

## EVALUACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIONES EN LOS MUNICIPIOS DE CAROLINA Y LOIZA, PUERTO RICO

SEGUINOT BARBOSA, J.<sup>a</sup>, BATISTA, J. L.<sup>b</sup> y SÁNCHEZ CELADA, M.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Salud Ambiental, Recinto de Ciencias Médicas, Universidad de Puerto Rico  
PO Box 365067, San Juan, Puerto Rico 00936

<sup>b</sup>Instituto de Geografía Tropical Calle 13, E y F 302, Plaza Revolución, Habana, Cuba.

<sup>c</sup>Instituto de Geografía Tropical Calle 13, E y F 302, Plaza Revolución, Habana, Cuba.

[jseguinot@rcm.upr.edu](mailto:jseguinot@rcm.upr.edu)

[jbatista@cesigma.com.cu](mailto:jbatista@cesigma.com.cu)

[miguels@geotech.cu](mailto:miguels@geotech.cu)

### RESUMEN

Las inundaciones en Puerto Rico están asociadas a problemas tales como las modificaciones del terreno producidas por prácticas inadecuadas, la tala de árboles, los incendios, la urbanización y otras intervenciones adversas para el medio ambiente. El conocimiento y la representación espacial de los territorios propensos a inundarse tienen una amplia aplicación, puesto que la información obtenida podrá ser utilizada por las instituciones encargadas de la Protección Civil, además de ayudar a un mejor y más óptimo ordenamiento territorial. El objetivo fundamental del presente trabajo es la evaluación espacio-temporal del peligro y la vulnerabilidad, por lo tanto del riesgo, ante inundaciones costeras en los municipios de Loíza y Carolina. La diferenciación de los niveles de peligro en estos municipios permite identificar áreas prioritarias de intervención especial tanto en las actividades anterior y posterior a un desastre, así como las áreas donde la inversión de capitales será más segura. Sin embargo, estas áreas de peligro pueden o no coincidir con las áreas de mayor riesgo, pues estas últimas están reguladas por las condiciones socio-económicas de la población residente.

Palabras clave: inundaciones, sistemas de información geográfica, peligro, riesgo, vulnerabilidad, municipios.

### FLOODS RISKS ASSESSMENT IN THE MUNICIPALITIES OF CAROLINA AND LOÍZA, PUERTO RICO

Floods in Puerto Rico are associated to different environmental problems such as land modifications produced by inadequate constructions, cut tree and forest burning, urban growth and other adverse human interventions in the environment. The knowledge and spatial representation of floods territories have a large application, because the information obtained could be used by the Civil Protection institutions. The main objective of this work is the spatial-temporal evaluation of

hazards, vulnerability and floods risks in the municipalities of Loíza and Carolina, Puerto Rico. The differentiations of the hazard levels in these municipalities allow to identified priority areas of special attention before and after a major disaster occur. Nevertheless, these areas of hazard could coincide with the major risk areas, because they are regulated by the socioeconomic conditions of the resident population.

Keywords: floods, geographic information systems, hazard, vulnerability, risk, municipalities.

## **1. Algunas características geográficas de Puerto Rico y objetivos**

El archipiélago que compone las islas de Puerto Rico está situado en el Caribe Occidental (figura 1). Puerto Rico, la más pequeña de las Antillas Mayores, es una isla de forma casi rectangular, con una superficie de alrededor de 9,000 km<sup>2</sup> (3,435 millas cuadradas). El relieve montañoso ocupa poco más de un 60% de su superficie. El punto más alto está en el Cerro Punta en la Cordillera Central (en el área entre Jayuya y Ponce) y mide 1,338 metros sobre el nivel del mar (4,400 pies, aproximadamente) ([www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)).

La red hidrográfica es muy densa, de alrededor de 800 corrientes de agua superficiales. De éstas, las más caudalosas se encuentran en la zona norte del país debido a la composición montañosa (más extensa de norte a sur), y al factor de la llegada del viento marino proveniente del anticiclón de Bermuda al norte de Puerto Rico. Esto a su vez hace que la costa Sur sea más seca y cálida que las costas Este, Norte y Oeste (<http://pr.water.usgs.gov/index.html>).

La temperatura media anual es de 26° centígrados (82 grados Fahrenheit). El punto con las temperaturas más bajas se encuentra alrededor de la Represa el Guineo (ubicado en el Bosque Toro Negro, entre Ciales y Orocovis). La media anual para este punto es de 20° C (67° F). La temperatura media más alta se registra en Guayama, al Sudeste de la Isla con 29° C (81° F). La media anual de precipitación es de 1725 mm (69 pulgadas).

En el archipiélago son frecuentes los eventos que constituyen amenazas de origen natural tales como los huracanes, los movimientos sísmicos, la erosión intensa e inundación de zonas costeras, así como las inundaciones producidas por el desborde de los ríos debido a intensas y prolongadas lluvias.

La fuerza destructiva de la velocidad del viento de los ciclones, las lluvias y el desplazamiento de grandes masas de agua del mar, que generalmente acompañan a éstos, son los peligros más frecuentes en el territorio insular. Las consecuencias que pueden ocasionar estos eventos extremos de origen natural pueden comprenderse si se recuerda el paso de los huracanes Hugo, David, Frederick y Georges, entre otros (González, 2005).

En 1970 determinados sectores de la población comenzaron a entender la peligrosidad y el riesgo de ubicar urbanizaciones en zonas inundables. En octubre de ese año una depresión tropical se quedó cinco días sobre Puerto Rico y como consecuencia se cayeron más de 30 puentes donde murieron al menos 37 personas. Pero no fue hasta "David" y "Frederick" en 1979 cuando se inicio

*Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", GeoFocus (Artículos), nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157*

---

la elaboración de mapas de riesgo, necesarios para evitar la construcción en lugares peligrosos y así evitar más tragedias (Wilches-Chaux, 2002).

En el mes de septiembre de 1998 el huracán "Georges" cruzó por las Islas del Caribe con una velocidad de 240 km/hora, clasificado en el límite de la categoría 4, que según la escala de Saffir-Simpson son los meteoros que presentan velocidades del viento entre 210-249 km/hora. Tras castigar con toda su violencia a las islas del grupo Norte de las Antillas Menores, se convirtió en el primer huracán de la última década del siglo XX que penetra en el mar Caribe oriental y luego cruza de Este a Oeste sobre Puerto Rico, República Dominicana y parte de Cuba (Batista, 1999).

El paisaje desolador dejado por el huracán Mitch en Centroamérica fue motivo suficiente para que la comunidad científica internacional uniera sus esfuerzos investigativos y pusiese los resultados a disposición de los países menos desarrollados. En muchas ocasiones han tenido lugar lluvias súbitas con una alta intensidad que han producido la abrupta crecida de pequeños arroyos y ríos con la consecuente inundación y destrucción en la llanura o plano de inundación y primeras terrazas de las corrientes fluviales. Los fenómenos de El Niño, La Niña, así como los devastadores huracanes que han azotado en los últimos tiempos al Caribe y Centroamérica, como el Mitch, podrían haber sido pronosticados con un menor umbral de incertidumbre si toda la comunidad científica hubiera trabajado mancomunadamente (Wilches-Chaux, 2002).

Algunos países del área del Caribe, además de los peligros generados por los ciclones y las inundaciones de origen pluvial, también sufren las consecuencias de la acción del mar producidas por el oleaje. En zonas bajas costeras las aguas del mar pueden inundar una zona considerable, sin embargo en el caso de Puerto Rico estos eventos no son muy frecuentes e intensos debido a la poca extensión de su plataforma litoral (Batista y Sánchez, 2003).

Además de los peligros por inundación, tanto de origen pluvial, como por acción de las aguas marinas, existen otros peligros asociados como pueden ser la ocurrencia de fuertes oleajes debido a tsunamis. Sobre este tema recientemente se ha publicado un artículo en el periódico Diálogo (2005), donde se expresa que: "Según la literatura científica, todos los fenómenos geológicos que causan tsunamis están presentes en el Caribe: terremotos, deslizamientos de tierra submarinos, erupciones volcánicas submarinas, erupciones piroclásticas aéreas (flujos de lava intensos expulsados durante la erupción) y tele tsunamis (tsunamis que viajan de largas distancias).

