

MODELACIÓN CARTOGRÁFICA DEL PELIGRO DE INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO YUNA, REPÚBLICA DOMINICANA

CARTOGRAPHIC MODELING OF THE FLOOD HAZARD IN THE YUNA RIVER BASIN, DOMINICAN REPUBLIC

Josefa Primelles¹, Reynol Pérez² y col.

¹ Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey, Cuba, josefa@cimac.cu

² Delegación Provincial del CITMA, Las Tunas, Cuba. reynol@citmaltu.gob.cu

RESUMEN: En el marco de las relaciones sur-sur y con el propósito de crear capacidades para los estudios de peligros, vulnerabilidad y riesgos de inundaciones por intensas lluvias, un equipo de cubanos y dominicanos desarrollaron el Estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones por intensas lluvias en la cuenca del río Yuna, República Dominicana. En este trabajo se presenta el estudio de susceptibilidad y peligro. El vasto territorio de la cuenca y el breve tiempo disponible, impuso la necesidad de desplegar los métodos de análisis espacial, análisis multicriterio espacial, modelación cartográfica y el uso de múltiples herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), unidos a otros métodos estadísticos, trabajos de campo y talleres participativos, en correspondencia con la metodología utilizada. Se obtuvo una nueva aproximación al peligro de inundaciones por intensas lluvias, sintetizados en mapas temáticos, como base para el posterior cálculo de la vulnerabilidad y riesgo en esta cuenca.

Palabras Clave: peligro de inundaciones por intensas lluvias; reducción de riesgo de desastres; susceptibilidad ante inundaciones por intensas lluvias.

ABSTRACT: Within the framework of south-south relations and with the purpose of creating capacities for studies of hazard, vulnerability and risks of flooding due to intense rains, a team of Cubans and Dominicans developed the Study of hazard, vulnerability and risk of flooding due to intense rains in the Yuna river basin, Dominican Republic. In this work the study of susceptibility and hazard, is presented. The vast territory of the basin and the short time available, imposed the need to deploy the methods of spatial analysis, spatial multicriteria analysis, cartographic modeling and the use of multiple tools of geographic information systems (GIS), together with other statistical methods, field work and participatory workshops, in correspondence with the methodology used. A new approximation to the hazard of floods due to intense rains was obtained, synthesized in thematic maps, as a basis for the subsequent calculation of vulnerability and risk in this basin.

KeyWords: flood hazard due to heavy rains; disaster risk reduction; susceptibility to flooding due to heavy rains.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de las relaciones sur-sur para la reducción del riesgo de desastres y con el propósito de crear capacidades para la realización de estudios de peligros, vulnerabilidad y riesgos de inundaciones por intensas lluvias, un equipo de investigadores y especialistas cubanos y dominicanos desarrollaron el Estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones por intensas lluvias en la cuenca del río Yuna, República Dominicana.

La cuenca del río Yuna fue seleccionada para el Estudio, atendiendo a su ubicación geográfica que es favorable para la ocurrencia de eventos hidro-meteorológicos extremos tales como: ciclones tropicales, intensas o prolongadas lluvias e inundaciones, y a sus características geológicas, geomorfológicas, tectónicas, hidrogeológicas y climáticas. Los principales impactos de las recurrentes inundaciones en la cuenca se han asociado a importantes daños económicos, ambientales, físicos y a la pérdida de vidas humanas.

Entre los principales antecedentes sobresalen los resultados que abordan el tema de las inundaciones por fuertes lluvias en la República Dominicana, entre ellos el Estudio de susceptibilidad ante inundaciones en República Dominicana (Consortio IGME-BRGM-INYPSA, 2010); Amenazas y riesgos naturales, República Dominicana. (Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial, 2012) y el Mapa de amenazas de inundaciones de V. Cordero (2000). Otros trabajos que han utilizado la metodología seleccionada para el estudio, con un uso amplio de las geotecnologías y el análisis multicriterio espacial, han sido importantes antecedentes. Dentro de ellos se destacan los Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante eventos hidrometeorológicos de las provincias Camagüey y Las Tunas (2011) y el Análisis multipeligros de la provincia Camagüey, de Primelles y Lao (2019).

