



COSTA RICA

TOMO II ANÁLISIS PROBABILISTA DE AMENAZAS Y RIESGOS NATURALES

INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-15 AMENAZA POR INUNDACIÓN ANTE HURACANES EN LA CUENCA DEL RÍO SAVEGRE



CEPRENAC



Inter-American Development Bank



World Bank
opportunities for all



Evaluación de Riesgos Naturales
- América Latina -
Consultores en Riesgos y Desastres

Consortio conformado por:

Colombia

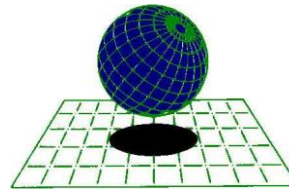
Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA LTDA

España

Centro Internacional de Métodos Numéricos
en Ingeniería - CIMNE
Campus Nord UPC
Tel. 34-93-401-64-96
Fax 34-93-401-10-48
Barcelona



C I M N E

México

Vito Alessio Robles No. 179
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón
Tel. 55-5-616-8161
Fax 55-5-616-8162
México, D.F.



ERN Ingenieros Consultores, S. C.

ERN Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina
www.ern-la.com

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico – Consorcio ERN América Latina

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauricio Cardona O.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrei Garzón B.
Asistente Técnico ERN (COL)

Carlos Eduardo Avelar F.
Especialista ERN (MEX)

Benjamín Huerta G.
Especialista ERN (MEX)

Mauro Pompeyo Niño L.
Especialista ERN (MEX)

Isaías Martínez A.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Edgar Osuna H.
Asistente Técnico ERN (MEX)

José Juan Hernández G.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Marco Torres
Asesor Asociado (MEX)

Johner Venicio Correa C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

Jairo Andrés Valcarcel T.
Especialista CIMNE(ESP)

Juan Pablo Londoño L.
Especialista CIMNE(ESP)

René Salgueiro
Especialista CIMNE(ESP)

Nieves Lantada
Especialista CIMNE(ESP)

Álvaro Martín Moreno R.
Asesor Asociado (COL)

Mario Díaz-Granados O.
Asesor Asociado (COL)

Liliana Narvaez M.
Asesor Asociado (COL)

Asesores Nacionales

Osmar E. Velasco
Guatemala

Sandra Zúñiga
Nicaragua

Alonso Brenes
Costa Rica

Banco Mundial – Gestión de Riesgo de Desastres / Región Latinoamérica y el Caribe

Francis Ghesquiere
Coordinador Regional

Oscar A. Ishizawa
Especialista

Joaquín Toro
Especialista

Fernando Ramírez C.
Especialista

Edward C. Anderson
Especialista

Stuart Gill
Especialista

Banco Interamericano de Desarrollo – Medio Ambiente / Desarrollo Rural / Desastres Naturales

Flavio Bazán
Especialista Sectorial

Cassandra T. Rogers
Especialista Sectorial

Hori Tsuneki
Consultor Interno

LIMITACIONES Y RESTRICCIONES

La aplicación que aquí se presenta es de carácter ilustrativo y presenta limitaciones y restricciones debido al nivel de resolución de la información disponible, de lo cual debe ser consciente el usuario final para efectos de poder dar un uso adecuado y consistente a los resultados obtenidos teniendo en cuenta el tipo de análisis realizado, el tipo y calidad de datos empleados, el nivel de resolución y precisión utilizado y la interpretación realizada. En consecuencia es importante señalar lo siguiente:

- Los modelos utilizados en los análisis tienen simplificaciones y supuestos para facilitar el cálculo que el usuario debe conocer debidamente. Éstas están descritas en detalle en los informes técnicos respectivos (ver referencias).
- Los análisis se han desarrollado con la mejor información disponible que presenta limitaciones en su confiabilidad y su grado actualización. Es posible que exista información mejor y más completa a la cual no se tuvo acceso.
- La información utilizada y los resultados de los análisis de amenaza, exposición y riesgo tienen una asociado un nivel de resolución según las unidades de análisis utilizadas, lo que se explica en el documento descriptivo del ejemplo.
- El uso que el usuario final le dé a la información no compromete a los autores de los estudios realizados, quienes presentan este ejemplo como lo que puede ser factible de hacer si se cuenta con información confiable con la precisión adecuada.
- Es responsabilidad del usuario comprender el tipo de modelo utilizado y sus limitaciones, la resolución y calidad de los datos, las limitaciones y suposiciones de los análisis y la interpretación realizada con el fin de darle a estos resultados un uso adecuado y consistente.
- Ni los desarrolladores del software, ni los promotores o financiadores del proyecto, ni los contratistas o subcontratistas que participaron en las aplicaciones o ejemplos de uso de los modelos asumen ninguna responsabilidad por la utilización que el usuario le dé a los resultados que aquí se presentan, por lo tanto están libres de responsabilidad por las pérdidas, daños, perjuicios o efectos que pueda derivarse por la utilización o interpretación de estos ejemplos demostrativos.

Tabla de contenido

1	Introducción y generalidades	1-1
2	Objetivos	2-1
3	Metodología de evaluación de la amenaza	3-1
4	Información de referencia para los análisis	4-1
4.1	Distribución de cuencas	4-1
4.2	Modelo digital de elevación	4-2
4.3	Información de suelos	4-3
5	Mapas de amenaza por inundación	5-1
6	Conclusiones y recomendaciones.....	6-1
7	Referencias	7-1

Índice de figuras

FIGURA 1-1 UBICACIÓN ESPACIAL DE LA CUENCA DEL RÍO SAVEGRE, COSTA RICA.	1-1
FIGURA 1-2 CICLONES TROPICALES CON TRAYECTORIA A MENOS DE 200 KM DE LA COSTA ATLÁNTICA DE COSTA RICA, CON CATEGORÍA MAYOR O IGUAL A HURACÁN 1 EN LA ESCALA SAFFIR-SIMPSON.	1-2
FIGURA 2-1 REGIÓN Y PUNTO DE ANÁLISIS PARA LA DESEMBOCADURA DE LA CUENCA DE SAVEGRE.	2-1
FIGURA 4-1 MAPA DE CUENCAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	4-1
FIGURA 4-2 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA Y EL CAUCE PRINCIPAL A PARTIR DEL PUNTO DE ANÁLISIS	4-2
FIGURA 4-3 CURVAS DE NIVEL DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DISPONIBLE, CON DIFERENCIAS ALTIMÉTRICAS DE 20 M.	4-2
FIGURA 4-4 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DE LA NASA, CON RESOLUCIÓN A CADA 30 M.....	4-3
FIGURA 4-5 MAPA EDAFOLÓGICO DE LA CUENCA	4-4
FIGURA 5-1 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA DE INUNDACIÓN POR HURACÁN EN METROS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.....	5-1
FIGURA 5-2 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA DE INUNDACIÓN POR HURACÁN EN METROS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS.....	5-2
FIGURA 5-3 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA DE INUNDACIÓN POR HURACÁN EN METROS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS.....	5-2

1 Introducción y generalidades

La cuenca del río Savegre se encuentra ubicada en la región pacífica central de Costa Rica, entre las provincias de Cartago y San José. Para esta cuenca el comportamiento temporal y espacial de la precipitación está influenciado por las condiciones que rigen en la vertiente del Pacífico de Costa Rica. Esta vertiente se caracteriza por tener definidas: la estación seca que comprende los meses de diciembre a abril y una estación lluviosa que comprende los meses de mayo a noviembre. Durante los meses de julio y agosto se presenta un mínimo relativo de precipitación conocido como “veranillo”. También es importante recalcar que durante la época lluviosa la cuenca se ve influenciada por el efecto indirecto de tormentas tropicales y huracanes que producen intensas precipitaciones de varios días de duración principalmente en los meses de septiembre y octubre.



Figura 1-1
Ubicación espacial de la cuenca del río Savegre, Costa Rica.
(Fuente: maps.google.es)

A partir de la base de datos HURDAT de la NOAA, se depuró el catálogo de huracanes de manera que sólo se tomaran en cuenta aquellos ciclones tropicales que han afectado el territorio costarricense. Los criterios de depuración empleados fueron los siguientes:

- Eventos con categoría \geq H1 (119 km/h) en la escala Saffir-Simpson (SS).
- Que en algún momento de su trayectoria, el ojo del huracán se localizara a menos de 200 km de las costas costarricenses.