Puerto Rico está ubicado en la placa tectónica del Caribe. Al Norte de la isla se encuentra la placa de Norteamérica. Ambas interactúan entre sí. La placa del Caribe se desplaza al Este a un ritmo de dos centímetros por año en relación con la placa de Norteamérica. Al Este de Puerto Rico, la placa de Norteamérica se desliza a manera de cuña por debajo de la placa del Caribe a un ritmo de 3.7 centímetros por año. La complejidad y la gran interacción entre estas placas producen la actividad sísmica que caracteriza a esta región del Caribe.

La isla también está situada al Sur de una importante formación geológica conocida como la trinchera de Puerto Rico. La distancia entre la isla y la trinchera es de aproximadamente 60 kilómetros. Tiene una profundidad aproximada de 8.350 metros, con una caída libre de alrededor de 4.000 metros en la parte más profunda, se distingue por ser el cañón submarino más profundo del Océano Atlántico (Hernández, *et al.* 2002).

Al Sur de la trinchera se encuentra la plataforma insular, una región montañosa de origen calizo con significativos rasgos cársticos que alcanza entre 3,500 y 4,000 metros de profundidad a una distancia aproximada de 30 a 40 kilómetros de la costa norte. Datos obtenidos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y de la Administración Nacional Oceánica y de la Atmósfera en el 2003 muestran dos precipicios en forma de anfiteatros en el borde la plataforma insular: el anfiteatro de Arecibo, que mide de ancho unos 50 kilómetros, y el anfiteatro de Loíza, de 30 kilómetros ( <http://www.usgs.gov/>).

Los objetivos fundamentales del presente trabajo son la evaluación espacio-temporal del peligro y la vulnerabilidad, por lo tanto del riesgo, ante inundaciones en los municipios de Loíza y Carolina. Se pretende también determinar cómo la diferenciación de los niveles de peligro en estos municipios permite identificar áreas prioritarias de intervención especial tanto en la actividad anterior como posterior a un desastre. Igualmente se desea identificar las áreas donde la inversión de capitales será más segura. Las áreas de peligro pueden o no coincidir con las áreas de mayor riesgo, pues estas últimas están reguladas por las condiciones socio-económicas de la población residente. El artículo comienza con una descripción físico-geográfica de la zona de estudio, seguido por los métodos de estudio y los resultados y hallazgos encontrados. El trabajo culmina con las conclusiones que se derivan del análisis cartográfico realizado.

## 2. Breve caracterización físico-geográfica de la zona de estudio

Geológicamente el archipiélago de Puerto Rico forma parte del arco de islas que incluye las Islas Vírgenes de Santa Cruz, Santo Tomás, y San Juan. Las que están formadas por rocas volcanoclásticas y sedimentarias plegadas y falladas que presentan intrusiones ígneas. Estas rocas varían en edad desde el Cretáceo temprano hasta el Jurásico, presentes en el Suroeste de Puerto Rico. Las rocas volcanoclásticas forman las montañas y cordilleras centrales de cada una de las islas. Las rocas sedimentarias son mayormente calizas del Oligoceno al Plioceno y están sobrepuestas a las rocas volcanoclásticas en áreas aisladas formando un cinturón continuo a lo largo de la costa Norte. Igualmente se sobreponen a los gruesos depósitos aluviales formados durante el cuaternario. Existen también, depósitos no consolidados que forman abanicos aluviales, deltas, dunas y depósitos playeros, terrazas marinas, depósitos por deslizamientos y depósitos pantanosos, localizados en las costas Norte y Sur de la isla grande de Puerto Rico.

La zona de estudio posee una variedad geológica que va desde los depósitos de arenas en el litoral, hasta rocas intrusivas en la zona más elevada hacia el Sur. Una breve descripción de la geología del área es la siguiente: Predomina en el litoral los depósitos de playa, generalmente compuesto, de arena de eolianita, de grano de cuarzo y de fragmento de coral y caracoles, más o menos de 5 metros de profundidad, además de los depósitos palustres, formados por fango mezclado con arena y arenas arcillosas. Principalmente en la zona litoral del municipio de Carolina, encontramos los depósitos de arenas cubiertos, conformados generalmente por limo, arena y grava, mezclado con arcillas, antiguos depósitos de valles inundables, que tienen pequeños depósitos de gravas de cuarzo. Luego encontramos La Caliza Aguada, formada por calcarenita, gley y caliza tizosa, arenas suaves. Esta caliza se encuentra bordeando las pequeñas alturas del Río Loíza. Existen grandes depósitos aluviales del cuaternario formado fundamentalmente por arena, arcillas, y

arcilla arenosa, capas de arenas que tienen gravas. En la zona de fuerte urbanización existe un material de relleno de diferentes fuentes provenientes de desechos industriales y de viviendas, formando un área de relleno artificial. Luego se encuentra La Caliza Aymamón ubicada por encima de los 6 metros de altitud en las pequeñas alturas de Loíza. Está formada por caliza fosilífera generalmente endurecida por cimentación, contiene láminas de calcita y dolomitas, generalmente meteorizada en la superficie, de 50 a 100 metros de espesor.

Hacia el Sur del área comienzan las alturas, y es a partir de aquí que se empiezan a ubicar las formaciones geológicas descritas a continuación: La Formación Cambalache se encuentra aproximadamente en la parte central del Municipio de Carolina, donde empiezan las alturas del mismo, está formada por tufa calcárea, con limo consolidado y arenisca. La Formación Canóvanas se encuentra en alturas que oscilan desde los 5 hasta los más de 14 metros y está formada por arenisca volcánica y tufa calcárea y limosa. La Formación Celada ubicada en el extremo Sur del área de estudio a los 110 metros de altura está formada por tufa calcárea, con limo consolidado y arenisca. Existe un lente de caliza compuesta de arena y gley y fósiles calcáreos, perteneciente a la Formación Cibuco, con una presencia muy escasa en el área. Existe una buena representación de la Formación Frailes en el centro del área de estudio, formada por capas de fango solidificado, combinado con elementos calcáreos. Además existen pequeños lentes de gabro, cuarcidiorita, plagioclasa, cuarzo y algunas lavas. La Formación Barrazas, conformada por andesita, diabásica de textura intergranular, plagioclasa, magnetita y apatita de más de 130 m de profundidad, ocupa un importante sector del Sur del área de estudio. Le sigue La Formación Guaracanal compuesta de Brecha, arcillas, arenas arcillosas que contienen granos de blenda. Casi todo el Sur del área de estudio está ocupado por la Formación Hato Puerco, formada por arenas volcánicas y brechas con algunas capas de tufas. Un pequeño lente de caliza mezclada con conglomerados, areniscas con trazos de biotitas, restos de lava y pedazos de calizas, es la que conforma La Formación La Muda. La Formación Mameyes, formada por andesita basáltica, plagioclasa masiva y microcristalina, se encuentra ubicada sobre alturas de 35 metros. Las Arcillas Río Piedra, ubicadas en el límite centro Oeste del municipio Carolina está formada por tufa limosa y arena fina en forma de capas finas, laminadas y estratificadas.

El relieve del territorio de los municipios de Carolina y Loíza es relativamente llano ([figura 2](#)), puesto que las alturas no superan los 137 m (450 pies) y 100 m (328 pies) respectivamente, sobre el nivel medio del mar. Esta región geográfica es la denominada de los llanos costeros del Norte o de la costa atlántica ([figura 3](#)). En esta costa se distinguen, de Oeste a Este, las puntas Maldonado, Vacía Talega, Iglesia y Uvero. Por otra parte, en Loíza Aldea se encuentra la cueva de los indios o María de la Cruz, que se caracteriza por su amplitud y claridad; en ella se han realizado hallazgos arqueológicos de residuos indígenas.

