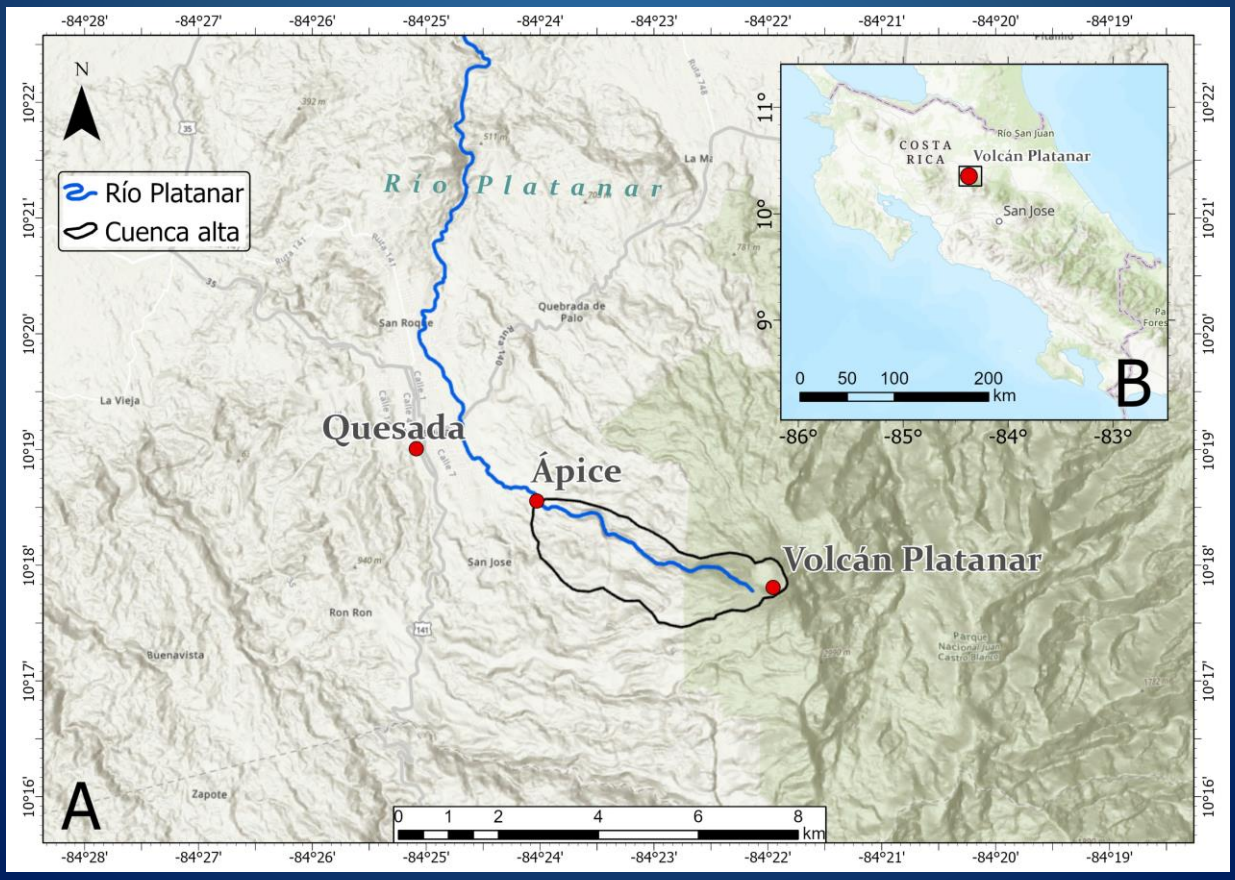
EN TORNO A LA PREVENCIÓN

Revista número 26, junio 2021

ISSN 1659-3057
e-ISSN 2215-3845



San José, Costa Rica.

363.34
E588e En Torno a la Prevención: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. – No. 1 (2003)– . -- San José, C.R. : La Comisión, 2003-.
v. : il. ; 28 cm.

Semestral
ISSN 1659-3057
E-ISSN 2215-3845
Título anterior: Enlace de Esfuerzos

1. Desastres – Publicaciones seriadas. 2. Prevención de Desastres – Publicaciones seriadas. 3. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. I. Título.

DIRECTORA
M.Sc. Sheily Vallejos Vásquez, CNE.

CONSEJO EDITORIAL
Dr. Gustavo Barrantes Castillo. Escuela de Geografía, UNA.
M.Sc. Lidier Esquivel Valverde. Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo, CNE.
M.Sc. Geovanni Peraldo Huertas. Escuela Centroamericana de Geología, UCR.

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL
PhD. Sergio Mora Castillo. Geólogo y Geotecnista Consultor.
M.Sc. Alonso Brenes Torres. Investigador. Programa de Investigación Social sobre Riesgos y Desastres, UCR.
Lic. Manuel Ramírez Rojas. Consultor Componente Educativo, USAID/OFDA-LAC.

A partir del año 2012, la revista cuenta con su formato electrónico, el cual es auspiciado mediante la cooperación internacional de la National Library of Medicine (NLM) y el Centro Regional de Información sobre Desastres (CRID). Además, contó con el apoyo técnico de la Escuela de Bibliotecología y Ciencias de la Información de la UCR y recursos propios de la CNE. Esta puede ser accedida en la siguiente dirección electrónica: www. http://revistaentorno.desastres.hn/
Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no refleja necesariamente los puntos de vista de la Institución o del SNGR.

ISSN 1659-3057
ISSN Versión electrónica: 2215-3845

CONTACTO: Centro de Documentación e Información, CNE Correo Electrónico: svallejos@cne.go.cr o cedocnecr@gmail.com
Teléfono: 2210-2817, 2210-2796. Apartado postal: 5238-1000 San José, C.R. Dirección de la revista en versión electrónica: http://www.relaciger.net/revista/ Dirección CNE: www.cne.go.cr

Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 3.0 Costa Rica. Para ver una copia de esta licencia, visita http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/cr/.

PRESENTACIÓN

La Revista En Torno a la Prevención tiene como propósito informar mediante artículos técnico-científicos, investigaciones realizadas, informes de buenas prácticas, ensayos, notas técnicas relevantes desarrolladas desde el nivel nacional o local e internacional.

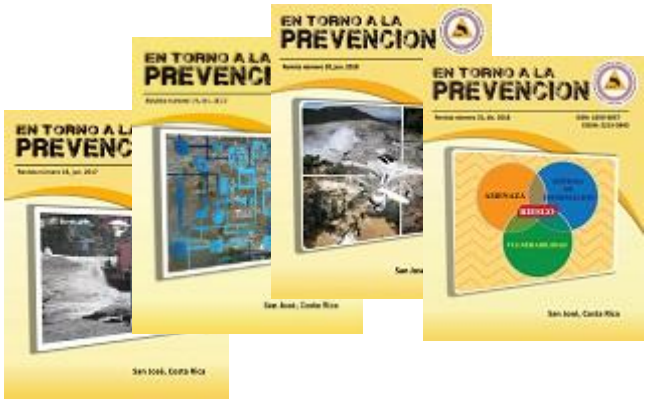
Los trabajos incluidos, son originales (no han sido publicados por otro medio), se rigen para su publicación por parámetros establecidos por el comité editorial, evaluadores externos y según normas éticas de propiedad intelectual y autoría.

En Torno a la Prevención se encuentra registrada en Latindex: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, en REDIB es una plataforma de agregación de contenidos científicos y académicos en formato electrónico producidos en el ámbito iberoamericano del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España y en DOAJ, el directorio de revistas de acceso abierto (Directory Of Open Access Journals).

La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias como ente rector en el país del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos ha considerado que esta publicación es la forma oficial de trasferencia de conocimiento, por ello le corresponde la gerencia de esta. Los representantes de instituciones miembros del Sistema aportan sus conocimientos e investigaciones, en el ámbito de la reducción de riesgo de desastres.

Se ha publicado desde el 2012 en formato papel y electrónico, a partir de diciembre del 2018 solamente se publicará en electrónico y se mantiene la dirección electrónica: www.relaciger.net/revista/.

En esta ocasión les presentamos el número 26 de esta revista.



EDITORIAL

La publicación costarricense, En Torno a la Prevención permanece en el tiempo desde el año 2003, con el propósito de acercar, divulgar y debatir los diversos temas que sean comunes o se puedan investigar y analizar desde distintas disciplinas, vinculadas a la reducción de riesgo de desastres. Se trata entonces de dos objetivos: investigación y divulgación, en torno a una visión multidisciplinar que implica la reducción de riesgo de desastre.

La revista, sirve de enlace entre la información técnico-científica y las instancias de coordinación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (Comités asesores técnicos-CAT, Comités Regionales, Comités Municipales, Comités Comunales y el Centro de Operaciones desde el nivel nacional, donde todos los actores pueden transferir sus ideas, experiencias, buenas prácticas, estudios de caso e investigaciones).

Su propósito fundamental es transferir conocimiento sobre prevención de riesgos y preparativos y respuesta, con el fin de crear consciencia, documentar e informar a la sociedad costarricense sobre los avances en dichos temas.

En este número presentamos los siguientes documentos:

SIMULACIÓN DE LAHARES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PLATANAR Y SUS POSIBLES IMPACTOS EN CIUDAD QUESADA (VOLCÁN PLATANAR, COSTA RICA), En este trabajo se aplicó el modelo hidráulico Flo-2D a varios eventos de lahares (simulando diferentes volúmenes) disparados desde la cuenca alta del río Platanar, que nace cerca del cráter del volcán homónimo, los cuales eventualmente podrían afectar a ciudad Quesada.

También, se presenta la investigación sobre las INUNDACIONES EN EL CANTÓN LA UNIÓN, CARTAGO, COSTA RICA, donde se hizo un reconocimiento de las áreas inundables de cantón La Unión y de los sitios afectados por los incidentes de los últimos años, el cual incluye un análisis del potencial de inundación del Río Chiquito, una descripción de los incidentes recientes y las acciones realizadas para reducir el riesgo.

Finalmente, se presenta el artículo sobre el CONTEXTO Y CONCEPTOS RELEVANTES EN LA FORMULACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO 2021 – 2015 DE COSTA RICA, cuyo propósito es presentar, de manera concisa, aquellos aspectos del nuevo plan que constituyen una actualización de conceptos y orientaciones acerca del vínculo inequívoco de la gestión del riesgo con la agenda de desarrollo y por ello la pertinencia de seguir abordando la gestión del riesgo como un tema de política pública inherente a la planificación y las prácticas del desarrollo..

La publicación debe permitir fomentar la reflexión y el debate en torno a las nuevas ideas que vayan surgiendo. Estamos seguros de que hay innumerables posibilidades que pueden aprovecharse dentro de este ámbito multidisciplinar que día a día deben ser publicadas y diseminadas entre todos los actores y sectores de la sociedad costarricense.

Alexander Solís Delgado, presidente CNE

TABLA DE CONTENIDOS

pág.

Presentación……ii

Editorial……iii

ARTÍCULOS:

SIMULACIÓN DE LAHARES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PLATANAR Y SUS POSIBLES IMPACTOS EN CIUDAD QUESADA (VOLCÁN PLATANAR, COSTA RICA) …… **1**

Sebastián Granados-Bolaños

Guillermo E. Alvarado

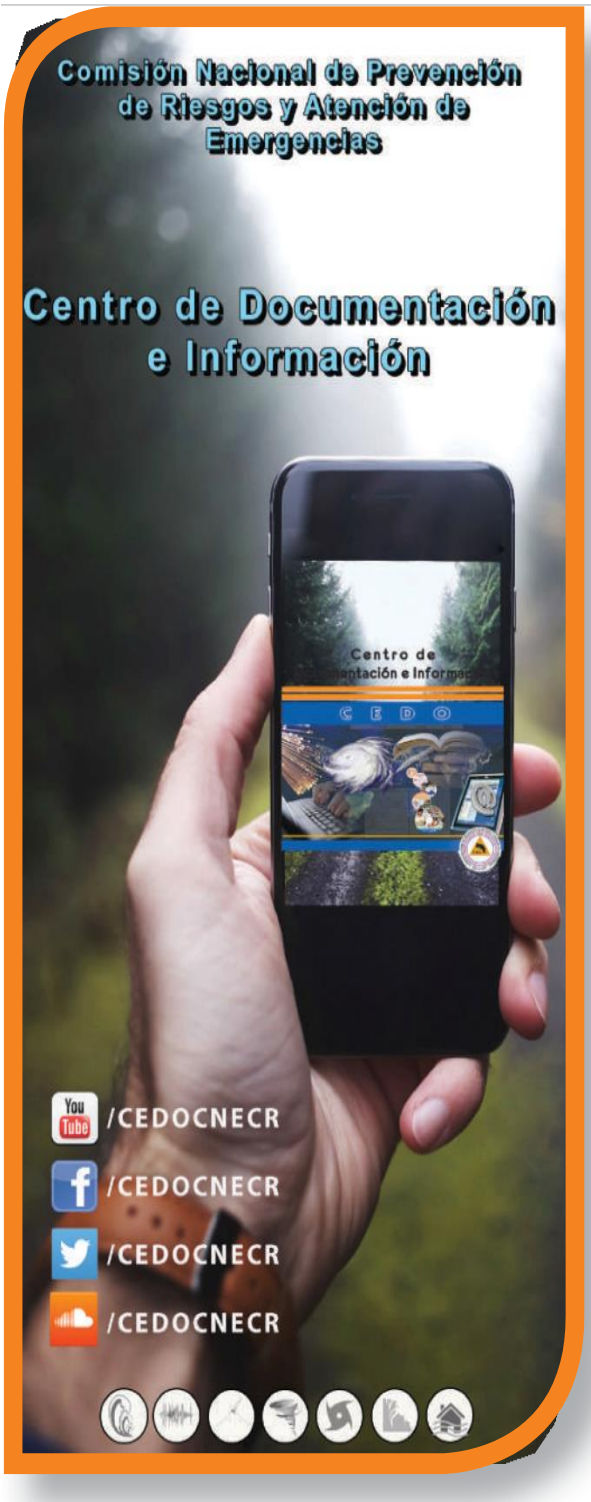
INUNDACIONES EN EL CANTÓN LA UNIÓN, CARTAGO, COSTA RICA…… **17**

Jorge Eduardo Rodríguez Campos

Mario Fernández Arce

CONTEXTO Y CONCEPTOS RELEVANTES EN LA FORMULACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO 2021 – 2015 DE COSTA RICA …… **25**

Carlos Picado R.



Centro de Documentación e Información de la CNE, invita a los lectores de la Revista En Torno a la Prevención a formar parte de sus redes sociales.

En estas encontrará información valiosa en temas de gestión del riesgo tanto en el ámbito nacional como internacional.

www.facebook.com/cedocnecr/

www.twitter.com/cedocnecr/

www.youtube.com/cedocnecr/

www.soundcloud.com/cedocnecr/

Revista En Torno a la Prevención, número 26, junio 2021 pp-1-16
ISSN 1659-3057 • E-ISSN 2215-3845

SIMULACIÓN DE LAHARES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PLATANAR Y SUS POSIBLES IMPACTOS EN CIUDAD QUESADA (VOLCÁN PLATANAR, COSTA RICA)

***Sebastián Granados-Bolaños*[1]**
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica
sebastian.granados@ucr.ac.cr

***Guillermo E. Alvarado*[2]**
Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), San José, Costa Rica
galvarado@cne.go.cr; galvaradoi@ice.go.cr

RESUMEN

Se aplicó el modelo hidráulico Flo-2D a varios eventos de lahares (simulando diferentes volúmenes) disparados desde la cuenca alta del río Platanar, que nace cerca del cráter del volcán homónimo, los cuales eventualmente podrían afectar a ciudad Quesada. Los resultados fueron sobrepuestos con información oficial de población e infraestructura y mapeos en el campo, estimándose la cantidad de población e infraestructura que podría verse afectada para cada evento modelado. La cantidad de personas afectadas variaría en función de las características del lahar, estando entre un centenar a varios miles de personas, en un área mínima de 9 hectáreas hasta un centenar de hectáreas, donde se impactarían entre una decena hasta varios centenares de casas. Aunque la probabilidad de reactivación del volcán Platanar no se vislumbra a corto plazo, sí podrían llegarse a disparar lahares por terremotos o lluvias torrenciales. Esta información se considera fundamental para futuros desarrollos urbanos e industriales y para una adecuada gestión del riesgo, en particular por corresponder con una de las ciudades más grande del norte del país, corazón de la economía de San Carlos y con una población de unos 50 000 habitantes.

Palabras clave: lahar, modelamiento hidráulico, gestión del riesgo, ciudad Quesada.

ABSTRACT

The Flo-2-D hydraulic model was applied to several events of lahars (different volumes) triggered form the upper catchment of the Platanar river, originating near the crater of the homonymous volcano, which could eventually affect ciudad Quesada. The number of people affected would vary depending on the characteristics of the lahar, ranging from a hundred to several thousand people affected, in a minimum area of 9 hectares to a hundred hectares, where between a dozen and several hundred houses would be impacted. Although the probability of reactivation of the Platanar volcano is not foreseen in the short term, lahars could be triggered by earthquakes or heavy rain. This information is considered essential for future urban and industrial developments and for proper risk management, particularly since it correspond one of the largest cities in the north of the country, heart of the economy of San Carlos, and with a population of about 50,000 inhabitants today.