Como resultado del estudio realizado en el año 2016, se obtuvo una nueva aproximación al peligro de inundaciones por intensas lluvias, sintetizados en mapas temáticos, como base para el cálculo de la vulnerabilidad y riesgo ante este evento en la cuenca hidrográfica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque ecosistémico estableció la pertinencia de la selección de la cuenca como unidad de análisis para el estudio de susceptibilidad y peligro de inundaciones por intensas lluvias.

Fue utilizada la metodología cubana para la determinación de riesgos de desastres a nivel territorial, del Grupo de Evaluación de Riesgos de la Agencia de Medio Ambiente (2014), contextualizada a las características del país.

Esta metodología tiene como propósito el cálculo del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo ante eventos extremos, entre ellos las inundaciones por intensas lluvias. En el trabajo se utiliza la propuesta metodológica para la determinación de las zonas susceptibles a inundarse o el escenario de peligro, y el cálculo de la intensidad y del período de retorno del peligro, objeto del estudio que se presenta, que fue la base para el posterior cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo.

Entre los métodos y técnicas de investigación utilizados sobresalen el método cartográfico, análisis espacial y análisis multicriterio espacial, soportados en un entorno SIG, entre ellas las utilizadas para la obtención de modelos digitales de elevación, análisis hidrológico, densidad de cauces, álgebra de mapas, reclasificación y la elaboración de mapas temáticos, entre otras.

El uso de estas herramientas, utilizadas o descritas indistintamente por diferentes autores en razón de las metodologías que asumen (Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial, 2012; Qiang et al., 2017; IDEAM, 2017; Olivera, et al., 2021; Natho, S., 2021;), favoreció el rápido reconocimiento de las características de la geomorfología del vasto territorio bajo estudio, la modelación del flujo de agua sobre la superficie del terreno, el levantamiento de la red hidrográfica, la identificación de áreas de concentración de cauces, los límites de cuencas y subcuencas hidrográficas, el comportamiento de los factores geología, suelos, vegetación, la elaboración de los mapas de isoyetas, susceptibilidad y peligro, entre otros aspectos de interés para este tipo de estudio. Otros métodos y técnicas utilizados fueron el análisis estadístico y bibliográfico o documental, la encuesta, así como los trabajos de campo y talleres participativos.

En el cálculo para los diferentes períodos de retorno de lluvias intensas se utilizó la fórmula establecida según modelo de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de susceptibilidad ante inundaciones por intensas lluvias.

Este estudio permitió identificar los espacios del territorio donde están creadas las condiciones naturales o inducidas, susceptibles a la ocurrencia de inundaciones por intensas lluvias. Tuvo como base el análisis espacial del comportamiento de múltiples criterios: geológicos, geomorfológicos, hidrográficos, edafológicos y vegetación, que con diferentes pesos en razón de su importancia relativa para el análisis realizado, permitieron modelar cartográficamente las áreas susceptibles a inundarse. Se realizaron adecuaciones a la conceptualización y operacionalización de variables para los factores edafológico y vegetación, con el propósito de ajustarlas a la clasificación de suelos utilizada en el país y a los tipos de vegetación presentes en el área, indistintamente.

Factor geológico. Desde el punto de vista geológico la existencia de depósitos cuaternarios (holoceno, pleistoceno y terrazas fluviales) y margas, y yesos del plioceno, constituyen elementos favorecedores de la existencia de áreas susceptibles a las inundaciones. Estos depósitos se extienden por unos 2 600 km², y comprenden, entre otras áreas dispersas, una extensa zona compacta que se extiende de este a oeste hacia el norte y centro de la Cuenca.

Factor geomorfológico. En la cuenca se localizan elementos geomorfológicos de interés para el análisis de susceptibilidad ante inundaciones por intensas lluvias, sobresale la existencia de una extensa llanura de inundación de unos 1 289 km², extendida de este a oeste hacia el centro norte de la cuenca, regada por el río Yuna y sus principales afluentes, entre ellos el río Camú. Otros elementos geomorfológicos de interés están constituidos por los fondos de valle de los ríos principales y un grupo de áreas más pequeñas y dispersas que representan zonas bajas con acumulación de cauces.

En la Figura 1 se muestran los mapas de los factores geológico y geomorfológico de la cuenca del río Yuna.