Los criterios anteriores aplicados a la base de datos de ciclones tropicales para el Océano Atlántico, permiten obtener un total de 12 huracanes con categoría \geq H1 SS. La trayectoria de estos huracanes se presenta en la Figura 1-2.

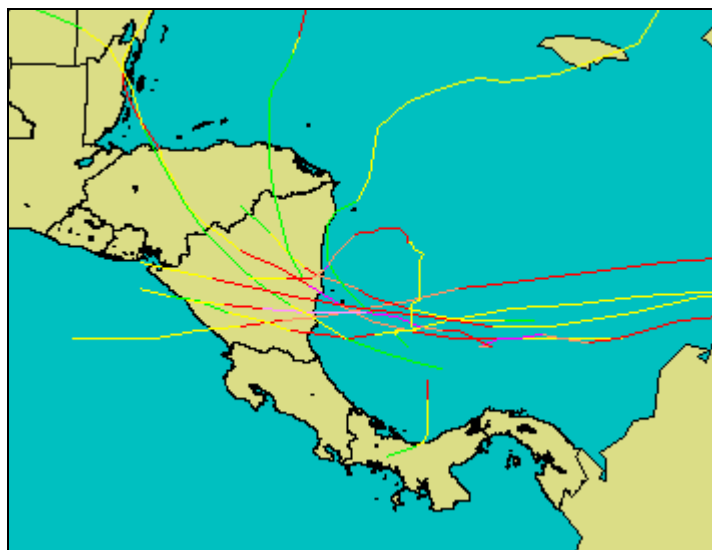


Figura 1-2
Ciclones tropicales con trayectoria a menos de 200 km de la costa Atlántica de Costa Rica, con categoría mayor o igual a huracán 1 en la escala Saffir-Simpson.

Con esta información se utilizó la herramienta ERN-Huracanes (ERN 2009) para obtener la información de precipitación que se utilizó en este ejercicio.

2 Objetivos

El objetivo principal de la simulación realizada consiste en plantear un modelo de evaluación de la amenaza por inundación en el área de estudio y evaluar las zonas de inundación del río Savegre. El modelo debe permitir establecer las zonas de mayor amenaza por inundación ante huracanes.

Los resultados de la simulación se presentan a manera de mapas de amenaza para diferentes periodos de retorno sobre imágenes satelitales. Estos mapas se presentan para zonas de interés que deben ser previamente seleccionadas. Para este ejercicio se decidió analizar la desembocadura del río en la región que se ilustra en la Figura 2-1 que a pesar de ser una zona despoblada tiene un alto peligro de inundación que se debe considerar para planes de desarrollo.



Figura 2-1
Región y punto de análisis para la desembocadura de la cuenca de Savegre.

3 Metodología de evaluación de la amenaza

Para la evaluación de la amenaza por inundación en la zona seleccionada de estudio se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección, ERN 2009), y en el sitio www.ecapra.org.

La metodología para la evaluación de la amenaza por inundación en la zona de estudio incluyó los siguientes aspectos:

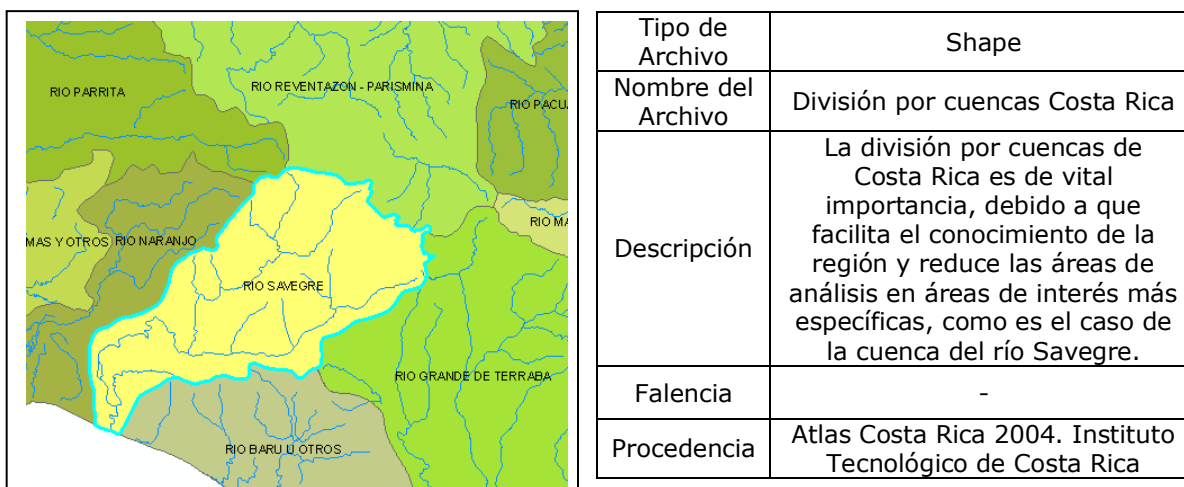
- (a) Evaluación de la amenaza de lluvia huracanada: ésta se evalúa mediante un análisis probabilístico con escenarios históricos de huracán en la región.
- (b) Levantamiento de información básica para el estudio lo cual incluye como mínimo las características de la cuenca y de su cauce principal, el modelo de elevación digital de la cuenca y a detalle para la zona de estudio, las propiedades geotécnicas de los suelos superficiales.
- (c) Evaluación de la amenaza por inundación siguiendo la metodología de flujo bidimensional del cauce y llanura.
- (d) Generación de los mapas de amenaza para visualización.

4 Información de referencia para los análisis

En este numeral se presenta la información utilizada para los análisis. Cabe mencionar que este caso de estudio se analiza como un modelo demostrativo de las capacidades de las metodologías adoptadas y las herramientas desarrolladas en el proyecto CAPRA. Empleando estas metodologías y herramientas es posible hacer análisis posteriores en cuanto se tenga más y mejor información que la referenciada a continuación.

4.1 Distribución de cuencas

Los límites de cuencas son tomados de la información disponible del Instituto Tecnológico de Costa Rica. La Figura 4-1 resume las características de esta información.



*Figura 4-1
Mapa de cuencas del área de estudio*

Con la finalidad de realizar el análisis en una zona de interés a partir del punto de análisis se delimitó nuevamente la cuenca de aportación y el cauce principal. En la Figura 4-2 se observan estas consideraciones.

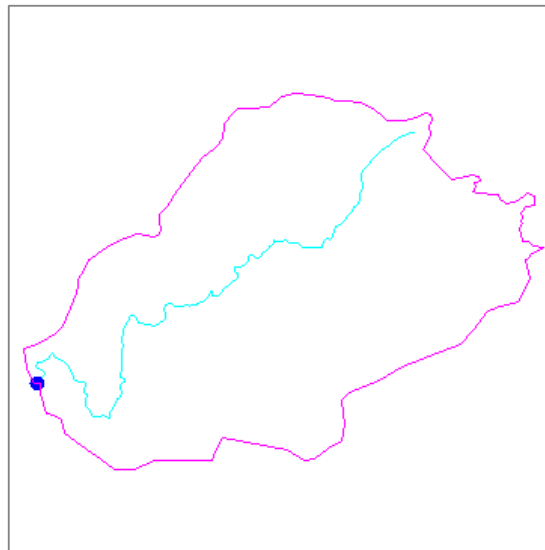


Figura 4-2
Delimitación de la cuenca y el cauce principal a partir del punto de análisis

4.2 Modelo digital de elevación

El modelo digital de elevación se obtuvo a partir de la información de curvas de nivel de todo Costa Rica (Atlas Costa Rica 2004. Instituto Tecnológico de Costa Rica) el cual tiene una precisión altimétrica con curvas de nivel cada 20 m. La Figura 4-3 resume las características de la información disponible.