Keywords: lahar, hydraulic modeling, risk management, Quesada city.

INTRODUCCIÓN

Los lahares en esencia son un flujo de fragmentos volcánicos y agua que desciende desde un volcán, ya sea como un flujo de escombros volcánico denso (*debris Flow*) o un flujo diluido o hiperconcentrado (*volcanic hyperconcentrate flow*). Los lahares pueden llegar a ser altamente destructivos por su alta densidad y velocidad, su

[1] Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica y Observatorio del Agua y Cambio Global, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
[2] Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo, Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), San José, Costa Rica.

capacidad abrasiva y la fuerza de impacto en las estructuras y formas del relieve (Janda et al., 1981). Estos flujos son una latente y constante amenaza para los poblados que se encuentran en las laderas y piedemontes de los volcanes, especialmente aquellas poblaciones localizadas sobre abanicos aluviales activos, por lo que han desencadenado numerosos desastres a nivel mundial (Okunishi et al., 2001).

En Costa Rica, los lahares han sido disparados por diversos mecanismos como erupciones volcánicas, precipitación intensa, terremotos y deslizamientos (Alvarado y Schmincke, 1994; Alvarado, 2010; Alvarado et al., 2017) y constituye la segunda causa de muertes por vulcanismo (Aguilar y Alvarado, 2014). Por ello, la zonificación de amenaza de lahares debe ser incorporada en los instrumentos de planificación del territorio y gestión del riesgo de peligros geológicos e hidrometeorológicos, dado que gran parte de la población costarricense vive sobre formaciones volcánicas cuaternarias y algunas de las ciudades densamente pobladas se encuentran sobre abanicos aluviales en los piedemontes volcánicos (p. ej., Quesada, Aguas Zarcas, Cartago, Turrialba, Guápiles, entre otras), por lo que es esencial contar con datos cuantitativos y actualizados de alta resolución, para la toma de decisiones en los abanicos aluviales urbanizados y aquellos en los planes de desarrollo, que requieren especial atención en la zonificación de inundaciones y flujos de detritos.

Diversas técnicas de modelamiento hidráulico bidimensional permiten obtener datos estadísticamente significativos acerca del comportamiento de lahares en términos de su extensión, espesor y velocidad (Zegers et al., 2020). Los modelos hidráulicos bidimensionales son una metodología ampliamente aceptada a nivel mundial para zonificar y analizar flujos de detritos y estos modelos han sido incorporados como insumos para la planificación y ordenamiento del territorio (Papanicolaou et al., 2015; Scotti et al., 2020).

En la presente investigación se presentan los resultados de una serie de simulaciones hidráulicas bidimensionales en la cuenca alta del río Platanar y sus posibles impactos aguas abajo en la ciudad de Quesada, San Carlos. Dicha ciudad se encuentra en el piedemonte del volcán Platanar, donde los índices morfométricos y las simulaciones hidráulicas parecen apuntar a una cuenca inestable y con potencial para generar un lahar, aunque históricamente nunca se ha presentado un evento catastrófico.

Se pretendió hacer una aproximación al comportamiento de lahares en el río Platanar, para lo cual se definieron los siguientes objetivos:

- Caracterizar morfométricamente la cuenca con índices cuantitativos de relieve en Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Calibrar y simular 4 eventos de lahar originados en la cuenca alta del río Platanar utilizando modelamiento hidráulico bidimensional.
- Estimar posibles impactos en la población e infraestructura de ciudad Quesada mediante la sobreposición del modelo hidráulico e información oficial y recolectada en campo.

A continuación, se discuten los resultados de las simulaciones, los alcances y limitaciones del modelamiento hidráulico bidimensional en ciudad Quesada.

BREVE MARCO GEOLÓGICO Y GEOGRÁFICO

La cordillera volcánica Central de Costa Rica inicia con el volcán Porvenir (altitud 2267 m, altura 600 m, 15 km^2, 2.5 km^3) y con el volcán Platanar (altitud 2183 m, altura 1700 m, 70 km^2, 61 km^3), situado algo atrás del eje volcánico principal. Ambos volcanes no han presentado actividad eruptiva en tiempo histórico y se desconoce cuándo fueron sus últimas erupciones, dado que no se ha realizado dataciones de radiocarbono, por lo que no se sabe siquiera si presentaron actividad en el Holoceno. Ambos volcanes crecieron dentro de la caldera volcánica de Chocosuela (Alvarado y Carr, 1993; Alvarado 2021). Aunque volcánicamente inactivos en tiempo histórico, varios terremotos (M_w 5.5-6.1) se han registrado en sus alrededores, donde todos ellos han disparado lahares; aunado a varios enjambres sísmicos en el propio volcán Platanar. Además, el grado de fallamiento es alto, la cobertura de suelos es igualmente espesa y propensa a los deslizamientos (Alvarado et al., 1988; Montero et al., 2010). Sumado a las condiciones geológicas de la cuenca, es importante tomar en cuenta que es una zona donde llueve en promedio entre los 2300-2500 mm al año según la regionalización climática de Costa Rica elaborada por el Instituto Meteorológico Nacional (Solano y Villalobos, 2000).

El volcán Platanar posee un cráter desportillado hacia el NW, desde donde nace en un profundo barranco volcánico el río Platanar. La cuenca desde donde nace parece corresponder con un antiguo deslizamiento de grandes dimensiones que fue agrandado por los procesos erosivos; el río discurre más o menos encajado hasta que llega al pie de monte donde está menos disectado.

Ciudad Quesada se ubica a unos 8 km al NW de la cima del volcán Platanar, desarrollada sobre un abanico aluvial coalescente producto de los ríos Platanar, Peje y la quebrada Gata. Puesto que la ciudad y varias urbanizaciones aledañas se ubican en el pie de monte del volcán, de ahí la importancia de realizar análisis que evidencie la eventual amenaza por eventos laháricos sobre estos lugares. Para ello, las simulaciones de lahares se desarrollaron en la cuenca alta del río Platanar, en la ladera oeste del volcán platanar, en el cantón de San Carlos. El área de la cuenca es de 6.4 km^2 y se delimitó a partir de una interpretación del ápice del abanico aluvial del río Platanar, ya que a partir de dicho punto hay un cambio drástico de pendiente que altera el régimen hidráulico del río Platanar. La distancia del cráter principal del volcán Platanar (su piso a unos 2000 m s.n.m) al ápice (639 m s.n.m) es de aproximadamente 4.5 km y al centro de ciudad Quesada (Palacio Municipal) está a 7 km (Figura 1).

Ciudad Quesada se encuentra a una elevación media de 650 m s.n.m y posee una población estimada para el 2011 de 44 583 habitantes, por lo que es la ciudad más densamente poblada de la zona norte del país y con mayor extensión, alcanzando aproximadamente 10 km^2 (INEC, 2011). No se cuenta con datos actualizados de la población.

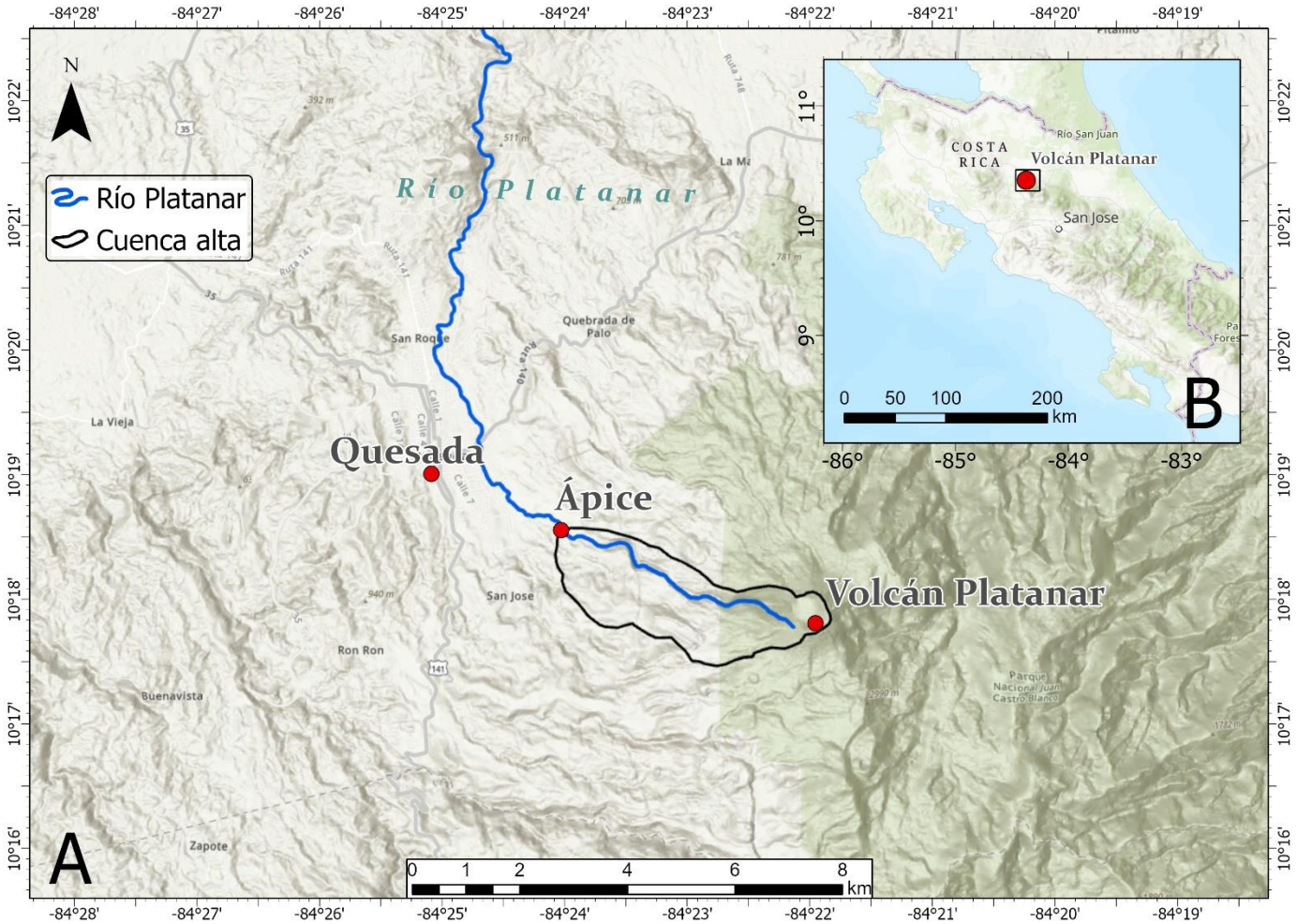


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca alta del río Platanar. (B) El mapa muestra la ubicación del sitio de estudio en el cantón de San Carlos. (A) La figura muestra la cima del volcán Platanar, el ápice del abanico aluvial y ciudad Quesada.

METODOLOGÍA

Se utilizó el programa de modelamiento hidráulico Flo-2D, los resultados de los modelos fueron sobrepuestos con información oficial de población e infraestructura del Instituto de Estadística y Censos (INEC), información catastral del cantón de San Carlos disponible en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) y mapeos en campo.

Análisis morfométrico de la cuenca y generación insumos para el modelo hidráulico

El análisis morfométrico de la cuenca y alrededores se basó en el procesamiento geomático de un modelo de elevación digital (DTM por sus siglas en inglés *Digital Terrain Model)* con resolución espacial de 10 m x 10 m píxel. Tres índices de relieve fueron calculados para interpretar las condiciones morfométricas del relieve; (i) pendientes, (ii) índice de rugosidad del terreno (TRI por sus siglas en inglés *Terrain Ruggedness Index*) e (iii) índice de transporte de sedimentos (STI por sus siglas en inglés *Sediment Transport Index*). La pendiente del relieve es un factor determinante en la generación de lahares, puesto que las condiciones topográficas pueden favorecer su disparo (Chen y Yu, 2011). Las pendientes se calcularon en el módulo de *Spatial Analyst* de ArcGIS Pro 2.5. La rugosidad de un terreno puede ser un indicador de procesos de superficie y geodinámica externa y es útil para identificar procesos deposicionales y erosivos (Bovis y Jakob, 1999). En geomorfología, los datos de rugosidad (TRI) pueden ser de gran utilidad para analizar depósitos fluviales y gravitacionales (Carrara et al., 2008). La rugosidad fue calculada en el Sig Saga 2.3 (Olaya y Conrad, 2009). Por su parte, el índice de transporte de sedimentos (STI por sus siglas *Sediment Transport Index*), por su parte, es un índice derivado del cálculo de la potencia de flujo (SPI por sus siglas *Stream Power Index*) (De Roo, 1998), el cual es de particular utilidad para identificar zonas propensas a generar sedimentos por procesos de erosión laminar y de remoción en masa como deslizamientos (Chen y Wang, 2017). STI fue calculado con la extensión de Whitebox 3.4 para ArcMap 10.8 (Lindsay, 2016). Los valores de los índices fueron estandarizados y determinada su autocorrelación espacial mediante el método de la I de Morán en el módulo de *Geostatistical Analyst* en ArcMap 10.8 (Scott y Janikas, 2010)

Los insumos de topográficos y de calibración hidráulica fueron preparados en la extensión de Flo-2D para QGIS 3.4 a partir del modelo de elevación (DTM) 10 m x 10 m, una imagen satelital Landsat-8 de 30 m de resolución espacial y adicionalmente imágenes de *Google Earth* con una resolución de 15 m. El DTM fue utilizado para elaborar los archivos de drenajes, llanura de inundación (*floodplain*), secciones transversales de canales y grilla de transmisión de flujos bidimensional (O'Brien et al., 1993). Las imágenes RGB (verdadero color) Landsat-8 y *Google Earth* fueron utilizadas para digitalizar la cobertura del uso del suelo de la cuenca alta y la mayoría de ciudad Quesada. La cobertura del suelo se clasificó en 3 categorías (Tabla 1); (i) zonas urbanizadas, (ii) zonas con vegetación y (iii) canal principal. Las categorías se les asignó un coeficiente de rugosidad de Manning; este determina la resistencia de un fluido al desplazarse sobre una determinada superficie (Zhang et al., 2010).

Las características de los lahares fueron calibradas a partir del informe del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) publicado en 1965, que al momento en Costa Rica sigue siendo un parámetro de referencia para la calibración de lahares por su detalle en los eventos de 1963-1965 en el volcán Irazú (ICE, 1965). De igual manera, la densidad específica de los lahares fue calibrada en función de los datos del ICE, donde un total de 73 muestras resultaron en un rango de densidad entre 1200 y 1980 kg/m^3, con un promedio de 1540 kg/m^3. La densidad, distribución de tamaño de partículas y concentración volumétrica, fueron también calibradas a partir del informe del ICE (Cuadro 1). El tiempo de simulación de los eventos fue de 45 minutos para simular un evento, repentino, veloz y una sola avenida aislada. Los eventos tratan de simular una inundación repentina o *flash flood* (Hapuarachchi et al., 2011).

En el cuadro 1 se presentan los parámetros de calibración del modelo hidráulico bidimensional. Los datos de rugosidad de Manning fueron obtenidos a partir de la fotointerpretación de una imagen satelital. Los parámetros de lahar fueron obtenidos a partir de ICE (1965). El tiempo de simulación fue definido arbitrariamente para emular una inundación repentina.

Cuadro 1. Parámetros de calibración del modelo hidráulico bidimensional.

Resolución topográfica (DTM)	10 mx10 m píxel
Coeficientes de Manning	n = 0.035 Canal principal
	n = 0.45-0.65 Vegetación
	n = 0.09 Zonas urbanizadas
Densidad del fluido	1540 kg/m^3
Concentración volumétrica	C_v = 0.51 %
Tiempo de simulación	45 min

Nota: Los datos de rugosidad de Manning fueron obtenidos a partir de la fotointerpretación de una imagen satelital. Los parámetros de lahar fueron obtenidos a partir de ICE (1965). El tiempo de simulación fue definido arbitrariamente para simular una inundación repentina.

Alcances y limitaciones del modelamiento hidráulico bidimensional

El modelamiento hidráulico de lahares es una técnica ampliamente reconocida a nivel mundial para brindar datos estadísticamente significativos para la toma de decisiones respecto a la gestión del riesgo de desastres (Cesca y D'Agostino, 2008; Calligaris et al., 2008; Wu et al., 2013). Los modelos hidráulicos han sido incorporados en la legislación y normativa para el ordenamiento territorial de múltiples países y estos modelos son continuamente actualizados de acuerdo con el crecimiento urbano y la dinámica poblacional (Coeur y Land, 2008; Mustafa et al., 2018; Park y Lee, 2019). Sin embargo, para que los modelos hidráulicos funcionen óptimamente, se necesitan insumos cruciales para la calibración. En primero lugar es necesario contar con información topográfica y de superficie de calidad que refleje adecuadamente las condiciones del terreno y la morfología de canales. La información de superficie es un insumo adicional, pero que se vuelve esencial a la hora de simular flujos en ambientes urbanos, donde la información altimétrica de superficie involucra todos aquellos objetos que no sean parte del terreno (infraestructura, vegetación y obstáculos antrópicos o naturales). Para ello, es necesario conocer el efecto que tienen las estructuras como puentes y edificios sobre el flujo simulado (Hashemi-Beni et al., 2018). Para la presente investigación se utilizó un modelo con resolución píxel de 10 m x 10 m, una resolución que bien da una fiel aproximación del comportamiento del lahar, pero no permite analizar los impactos de estructuras ni mucho menos analizar con detalle el comportamiento adentro del canal (Cook y Merwade, 2009).