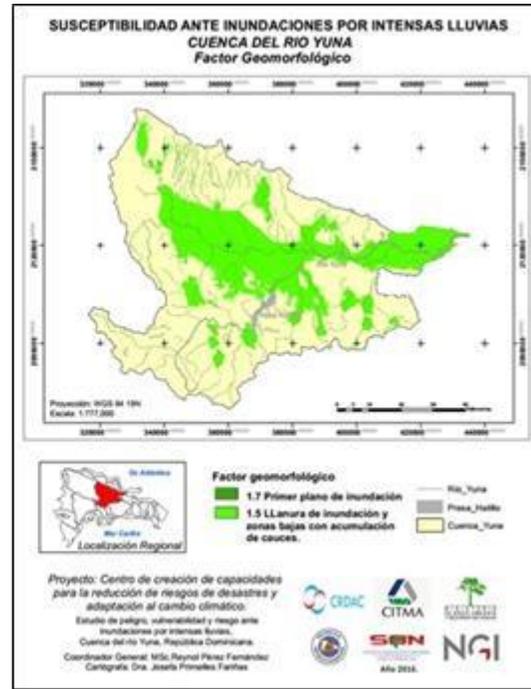
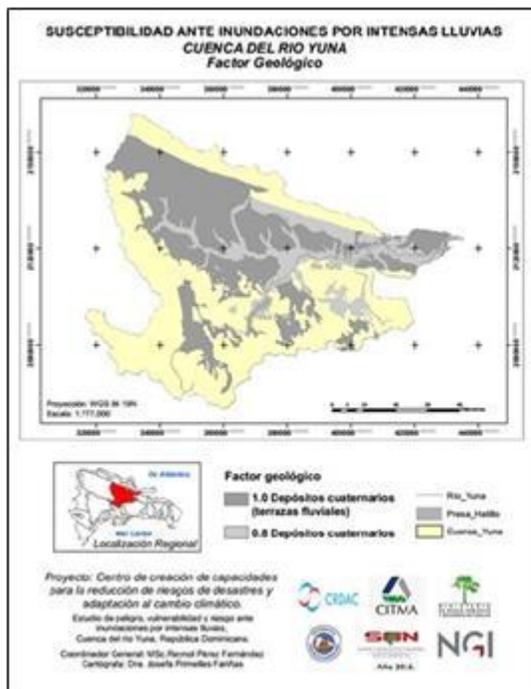


Figura 1. Mapas de los factores geológico y geomorfológico de la cuenca del río Yuna.

Factor pendiente. El análisis de la altimetría de la cuenca mediante el modelo de elevación del terreno, permite identificar una extensa zona de llanuras de hasta 120 m.s.n.m, localizada desde el centro norte de la cuenca hasta el extremo este, con pendientes bajas, entre 0 y 10 grados, puede observarse la amplia localización de pendientes de hasta 5 grados.

Factor hidrográfico. La extensa red hidrográfica formada por el río Yuna y sus afluentes, determina la existencia de 1428 km de corrientes de captación (ríos de órdenes 3, 4, 5 y 6), pertenecientes al Yuna y sus principales afluentes, Camú, Lacey, Maguaca, Chacuey, Payabo, Cuaba, Masipedro, Maimón, entre otros, que constituyen un importante factor de susceptibilidad ante inundaciones por intensas lluvias.

En la Figura 2 se muestran los mapas de los factores pendiente e hidrográfico de la cuenca del río Yuna.