Estos municipios están regados por los ríos Grande de Loíza y Herrera, completan su sistema hidrográfico las lagunas de Piñones y La de Torrecilla, esta última compartida entre los dos municipios por grandes extensiones de suelos pantanosos.

En Loíza se encuentra el bosque de Piñones, que se clasifica entre los de zona costera. Tiene una extensión de unas 630 hectáreas (1.560 acres). El 30 por ciento de dicha superficie está ocupado por la laguna de Piñones. Más del 60 por ciento de su vegetación consiste de mangle colorado y rojo, aunque también crece el negro y el blanco en menor medida. En él habitan unas 46

*Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", GeoFocus (Artículos), n° 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157*

especies de aves y 38 de peces. Recibe un promedio anual de lluvia de 1.630 mm (64 pulgadas). En la zona Piñones-Torrecilla-Vacía Talega y en las márgenes del río Herrera también hay importantes manglares (<http://www.ceducapr.com/inventariodemanglares.htm>).

Como barrera de protección a la entrada del mar se han construido carreteras paralelas a la costa en las que se ha levantado la misma con relleno para que la carretera sirva de dique. Esta solución de los ingenieros funciona para evitar las intrusiones del mar, pero a su vez también sirve de dique a las aguas de origen pluvial que se producen en el interior del país, al Sur de la red vial (figura 4).

El río Grande de Loíza (figura 5) tiene su nacimiento en la Sierra de Cayey como a 1.073 m (3.500 pies) sobre el nivel del mar. Tiene un área de captación aproximada de 493 km<sup>2</sup> (308 millas cuadradas). Cruza los municipios de San Lorenzo, Caguas, Gurabo, Trujillo Alto, Carolina, Canóvanas y el pueblo de Loíza Aldea. Tiene una longitud aproximada de 64 km (40 millas) desde su nacimiento hasta que desemboca al Océano Atlántico al Norte de Puerto Rico, en el pueblo de Loíza (figura 6). Está represado formando el Lago Loíza el cual está localizado dentro de los límites de los municipios de Trujillo Alto, Caguas y Gurabo. En su cauce se encuentra el embalse de Carraízo o Loíza. Entre sus afluentes figuran más de 45 quebradas, varios caños y los siguientes ríos: Emajagua, Cayaguás, de las Vegas, Turabo, Cagüitas, estos dos últimos de 18 km (11 millas) de largo; Cañaboncito, Bairoa, Gurabo, que es el mayor de sus tributarios, con 32 km (20 millas) de largo; Valenciano, Cañas, Cubuy, Canovanillas y Canóvanas, ambos de unos 24 km (15 millas) de extensión (Suárez, 1994).

El río Herrera nace en el Barrio Ciénaga Alta del municipio de Río Grande a una altura de 475 m (1.558 pies) sobre el nivel del mar. Tiene una longitud aproximada de 16 km (10 millas) desde que nace hasta que desemboca en el Océano Atlántico al Norte de Puerto Rico entre el límite de los pueblos de Loíza y Río Grande. Corre generalmente de Sur a Norte (figura 6).

Las inundaciones que se producen en estos municipios son originadas por la única fuente de alimentación de las corrientes fluviales, las precipitaciones. Según datos registrados en la estación San Juan cercana al territorio de estudio, la precipitación media anual es de 1.358 mm. Los máximos diarios mensuales durante el periodo 1956 al 2004 pueden presentarse en cualquier mes del año. De ellos el valor máximo es de 224 mm., registrado en el mes de septiembre de 1989 (tabla 1) (<http://www.srh.noaa.gov/sju>).

En el sector Noreste de la isla, donde se encuentran los municipios de Carolina y Loíza, la topografía es predominantemente llana desde Boca de Cangrejos hasta Punta Percha en Luquillo, con algunos montes y valles formados por las prolongaciones de la Sierra de Luquillo que bajan hacia el litoral. Este sector incluye los manglares más extensos de la isla como el bosque de mangle de Piñones, varias lagunas de agua salada como la de Piñones y la de Torrecilla.

La ancha plataforma insular hacia el lado Este, favorece la proliferación de arrecifes de coral que culminan en una cadena de pequeñas islas (La Cordillera) que termina en las islas de Culebra y Culebrita. Los arrecifes rocosos y coralinos protegen estas costas originando así aguas tranquilas y creando condiciones favorables para la formación de playas arenosas. La extensa

*Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", GeoFocus (Artículos), nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157*

---

plataforma insular y la presencia de arrecifes y manglares sostienen un ambiente marino y terrestre ideal para el florecimiento de una gran variedad de organismos.

Según el Inventario Nacional de Humedales (National Wetlands Inventory), la zona costera de los municipios de Carolina y Loíza, se caracteriza en el caso de los sistemas marinos, por barreras no consolidadas (playas) y afloramientos de roca caliza. En el caso de los sistemas estuarinos, existen en la zona de desagüe de las corrientes superficiales, sistemas palustres, con una vegetación de mangles asociada a estas corrientes. Además, existen bajíos de mal drenaje expuestos a los vientos, a la erosión eólica y a las inundaciones cíclicas por agua marina, asociados también a la vegetación de mangle, arenas compactadas, producto del lavado de la costa acumulativa (<http://www.ceducapr.com/inventariodemanglares.htm>).

En el caso de los sistemas ribereños, existen canales con alta turbidez de sus aguas debido a las bajas pendientes. En la zona de estudio los sistemas más extendidos son los palustres, destacándose las pequeñas hondonadas, situadas en las zonas ínter dunas tales como la pequeña bahía de Carolina y otras depresiones inundadas, con una génesis indeterminada.

## 2.1 Materiales y métodos

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, es decir, evaluar los riesgos de la población y los daños a sus viviendas, se ha utilizado la información de tipo alfanumérica existente en la red global en las páginas Web del USGS, FEMA y la Junta de Planificación de Puerto Rico.

La información espacial digital fue obtenida en formato .SHP, la cual es posible cargar en ArcView<sup>®</sup> y ArcGis<sup>®</sup>, productos comerciales de ESRI. Estos datos espaciales fueron procesados en los software mencionados, así como en el complementario MapInfo<sup>®</sup>, programa procedente de MapInfo Corporation. El protocolo de intercambio de un formato a otro fue obtenido con el módulo denominado Universal Translator, que está presente en el programa MapInfo<sup>®</sup>. Esto hizo posible el flujo de información de un software a otro para completar los análisis. También se capturó información espacial y alfanumérica existente en formato analógico. Los resultados fueron obtenidos a partir de los análisis espaciales correspondientes realizados en Mapinfo<sup>®</sup>. La información espacial se procesó y convirtió a formato digital. De esta forma se elaboró el mapa base con todas las capas necesarias para realizar los análisis ulteriores.

Parte de la base de datos alfanumérica fue capturada de la dirección URL <http://www.census.gov>. El análisis estadístico se hizo en el software Microsoft Excel<sup>®</sup> y por medio de este análisis se generó nueva información de tipo alfanumérica. Toda esta información fue convertida a Dbase<sup>®</sup>, por poseer el formato de intercambio más interactivo para los Sistemas de Información Geográfica utilizados. Para esto fue identificada con la información espacial existente en el mismo, mediante el empadronamiento de columnas que el sistema da como valores por defecto en la base de datos espacial y las columnas de la base de datos alfanumérica estandarizada con ese propósito.

Toda la información, tanto espacial como alfanumérica fue analizada y sintetizada hasta el nivel de barrio que fue el recorte territorial considerado óptimo para esta etapa de la investigación debido al nivel de detalle alcanzado en la misma (figura 7). Es sabido que la evaluación de los riesgos, cualesquiera que estos sean, se hace por aproximaciones sucesivas, logrando un mayor nivel de detalle en la medida de que se "afine" tanto la calidad de los datos obtenidos, como la cantidad de los indicadores utilizados para la evaluación.