En segundo lugar, para modelar lahares o cualquier inundación se requiere de información hidrológica para la calibración (registro de caudales, curva de desgaste e información hidroclimatológica). Finalmente, en tercer lugar, se necesita información sedimentológica para calibrar el lahar, en términos de su distribución de partículas, densidad, relación agua-sedimentos, viscosidad cinemática entre otros parámetros (Manville et al., 2013).

Un total de 4 eventos de lahar fueron calibrados con diferentes hidrogramas elaborados en HEC-HMS. Los lahares fueron simulados en el software licenciado Flo-2D. Puesto que para la cuenca de estudio no hay información hidrológica disponible, por lo tanto, los caudales fueron definidos a partir del evento histórico del lahar de 1963 en el río Reventado (Evento 3), que tuvo un caudal máximo de 407 m^3/s (ICE, 1965). A partir de dicho evento se calibraron dos eventos con menor intensidad y uno de mayor intensidad, todos con el mismo tiempo de simulación (45 minutos) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Volúmenes acumulados y caudal máximo de los eventos simulados.

	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4
Volumen acumulado (m^3)	34 200	58 500	197 100	288 450
Caudal máximo (m^3/s)	76	130	407	640

ANÁLISIS

Los resultados de los modelos hidráulicos resultantes (Eventos 1, 2, 3 y 4, Cuadro 2) fueron sobrepuestos con información geoespacial oficial disponible. Para la población potencialmente afectada se realizó un análisis cruzado entre la extensión del evento de lahar con la información de unidades geoestadísticas mínimas (UGM) del censo del INEC (2011). La cantidad de infraestructura fue mapeada en campo con receptores Sistemas Globales de Navegación Satelital (GNSS) y, adicionalmente, estimada con información catastral del SNIT. Ambos análisis tanto de población e infraestructura fueron realizados en ArcGIS Pro 2.5. A pesar de las limitaciones respecto a la información necesaria para las calibraciones, los resultados muestran una aproximación satisfactoria del comportamiento de un lahar en ciudad Quesada.

Características morfométricas del relieve

La cuenca alta del río Platanar (delimitada a partir de su ápice estimado) tiene un área de 6.4 km^2 con un rango de elevación entre 2183 y 639 m s.n.m., con un promedio de 1323 m s.n.m. El río Platanar desciende aproximadamente 1300 m en menos de 4.6 km de recorrido. El rango de pendientes de la cuenca está entre 1° y 63°, con un promedio de 50.8°. Las pendientes de la cuenca en su mayoría son fuertemente onduladas y exceden los 45°, en la parte más alta cercana al cráter, donde existen cicatrices de deslizamientos y zonas escarpadas que exceden los 60°. La rugosidad tiene un valor adimensional con un rango de 0 (bajo) a 1 (alto). El TRI indica una rugosidad media-alta en más del 75 % de la cuenca. En las partes más cercanas al cráter se observan los valores más altos. El promedio de STI de la cuenca muestra valores altos y muy altos en más del 60 % de la cuenca. Hay una correlación geoestadística significativa entre los 3 insumos (pendiente, TRI y STI). Los valores de las pruebas de hipótesis de correlación espacial entre variables mostraron I = 0.81, resultando en una fuerte relación entre índices. Los índices visualmente muestran una fuerte relación espacial en la parte alta de la cuenca y las laderas (Figura 2).

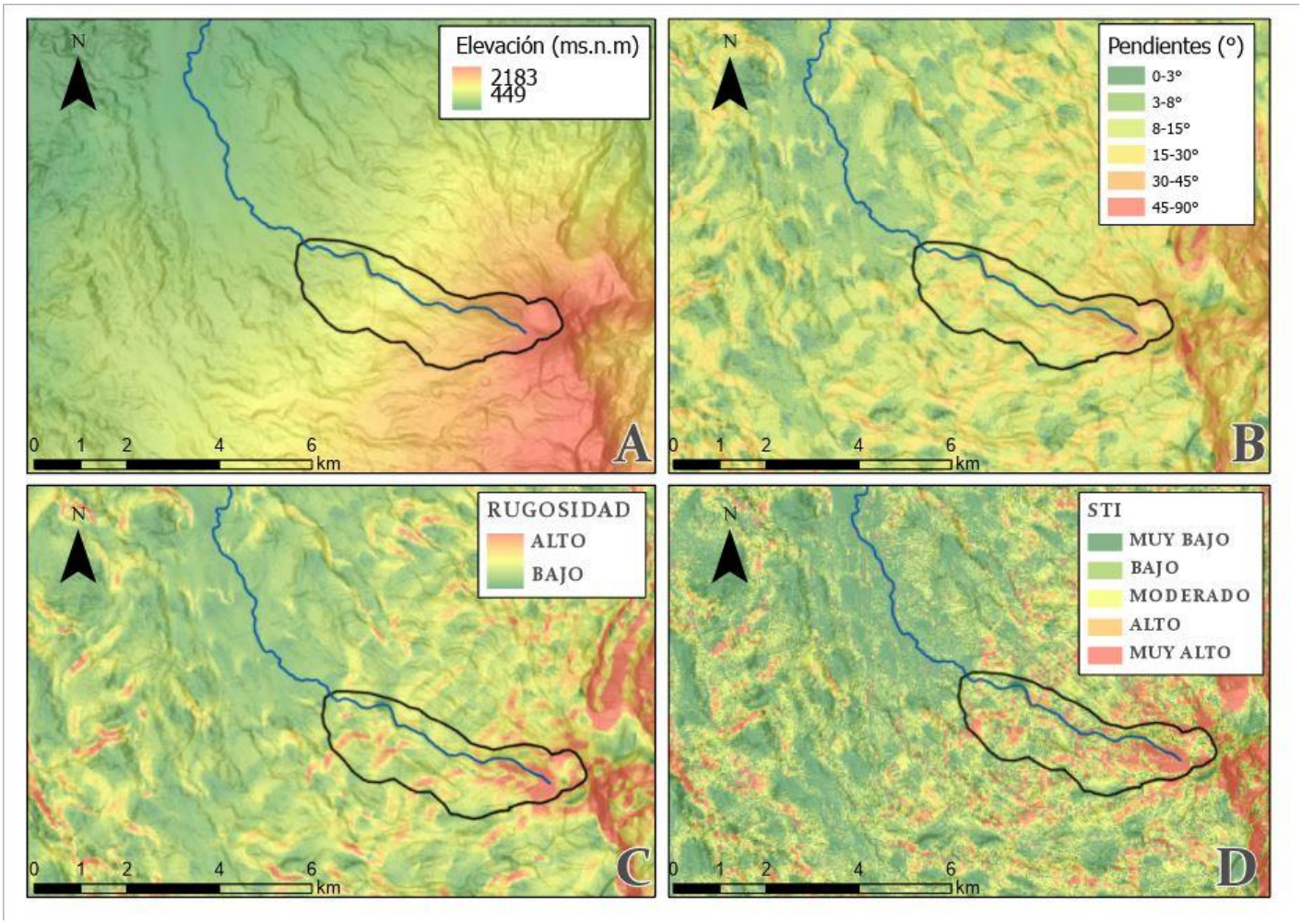


Figura 2. Índices morfométricos para la calibración e interpretación de lahares en la cuenca del río Platanar. A) Elevaciones, B) Pendientes, C) Rugosidad y D) STI. Los valores más altos de pendientes, rugosidad y STI se encuentran en cercanos al cráter, por encima de los 1900 m s.n.m, en la parte baja de la cuenca los valores de todos los índices disminuyen.

Los índices del relieve de la cuenca dan indicios de que el río Platanar tiene el potencial para generar eventos de lahar. El sector oeste del cráter del volcán Platanar muestra los valores más altos de todos los índices del relieve. Una fotografía aérea muestra un risco de aproximadamente 300 m de altura (Figura 3). Las paredes del risco tienen evidencia de desprendimientos y muestran una serie de drenajes con pendientes superiores a los 70°, formando una serie de cascadas. Dados los resultados de los índices del relieve, se considera que el sitio mostrado es el lugar más propenso para generar un evento de lahar. Por ello, fue definido como punto de partida para los lahares que potencial y eventualmente podrían afectar a ciudad Quesada (Figura 3).

Figura 3. Fotografía aérea oblicua de la cima del volcán Platanar (2183 m s.n.m) y el punto de partida (1767 m s.n.m) de las simulaciones de lahar en la cuenca. Nótese la fuerte pendiente (>60°) del risco entre el cráter del Platanar y el punto de inicio de las simulaciones. Fotografía de Douglas Vargas (web RSN).

Escenarios de lahar en el río Platanar

Los lahares simulados tardaron en promedio 16 minutos desde el inicio del recorrido en la cima del volcán Platanar hasta llegar al ápice del abanico aluvial. La velocidad promedio de los flujos es de 3.2 m/s (11.5 km/h). En las partes intermedias de la cuenca la velocidad del flujo puede llegar a los 4.8 m/s (17.2 km/h). Los lahares al llegar al ápice duran de 13 a 16 minutos de avance frontal y se detienen luego de 29 minutos a partir de su salida en el cráter del volcán (Figura 4).

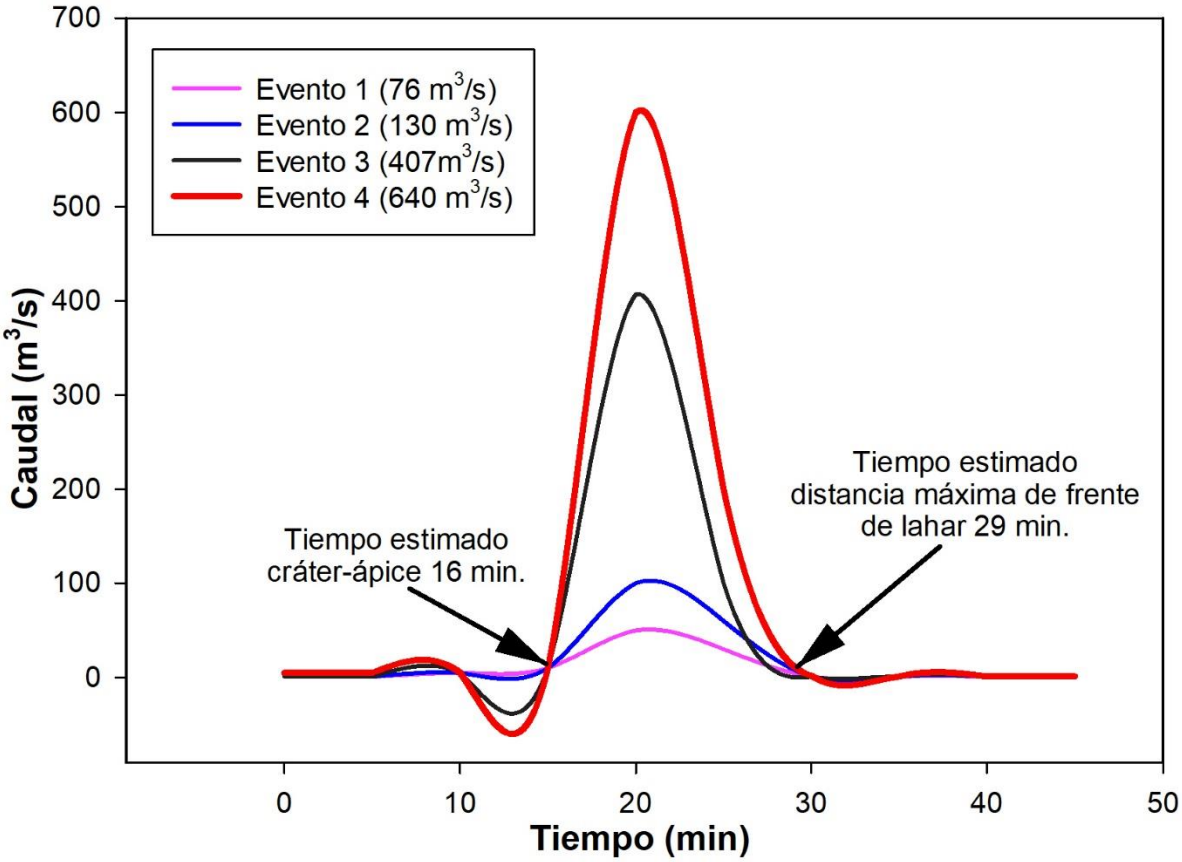


Figura 4. Hidrogramas de los lahares simulados. Los lahares duran aproximadamente 16 minutos desde el cráter del volcán Platanar al ápice.

La geomorfología fluvial de la cuenca juega un papel importante en el comportamiento de los lahares. En términos generales, los ríos tienen valles disectados y profundos, de laderas abruptas, que confinan los lahares. El río luego de alcanzar el punto de ápice continúa en secciones disectadas y profundas durante su recorrido por ciudad Quesada, por ello resulta importante tener en cuenta las características de la geomorfología fluvial a la hora de interpretar las simulaciones, ya que explican los sitios de desbordamiento e inundación.

El evento 1 tuvo un acumulado de sedimentos transportados de 34 200 m^3 en 45 minutos. El caudal máximo del evento alcanzó 76 m^3/s (Figura 5). Este evento se mantiene en su mayoría confinado en el cañón del río. El modelo muestra un área potencial de inundación de 9.07 hectáreas, sin embargo, las profundidades serían por debajo de los 20 cm. Los desbordamientos del río alcanzan una profundidad máxima de 20 cm. La profundidad máxima registrada en este evento es de 1.1 m y ocurre en el cauce principal del río. La simulación indica que un evento de esta magnitud no afectaría la ciudad. Sin embargo, dejaría gran cantidad de material disponible adentro del cauce, con una profundidad promedio de 0.6 m.

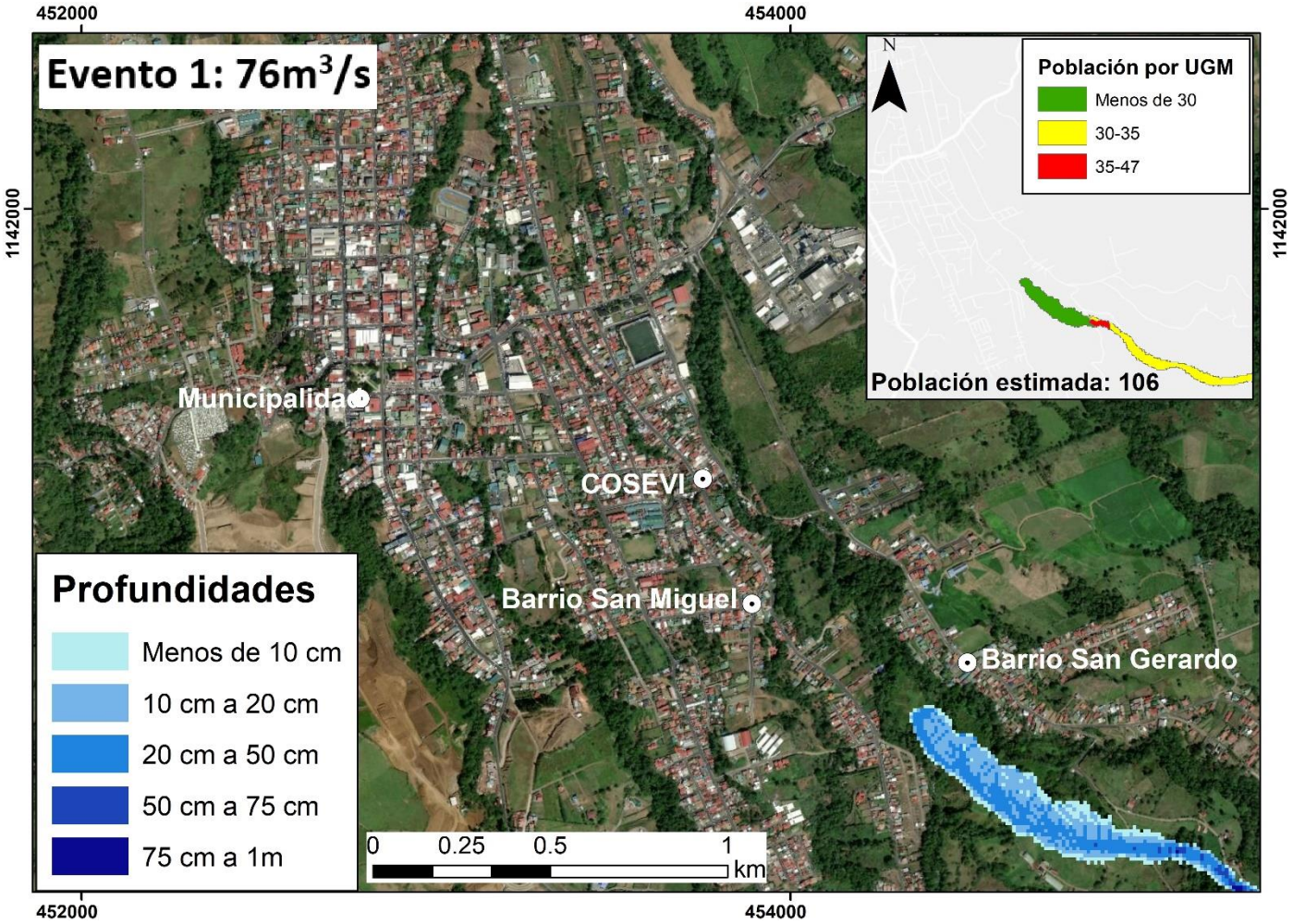


Figura 5. Evento 1 de simulación de lahares en ciudad Quesada. El mapa muestra la extensión y profundidad del lahar. El flujo mayor se extiende a una altitud aproximada de 845 m s.n.m. Sistema de coordenadas CRTM05.