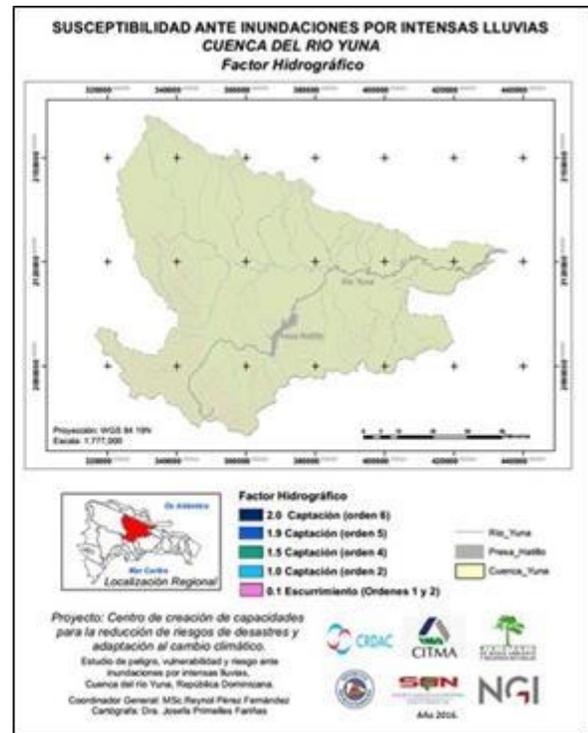
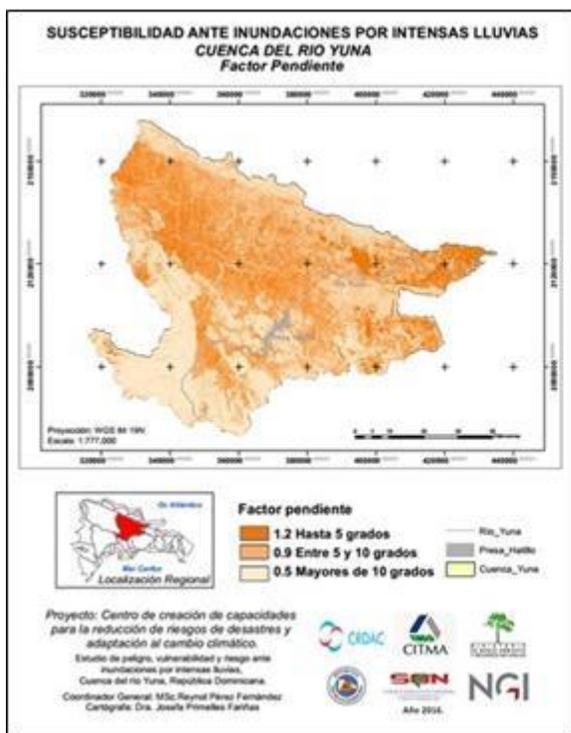


Figura 2. Mapas de los factores pendiente e hidrográfico de la cuenca del río Yuna.

Factor edafológico. El análisis de las características edafológicas de la cuenca, permitió identificar suelos que favorecen el escurrimiento. Son ellos los vertisoles, hidromórficos, fluvisoles, e histosoles, que ocupan extensas zonas dentro de la cuenca, unos 2 755 km², localizados fundamentalmente hacia la parte norte y central. Muchos de ellos presentan hidromorfismo como factor limitante que refuerza las condiciones de impermeabilidad.

Factor vegetación. El análisis del factor vegetación, permitió discriminar las coberturas no arbóreas favorecedoras del escurrimiento, que ocupan extensas áreas distribuidas ampliamente en toda la Cuenca, por espacio de unos 3 490 km², dentro de las que se destacan las coberturas herbáceas y arbustivas y de cultivos, ubicadas fundamentalmente hacia el centro y el extremo este de la Cuenca, mayoritariamente arroz, cacao y pastos.

En la Figura 3 se muestran los mapas de los factores, edafológico y vegetación, de la cuenca del río Yuna.

