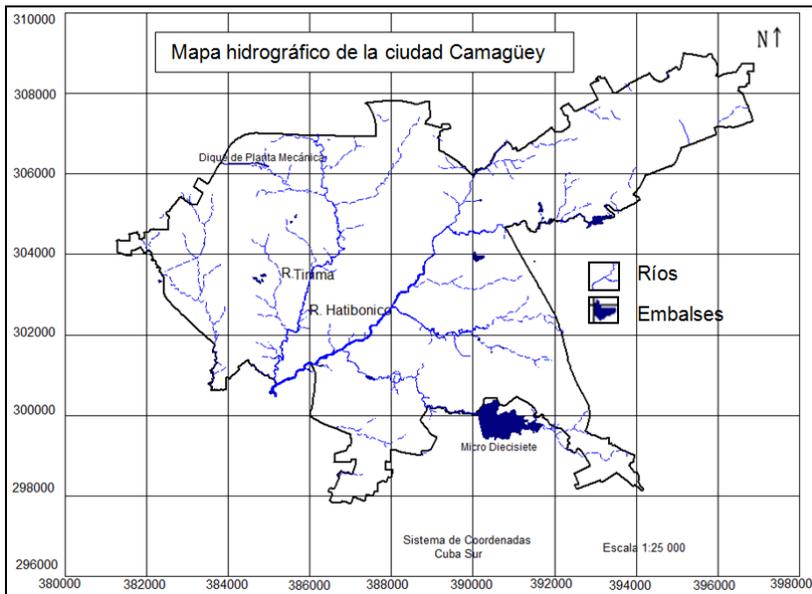


Figura 7. Mapa de pozos Ingeniero geológicos perforados por la ENIA en la ciudad (1985-2004).

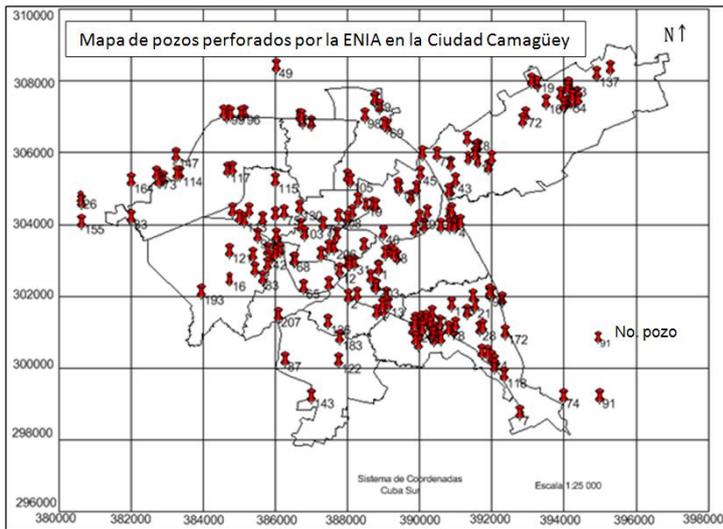


Figura 8. Composición litológica del suelo existente en cada pozo.

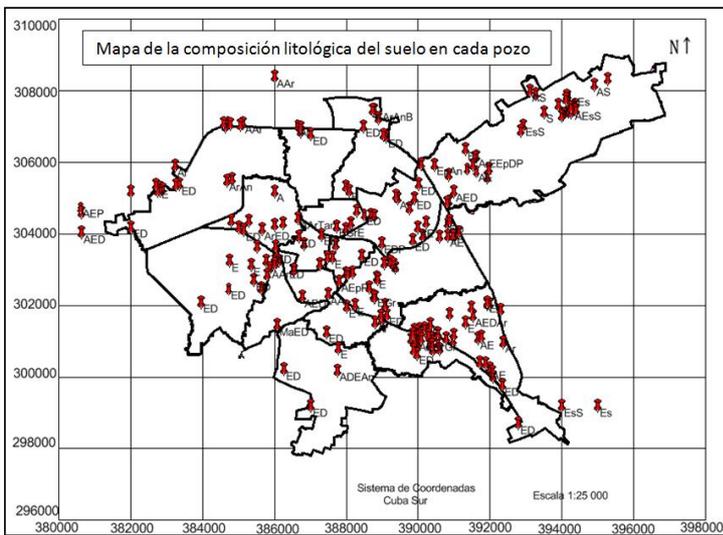


Figura 9. Perfiles de suelo en el área de la ciudad Camagüey, utilizando la NC 46:1999.

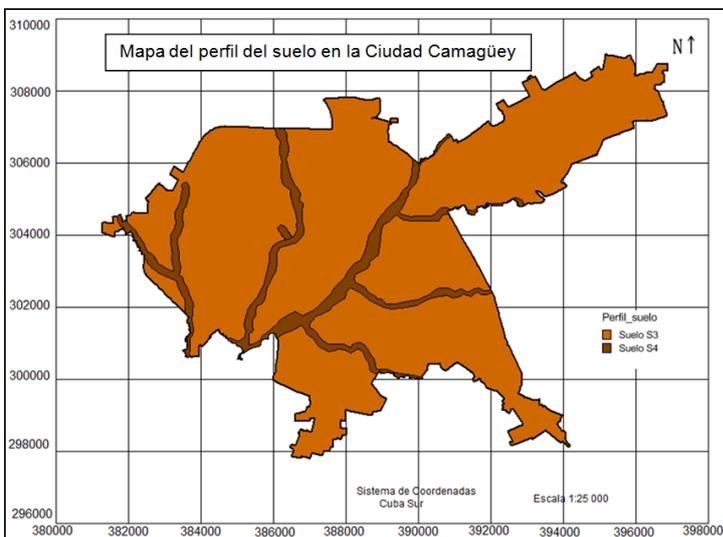


Figura 10. Mapa de Intensidad sísmica para 475 años de período de retorno, ciudad Camagüey.