El evento 2 tuvo un acumulado de 58 500 m^3 en 45 minutos (Figura 6). El caudal máximo es de 130 m^3/s. Este evento presentó un desbordamiento pequeño en ambos lados del cauce generando inundaciones entre los 10 cm y 75 cm de profundidad. La extensión de la inundación se estimó en 46.6 hectáreas. La mayor profundidad se registró en el cauce con 1.6 m. Las inundaciones que afectan zonas pobladas no exceden los 75 cm de profundad. El lahar se detiene cercano al plantel de COSEVI de la ciudad.

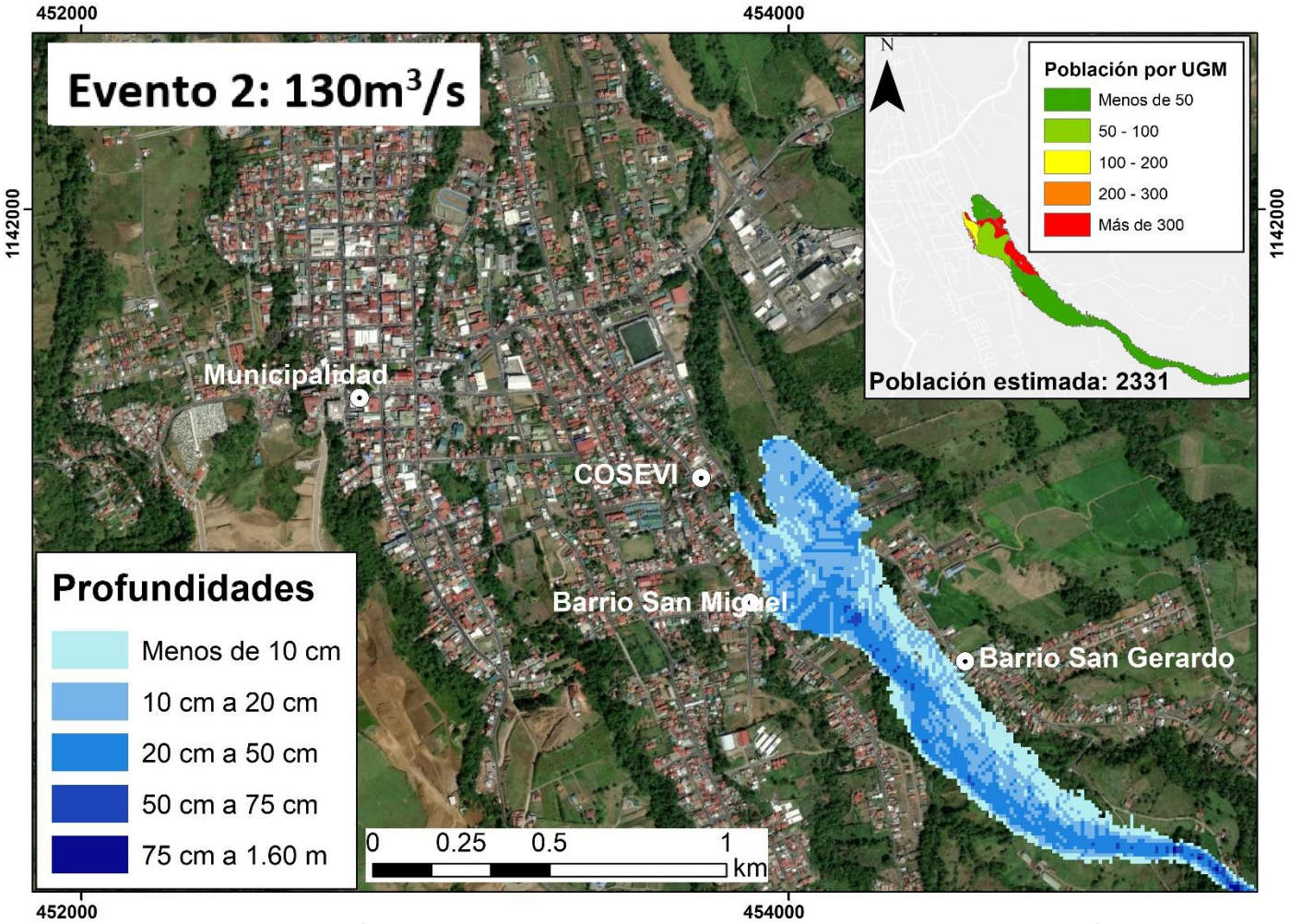


Figura 6. Evento 2 de simulación de lahares en ciudad Quesada. El mapa muestra la extensión y profundidad del lahar. El flujo principal alcanza hasta una altitud aproximada de 691 m s.n.m. Sistema de coordenadas CRTM05.

El evento 3 es una recreación aproximada del lahar ocurrido en diciembre de 1963 en el río Reventado, Cartago. Tuvo un acumulado de material transportado 197 100 m^3 en 45 minutos (Figura 7). El caudal máximo fue de 407 m^3/s. Este evento genera una importante inundación estimada en 100 hectáreas. El 85 % del área de inundación alcanza profundidades menores a los 50 cm. Las mayores profundidades se registran en el canal principal y zonas cercanas al río, especialmente en secciones de deflexión del río. Estas curvas en el canal generan importantes desbordamientos posiblemente intensa erosión lateral en el canal. La mayor profundidad del evento es de 1.8 m. Zonas adyacentes al canal (>15 m de distancia) alcanzan profundidades de hasta 1.4 m. El evento con mayor carga de sedimentos llegaría hasta las cercanías de la industria FEMSA con una altitud de 580 m s.n.m.

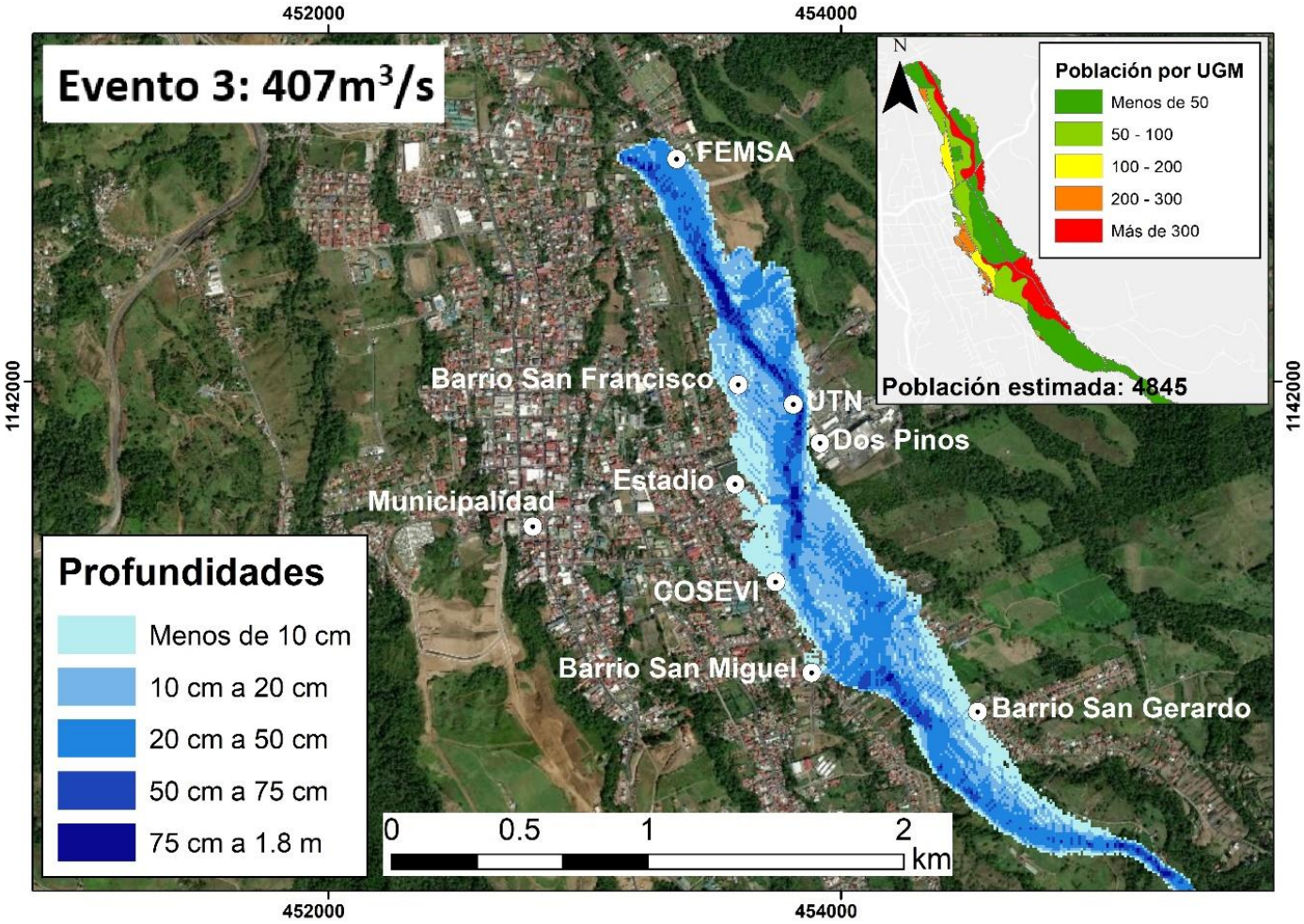


Figura 7. Evento 3 de simulación de lahares en ciudad Quesada. El mapa muestra la extensión y profundidad del lahar. El lahar mayor alcanza hasta una altitud aproximada de 580 m s.n.m. Sistema de coordenadas CRTM05.

El evento 4 es el de mayor magnitud, con 288 450 m^3 de material transportado y un caudal máximo de 640 m^3/s, por lo que causaría una gran inundación en la ciudad, superando 218 hectáreas (Figura 8). Claramente este evento es el menos probable de ocurrir. Más del 70 % del área potencialmente afectada alcanzaría profundidades entre los 50 cm y 1.5 m. Las mayores profundidades se registraron en el cauce principal con un máximo de 2.1 m. A la altura del cementerio Valle Dorado ocurre una bifurcación del flujo, donde las condiciones topográficas causan una desviación hacia el noreste en dirección a barrio San Pablo. El flujo mayor se detiene en 3 sitios (530 m s.n.m): hospital de San Carlos, barrio Selva Verde y barrio San Pablo. A pesar de la magnitud del evento, la mayoría del material se mantiene en el cauce, dadas las condiciones geomorfológicas del río (canal disectado profundo con laderas verticales).

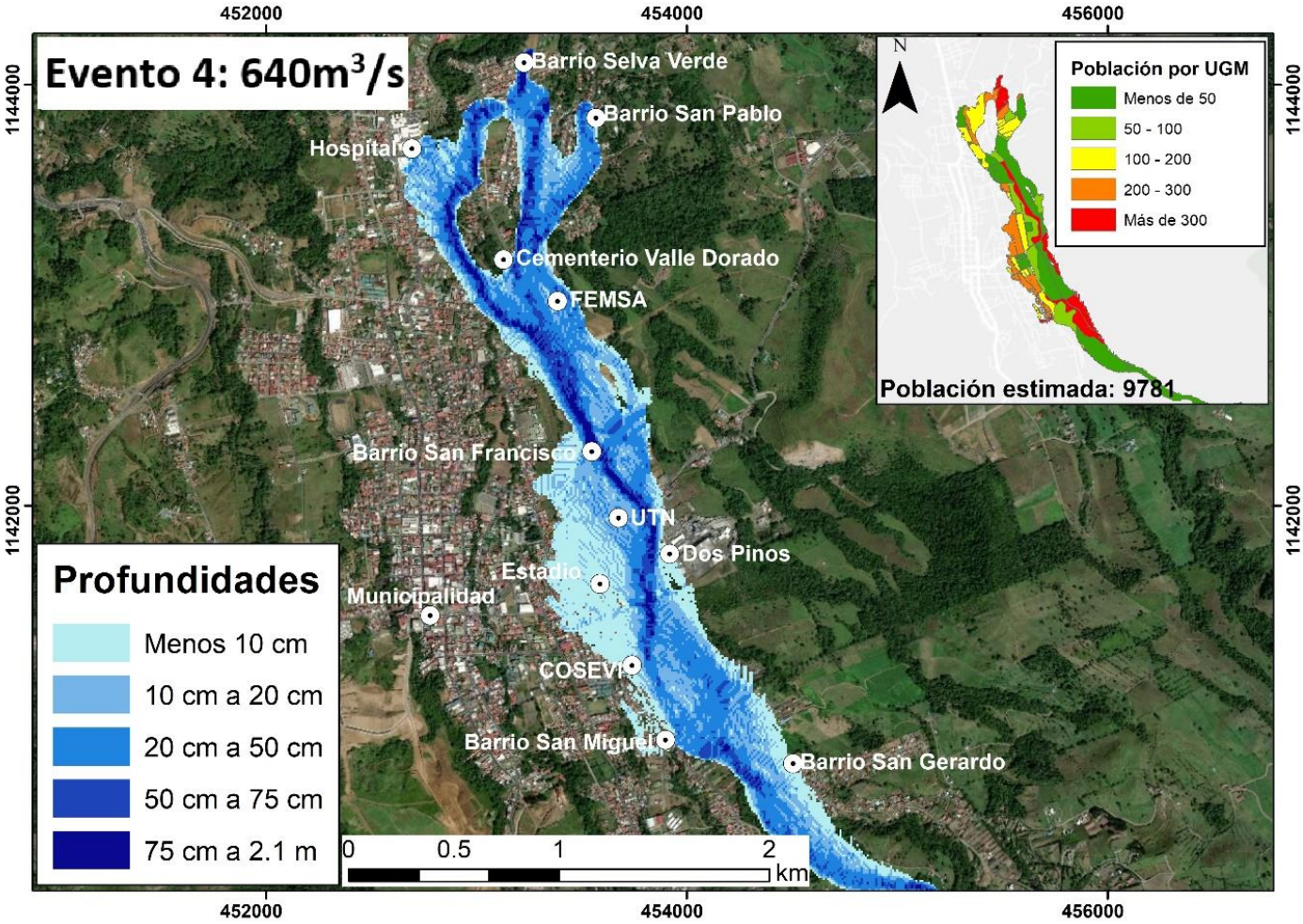


Figura 8. Evento 4 de simulación de lahares en ciudad Quesada. El mapa muestra la extensión y profundidad del lahar. El lahar mayor se detiene a una altitud aproximada de 530 m s.n.m. Sistema de coordenadas CRTM05.

CONCLUSIONES

La cuenca alta del río Platanar tiene un terreno rugoso y escarpado, caracterizado por fuertes pendientes, gran espesor de suelos volcánicos, alta precipitación pluvial, donde los índices muestran un importante potencial para movilizar grandes volúmenes de sedimentos. A pesar de las limitaciones respecto a la información base para la calibración de los eventos, los modelos muestran satisfactoriamente la extensión, profundidad y velocidad de diferentes eventos de lahares, ya sea disparados por sismos, lluvias intensas o actividad volcánica, aportando una aproximación de los posibles impactos que tendría en ciudad Quesada. La cantidad de población e infraestructura que podría ser afectada depende directamente de la magnitud del evento. El menor evento, de acuerdo con la simulación, aparenta no representar un peligro para la ciudad, sin embargo, eventos mayores sugieren la afectación de cientos de estructuras y miles de personas viviendo adentro del área potencial de inundación. Claramente, los eventos 3 y 4 son menos probables, aunque un sismo importante en temporada de lluvia podría disparar un lahar similar a los que se han presentado en la cuenca alta de los ríos Toro y Sarapiquí en tiempo histórico.

La cantidad de personas que viven en el área de inundación fue estimada a partir de los datos del censo 2011 (INEC), algo antigua pero la única disponible, por lo que probablemente la población actual de ciudad Quesada ronde los 50 000 habitantes o más. Mientras que la cantidad de infraestructura fue calculada a partir levantamientos en campo y la consulta de la información catastral disponible en el SNIT para el 2019. El cuadro 3 resume los posibles efectos de los lahares en la ciudad.

Cuadro 3. Posibles efectos de los lahares en ciudad Quesada.