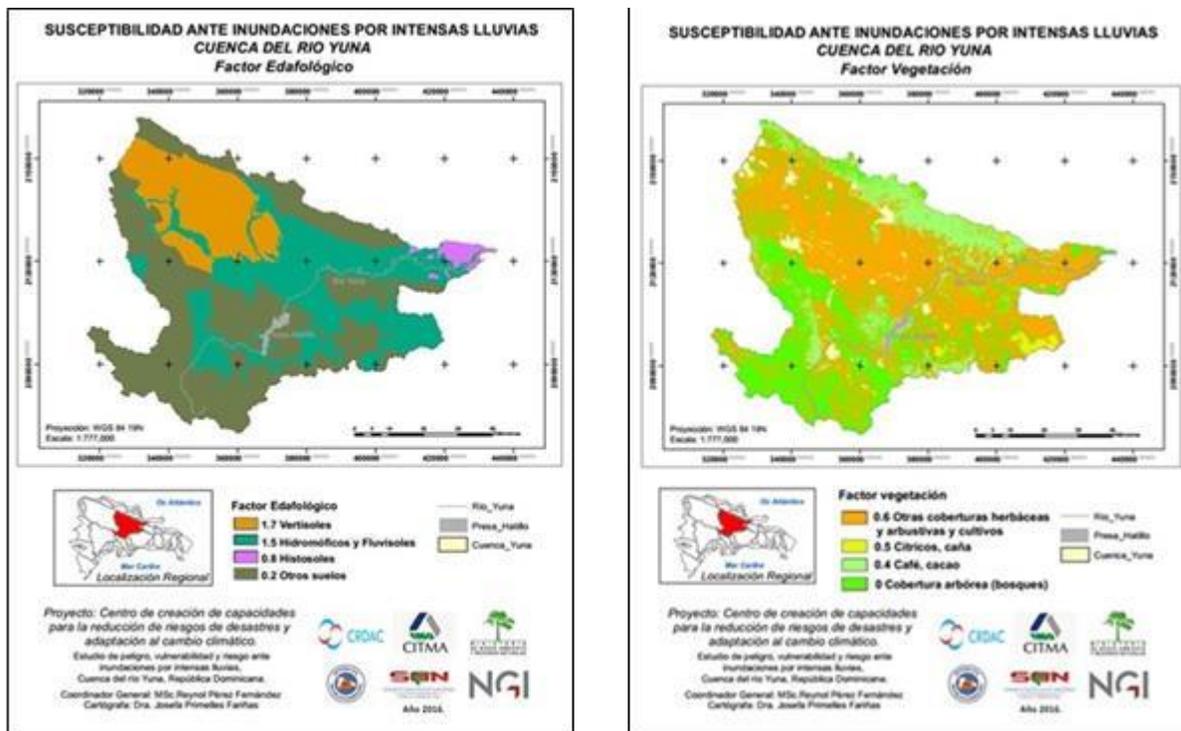


Figura 3. Mapas de los factores, edafológico y vegetación, de la cuenca del río Yuna.

Susceptibilidad ante inundaciones por intensas lluvias.

A partir del análisis conjunto de los factores: geológico, pendiente, geomorfológico, hidrográfico, edafológico y vegetación; mediante el análisis multicriterio espacial, se obtuvo el mapa de susceptibilidad ante inundaciones por intensas lluvias de la cuenca del río Yuna, con un área susceptible de unos 1 554 km², de los cuales 910 km² corresponden a un área compacta localizada hacia el centro norte de la Cuenca, con una orientación este-oeste.

El establecimiento de tres rangos, a partir del recorrido de la variable según establece la metodología, permitió obtener un mapa con los niveles alto, medio y bajo de susceptibilidad, que ocupan 1 065, 456 y 73 km², respectivamente.

En la Figura 4 se muestra el mapa Susceptibilidad ante inundaciones por intensas lluvias de la cuenca del río Yuna.

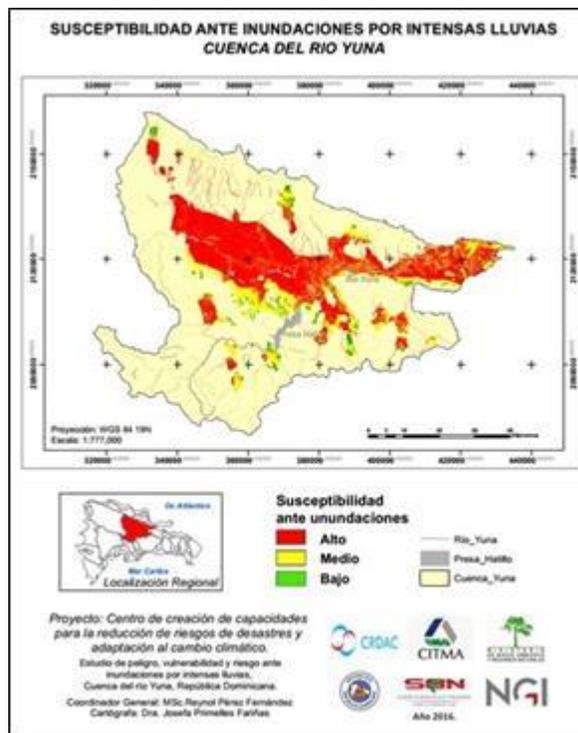


Figura 4. Mapa Susceptibilidad ante inundaciones por intensas lluvias.

Cálculo del peligro de inundaciones por intensas lluvias.