### 3. Análisis y resultados

No todo evento natural es peligroso para el ser humano. Por lo general convivimos con los eventos naturales porque forman parte de nuestro medio ambiente. Por ejemplo, las lluvias de temporada, los pequeños temblores, la crecida de ríos, los vientos fuertes, etc. Existen ecosistemas con más fragilidad que otros, donde los efectos de eventos naturales extremos pueden ocasionar con más probabilidad peligros. Ejemplo de ello son manglares como los encontrados en algunos tramos litorales de la zona de estudio (figura 8), que son ecosistemas a los que cualquier evento extremo ya sea natural o antrópico puede romper fácilmente su equilibrio ecológico.

Algunos eventos, por su tipo, y por lo sorpresivo de su ocurrencia, constituyen un peligro. Un sismo de considerable magnitud, lluvias torrenciales continuas en zonas ordinariamente secas, las consecuencias de un huracán, rayos, prolongadas sequías, etc., pueden ser considerados peligrosos debido a lo imprevisto de sus consecuencias.

El peligro que representa la acción de un evento natural puede ser permanente o temporal. En todos los casos se le denomina así porque es potencialmente dañino. Constituye peligro, porque es un movimiento intenso de masa y energía (tierra, agua o aire). Este es mayor o menor según la probabilidad de ocurrencia y la extensión de su impacto.

En el caso de la zona de estudio, los peligros más frecuentes son las inundaciones, producidas por intensas y prolongadas precipitaciones, que producen el desborde de las corrientes superficiales y el anegamiento de las zonas bajas del territorio, que ocupan un importante porcentaje del mismo. Aunque no son tan significativas, debido a la extensión de la plataforma marina en este sector del litoral, existen también inundaciones debidas a la acción de las aguas marinas.

Se ha tomado la información espacial existente en la junta de planificación para la determinación de las zonas inundables, además de la información espacial elaborada por los autores como es el Modelo Digital de Elevación (MDE), obtenido a partir de la revisión, segregación e interpolación de las curvas de nivel del área de estudio, (figura 9). A partir del MDE se elaboró el mapa de grados de inclinación de las pendientes (figura 10) y el mapa hipsométrico (figura 11), lo que junto con la información geológica permite determinar las superficies inundables, a partir de la superposición de los polígonos de grados de pendiente, hipsometría y formaciones geológicas, elaborándose el mapa de peligro de inundaciones (figura 12).

El requisito esencial para que existan inundaciones es la permanencia por un periodo de tiempo de una lámina de agua. Para que esto ocurra, un indicador a tomar en consideración es la hipsometría. Por lo general se considera que en las zonas con un relieve más abrupto es superior el

escurrimiento laminar; así mismo la mayor altura suele conllevar una menor probabilidad de inundación. Por tanto una combinación de ambos indicadores, altitud y pendientes bajas, es lo que tiende a propiciar las zonas de inundación.

Otro de los indicadores a tomarse en cuenta, es sin duda la superficie subyacente, que condiciona el tiempo de permanencia de esa lámina de agua. Para eso es importante determinar el grado de permeabilidad de las formaciones litológicas presentes en la zona de estudio. Se hizo una caracterización del substrato rocoso atendiendo a su permeabilidad, en dependencia de las características tanto físico y química de la litología así como del grado de fracturamiento de la misma, es decir, sus características estructurales.

En el mapa de inclinación de las pendientes (*figura 10*), se puede observar que casi dos tercios de la zona de estudio presentan pendientes entre 0 y 3 grados de inclinación, realmente muy bajas, lo que facilita la permanencia de una lámina de agua en este territorio. Coincidentemente las áreas de mayor altitud (*figura 11*) están localizadas para el tercio inferior del área de estudio, donde están concentradas las mayores pendientes. Esto condiciona que la zona litoral y las aledañas sean las que reúnen mayor potencial para ser inundadas por eventos hidrometeorológicos extremos.

Como se observa en el mapa de inundaciones (*figura 12*), las áreas con mayores probabilidades de inundación se encuentran al Norte de los municipios estudiados, donde se encuentran las menores alturas y las menores inclinaciones del terreno además de existir una franja litoral, a lo largo de toda el área, que tiene una gran probabilidad de ser afectada por penetraciones del mar. Se determinaron los periodos de retorno a partir del análisis estadístico de los datos de precipitaciones existente para la zona de San Juan, para un periodo de 48 años (*Tabla 1*).

La zona de estudio presenta un alto grado de fragilidad, sobre todo en el tercio inferior, cercano a la costa. Ejemplo de ello es la gran extensión de zonas bajas y pantanosas, manglares y terrenos susceptibles a inundarse ante lluvias, no necesariamente intensas. La carretera de Piñones a Loíza, que corre paralelo a la costa, ha sido varias veces inundada por el mar, razón por la cual se le ha levantado su tirante y constituye hasta cierto punto un dique artificial en algunos de sus tramos. Las edificaciones más comunes en este tercio inferior son casas bajas, a veces de dos plantas, utilizadas como casas de recreo en las zonas de playa, además de pequeños negocios. En esta zona está también el asentamiento de Loíza. Contrastando con esto encontramos el sector litoral de la zona de Carolina, donde existen edificaciones más altas debido a la presencia en esta zona de una fuerte actividad hotelera (*figura 13*).

Si tomamos en cuenta que ser vulnerable a un fenómeno natural es, en primera instancia, ser susceptible de sufrir daño y tener dificultad de recuperarse de ello, no toda situación en que se halla el ser humano es vulnerable de igual manera. Hay situaciones en las que la población sí está realmente expuesta a sufrir daño en caso de ocurrencia de un evento natural peligroso (sismo, aluvión, huracán, tempestad eléctrica, etc.). Hay otras, en cambio, en que la población está rodeada de ciertas condiciones de seguridad, por lo cual puede considerarse bastante o muy protegida, lo que reduce su vulnerabilidad.

Para el análisis de la vulnerabilidad se han tomado los datos del censo de Estados Unidos, en la página Web disponible en el sitio <http://www.census.gov>. Los campos de la base de datos

utilizados fueron la población existente, la cantidad y calidad de las viviendas así como el ingreso familiar. Estos indicadores, para la escala de trabajo escogida, reflejan muy bien la vulnerabilidad de las viviendas y las personas ante las inundaciones.

La vulnerabilidad de los asentamientos se incrementa:

1. Cuando la gente ha ido poblando terrenos que no son buenos para vivienda, por el tipo de suelo, por su ubicación inconveniente con respecto a las avalanchas, los deslizamientos y las inundaciones.
2. Cuando se han construido casas muy precarias, sin buenas bases o cimientos, de material inapropiado para la zona, que no tienen la resistencia adecuada.
3. Cuando no existen condiciones económicas que permitan satisfacer las necesidades humanas (dentro de las cuales debe contemplarse la creación de un hábitat adecuado). Esta falta de condiciones socioeconómicas puede desagregarse en desempleo o subempleo y, por tanto, de falta de ingreso o ingreso insuficiente, escasez de bienes, analfabetismo y bajo nivel de educación, formas de producción atrasadas, escasos recursos naturales, segregación social, y concentración de la propiedad, entre otros.

La vulnerabilidad de las personas y las viviendas del territorio está condicionada por las inundaciones. Para ello se han determinado las áreas en peligro de inundación para distintas probabilidades de ocurrencia (Tabla 2). Los periodos de retorno han sido determinados a partir del análisis hidrológico-estadístico de la serie de lluvias de la Estación San Juan, para un periodo de 48 años.

En la figura 14 se observa que los barrios que tienen mayor número de familias (entre 1640 y 3470) con ingresos inferiores a los 10.000 dólares anuales (índice de pobreza) son los barrios de Sabana Abajo y Hoyo Mulas, situados en el área inundable para el periodo de retorno inferior a los 100 años. Son estas comunidades, precisamente, las que tendrán un enfrentamiento más difícil ante las inundaciones, puesto que la solvencia económica de sus habitantes no le permite mitigar con prontitud los daños causados por un evento de esta índole. Este dato confirma la situación precaria o de extrema pobreza de la población residente en estos barrios que analizado en conjunto con la alta densidad poblacional (figura 14) y el grave peligro de inundaciones hace de estos barrios lugares de mayor riesgo.