	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4
Población estimada por UGM	106	2331	4845	9781
Estructuras potencialmente afectadas	9	67	219	804
Área potencial de inundación (ha)	9.0	46.6	99.9	218.1
Recorrido (km)	4.1	5.8	7.1	8.2
Profundidad máxima (m)	1.1	1.6	1.8	2.1
Velocidad máxima en el ápice (km/h)	8.2	11.5	16.2	17.2

Como es de esperar, la cantidad de estructuras y población potencialmente afectada aumenta conforme aumenta el área potencial de inundación. El evento 1 muestra poca afectación en cuanto a estructuras, principalmente puentes y obras viales. Según los UGM, la cantidad de población es de 106 personas. El evento 2 aumenta más de 20 veces la cantidad de población que podría ser afectada, esto porque el lahar inunda algunos barrios residenciales como San Gerardo. La infraestructura identificada ronda las 50 viviendas y algunos puentes y obras viales. El evento 3 (réplica del río Reventado en 1963) aumenta considerablemente la probabilidad de afectar población e infraestructura, donde 4845 personas viven adentro del área de inundación según los UGM y se estimaron más de 200 estructuras que podrían ser afectadas, incluyendo varios comercios, estructuras gubernamentales, gasolineras, escuelas y líneas vitales como la subestación eléctrica de la ciudad. De acuerdo con las simulaciones y la sobreposición de información levantada, el evento 4 de mayor magnitud tiene una preocupante capacidad para afectar la ciudad, superando las 9000 personas y alrededor de 800 estructuras que podrían ser afectadas.

RECOMENDACIONES

Los resultados de estas simulaciones, pese a las limitaciones del modelamiento hidráulico bidimensional, deberían de aplicarse a diversos poblados y ciudades ubicadas en abanicos aluviales activos y piedemontes (volcánicos o no), para una adecuada gestión del riesgo y ordenamiento territorial, para realizar una mejor planificación del desarrollo urbano e industrial, destinando sectores con peligrosidad elevada para otros usos (cultivos, ganadería, parques, instalaciones deportivas).

Tal y como se dijo al inicio, desgraciadamente, los únicos datos completos sobre eventos laháricos están en el antiguo informe del ICE (1965), por lo que se recomienda que estudios similares se realicen con el fin de contar con información similar en otras cuencas.

Finalmente, se llama la atención que se desconoce cuándo fue el último periodo eruptivo del Platanar. Aunque las capas piroclásticas poseen un estado avanzado de meteorización y suelos espesos se han desarrollado, resulta imperante tener datos radiométricos de los últimos periodos eruptivos con el fin de tener una mejor estimación de la peligrosidad volcánica.

Agradecimientos: Al Dr. Christian Birkel y los proyectos 217-C0-168-UCR Geomorfología Fluvial de Alta Resolución en Costa Rica, OACG (ED-3319) y UCREA (B8276) por el financiamiento y colaboración en esta investigación. Un especial agradecimiento a los estudiantes de los grupos 1-2 del curso de Cartografía Básica UCR II-2019, por su colaboración en la recolección de información en el campo. Un agradecimiento especial a los dos revisores por sus sugerencias y correcciones en este texto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, I. y Alvarado, G. E. (2014). Pérdidas humanas y económicas causadas por el vulcanismo en Costa Rica entre 1953 y 2005. *Revista Geológica de América Central*, 51, 93-128.

Alvarado, G. E. (2010). Aspectos geohidrológicos y sedimentológicos de los flujos de lodo asociados al terremoto de Cinchona (Mw 6, 2) del 8 de enero del 2009, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 43, 67-96.

Alvarado, G. E. (2021). *Costa Rica y sus volcanes*. EUCR, EUNA ETCR, San José.

Alvarado, G. E. y Carr, M. J. (1993). The Platanar-Aguas Zarcas volcanic centers, Costa Rica: spatial-temporal association of Quaternary calc-alkaline and alkaline volcanism. *Bull. Volcanol.*, 55, 443-453.

Alvarado, G. E., Fallas, B., Vargas, V., Vega, E., Bakkar, H., y Barrantes, G. (2017). Los lahares del volcán Miravalles disparados por el huracán Otto (24 de noviembre del 2016), Costa Rica: Meteorología, sedimentología, periodos de recurrencia, alerta temprana y recomendaciones. Instituto Costarricense de Electricidad [Informe interno].

Alvarado, G. E., Morales, L. D., Montero, W., Climent, Á. y Rojas, W. (1988). Aspectos sismológicos y morfotectónicos del extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central. *Revista Geológica de América Central*, 9, 75-98.

Alvarado, G. E., y Schmincke, H. U. (1994). Stratigraphic and sedimentological aspects of the rain triggered lahars of the 1963-1965 Irazú eruption, Costa Rica. *Zbl. Geol. Palaont.* Teil, 1, 513-530.

Bovis, M. J., y Jakob, M. (1999). The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. *Earth surface processes and landforms*, 24(11), 1039-1054.

Calligaris, C., Boniello, M. A., y Zini, L. (2008). Debris flow modelling in Julian Alps using FLO-2D. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 60, 81-88.

Carrara, A., Crosta, G., & Frattini, P. (2008). Comparing models of debris-flow susceptibility in the alpine environment. Geomorphology, 94(3-4), 353-378.

Cesca, M., y D'Agostino, V. (2008). Comparison between FLO-2D and RAMMS in debris-flow modelling: a case study in the Dolomites. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 60, 197-206.

Chen, C. Y., y Wang, Q. (2017). Debris flow-induced topographic changes: effects of recurrent debris flow initiation. *Environmental monitoring and assessment*, 189(9), 449.

Chen, C. Y., y Yu, F. C. (2011). Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS. *Geomorphology*, 129(3-4), 387-397.

Cœur, D., y Lang, M. (2008). Use of documentary sources on past flood events for flood risk management and land planning. Comptes Rendus Geoscience, 340(9-10), 644-650.

Cook, A., & Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration, and modeling approach on flood inundation mapping. Journal of hydrology, 377(1-2), 131-142.

De Roo, A. P. J. (1998). Modelling runoff and sediment transport in catchments using GIS. *Hydrological processes*, 12(6), 905-922.

Fagents, S. A., Gregg, T. K., & Lopes, R. M. (Eds.). (2013). Modeling volcanic processes: the physics and mathematics of volcanism. Cambridge University Press.

Hapuarachchi, H. A. P., Wang, Q. J., y Pagano, T. C. (2011). A review of advances in flash flood forecasting. *Hydrological processes*, 25(18), 2771-2784.

Hashemi-Beni, L., Jones, J., Thompson, G., Johnson, C., y Gebrehiwot, A. (2018). Challenges and opportunities for UAV-based digital elevation model generation for flood-risk management: A case of Princeville, North Carolina. *Sensors*, 18(11), 3843.

ICE. (1965). *Informe sobre el problema del río Reventado*. Instituto Costarricense de Electricidad, San José [Informe interno].

INEC. (2011). *X censo nacional de población y VI de vivienda 2011: características sociales y demográficas*. Costa Rica: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

Janda, R. J., Scott, K. M., Nolan, K. M., Martinson, H. A., Lipman, P. W., y Mullineaux, D. R. (1981). Lahar movement, effects, and deposits.

Lindsay, J. B. (2016). Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis. *Computers & Geosciences*, 95, 75-84.

Montero, W., Soto, G. J., Alvarado, G. E. y Rojas, W. (2010). División del deslizamiento tectónico y transtensión en el macizo del volcán Poás (Costa Rica), basado en estudios neotectónicos y de sismicidad histórica. *Revista Geológica de América Central*, 43, 13-36.

Mustafa, A., Bruwier, M., Archambeau, P., Erpicum, S., Pirotton, M., Dewals, B., y Teller, J. (2018). Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments. *Journal of environmental management*, 225, 193-204.

O'Brien, J. S., Julien, P. Y., & Fullerton, W. T. (1993). Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *Journal of hydraulic engineering*, 119(2), 244-261.

Okunishi, K., y Suwa, H. (2001). Assessment of debris-flow hazards of alluvial fans. *Natural Hazards*, 23(2-3), 259-269.

Olaya, V., y Conrad, O. (2009). Geomorphometry in SAGA. Developments in soil science, 33, 293-308.

Papanicolaou, A. T. N., Elhakeem, M., Wilson, C. G., Burras, C. L., West, L. T., Lin, H. H., ... y Oneal, B. E. (2015). Spatial variability of saturated hydraulic conductivity at the hillslope scale: Understanding the role of land management and erosional effect. *Geoderma*, 243, 58-68.

Park, K., y Lee, M. H. (2019). The development and application of the urban flood risk assessment model for reflecting upon urban planning elements. *Water*, 11(5), 920.

Scott, L. M., y Janikas, M. V. (2010). Spatial statistics in ArcGIS. In *Handbook of applied spatial analysis* (pp. 27-41). Springer, Berlin, Heidelberg.

Scotti, V., Giannini, M., y Cioffi, F. (2020). Enhanced flood mapping using synthetic aperture radar (SAR) images, hydraulic modelling, and social media: A case study of Hurricane Harvey (Houston, TX). *Journal of Flood Risk Management*, e12647.

Solano, J., & Villalobos, R. (2000). Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. San José: Instituto Meteorológico Nacional. Instituto Meteorológico Nacional. Recuperado de www. imn. ac. cr.

Wu, Y. H., Liu, K. F., y Chen, Y. C. (2013). Comparison between FLO-2D and Debris-2D on the application of assessment of granular debris flow hazards with case study. *Journal of Mountain Science*, 10(2), 293-304.

Zegers, G., Mendoza, P. A., Garces, A., y Montserrat, S. (2020). Sensitivity and identifiability of rheological parameters in debris flow modeling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(7), 1919-1930.

Zhang, G. H., Luo, R. T., Cao, Y., Shen, R. C., y Zhang, X. C. (2010). Impacts of sediment load on Manning coefficient in supercritical shallow flow on steep slopes. *Hydrological Processes*, 24(26), 3909-3914.

Revista En Torno a la Prevención, número 26, junio 2021 pp-17-24
ISSN 1659-3057 • E-ISSN 2215-3845

INUNDACIONES EN EL CANTÓN LA UNIÓN, CARTAGO, COSTA RICA

Jorge Eduardo Rodríguez Campos
Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), San José, Costa Rica

Mario Fernández Arce
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica
mario.fernandezarce@ucr.ac.cr[1]

RESUMEN

Se hizo un reconocimiento de las áreas inundables de cantón La Unión y de los sitios afectados por los incidentes de los últimos años, el cual incluye un análisis del potencial de inundación del Río Chiquito, una descripción de los incidentes recientes y las acciones realizadas para reducir el riesgo. En la zona de estudio hay planicies de inundación a lo largo de los ríos y quebradas ocupadas por asentamientos humanos, situación que no ha sido adecuadamente manejada debido a la carencia de estudios completos, detallados y más generales. El objetivo del trabajo es contribuir con el manejo del riesgo del cantón. La cartografía se realizó con datos del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) y la descripción de los eventos recientes con información escrita en informes técnicos y notas de prensa. La vulnerabilidad física a las inundaciones se comprobó durante visitas al campo. La inundación es una de las amenazas más importantes del cantón La Unión y los sitios más afectados hasta la fecha son, San Diego, Río Azul, Concepción, y Tres Ríos.

Palabras clave: Inundación, Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Exposición

ABSTRACT

A recognition of the floodplain areas of La Unión canton and sites affected by the incidents of recent years was made, which includes an analysis of the flood potential of the Río Chiquito river, a description of recent incidents and the actions taken to reduce the risk. In the study area there are flood plains along the rivers and streams occupied by human settlements, a situation that has not been adequately managed due to the lack of complete, detailed and more general studies. The objective of the work is to contribute to the risk management of the canton. The cartography was carried out with data from the National Territorial Information System (SNIT) and the description of recent events with information written in technical reports and press releases. Physical vulnerability to flooding was verified during field visits. The flood is one of the most important hazards of La Unión canton and the most affected sites to date are San Diego, Río Azul, Concepción, and Tres Ríos.

Key words: Flood, Hazard, Vulnerability, Risk, Exposition.

INTRODUCCIÓN

En esta investigación se analizó la distribución de las inundaciones en el cantón La Unión (Figura 1) de Cartago, utilizando como herramienta los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin es realizar su respectiva cartografía. El trabajo incluye la identificación de las áreas inundable y tanto la ubicación de los incidentes de los últimos años como su descripción.

La investigación es necesaria porque en la zona de estudio se han manifestado eventos, cuya frecuencia se han ido incrementando en los últimos años. La Unión cuenta con planicies de inundación, ubicadas a lo largo de las márgenes de los cauces de ríos y quebradas, que pueden ser afectadas por caudales extraordinarios por lo que son potencialmente inundables. Por la expansión urbana, esas zonas planas suelen estar ocupadas por asentamientos humanos. Dicha situación provoca la reducción de la sección hidráulica o cauce de los ríos y quebradas, lo que constituye un factor que en porcentaje muy alto genera las inundaciones. A ello contribuye también el lanzamiento de desechos sólidos a los cauces, los inadecuados sistemas de alcantarillado, un proceso de alteración de las cuencas y microcuencas, cambios del uso de la tierra y la impermeabilización de los suelos.

[1] Escuela de Geografía

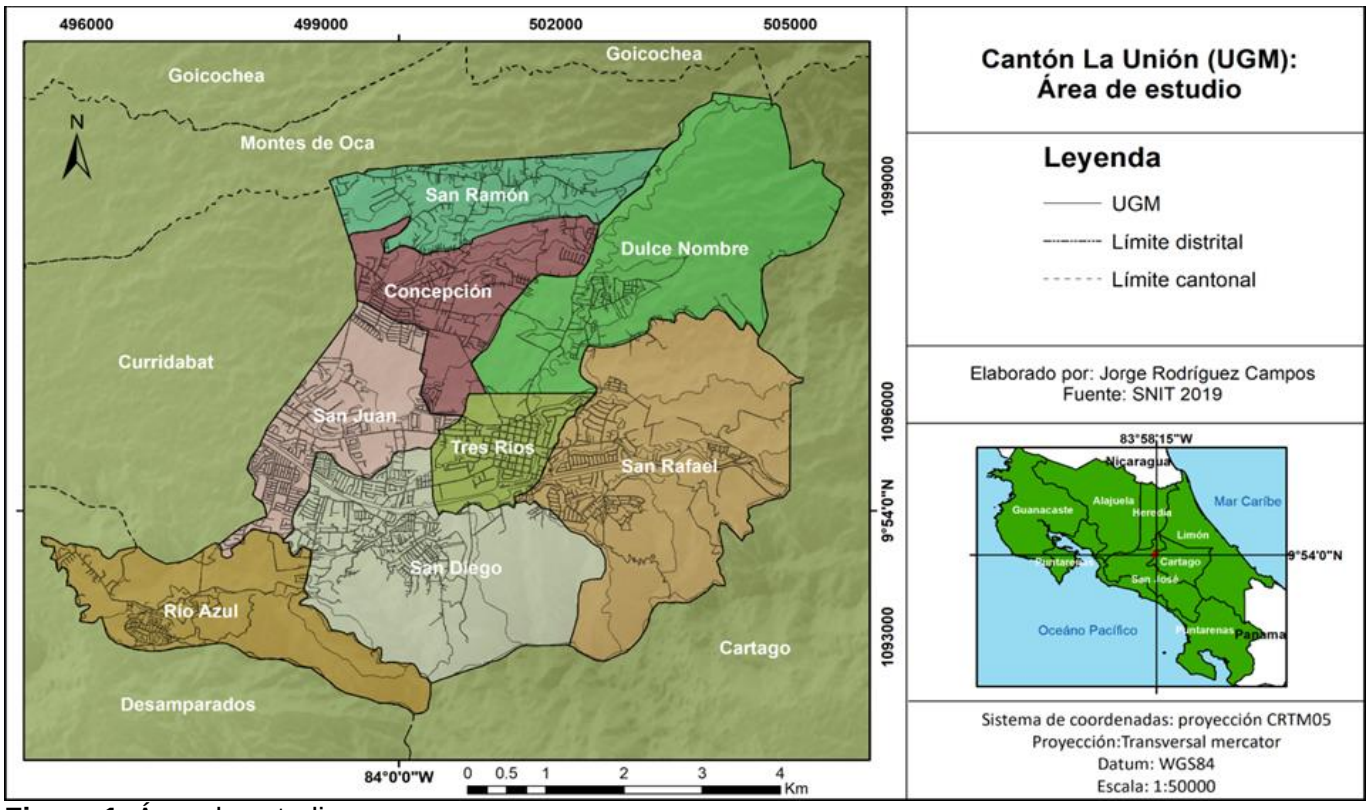


Figura 1. Área de estudio

Ha habido un manejo inadecuado o nulo de la situación por parte de las autoridades pertinentes, lo cual se fundamenta en la carencia de estudios técnicos e integrales sobre la amenaza. Por ello, este trabajo será una base fundamental para el manejo de la problemática de las inundaciones y servirá de insumo para la elaboración de un Plan Cantonal para la Gestión del Riesgo. Este estudio pretende mejorar la Gestión de Riesgo de Desastres (GRD) en el Cantón y dar al Gobierno Local un insumo para ello.

Para lograr el objetivo propuesto se recurrió a una capa de información sobre inundaciones del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), la cual fue procesada con la herramienta ArcGis 10.4 para generar el mapa de potencial de inundación de La Unión. Una exhaustiva investigación bibliográfica permitió conocer y ubicar los incidentes ocurrido en la zona en los últimos años. Estudios de campo fueron requeridos para verificar la información bibliográfica e identificar los asentamientos expuestos a las inundaciones.

La inundación es una de las más importantes amenazas del cantón La Unión y es la que ocurre con mayor frecuencia. Entre las localidades más afectadas por esta amenaza están Concepción, Los Llanos, Calle Naranjo y el Colegio Franco Costarricense. Estos eventos se deben a la construcción de asentamientos humanos en las planicies de inundación de los ríos y quebradas.