Cálculo de la intensidad y del período de retorno del peligro. Para que existan inundaciones, además de la susceptibilidad del terreno, debe estar presente el factor externo lluvias. Se procedió al tratamiento estadístico de los datos pluviométricos de lluvias máximas registradas en las 21 estaciones seleccionadas, ubicadas en la cuenca del río Yuna y sus alrededores, pertenecientes a la ONAMET y el INDRHI. Se obtuvo el valor de las lluvias máximas en 24 horas con sus probabilidades de ocurrencia y línea de ajuste de tendencia, se reporta la posibilidad de ocurrencia de lluvias por debajo del 3% de probabilidad, es decir muy superiores a los 500 mm. La mayor lluvia registrada está cercana al entorno de los 500 mm, con una probabilidad del 3.4% de ocurrencia, al medirse 498 mm en la estación de Constanza, aledaña a la cuenca, seguido por la estación Los Quemados, dentro de la cuenca, con lluvia máxima de 423 mm.

Como resultado final de este proceso para determinar el factor de disparo (FII) se obtuvieron los mapas isoyéticos de lluvias máximas en 24 horas y para períodos de retornos de 5 años, (Figura 5), así como de 10 y 20 años, que equivalen a las probabilidades del 20, 10 y 5 por ciento de ocurrencia de lluvias intensas respectivamente. El comportamiento del factor disparador de precipitaciones en sus componentes de intensidad y período de recurrencia, determinan la existencia de zonas de mayor probabilidad de lluvias intensas, según los rangos de valores de precipitación obtenidos que son: entre 100 mm y 169 mm en 24 horas (bajo); entre 170 mm y 239 mm en 24 horas (medio) y mayor a los 240 mm en 24 horas (alto).

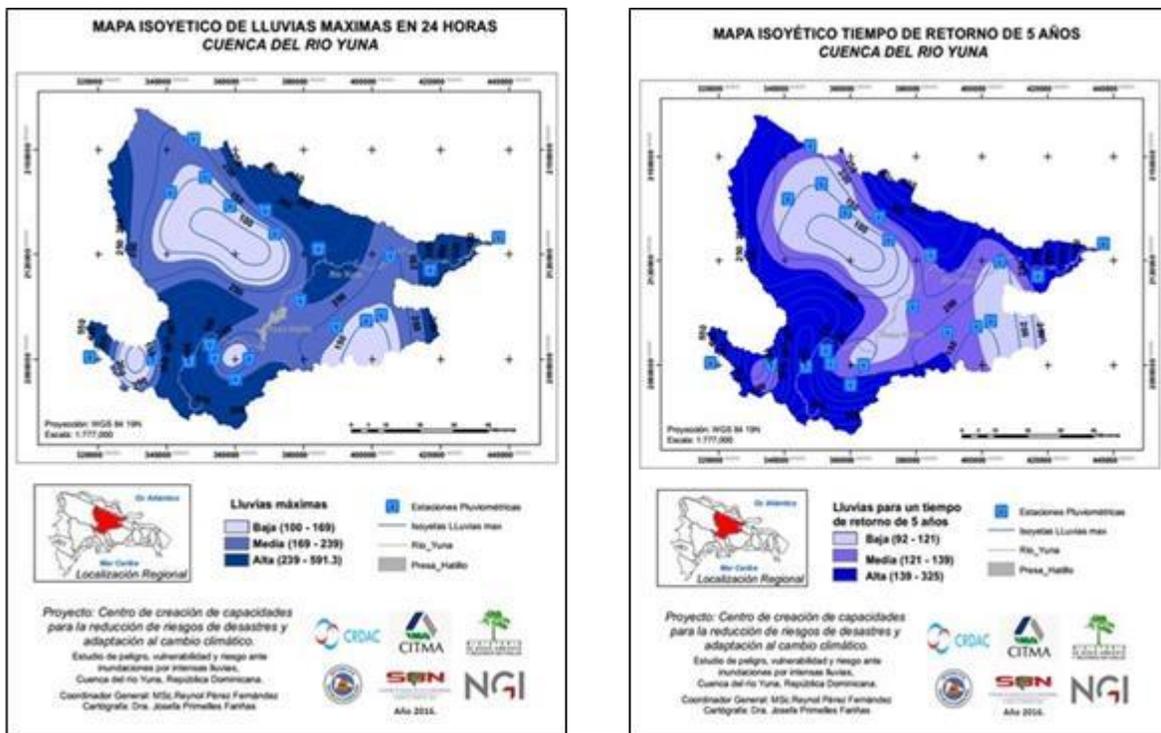


Figura 5. Mapas isoyéticos para lluvias máximas en 24 horas y periodo de retorno de 5 años.