Otro caso es el de Torrecilla Baja, con unos ingresos por debajo del indicador de pobreza que presentan entre 100 y 340 familias. Sin embargo, en este barrio hay alrededor de 400 viviendas, por lo que la cantidad de familias con bajos ingresos aquí si es significativo. Además, es un lugar bajo, pantanoso, con mal drenaje y está ubicado en el área inundable para periodos de retorno inferior a los 100 años.

Los barrios de Barraza, Carruzo, Santa Cruz y Cacao, situados en la parte alta del Municipio de Carolina, donde la densidad de la población es baja y por ende, las familias con ingresos por debajo de los 10.000 dólares anuales también son pocas. Son barrios que no presentan

*Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", GeoFocus (Artículos), nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157*

---

un peligro significativo ante inundaciones, por lo que su situación ante estas amenazas no es preocupante.

Se elaboró un mapa complementario para esclarecer aun más la vulnerabilidad por barrios, evaluada en la [figura 14](#). Se observa que los barrios con mayor población son los de Cangrejo Arriba, Sabana Abajo, Hoyo Mulas y Martín González. A pesar de esto, sólo Sabana Abajo tiene la mayor cantidad familias (alrededor de 3.500) por debajo del índice de pobreza. En el barrio Cangrejo Arriba, perteneciente al litoral de Carolina, la población total también es alta. Sin embargo, las familias con ingresos por debajo de los 10.000 dólares anuales son alrededor de 1.750, número relativamente bajo para la población residente, lo que condiciona que su vulnerabilidad sea baja, puesto que la población residente en su gran mayoría cuenta con recursos suficientes para enfrentar los peligros que se están evaluando ([figura 15](#)).

En el litoral del municipio Loíza la situación es bien distinta, pues los barrios más poblados son precisamente Medianía Baja y Medianía Alta, pero con el inconveniente de que por debajo del índice de pobreza, en esta última, hay 1.297 familias. Si tenemos en cuenta que la población residente en este barrio es de 9.482 habitantes, se puede entender que la vulnerabilidad en el litoral de este municipio es mucho más alta que la del municipio colindante, algo a tomarse en cuenta al evaluarse los riesgos en ambos municipios y al hacer cualquier plan de manejo de los recursos de los mismos.

Para aclarar el uso de los términos peligro, vulnerabilidad y riesgo se han adoptado las siguientes definiciones:

Riesgo es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita puedan verse afectados negativamente como consecuencia de un fenómeno natural de rango extraordinario o del funcionamiento deficiente o accidente de una tecnología aplicada en una actividad humana (Bosque *et al.*, 2004; Ayala y Olcina, 2002). Los factores de riesgo que deben necesariamente darse para que exista como tal son Peligrosidad, Exposición y Vulnerabilidad.

Peligro o amenaza, es un proceso o fenómeno de carácter natural o tecnológico que puede originar daños a la población, los bienes materiales o al medio ambiente natural (Ayala y Olcina, 2002).

La Peligrosidad sería el conjunto de aspectos naturales o tecnológicos de un fenómeno que inciden en el riesgo y que se define por la severidad del fenómeno y su probabilidad de ocurrencia (Ayala y Olcina, 2002).

El concepto de Exposición se refiere al ámbito territorial susceptible de sufrir daño, como resultado de desencadenarse un fenómeno natural catastrófico o de la presencia de una actividad peligrosa; a la posibilidad que tiene cada punto del territorio de ser afectado por las consecuencias derivadas de hipotéticos "accidentes" (naturales o tecnológicos) que, por sus características, pueden ser considerados como potenciales emisores de riesgo sobre el medio o la población, llevando consigo toda una gama de amenazas o peligros contrarios al bienestar de la población (Bosque *et al.*, 2004).

Vulnerabilidad, definida como la posibilidad de una comunidad o un territorio para experimentar graves daños en caso de catástrofe, como consecuencia de un bajo sistema de protección social y una mala gestión del territorio. Es función de la presencia en él de actividades, usos y poblaciones sensibles y, por tanto, susceptibles de ser especialmente dañadas en caso de desastres naturales, accidente o fallo tecnológico. La vulnerabilidad ante el riesgo estaría en función de muchas variables (el desarrollo económico, el grado de organización social, la experiencia en catástrofes anteriores, etc.); es, ante todo, una función de la severidad del fenómeno y de las medidas de prevención, tanto estructurales como no estructurales (Ayala y Olcina, 2002)

El peligro de que se produzcan inundaciones a partir de intensas y prolongadas lluvias y/o el oleaje está presente en la zona de estudio. Es una realidad objetiva que no puede cambiarse. Sin embargo, la vulnerabilidad de las personas ante ese peligro puede reducirse y por tanto disminuir el riesgo resultante. Ello dado que el riesgo es la capacidad de respuesta que presentan las personas y la infraestructura, enmarcadas en un territorio con una susceptibilidad determinada ante un peligro específico.

Si tenemos en cuenta que el peligro siempre está presente, y que la vulnerabilidad puede modificarse e inclusive eliminarse, entonces podemos incidir sobre el riesgo e incluso reducir el mismo, ya que éste es directamente proporcional a la vulnerabilidad. Es decir, la expresión aritmética más simple para la determinación del riesgo es: **Riesgo= Peligro x Vulnerabilidad**. Atendiendo a esta relación se ha elaborado la [tabla 3](#) para la evaluación del riesgo por inundación en los municipios de Carolina y Loíza.

Después de haber determinado la vulnerabilidad del área de estudio ante las inundaciones, ya sean pluviales o marinas, a través de una correlación espacial integrada, se evaluó el riesgo para cada uno de los barrios de los municipios de Carolina y Loíza. Este análisis se hizo sobre los barrios, como se ha explicado anteriormente. Aplicando estas correspondencias ([tabla 3](#)) se ha obtenido el mapa de riesgo por inundación ([figura 16](#)) para los municipios estudiados, elaborado a partir de correlaciones espaciales establecidas por los mapas de peligro ([figura 12](#)) y vulnerabilidad ([figura 14](#)).

En el mapa de riesgo ([figura 16](#)) se observa, que dado que la unidad espacial utilizada es el barrio, éstos representan diferentes áreas de riesgo. Hacia el Sur del territorio el riesgo es bajo, debido fundamentalmente a que el peligro en esta zona también lo es, dada la altitud a que se haya. Sin embargo, en la parte central el riesgo aumenta debido a que se conjugan las características físico geográficas, fundamentalmente la menor altitud que propicia un alto peligro de inundación, con los bajos ingresos anuales de la población que le impide mitigar los posibles daños que pueda ocasionar una inundación. Por el contrario, en la zona litoral (Norte) de Carolina, en el Barrio Cangrejo Arriba el riesgo se divide en alto hacia la periferia y bajo hacia el centro, donde está la zona más urbanizada y de mejores condiciones habitacionales, que además puede enfrentar mejor el peligro de inundación por sus ingresos.

En toda la zona Norte de ambos municipios la correlación espacial resultante es compleja, puesto que hay alternancias de altos, medios y bajos riesgos, sobre todo en la porción Este de Torrecilla Baja, el pueblo de Loíza y los barrios de Medianía Alta y Medianía Baja.

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157

---

En todo el litoral de los dos municipios el riesgo por inundación por fuertes oleajes es medio, a excepción de los ya mencionados barrios de Medianía Alta y Medianía Baja donde éste es considerablemente alto.

#### 4. CONCLUSIONES

El mapa de riesgo para inundaciones obtenido (figura 16) debe ser una primera aproximación a la evaluación del riesgo por inundación, importante a utilizar para el futuro desarrollo socio económico de los dos municipios objetos de estudio.

En esta etapa de la investigación sólo se ha utilizado como elemento de la vulnerabilidad los ingresos por debajo de los 10.000 dólares anuales, considerado como índice de pobreza, y el número de viviendas. Por tanto, en trabajos ulteriores, deben tomarse en consideración otros factores como la escolaridad, la distribución por sexo y la edad de la población. El hecho de contar con datos de edad nos permitiría conocer cuan vulnerable es esta población por criterios de longevidad. Igualmente la distribución por sexo ayudaría a determinar las diferencias por género en la composición social de la población residente.