METODOLOGÍA

Las inundaciones del cantón fueron cartografiadas mediante la utilización del Software Qgis 3.12, utilizando la capa de potencial de inundación para el cantón La Unión elaborada por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), además, se utilizó las capas de división administrativa oficiales en formato shape del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) y la de Unidades Geoestadísticas Mínimas (UGMs) del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

Para la identificación de las inundaciones se realizó el análisis de informes técnicos y de situación elaborados por la CNE, que contienen la información de todos los eventos ocurridos en el Cantón y que están georeferenciados y plenamente validados. Ello implicó buscar los documentos, seleccionarlos, revisarlos y clasificarlos en orden de importancia por sus aportes a la investigación. Una vez hecha la clasificación, se procedió a extraer de los escritos

la información relevante para el estudio. La consulta bibliográfica también incluyó documentación especializada como la de periódicos, libros y artículos científicos.

A fin de verificar lo escrito sobre las inundaciones de La Unión y conocer los asentamientos expuestos se hicieron giras de campo. En estas visitas a las comunidades afectadas se reconoció el potencial de inundación y tomaron fotografías de los sitios afectados. Ellas fueron aprovechadas para conversar con los vulnerables sobre su condición y sobre los detalles de los eventos acaecidos.

RESULTADOS

La red fluvial del cantón La Unión (Figura 2) incluye dos de los ríos más importantes al Este de la Gran Área Metropolitana (GAM), a saber: Tiribí y María Aguilar. Otros cauces relevantes son Río Chiquito, Chahuite y Damas. Las áreas inundables asociadas con esos flujos de agua, determinadas por parte de la CNE mediante análisis geomorfológicos, también se muestran en el mapa de ríos y quebradas del municipio. En él se observa que centros de población como Concepción, Tres Ríos, San Juan, San Diego, Dulce Nombre y San Rafael tienen posibilidades de ser inundados. San Ramón es la excepción y ello se debe a que está en una zona donde la diferencia de altitud reduce el peligro.

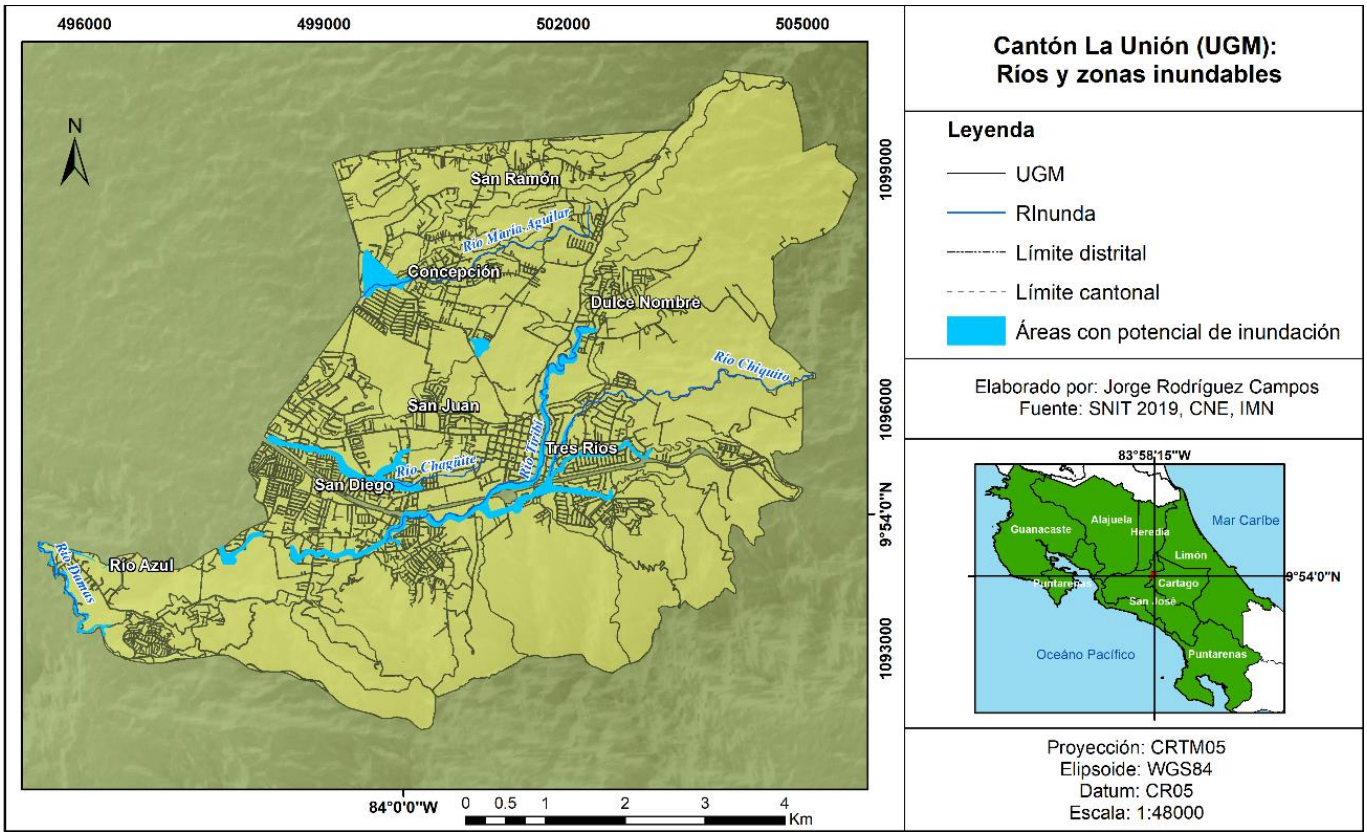


Figura 2. Ríos y áreas inundables del cantón

El potencial de inundación del Río Chiquito

Rojas (2016), en Expediente Minero 2754 de la Dirección de Geología y Minas, presentó información histórica sobre inundaciones asociadas al río Chiquito, contenida en notas de prensa escrita. Por el valor de esos datos, se hace referencia a varios de los artículos mencionados por Rojas (2016), que aluden avalanchas de lodo en el Río Chiquito desde la década de 1960. El primero de ellos es una nota del periódico La República, del 27 de agosto de 1964, en la que se comenta que hubo familias evacuadas por avenidas de lodo en Tres Ríos. Sobre los incidentes ocurridos es día, La Nación destacó el desbordamiento del río Tiribí y el colapso del puente de Yerbabuena a causa de la gran cantidad de agua que descendió por el río Chiquito.

Otro dato interesante sobre inundaciones en La Unión fue aportado en una nota del periódico La Nación del 15 de diciembre de 1980, en la que se reportó un represamiento de hasta 120 metros de altura del río Chiquito, que obligó a las autoridades a trasladar a vecinos de Yerbabuena al centro de la ciudad Tres Ríos. Al parecer, en noviembre de 1994 hubo un evento de gran magnitud porque según La Nación, el puente que comunica San Diego de La Unión con Santiago del Monte fue arrasado por el río Tiribí. La Prensa Libre del 7 de enero de 1995 informó sobre una avalancha de lodo en el río Chiquito (aparentemente en noviembre de 1994), que perjudicó directamente unas casas y amenazó otras en la ciudad de Tres Ríos.

Por todo lo anterior y por la existencia del Deslizamiento de Río Chiquito, Rojas (2016) concluyó: "…los asentamientos humanos aguas abajo de este sitio se encuentran en riesgo y podrán ser muy afectados por la ocurrencia de un movimiento súbito y masivo del área inestable. La reducción del riesgo solo puede ser lograda con la eliminación de la amenaza, es decir con la estabilización de la masa, o con la eliminación de la vulnerabilidad, es decir con el traslado de los asentamientos humanos a otro sitio".

Tal conclusión fue apoyado por Astorga (2015) quien indicó: "La información procesada y evaluada en este estudio lleva a la confirmación de que el Deslizamiento de Río Chiquito se encuentra activo y en una condición de muy alta susceptibilidad para producir un represamiento de dicho río, con un alto potencial para producir una avalancha a lo largo de mismo, con posibilidad alta a muy alta de producir daños a la vida y propiedades aguas abajo, en terrenos adyacentes al cauce del Río Chiquito, incluyendo como parte de esos elementos en alto y muy alto riesgo, la línea del ferrocarril y la carretera Florencia del Castillo (Ruta Nacional No. 2)".

Como se deduce de lo anterior, la problemática y el mayor impacto de las inundaciones de La Unión ha estado relacionado con el río Chiquito y su entorno, que incluye un gran deslizamiento. Los daños han sido importantes en el pasado y hasta el 2015, según Astorga (2015), el potencial de una avalancha en tal río incluía la posibilidad de muerte de seres humanos y daños a las propiedades. Dicho autor destacó varios puntos críticos que se muestran en la Figura 3.

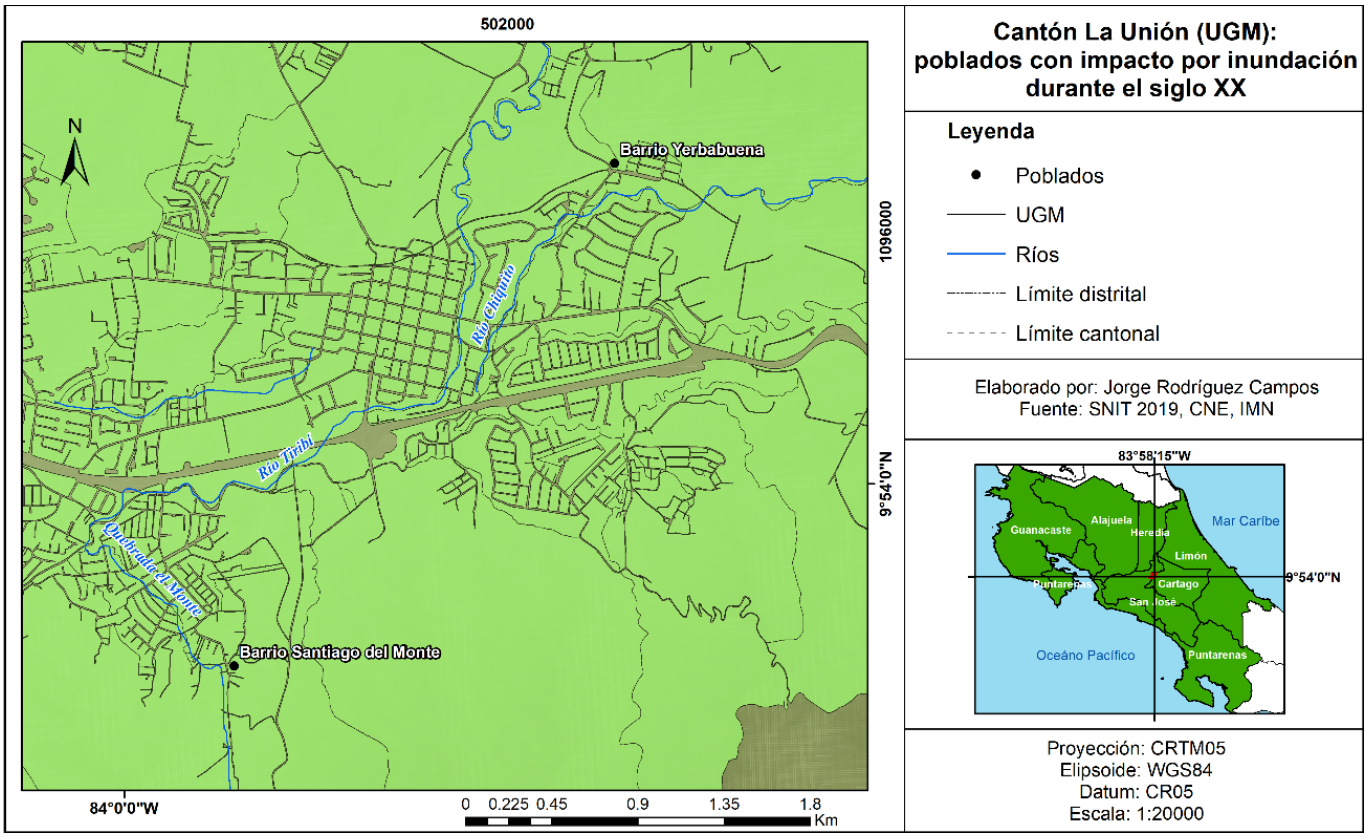


Figura 3. Poblados con impacto por inundación durante el siglo XX.

Descripción de sitios impactados por inundaciones

Las inundaciones en el cantón han aumentado en los últimos años, un resultado esperado por el aumento de la población, del proceso de la urbanización y del avance de la impermeabilización de los suelos. Ríos antes inofensivos ahora llegan a tener grandes caudales que rebasan su capacidad hidráulica por lo que el agua se desborda e inunda las zonas bajas adyacentes. En muchos casos los incidentes ocurren en puentes muy bajos y estrechos o en sitios donde hay alcantarillas sin capacidad para permitir el paso de grandes volúmenes de agua. A continuación, se describen los puntos (PI) del cantón impactados por las inundaciones en los últimos años.

El sector de Calle Girales ha sido impactado por las inundaciones en los últimos años, sobre todo en el puente principal que comunica con el centro de San Diego. En el año 2006 hubo un evento en las cercanías de la Escuela de Calle Girales (PI1, Figura 3) del cual Méndez (2006) indicó: “El sitio evaluado presenta pendientes menores a los 10 grados con inclinación hacia el suroeste donde limita con una quebrada que desagua en el río Tiribí, hacia el noreste en el sector frente a la escuela se han realizado proyectos urbanísticos que no poseen adecuado sistema de evacuación de aguas pluviales, generando de esta forma inundaciones por saturación de alcantarillado. La presión hidrostática ejercida por el agua atrapada dentro del centro educativo por desbordamiento de alcantarillado generó la ruptura de una tapia que funciona como cerca y erosión del talud que limita con la quebrada”.

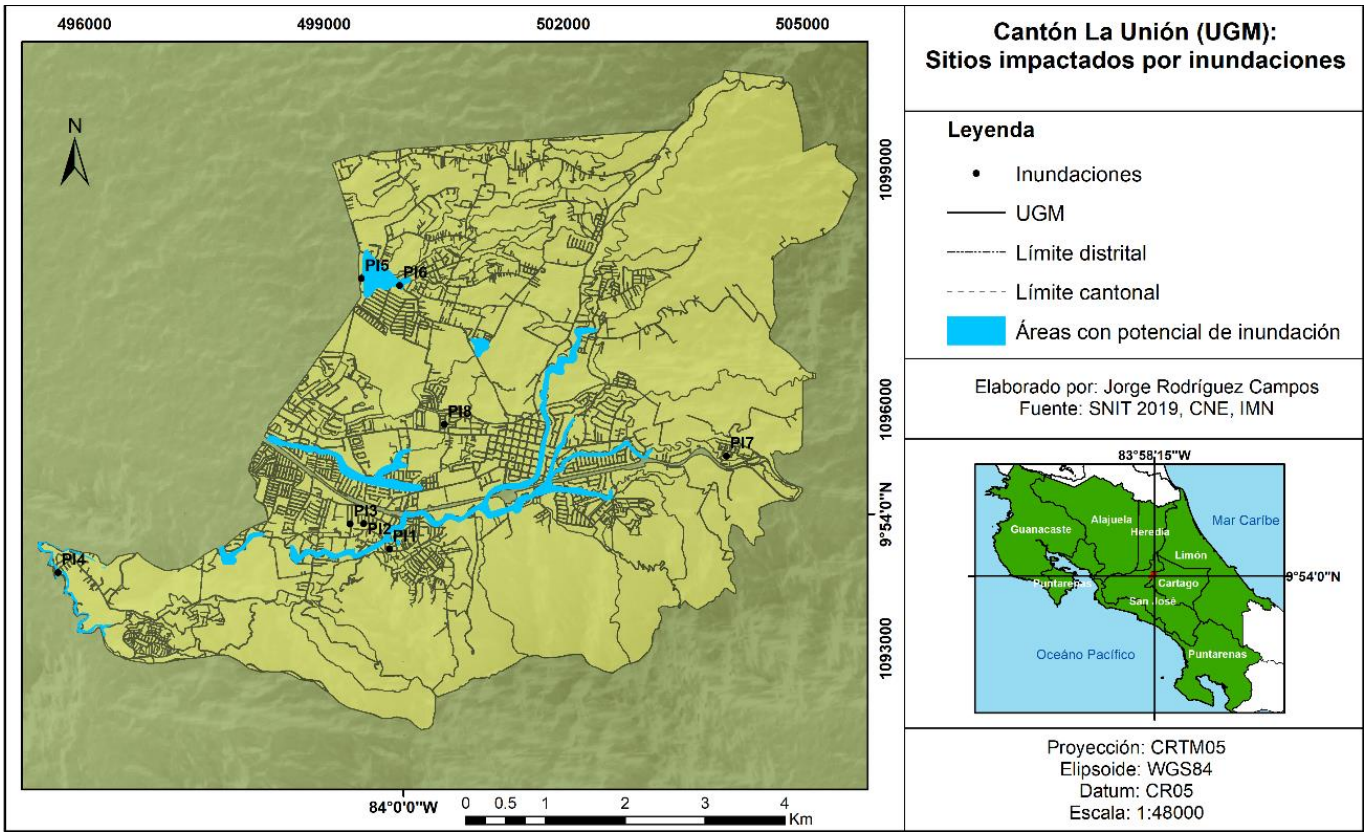


Figura 4. Mapa de sitios del cantón afectados por inundaciones recientes

Según Bonilla (2006), en el distrito San Diego ocurrió, en el 2006, un desbordamiento de una acequia (PI2, Figura 4) que erosionó un tramo entubado, provocando una cavidad de 7 metros de diámetro y 3 de profundidad que puso en peligro dos viviendas ubicadas es escasos 1,5 metros. De acuerdo con dicho autor, el canal posee un cauce muy reducido por la presencia de viviendas en las márgenes lo que las torna la vulnerables y, además, la acequia se encuentra entubada, por lo que es difícil detectar los tramos de la red que están siendo erosionados o que poseen debilidades. Por lo anterior, se hace imposible detectar las secciones del alcantarillado incapaces de soportar la carga hidráulica antes de que ocurra el desacople posterior a la erosión de los terrenos aledaños.