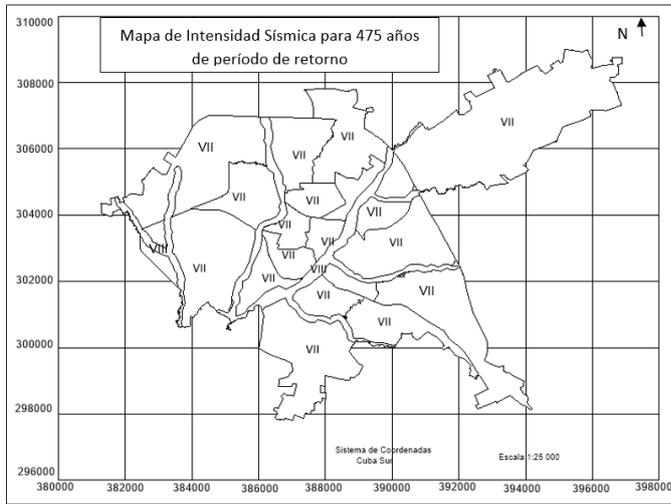


Figura 11. Mapa de aceleración pico para 475 años de período de retorno, ciudad Camagüey.

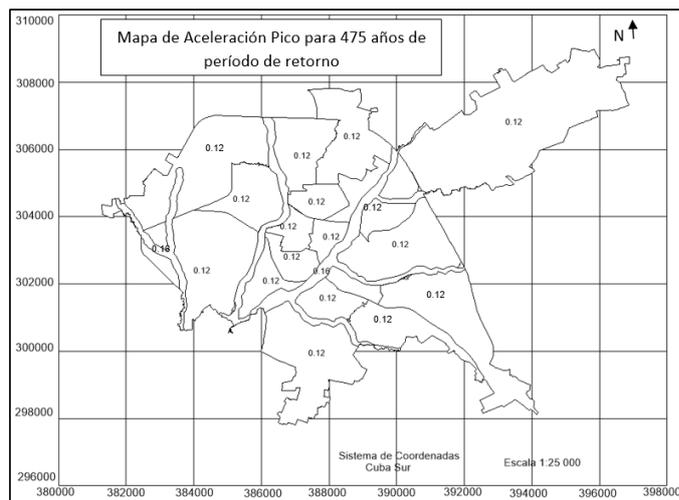
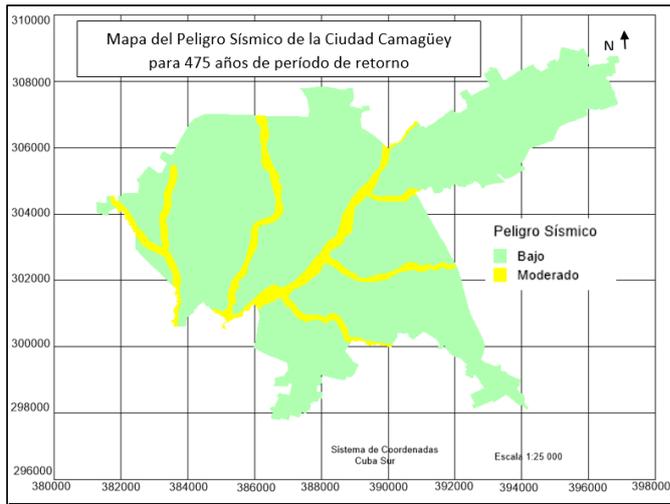


Figura 12. Mapa del peligro sísmico de la ciudad Camagüey en suelos S3 y S4, para 475 años de período de retorno.



Listado de Figuras:

Figura 1. Distribución espacial de los consejos populares dentro del área de la ciudad.

Figura 2. Esquema regional precisado para el aprovechamiento hidráulico.

Figura 3. Mapa geológico de la ciudad Camagüey.

Figura 4. Mapa de suelos de la ciudad Camagüey.

Figura 5. Mapa topográfico de la ciudad Camagüey.

Figura 6. Mapa hidrográfico de la ciudad Camagüey.

Figura 7. Mapa de pozos Ingeniero geológicos perforados por la ENIA en la ciudad (1985-2004).

Figura 8. Composición litológica del suelo existente en cada pozo.

Figura 9. Perfiles de suelo en el área de la ciudad Camagüey, utilizando la NC 46:1999.

Figura 10. Mapa de Intensidad sísmica para 475 años de período de retorno, ciudad Camagüey.

Figura 11. Mapa de aceleración pico para 475 años de período de retorno, ciudad Camagüey.

Figura 12. Mapa del peligro sísmico de la ciudad Camagüey en suelos S3 y S4, para 475 años de período de retorno.