En algunos territorios, sobre todo en la parte Noroeste de Carolina, a pesar de que el peligro ante las inundaciones es alto, el riesgo es bajo debido a que los grupos familiares con ingresos menores de 10.000 dólares al año es una minoría poblacional. Ello nos lleva a concluir que a mayor ingreso menor es el riesgo por inundaciones que registra esta población.

La zona Sur de los municipios de Carolina y Loíza presenta un bajo riesgo ante las inundaciones debido a lo abrupto de su topografía, lo que condiciona que la amenaza ante estos eventos sea mínima. Sin embargo, producto de sus características físico-geográficas, la zona está expuesta a otros peligros fundamentalmente de índole gravitacionales (deslizamientos y derrumbes) que no han sido evaluados en este trabajo.

#### Referencias bibliográficas

- Ayala-Carcedo, F. J. y Olcina Cantos, J. (2002, Eds.): *Riesgos naturales*. Barcelona, Ariel.
- Barragán Muñoz, J. (1994): *Ordenación, planificación y gestión del espacio litoral*. Barcelona, España. Ed. Oikos Tau.
- Batista Silva, J. (1999): "Vulnerabilidad del subdesarrollo ante los desastres", VII Encuentro de Geógrafos de América Latina, Bayamón, Puerto Rico, pp. 41.
- Batista Silva, J., Sánchez Celada, M. (2003): "Peligro y vulnerabilidad en el Este de La Habana", *Revista Mapping*, 88, pp. 86-98.
- Bosque Sendra, J., Díaz Castillo, C., Díaz Muñoz, M. A., Gómez Delgado, M., González Ferreiro, D., Rodríguez Espinosa, V. M., Salado García, M. J. (2004): "Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 44-78. ISSN: 1578-5157
- Diálogo (2005): "Riesgos geológicos y tsunamis en el Caribe", marzo, pp.11
- González J. (2005): "Señalamientos de la JCA al desarrollador de Costa Serena", *Nuevo Día*, 13 de septiembre, pp.23.

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): “Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157

---

Hernández Santana J., Seguinot Barbosa J., González R. (2002): “Islas de Puerto Rico y de Culebra: regularidades geomorfológicas de su relieve costero y submarino”, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, **47**, pp. 7-19.

*Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*. (1993), Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de Estados Americanos, Washington, D.C., pp. 2, 8 y 12.

Primera Hora (2005): “Costa Serena provocaría daños irreversibles en Piñones”, 20 de julio, p. 10.

Suárez V. (1994): *Los ríos más importantes de Puerto Rico*. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. San Juan, Puerto Rico.

Wilches-Chaux, G. (2002): “Fundamentos Éticos de la Gestión de Riesgos”. Habana, Cuba, Actas de la Reunión del Grupo de Riesgos y adaptación, pp.41.

### **WEBS (Páginas)**

Inventario de manglares de Puerto Rico: <http://www.ceducapr.com/inventariodemanglares.htm>

Loíza, Puerto Rico: [www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)

Mapas de maremotos: <http://www.poseidon.uprm.edu>

Negociado Federal de censo: <http://www.census.gov>

Puerto Rico Interactivo. Junta de Planificación de Puerto Rico: <http://www.jp.gobierno.pr>

Tabla de lluvias para Puerto Rico: <http://www.srh.noaa.gov/sju>

U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey: <http://pr.water.usgs.gov/index.html>.

*Gestión de Riesgos*: <http://www.cisas.org.ni/Gestion/conceptos/wilches.pdf>

## TABLAS

**Tabla 1. Lluvia en la Estación San Juan (668812) Período 1956-2004**

Mes	Medio	Máximo Mensual	Año	Mínimo	Año	Máximo Diario
Ene.	80.0	193.0	1977	15.5	1978	126.5 26/1969
Feb.	57.7	169.9	1982	5.1	1983	69.3 28/1969
Mar.	56.6	137.4	1958	18.3	1970	79.2 01/09/1973
Abr.	94.5	263.4	1988	2.0	1997	180.3 15/1988
May.	146.1	380.7	1965	11.2	1972	114.6 13/1986
Jun.	109.0	278.4	1965	7.4	1985	90.2 15/1965
Jul.	117.9	237.5	1961	28.4	1974	73.9 01/11/1993
Ago.	140.2	287.3	1988	46.5	1994	117.6 23/2000
Sep.	144.5	384.8	1996	43.9	1987	224.5 18/1989
Oct.	136.9	382.5	1970	29.7	1979	110.5 01/06/1970
Nov.	152.9	405.4	1979	48.5	1980	179.6 25/1979
Dic.	121.4	427.0	1981	17.3	1963	176.8 01/12/1981
Anual	1357.6	427.0	1981	2.0	1997	224.5 18/09/1989

Fuente: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey Maintainer.  
URL: <http://pr.water.usgs.gov/index.html>.

**Tabla 2. Características de las áreas inundables**

Características	Área Inundable (kilómetros <sup>2</sup> )
Inundaciones periódicas anuales	10.9
Área inundable para periodo de retorno menor de 100 años	82.88
Área inundable para periodo de retorno entre 100 y 500 años.	82.26
Inundación por acción del mar (periodo de retorno de 100 años)	1.45
<i>Total</i>	<b>177.49</b>

**Tabla 3. Correlación integrada para la obtención del riesgo por inundación.**

PELIGRO	VULNERABILIDAD	RIESGO
Alto	Alto	Alto
Alto	Medio	Alto
Alto	Bajo	Medio
Medio	Alto	Alto
Medio	Medio	Medio
Medio	Bajo	Bajo
Bajo	Alto	Medio
Bajo	Medio	Bajo
Bajo	Bajo	Bajo

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157

## FIGURAS



Figura 1. Localización de la Isla de Puerto Rico, en el Caribe  
Fuente: www.Mapquest.com

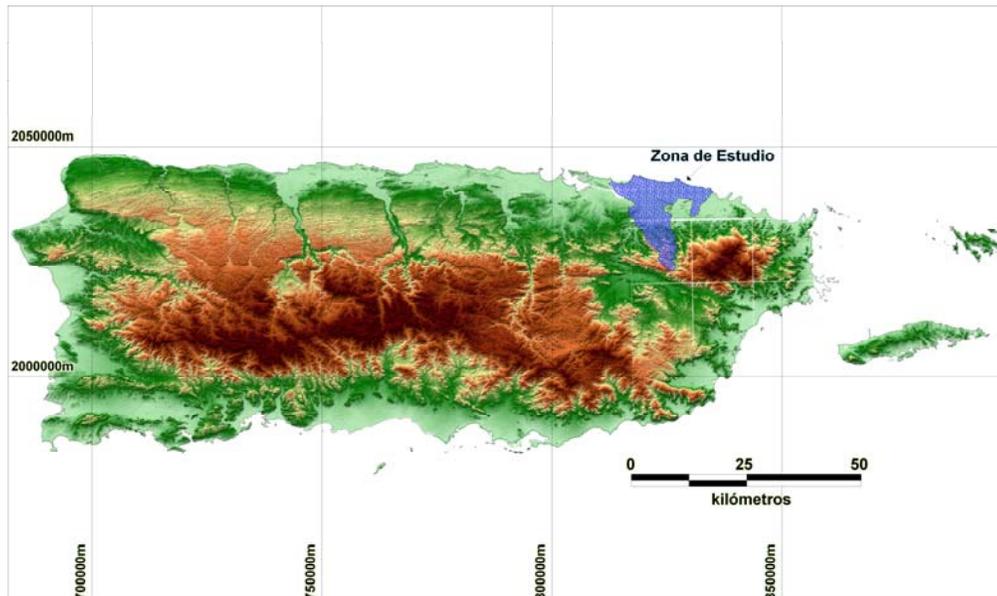


Figura 2. Localización de los municipios de Loíza y Carolina.  
Fuente: Creado por los autores