La urbanización La Mariana (PI3, Figura 4) tiene problemas de inundación que se deben al desbordamiento del río Tiribí. En el 2015 hubo un anegamiento de viviendas provocado por el desbordamiento de una quebrada sin nombre que atraviesa los terrenos. De acuerdo con Sánchez (2015), el rebalse de las aguas obedeció a diversos factores, entre los que se citan: Acumulación de basura, entubado parcial del canal, poco diámetro de los tubos, cantarillas mal colocadas, rellenos, invasión del cauce y construcción de estructuras informales y sin permisos de construcción. Todo ello contribuye a la generación de represamientos durante los periodos de fuertes precipitaciones. Donde hay entubado este colapsa por su poco diámetro y donde no hay, los propietarios de los terrenos colindantes colocaron alcantarillas y rellenaron e invadieron la zona del cauce, lo cual reduce las dimensiones del mismo, creando una especie de embudo cuando el caudal aumenta (Sánchez, 2015).

En Río Azul, específicamente en La urbanización Lomas de San Antonio (PI4, Figura 4), que limita al suroeste con el Río Damas, se han registrado inundaciones. Ello pese a que la CNE y la Municipalidad de Desamparados han efectuado trabajos de canalización y limpieza en el cauce en los últimos años. Las variaciones realizadas en la cuenca superior y la contaminación ambiental han provocado que los cauces se saturen con desechos sólidos, chatarra y mucho sedimento, lo que favorece el incremento del caudal y los desbordamientos después intensas precipitaciones. Según Chaves (2011), la Dirección de Desarrollo y Control Urbano de la Municipalidad de La Unión realizó una inspección para valorar varias denuncias en la zona el día 10 de octubre del 2008. En dicha inspección se determinó que varias áreas de la urbanización construyeron dentro de la zona de protección del río y sobre rellenos mal compactados. Por lo tanto, el municipio zonificó la urbanización para dar las licencias constructivas.

El Río María Aguilar, que nace puntualmente en el sector sur del Hospital Chacón Paul, ha generado inundaciones y flujos de lodos que han afectado a la población del distrito de Concepción. En el año 1999, un desbordamiento afectó un terreno plano ubicado 500 m al sur de las instalaciones del Colegio Franco Costarricense (PI5, Figura 4), donde el cauce estaba muy reducido a raíz del desarrollo urbanístico e industrial y la saturación de sedimento (Madrigal, 1999). En el año 2006, un desbordamiento del río dejó lodo y rocas sobre el terreno en esa misma zona, lo cual obstruyó un puente y produjo contaminación ambiental. Tal sector es propenso a inundaciones por ser plano y por la reducción y saturación del cauce (Chaves, 2006).

En el centro del distrito Concepción, frente a la Escuela Fernando Terán (PI6, Figura 4), hay dos viviendas que han sido impactadas por las inundaciones. Como se puede observar en la figura 3, dichas casas están dentro de la zona de protección establecida en la ley de aguas, lo que tiende a aumentar el grado de vulnerabilidad a la amenaza por inundación. Los desbordamientos han aumentado en dicho sitio en los últimos años y una posible causa de ello es la impermeabilización de los suelos de Concepción a causa del desarrollo urbano. Se ha modificado el uso del suelo impidiendo la infiltración del agua hacia las capas subterráneas, por lo que aumenta considerablemente la escorrentía superficial hacia las partes más bajas de la cuenca.

Figura 5. Viviendas expuestas a inundaciones en Concepción

Existe evidencia por parte de la CNE de que el Río Chagüite ocasionó problemas de inundación en el centro de Tres Ríos y los distritos San Diego y San Juan la primera mitad del siglo XX. No obstante, durante la segunda mitad del siglo XX y hasta la actualidad no ha habido eventos relacionados con el desbordamiento de este río. La cuenca del Chagüite se encuentra muy intervenida por el ser humano y un buen ejemplo de ello es que el casco central de Tres Ríos que prácticamente se desarrolló sobre su cauce. Por lo anterior, de presentarse una inundación de alta magnitud el daño podría ser cuantioso para la población que habita en el lugar.

En el poblado El Fierro (PI7, Figura 4), de acuerdo con Información de Bomberos de Costa Rica, el 4 de octubre de 1994 el incremento de caudal de esta quebrada ocasionó daños en varias viviendas de los asentamientos informales de dicha localidad, con el trágico saldo de 2 dos bomberos fallecidos y el dueño de una de las casas. Según Rojas (2016), en noviembre de 1994 La Nación reportó que dos bomberos y otra persona fueron arrastradas por una cabeza de agua y de 200 personas que fueron evacuadas en Tres Ríos. A pesar de que en aquel momento se reubicaron varias familias especialmente del Fierro y Carpintera, en la actualidad las riberas de este río están nuevamente invadidas y de darse una nueva situación, posiblemente habrá mayores problemas que los anteriores.

En Calle Lizanías, Precario 02 de agosto, Linda Vista y en áreas de desbordamiento de la quebrada Quebradas, en los alrededores de Quebradas, se localizan familias que son afectadas por inundaciones. Se trata de personas de escasos recursos que construyen sus casas sin considerar el riesgo existente.

Muchos de estos asentamientos son legales y están al margen de la Ley de Planificación Urbana. Aparte de esto, el área presenta laderas de fuertes pendientes, material muy alterado y alta escorrentía superficial que desciende de la parte montañosa durante la época lluviosa (Madrigal, 1999).

En ambas márgenes del cauce de la Quebrada La Unión, que atraviesa parte de los distritos Tres Ríos y San Juan, hubo una inundación en la Urbanización La Unión (PI8, Figura 4) en el año 2000, a causa de la colmatación de la quebrada. En este sector había aporte de material proveniente de una montaña ubicada al noreste, donde hubo remoción y apilamiento de suelos en forma de terrazas cerca del cauce. Esta situación causó que se erosionara parte de este material por escorrentía superficial y llegara hasta a la urbanización La Unión (Guzmán, 2003).

Gestión del riesgo por inundaciones

Como se indicó en la sección anterior, hasta el 2016 se estimaba que la probabilidad de que bajara una avalancha por el Río Chiquito, causada por la ruptura de un represamiento generado por el deslizamiento La Cazuelas, era muy alta. También se consideraba alta la posibilidad de que esa masa de agua, lodo y fragmentos de roca fuera lo suficientemente destructiva como para generar pérdidas materiales y de vida humanas. Estas posibilidades causaban preocupación y angustia en los vecinos de los barrios colindantes con dicho río. Tal era la intranquilidad de tales personas que hasta recurrieron a instancias judiciales para que se les implementaran medidas protectoras contra una eventual y colosal inundación (Expediente Minero 2754).

A la empresa Hacienda San Rafael HSR S.A. se le otorgó una concesión para comercializar el material geológico del área inestable y a raíz de ello, no solo ha reducido la posibilidad de un represamiento del río sino también la de una eventual inundación generada por la ruptura de la presa. Al respecto, Chavarría (2020) considera positivas las labores de extracción realizadas en el Deslizamiento de Río Chiquito e indica que se ha reducido significativamente la probabilidad de deslizamientos en la zona más susceptible a ellos, al haber quitado un peso en el sector cercano 32,000 m^3 y ha mejorado la sección hidráulica del cauce en un 30%. Pero, según el mismo autor, se requiere reubicar el material de desecho para que no ejerza peso sobre el deslizamiento.

Este es un interesante caso de reducción y manejo del riesgo en el que interactúan una institución privada e instituciones públicas. A la empresa privada se le permite extraer material que podría caer al río y represar el cauce, como sucedió en el pasado. Empresas públicas como la Dirección de Geología y Minas, la Municipalidad de La Unión, La Comisión Nacional de Emergencias y la Procuraduría General de la República dan seguimiento y fiscalizan las actividades realizadas por el ente privado. Esta estrategia de manejo del riesgo fortalece las capacidades de la sociedad para reducir el impacto de una amenaza natural y prevenir un desastre asociado a ella.

CONCLUSIONES

Las inundaciones son frecuentes y destructivas en el cantón La Unión por lo que constituyen en una de las principales amenazas de dicho territorio. Se trata de eventos urbanos cuyo periodo de recurrencia cada vez es menor. Se deben a lluvias torrenciales de pocos minutos y a la cantidad de lluvia que cae durante el paso de ondas y depresiones tropicales.

Los principales centros de población del cantón, a saber, Concepción, Tres Ríos, San Juan, San Diego, Dulce Nombre y San Rafael, están bajo esta amenaza y ello obedece a la distribución de la amplia red hídrica. Entre las comunidades afectadas destacan Calle Girales, Urbanización La Unión, Urbanización El Fierro, Urbanización Santiago del Monte, La Mariana, Los Llanos, Calle Naranjo, San Vicente y el Liceo Franco Costarricense.

En la ocurrencia de inundaciones influyen los siguientes aspectos: La expansión urbana, existencia de asentamientos humanos en zonas planas, la reducción de la sección hidráulica o cauce de los ríos y quebradas, el lanzamiento de desechos sólidos a los cauces, los inadecuados sistemas de alcantarillado, la alteración de las cuencas y microcuencas, cambios del uso de la tierra y la impermeabilización de los suelos.
Gracias a una actividad de doble objetivo se ha reducido el riesgo de inundación por ruptura de represamientos generados por el Deslizamientos de Río Chiquito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arrieta, L., (2015). Inspección al deslizamiento Río Chiquito. DGM-CMRC1-98-2015, informe interno, Dirección de Geología y Minas, En: *Expediente Minero 2754, Tomo 1, folio 0000171*. Dirección de Geología y Minas.

Bomberos de Costa Rica. (12 de junio de 2020). *Estación Tres Ríos.* https://www.bomberos.go.cr/estacion-tres-rios/

Bonilla, E. (2006). *Inspección al sector afectado por erosión y colapso de un canal entubado en la Urb. La Mariana, San Diego*. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Chavarría, E. (2020). *Informe de inspección a solicitud de la Procuraduría General de Costa Rica. DGM-TOP-O-171-2020.* Ministerio de Ambiente y Energía.

Chaves (2006). *Informe técnico de valoración para dragado de Río María Aguilar.* Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Chaves (2011). *Informe técnico: Valoración de riesgo de terreno en Residencial Lomas de San Antonio.* Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Guzmán, G. (2003). *Inspección realizada a urbanización La Unión.* Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Madrigal M, J. E. (1999). *Informe técnico: Análisis de multiamenazas en el distrito de Río Azul, sector Linda Vista y Quebradas.* Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Madrigal M, J. E (2010). *Informe técnico: Valoración de problemática de la quebrada La Carpintera y Río La Cruz y su posible afectación en las comunidades aledañas*. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Méndez H, J. (2006). *Informe técnico: valoración de afectación por inundación en el terreno donde se ubica la escuela de Calle Girales*. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Rojas, L., (2016). Consulta acerca de situación del deslizamiento de Río Chiquito y proyecto de cantera para la estabilización del deslizamiento. Nota dirigida a vecinos de Yerbabuena, San Rafael, La Unión, Cartago. En: *Expediente Minero 2754, TOMO_02_00234-00589 Dirección de Geología y Minas.* Ministerio de Ambiente y Energía.

Sánchez Ureña, B. E. (2015). *Informe técnico: Valoración de riesgo de terreno en San Diego de La Unión, Cartago, problemas de inundación en Urb. La Mariana.* Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Revista En Torno a la Prevención, número 26, junio 2021 pp. 25-
ISSN 1659-3057 • E-ISSN 2215-3845

CONTEXTO Y CONCEPTOS RELEVANTES EN LA FORMULACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO 2021 – 2015 DE COSTA RICA

Carlos Picado R.[1]
Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), San José, Costa Rica
cpicado@cne.go.cr

RESUMEN

En el mes de enero de año 2021 entró a regir el Plan Nacional de Gestión del Riesgo (PNGR) de Costa Rica que corresponde al Quinquenio 2021-2025. Este es el segundo plan quinquenal de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Costa Rica, que fue aprobada en el año 2015 con un horizonte a 15 años, similar al Marco de Acción de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres y los Objetivos del Desarrollo, del 2015 al 2030.

El propósito de este artículo es presentar, de manera concisa, aquellos aspectos del nuevo plan que constituyen una actualización de conceptos y orientaciones acerca del vínculo inequívoco de la gestión del riesgo con la agenda de desarrollo y por ello la pertinencia de seguir abordando la gestión del riesgo como un tema de política pública inherente a la planificación y las prácticas del desarrollo.

Palabras claves: Gestión del riesgo, Plan Nacional, SNGR.

ABSTRACT

In January 2021, the National Risk Management Plan (PNGR) of Costa Rica came into force, which corresponds to the 2021 - 2025 five-year period. This is the second five-year plan of the National Risk Management Policy of Costa Rica that It was approved in 2015 with a 15-year horizon, similar to the Sendai Framework for Action for Disaster Risk Reduction and the Development Goals, from 2015 to 2030.

The purpose of this article is to present, in a concise manner, those aspects of the new plan that constitute an update of concepts and orientations about the unequivocal link of risk management with the development agenda and therefore the relevance of continuing to address risk management as a public policy issue inherent in development planning and practices.

Key Words: Risk management; National Plan; SNGR.

RIESGO DE DESASTRES EN EL CONTEXTO ACTUAL

El proceso de consulta para la actualización del PNGR para el periodo 2021-2025 se desarrolla en un contexto nacional y global complejo, relacionado con la pandemia del SARS-CoV-2, o conocido como COVID-19 y que constituye para muchos países, incluido Costa Rica, una emergencia socio sanitaria.

Este acontecimiento, presente por meses, crea un ambiente de total incertidumbre que no se limita a las posibles causas y consecuencias directas de la enfermedad, sino que se extiende al ámbito de las relaciones sociales y la actividad económica.

Entre las medidas destinadas a la contención de la enfermedad, se dispusieron aquellas que tienen el propósito de minimizar la propagación del virus y aplanar la curva ascendente de contagio. Esto implicó la adopción de medidas de distanciamiento físico, que tuvieron un fuerte impacto en la actividad económica: los espacios de interacción masiva fueron restringidos y con ello se vieron disminuidos los servicios, la producción, el comercio; en pocos días posteriores a que la Organización Mundial de la Salud declaró la pandemia, se tuvo la certeza de encaminarnos a una recesión económica de dimensión global, que luego claramente se estableció, tanto más severa que la ocurrida casi un siglo atrás.

[1] Unidad de Desarrollo Estratégico del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), San José, Costa Rica.

La relevancia de este acontecimiento, como contexto coyuntural de la actualización de un instrumento de planificación estratégico referente al riesgo de desastres, es que obligó a una "relectura" de ciertos conceptos y a la recuperación de terminología "originaria" de la gestión del riesgo. De manera concisa, por las limitaciones de este documento, nos vamos a referir a tres conceptos clave, que bien podrían desagregarse de manera más amplia:

EL RIESGO COMO RESULTADO DE LA INCERTIDUMBRE

El concepto de riesgo como categoría científica supone una condición futura, una noción respecto de los hechos que pueden o que van a ocurrir. No se trata de hechos cualquiera sino de aquellos que expresan un potencial de daño, pérdida, o al menos de posibilidad de cambiar el curso previsto de las metas, objetivos o del bienestar que se esperaba alcanzar, implicado una variación o fracaso de las expectativas que tenemos.

El riesgo, bien se dice, es producto de la incertidumbre, porque supone afirmar hechos que no han ocurrido y que, al materializarse, probablemente se manifiesten diferentes a los esperado (Beriain: 1996). La incertidumbre dejaría de ser solo por dos motivos: porque se cuenta con toda la información necesaria para saber lo que va a pasar y se pueden sin duda alguna adelantar o predecir los acontecimientos, o porque el hecho probable o imprevisto ocurre, es decir, se materializa, entonces ya no hay incertidumbre respecto de lo que podía ocurrir, lo que hace presumir que el riesgo desaparece.

En tal circunstancia de hechos consumados, lo que puede seguir siendo riesgo es aquello que en proyección futura puede llegar a ocurrir como un hecho nuevo que repite las mismas causas, o como producto de causas distintas y supuestas, por las cuales se vuelve a suponer lo que va a ocurrir, pero al fin de cuentas no se sabe a ciencia cierta cómo se va a manifestar.