Cálculo del peligro.

El cálculo del peligro, resultado de las operaciones con los mapas de susceptibilidad y lluvias (factor de disparo), se expresa en dos mapas: peligro para lluvias máximas en 24 horas y peligro para lluvias máximas con un tiempo de retorno para 5 años, teniendo en cuenta la intensidad del peligro acorde a su clasificación (Figura 6).

El mapa de peligro para lluvias máximas en 24 horas muestra las áreas inundables dentro de la cuenca, que tienen una extensión de 1 595 km², aproximadamente el 30% de este territorio, de ellos 1 376 km², corresponden a un área compacta localizada hacia el centro norte de la cuenca, con una orientación este-oeste. El establecimiento de tres rangos según establece la metodología, permitió obtener un mapa de niveles alto, medio y bajo de peligro, que ocupan 152, 1 103 y 339 km², respectivamente.

Las provincias con mayor extensión de áreas con peligro alto dentro de la Cuenca, son Duarte, seguida de Sánchez Ramírez y Monseñor Nouel, en el resto predominan los peligros medio y bajo. Un total de 40 asentamientos urbanos y 115 rurales, están ubicados parcial y en algunos casos totalmente, en zonas de peligro de inundaciones por intensas lluvias, entre ellos, 12 asentamientos rurales en zonas de peligro alto.

Los resultados obtenidos muestran semejanza con los obtenidos por V. Cordero (2000), en su mapa de amenazas de inundaciones de República Dominicana, tanto en la distribución de las áreas inundables dentro de la cuenca del Yuna, como en el área inundable en ese espacio, sólo con 373 km² menos según la modelación realizada.

El mapa de peligro para lluvias con tiempo de retorno de 5 años (probabilidad del 20% de ocurrencia), muestra las áreas inundables que tienen una extensión de 1 594 km². Se aprecian las áreas con niveles de peligro alto, medio y bajo, que ocupan 148, 1 070 y 377 km², respectivamente.