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157



**Figura 3. Valle y cuenca del Río Loíza**  
Fuente: Tomada por los autores



**Figura 4. Carretera Piñones sobre terraplén artificial para evitar entradas del mar, municipio de Loíza**  
Fuente: Tomada por los autores

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157

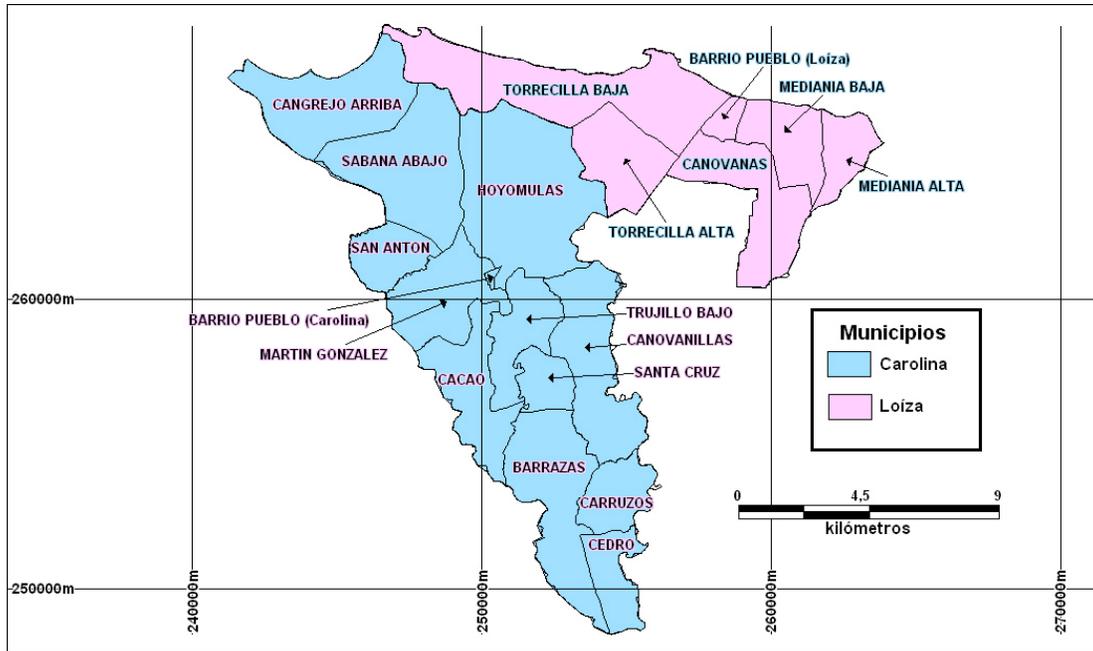


**Figura 5. Río Grande de Loíza**  
Fuente: Tomada por los autores



**Figura 6. Ríos de Puerto Rico**  
Fuente: <http://pr.water.usgs.gov/>

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157

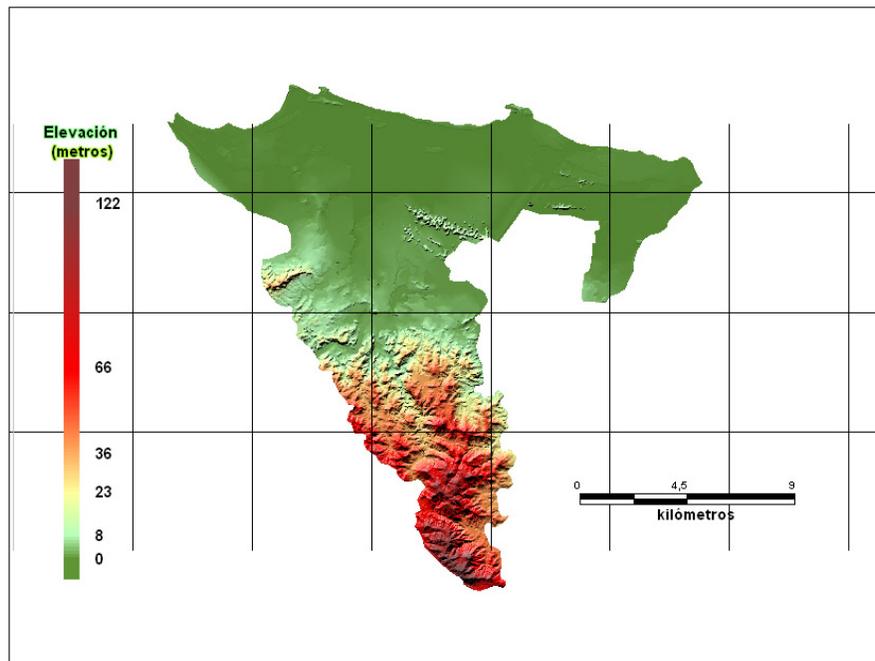


**Figura 7. Barrios de los municipios de Carolina y Loíza**  
Fuente: Elaborado por los autores



**Figura 8. Vista del manglar desde la costa acumulativa**  
(Municipio de Loíza)  
Fuente: Tomada por los autores

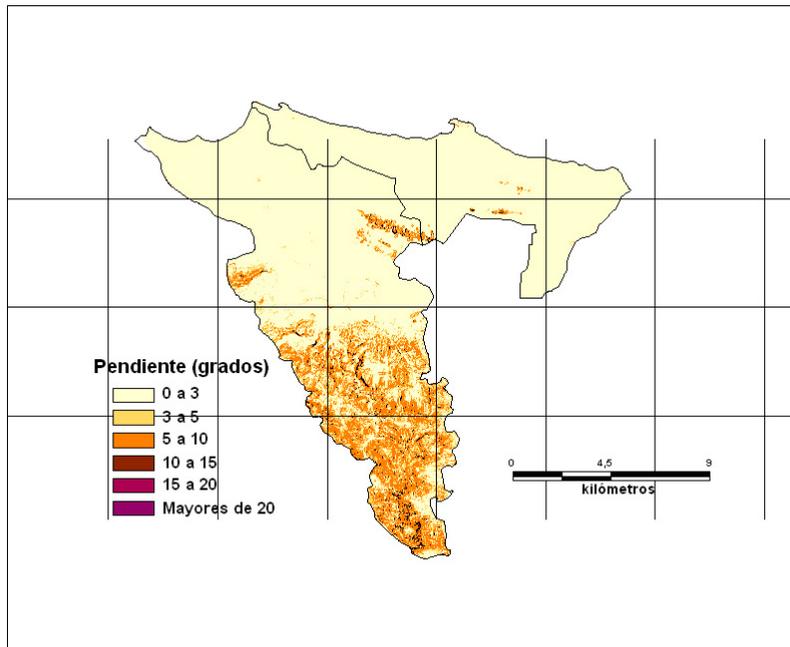
Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157



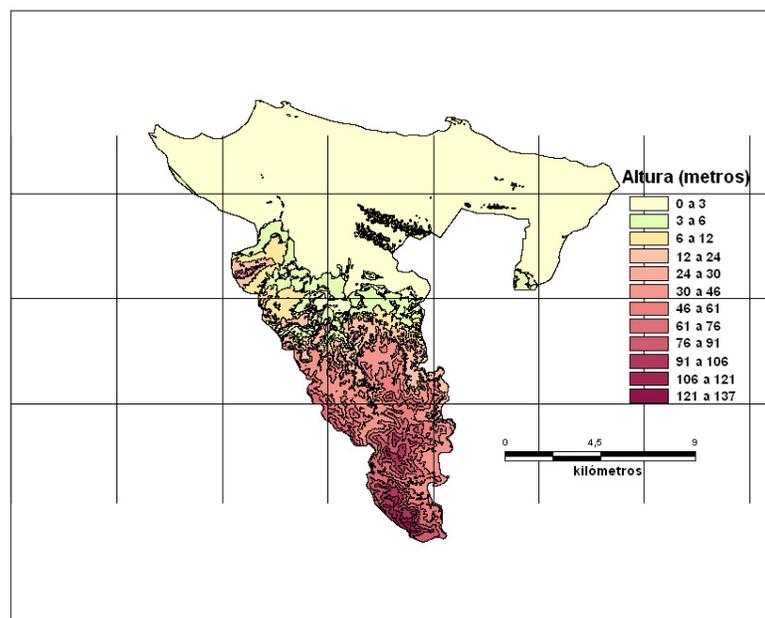
**Figura 9. Modelo digital de elevación (Municipios de Carolina y Loíza)**