Este elemento de la incertidumbre es un asunto perenne en la ciencia, cada nuevo hecho que se aprende abre caminos a nuevas dudas y a la necesidad de entender más o de mejor manera los hechos. En el contexto actual, se cierne mucha expectativa respecto al rol de la ciencia, a la capacidad de predicción y el resultado final de lo que estamos viviendo.

La pandemia que manifiesta como un hecho lento y prolongado, ciertamente, hace repensar el riesgo como un asunto cotidiano, latente y presente; la respuestas que no se tienen en torno a lo que ocurre, a lo que va a ocurrir de un fenómeno que se conoce poco, se manifiesta socialmente como un estado de ansiedad, duda, miedo y como un hecho que genera cuestionamiento a la ciencia y a la toma de decisiones; la ausencia de respuestas claras abre espacio a la especulación, a la sospecha y las creencias y esto durará hasta que no haya información suficiente o un desenlace.

Dejemos por ahora sentado el hecho de que esta coyuntura, con la pandemia de por medio, nos recordó la incertidumbre como motivo axiológico de la gestión de riego.

La dimensión multicausal y compleja del riesgo de desastres

En segundo tema a rescatar del momento actual es el reconocimiento del riesgo como un fenómeno multicausal que responde a diversidad de factores que amenazan la vida tal y como la conocemos.

Ello implica observar la necesidad de evitar la sobreposición de ciertos temas que tienden a sesgar la percepción acerca de las causas reales del riesgo de desastres y los factores que nos amenazan, así como del sentido de urgencia con que deben ser abordados. Un ejemplo de ello es el cambio climático que desde la perspectiva de la gestión de riesgo a desastres es un factor de amenaza más que en apariencia está incidiendo en el comportamiento de eventos del clima que ya existen.

El cambio climático como fenómeno de largo plazo altera, por ejemplo, el comportamiento de eventos de la dinámica hidrometeorológica o de la variabilidad climática provocando cambios en intensidad y frecuencia con que ocurren, pero estos son eventos no son nuevos, los teníamos en nuestro territorio previo a la confirmación del cambio climático.

La gravedad de los desastres asociados al clima no solo obedece solo a la intensidad o frecuencia de estos fenómenos, sino también a las condiciones de vulnerabilidad presentes en el entorno territorial que es similar para todo tipo de amenaza que existe en el territorio. En Costa Rica los eventos hidrometeorológicos son los más frecuentes, pero un sismo será el evento de

desastre más intenso que podamos tener; ello sin obviar que contamos con otras amenazas que igual forman parte de la realidad “natural” que tenemos.

En un evento de desastre, una amenaza puede constituir un disparador pero tiene un efecto concatenado hacia múltiples amenazas en escenario complejo: por ejemplo, los sismos desestabilizan suelos y las lluvias posteriores provocan que los suelos se deslicen, las erupciones volcánicas se asocian con el viento para dispersar las cenizas y la lluvia ácida, con la lluvia sobrevienen los generar deslizamientos, el asolvamiento de los cauces de río, las avalanchas de lodo, el daño en los suelos y la vegetación y se potencian las inundaciones.

A lo anterior debe sumarse que los factores que condicionan la vulnerabilidad tienen iguales implicaciones para cualquier fenómeno natural que ocurra y no es exclusiva para la respuesta a la dinámica del clima.

Es importante afirmar que el tema del clima es un asunto relevante. Por ejemplo, el Informe sobre Riesgo del Foro Económico Mundial que analiza la relevancia de los riesgos a partir de la percepción de grandes empresas transnacionales, en los últimos años viene manifestando que son los eventos de clima los principales generadores de riesgo a la economía global, justamente por la gran incertidumbre que su comportamiento genera y por la sumatoria de pérdidas que se pueden comprobar. (Foro Económico Mundial: 2020).

Otro ejemplo, muy inmediato es la pandemia; en cosa de semanas, al inicio del año 2020, apareció la pandemia como un fenómeno global y nos hizo recordar las reiteradas advertencias de la Organización Mundial de la Salud sobre de la posibilidad de repetir un evento sanitario de dimensiones similares a otros que humanidad ha enfrentado.

En los libros clásicos que dieron origen a la demografía, ya hace tiempo se señalaba que las guerras y las pestes constituyen mecanismos “naturales” de regulación de la densidad de la población, evidentemente aludiendo al enorme impacto social que pueden causar una enfermedad con comportamiento pandémico. Por ello, ahora surge la preocupación respecto a cómo mejorar la capacidad de respuesta frente a eventos de origen biológico y es otro tema que coyunturalmente se vuelve relevante.

El hecho a recalcar acá es que ciertamente hoy temas como el cambio climático y las pandemias se afirman en el imaginario colectivo como parte de esos “nuevos riesgos” que se anunciaban para la humanidad, pero la dimensión del riesgo que enfrenta la humanidad y un país con un territorio pequeño como el nuestro es más amplia que eso. Los nuevos riesgos que en realidad son nuevas amenazas, o nuevas manifestaciones de amenazas existentes, no surgen de la noche a la mañana, tienen una raíz histórica siempre asociada a la racionalidad económica que da forma a la apropiación del planeta, con la misma lógica que se explica y define el riesgo o las amenazas ya conocidas.

De tal modo, el riesgo es una condición dinámica dependiente de múltiples factores amenazantes, no solo el clima ni de un virus en particular. Si ahora somos capaces de reconocer al clima y las enfermedades como factores de amenaza, no es correcto sobre posicionarlos como causa exclusiva del riesgo que tenemos; correcto es afirmar por una parte la multiplicidad de factores amenazantes, sean estos naturales o creados por el ser humano, y por otra, la condición propia e históricamente construida del sistema social que nos hace vulnerables ante estos fenómenos, de tal modo que la condición de riesgo presente no es más que la consecuencia lógica de esa multiplicidad de factores, conocidos o en apariencia invisibles que determina sus características en cada entorno espacial y temporal.

En el contexto de la pandemia, tanto en lo académico, como en la institucionalidad, surgió el cuestionamiento respecto a cómo enfrentar una situación de desastre en medio de la pandemia, bajo el razonamiento obvio de que la pandemia ha restado capacidad de respuesta ante otros eventos. En un contexto como el nuestro, de múltiples amenazas presentes en el territorio, debería ser un hecho casi natural reconocer que las amenazas pueden tener una manifestación superpuesta, compleja y acumulativa y el resultado será siempre el mismo: un desastre, entendido como un evento con origen en múltiples factores de amenaza y de vulnerabilidad, manifiestas en un proceso sumario y sistémico de daño y destrucción.

En resumen, en la coyuntura actual se puede reflexionar sobre la relevancia de reconocer el carácter multicausal del riesgo y la necesidad de abordar su estudio y conocimiento bajo un enfoque multi - amenaza.

El riesgo es sistémico e inherente a la existencia humana

Desde las ciencias de las finanzas no resulta nuevo comentar sobre el riesgo sistémico y del posible impacto sistémico de los desastres, entendido como "la posibilidad de que una determinada falla en un componente del sistema dispare el colapso o paralización del sistema en su conjunto, entendido este como un efecto dominó, de impacto de uno a otro de todos los elementos de tal sistema" (CNE: 2021). El Informe de Riesgo Global 2019 retoma este concepto ya presente en diversidad de documentos que analizan el comportamiento del riesgo y las pérdidas por desastre al nivel planetario. (UNDRR: 2019).

Por lo general, las evaluaciones de daños de los eventos de desastre, al menos en nuestro contexto, centran la atención en la determinación de las pérdidas directas, porque este es el dato que permite definir los costos de la reposición de la infraestructura dañada para asignar los recursos a la reconstrucción. Sin embargo, la determinación del impacto de un evento de desastre va más allá de este ejercicio primario.

Para estimar el impacto real de los desastres en la economía, es necesario tomar las pérdidas directas y vincularlas con diversos factores económicos en los cuales sea posible ponderar la afectación por aspectos tales como la interrupción o discontinuidad de los servicios, la actividad productiva, comercial y social, lo cual puede tener efecto negativo con implicaciones por ejemplo de lucro cesante y daño emergente, y alteración de los indicadores micro, meso y macroeconómicas en el corto, mediano y largo plazo. En resumen, se trata de la determinación del efecto sistémico del desastre, por el encadenamiento del daño inmediato con la actividad y el desempeño de los diversos componentes de la actividad social y económica, es decir, es un impacto de pérdidas que va más allá del efecto directo del evento.

Estos elementos que se presentan como parte de una precisión teórica, se vuelven totalmente visibles en la percepción colectiva de los efectos actuales de la pandemia: una enfermedad que técnicamente constituye un evento de orden sanitario, de origen biológico e infeccioso, debería implicar solo la afectación para el sistema de salud, medible por el número de personas enfermas, fallecidas y recuperadas; sin embargo, es evidente el impacto en los sistemas económicos y en una escala global. De tal modo, la pandemia expone con claridad prístina las repercusiones directas de un evento en particular, en este caso sanitario y su escalamiento hacia otras dimensiones de la realidad; de hecho, pone en evidencia "… las disparidades entre y dentro de los países y los territorios, las personas, los grupos humanos, los gobiernos y de los sistemas sociales en su conjunto, respecto a la capacidad de respuesta y la recuperación frente a la crisis".

Lo anterior está referido al riesgo que se materializa en un desastre, pero desde la dimensión causal, tal comportamiento obliga a observar que existe una articulación también sistémica de los factores subyacentes que conforman el riesgo, inherentes a la estructura social y los patrones de desarrollo existentes "… si bien el estudio del riesgo tendrá siempre un espacio específico de elaboración, las interpretaciones deben tener un alcance amplio, compresivo de todo el contexto de realidad en que puede tener un impacto. De tal modo, la valoración del riesgo se vuelve un asunto relevante a todo espacio de conocimiento y todos los ámbitos de la política pública sectorial y territorial, es conocer la realidad y reinterpretar las relaciones de interdependencia y conflicto entre las diferentes dimensiones", en las que tarde o temprano puede repercutir el desastre (CNE: 2021).

No en vano hemos sostenido desde que se formuló la Ley N°8488 (2006) que la gestión del riesgo es transversal a toda práctica de desarrollo; del mismo modo que la Política Nacional de Gestión del Riesgo, formulada en el año 2015, manifiesta que este tema es inherente a todo proceso e instrumento de planificación y de política pública, por ello se convoca a todos los actores sociales a identificar el riesgo inherente a su actividad, adoptar la responsabilidad por el riesgo que genera y el manejo oportuno de las consecuencias.

De tal modo, si se toma en cuenta que el riesgo es sistémico, admitamos que el riesgo es inherente a la existencia humana; entonces la expectativa no puede ser llevarlo a un nivel de cero, sino aprender a gestionarlo para evitar que ocurran desastres y

aprovechar las oportunidades, en términos del recurso y el tiempo de buen vivir que nos permite la existencia.

EL PROPÓSITO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO

A partir de lo expresado líneas atrás puede razonarse que varios pueden ser los propósitos y los resultados que se buscan de la gestión del riesgo, pero asignemos en este artículo tres muy concretos: (1) en la perspectiva del conocimiento del riesgo, reducir la incertidumbre sobre los eventos que pueden generar pérdidas, (2) en la perspectiva de su control y manejo, reducir tales pérdidas y (3) en la perspectiva político estratégica del logro de objetivos, aprovechar las oportunidades y ventajas frente a la competencia.

De los párrafos previos, también se observa que la gestión de riesgo puede estar limitada a un enfoque de respuesta ante la ocurrencia de desastre, como también puede abocarse al ámbito de las causas del desastre. Evidentemente, la perspectiva sistémica que hemos mencionado guarda más relación con esta segunda opción, debiendo la gestión del riesgo ocupar un lugar en la planificación y la toma de decisiones de todas las dimensiones del desarrollo porque, decíamos, el riesgo es inherente a toda práctica de desarrollo y la gestión del riesgo implica: capacidad para identificar el riesgo, determinar el potencial de daño y la disposición de medidas necesarias y oportunas para su control y manejo. De este modo, la gestión del riesgo no es un fin en sí mismo, sino, una herramienta que contribuye a decisiones acertadas con razón de los objetivos y metas propuestos.

LA INFORMACIÓN, LOS ESCENARIOS Y LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO

La práctica de la gestión del riesgo parece ser la del adivino, la del profeta que es capaz de predecir lo que va a ocurrir, pero el conocimiento del riesgo es en realidad un trabajo científico que procura cumplir con el objetivo de predecir los hechos y no solo determinar cuándo van a ocurrir, sino también el daño y pérdida que pueden generar. Lograr esto solo es posible con información, en esencia la evaluación del riesgo requiere acceso a datos relacionados con las distintas variables que conforman el riesgo. El gestor de riesgo es ante todo un buen gestor de la información.

En el contexto actual, la generación y acceso a la información representa uno de los principales retos que como país tenemos, pues se requieren bases de datos unificadas sobre amenaza y de los valores expuestos, con el detalle adecuado al nivel de territorio y de las actividades donde es necesario el análisis oportuno. Las diversas normas y lineamientos de nuestro país destinadas a orientar la evaluación del riesgo en proyectos de infraestructura o para el uso del suelo, mencionan la necesidad de la información, y evidencian, de manera reiterada, la dificultad de acceso a la información y por tanto evidencian limitaciones para hacer efectiva la evaluación del riesgo.

La evaluación del riesgo consiste en combinar los datos empíricos que la ciencia aporta con diversos supuestos, tendencias numéricas y proyecciones acerca del comportamiento las variables que conforman el riesgo. Es un ejercicio complejo, tanto más cuando más información exista, conforme más detallados y rigurosos son los datos, más complejo puede ser el análisis. En tal caso, los métodos de evaluación tienden a ser cuantitativos, bajo modelos matemáticos estocásticos, con resultados más precisos y exactos y por ello, valga decir, el nivel de certidumbre sobre el riesgo resulta mayor. En tanto la información resulta insuficiente o de mala calidad, los ejercicios de evaluación del riesgo son más simples y fáciles, más especulativos e imprecisos, debiendo recurrir a criterio experto, a supuestos y a valoraciones cualitativas con tal de tener un resultado.

De tal modo, un primer énfasis de la gestión del riesgo es la gestión de la información, que constituye un reto permanente de acceso a datos y la modelación de los escenarios de riesgo.

De la identificación del riesgo y la ponderación del daño y pérdida, la gestión del riesgo cumple una función instrumental de cara a la planificación del desarrollo: la evaluación del riesgo observa no solo la pérdida probable, sino también el costo beneficio de la exposición y en tanto este último esté presente y es superior a la pérdida probable, el riesgo se convierte en una oportunidad. Por ello, la gestión del riesgo tiene cercanía con la planificación, pues el ejercicio de la gestión del riesgo implica el planteamiento de estrategias para, por una parte, aprovechar las oportunidades y por otra, para reducir o mitigar la pérdida probable, organizar la respuesta al modo de un “plan b” en el caso que el riesgo se materialice y planificar la recuperación se el desastre ocurre.

La función estratégica de la gestión del riesgo consiste en encontrar alternativas que favorezcan la posición frente al propio riesgo y frente a la competencia, para lograr una mayor oportunidad de crecimiento y bienestar. Cualquiera sea la decisión que se tome en torno al desarrollo o la rentabilidad, el riesgo siempre está presente, siendo la gestión del riesgo una herramienta para optar por lo más acertado con base en el análisis permanente de la información, una referencia esgrimir el conflicto entre aspiraciones por cumplir y la potencial pérdida o fracaso ante el riesgo que se genera.

COMENTARIOS FINALES

En este artículo hemos mencionado algunos conceptos que forman parte del acervo de la gestión del riesgo, pero en el contexto actual de una crisis sanitaria y económica toman nuevo significado y vigencia. A modo de síntesis se puede manifestar que el riesgo es inherente a toda práctica de desarrollo y su manifestación en un ámbito de particular tiene repercusión en todo el sistema social y económico.

El riesgo presente en nuestro territorio es multicausal, de ahí que la evaluación del mismo debe considerar la multiplicidad de factores de amenaza presentes, a efecto de evitar un sesgo relativo a la percepción de las causas de desastre que tiene el país.

El riesgo, decíamos, es producto de la incertidumbre y la única forma de reducir esa incertidumbre es con información. Esta, entre más rigurosa y accesible, más favorece el conocimiento del riesgo, de modo que, un reto fundamental en la aplicación de políticas de gestión del riesgo es la generación de información científica y la generación de capacidades para su uso en la evaluación del riesgo.

Adicionalmente, corresponde razonar el rol que cumple la gestión del riesgo en la planificación del desarrollo, pues la gestión del riesgo no solo implica adoptar las medidas para el control y manejo de este, si no también observar las oportunidades y potenciar su aprovechamiento, comprendiendo que el conocimiento del riesgo implica un posicionamiento estratégico que favorece el cumplimiento de metas de crecimiento y bienestar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERIAIN, J. (1996) *Las consecuencias perversas do la modernidad: Modernidad, contingencia y riesgo*. Anthmpos.

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (2021). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo 2021 - 2025.* https://www.cne.go.cr/rectoria/plan_nacional_gestion_riesgo.aspx

Foro Económico Mundial. (2021). *Informe de riesgos mundiales 2020*. (16a ed.) El Foro. http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2019). *Informe de Evaluación de Riesgo Global (GAR – 2019).* https://gar.undrr.org/