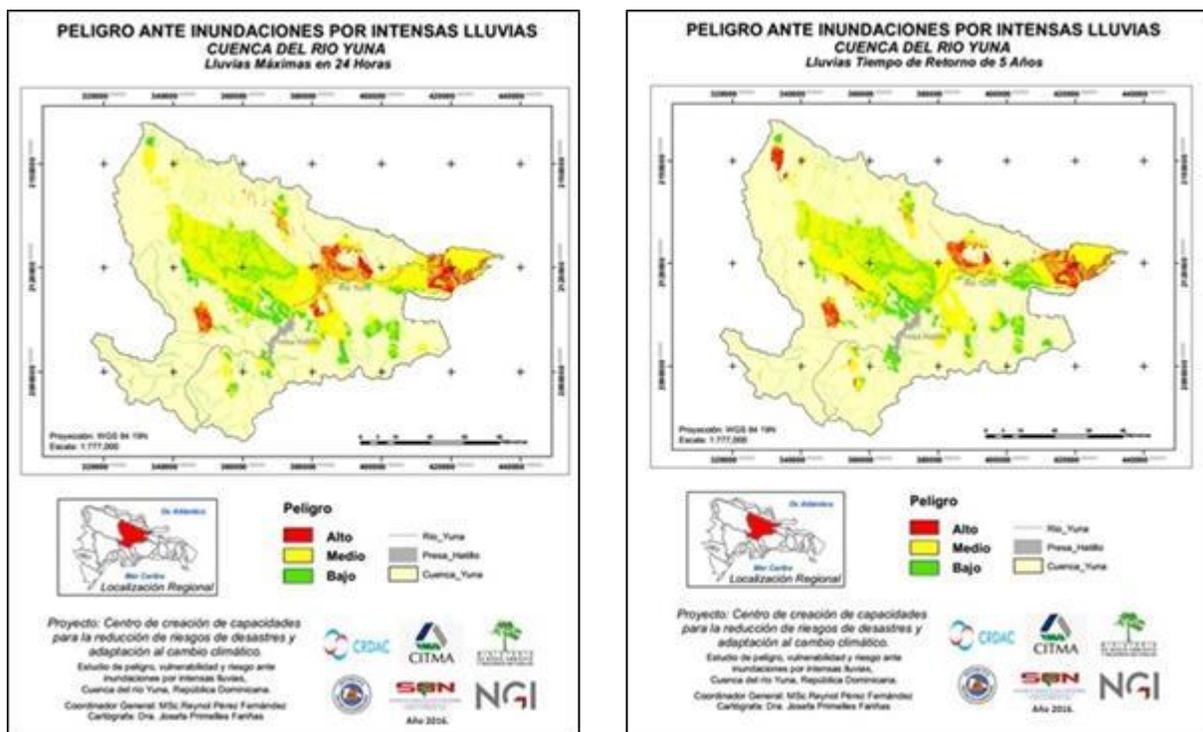


Figura 6. Mapas de peligro de inundaciones por intensas lluvias (lluvias máximas en 24 horas y período de retorno de 5 años.

4. CONCLUSIONES

La metodología utilizada, contextualizada a las particularidades del país, demostró su validez para el análisis de la susceptibilidad y peligro ante inundaciones por intensas lluvias en la cuenca del río Yuna.

La amplia utilización de las geotecnologías para el manejo de la profusa información geográfica que implica el estudio, permitió modelar en breve tiempo la susceptibilidad y peligro ante inundaciones por fuertes lluvias en la cuenca del río Yuna.

El estudio realizado permitió identificar las áreas de mayor peligro y puede contribuir a la comprensión del comportamiento de este evento hidrometeorológico extremo y al perfeccionamiento de la gestión de reducción del riesgo y la toma de decisiones asociadas. El resultado fue la base para el posterior cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo ante este evento en la cuenca hidrográfica del río Yuna.

Los resultados fueron presentados al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Servicio Geológico Nacional, la Defensa Civil, la Academia de Ciencias y el Consejo Nacional de Emergencias. El intercambio de experiencias, un proceso en el que todos aprendieron, ha permitido a los colegas dominicanos replicar este estudio en otras zonas del país.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de los colegas Yenny Rodríguez y Samuel González del Servicio Geológico Nacional, República Dominicana; de Rafael Almarante y Mayrilennys Adames, de la Defensa Civil Dominicana; de Jesús Mauricio Cepeda del Instituto Geotécnico Noruego (NGI) y de Rafael Rivera y Juan Miguel Díaz, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de República Dominicana y del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, respectivamente. Se agradece también a las instituciones de República Dominicana que ofrecieron la valiosa información utilizada, en especial el Servicio Geológico Nacional, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET), el Instituto de Recursos Hidráulicos (INDRHI) y la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE).

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Medio Ambiente. Grupo de Evaluación de Riesgos. (2014). Metodología para la reducción de riesgos de desastres a nivel territorial. La Habana, Agencia de Medio Ambiente.
 - Consorcio IGME-BRGM-INYPSA. (2010). Cartografía Geotemática. República Dominicana.
 - Cordero, V. (2000). Mapa de Amenazas de inundaciones. Sub-programa Prevención de Desastres. República Dominicana. Secretariado Técnico de la Presidencia.
 - Delegación Provincial CITMA (2011). Estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante eventos hidrometeorológicos en la provincia Camagüey (inédito).
 - Delegación Provincial CITMA (2011). Estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante eventos hidrometeorológicos en la provincia Las Tunas (inédito).
 - Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. (2012). Amenazas y riesgos naturales. República Dominicana. Compendio de Mapas. Santo Domingo, República Dominicana.
 - IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2017. Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. Bogotá, D.C., 110 páginas.
 - Natho, S. (2021). How Flood Hazard Maps Improve the Understanding of Ecologically Active Floodplains. *Water* 2021, 13, 937. <https://doi.org/10.3390/w13070937>.
 - Olivera, Cruz, Herrera, Lorenzo, Pérez (2021). La susceptibilidad y la peligrosidad a inundaciones por intensas lluvias en la provincia La Habana. Memorias del primer Congreso de Ciencias Geoespaciales y Riesgos de Desastres. ISBN: 978-959-300-213-4, 41-50. La Habana.
 - Primelles y Lao. (2019). Análisis multipeligro de la provincia Camagüey. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*, (19), 56-57.
- Qiang et al. (2017). Changes in Exposure to Flood Hazards in the United States. *Annals of the American Association of Geographers* 0(0) 2017, pp. 1–19.