**Fuente: Creación de los autores**

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157

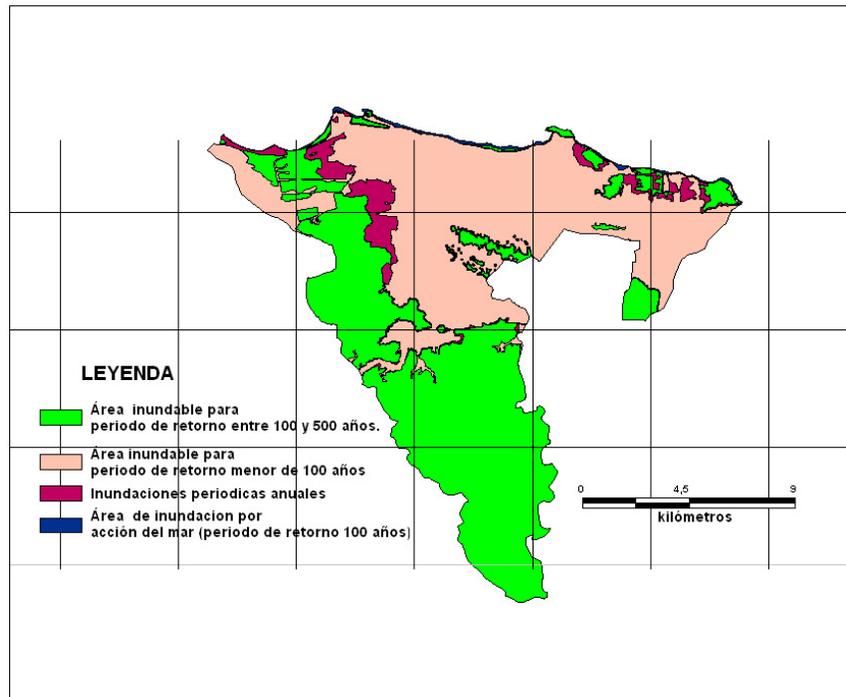


**Figura 10. Grado de inclinación de las pendientes (Municipios de Carolina y Loíza)**  
Fuente: Creación de los autores



**Figura 11. Altitud sobre el nivel del mar (Municipios de Carolina y Loíza)**  
Fuente: Creación de los autores

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157

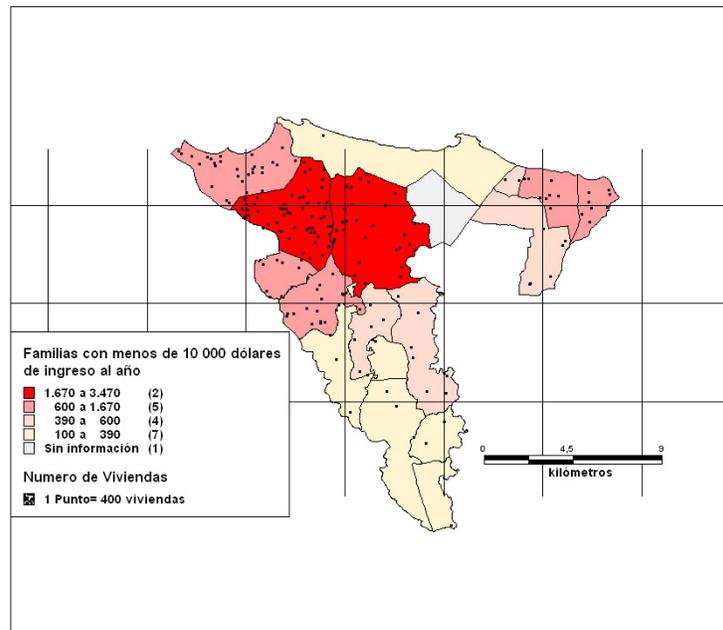


**Figura 12. Peligro de inundación (Municipios de Carolina y Loíza)**  
Fuente: Creación de los autores

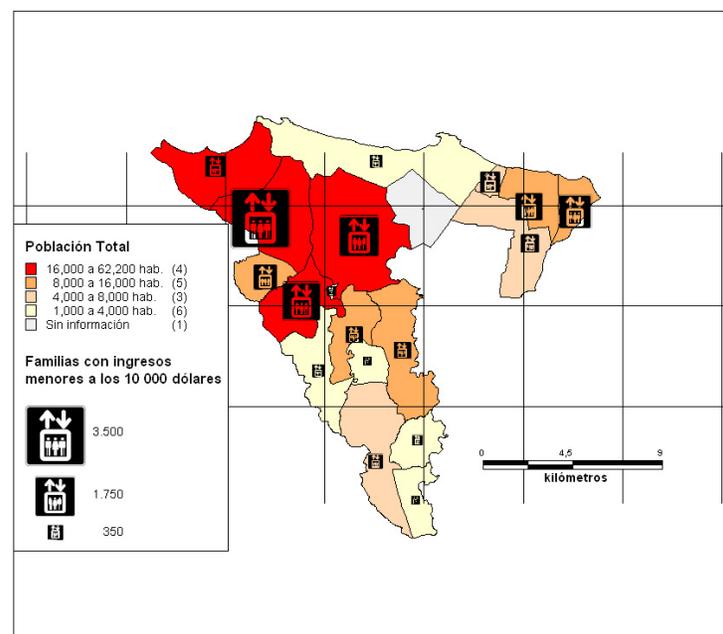


**Figura 13. Hoteles construidos sobre la duna de la costa, Municipio de Carolina**  
Fuente: Tomada por los autores

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157

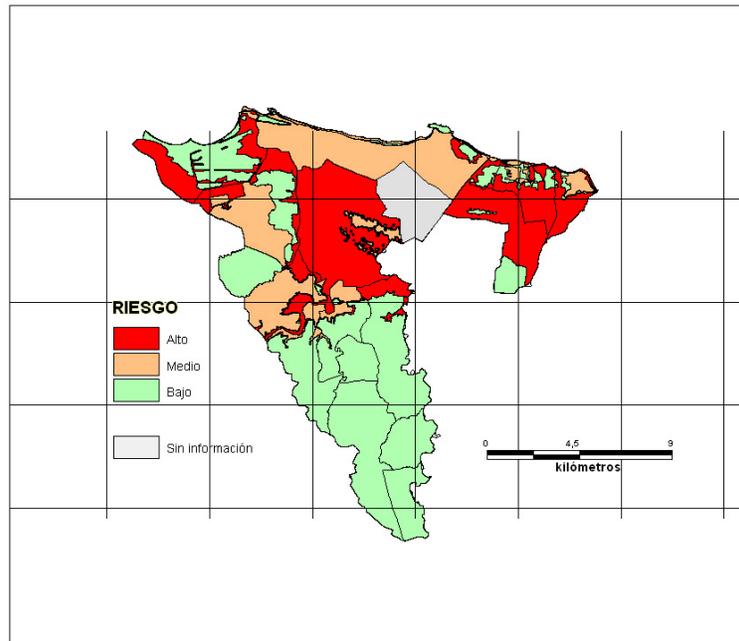


**Figura 14. Vulnerabilidad de las personas y los inmuebles (Municipios de Carolina y Loíza)**  
Fuente: Creación de los autores



**Figura 15. Vulnerabilidad de la población según el ingreso familiar (Municipios de Carolina y Loíza)**  
Fuente: Creación de los autores

Seguinot Barbosa, J., Batista, J. L. y Sánchez Celada, M. (2008): "Evaluación de riesgos por inundaciones en los municipios de Carolina y Loíza, Puerto Rico", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 115-138, ISSN: 1578-5157



**Figura 16. Riesgos por inundación (Municipios de Carolina y Loíza)**  
Fuente: Creación de los autores