	Tipo de Archivo	Shape
	Nombre del Archivo	Curvas Cuenca Savegre
	Descripción	Curvas de nivel de la cuenca del río Savegre a cada 20 m, tomadas a partir del shape de curvas de nivel para todo Costa Rica.
	Falcencia	Una precisión altimétrica de 20 m puede omitir taludes y condiciones de suelo que pueden llegar a ser críticas en el desarrollo de la amenaza por deslizamiento.
	Procedencia	Atlas Costa Rica 2004. Instituto Tecnológico de Costa Rica

Figura 4-3
Curvas de nivel del modelo digital de elevación disponible, con diferencias altimétricas de 20 m.

Adicionalmente para la zona de estudio se empleó el modelo digital de la NASA que tiene una resolución a cada 30 metros y que se muestra en la figura 4-4.

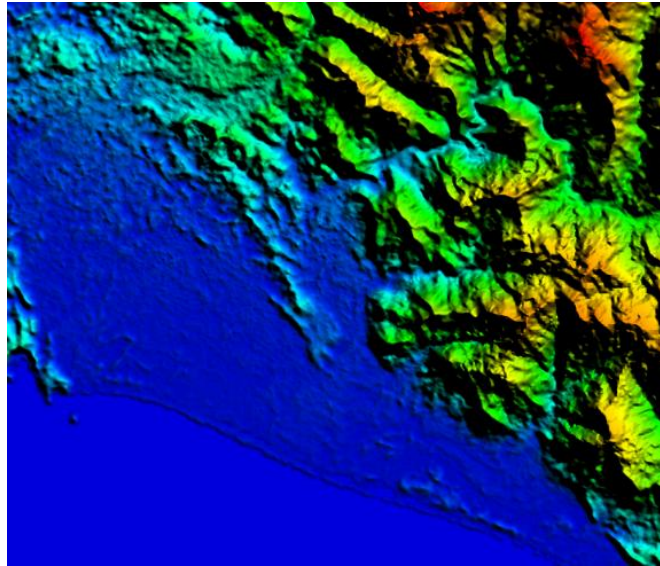
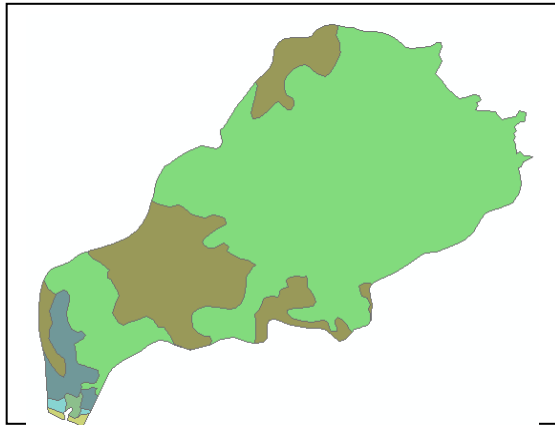


Figura 4-4
Modelo digital de elevación de la NASA, con resolución a cada 30 m.

4.3 Información de suelos

En lo que se refiere a zonificación geotécnica, se cuenta con un mapa edafológico y de usos del suelo (Atlas Costa Rica 2004. Instituto Tecnológico de Costa Rica) el cual incluye el nombre del suelo, su tipo, el área que abarca, las características de su orden, el grupo al que pertenece, el elemento formador y las características de la pendiente del terreno que ocupa. En general, esta información de suelos es insuficiente para realizar un análisis confiable. Sin embargo considerando que es la única información disponible, es empleada en este estudio para realizar estimativos de las características de escurrimiento de la zona con base en referencias a suelos con características descriptivas similares. Con esta información se propusieron los factores N de escurrimiento basado en el método propuesto (informe ERN-CAPRA-T1-3)



Tipo de Archivo	Shape
Nombre del Archivo	Suelos Cuenca del río Savegre.
Descripción	Ubicación espacial de los suelos en la cuenca del río Savegre, dicho mapa cuenta con una base de datos que incluye el nombre del suelo, el tipo, el área que abarca, las características de su orden, el gran grupo al que pertenece, el elemento formador y las características de la pendiente del terreno que ocupa el suelo. El mapa de suelos de la cuenca, es tomado a partir del mapa general de suelos para Costa Rica.
Falencia	No se cuenta con una estratigrafía de precisión de los suelos existentes en el país, por ende los espesores de suelo deben ser inferidos, al igual que sus propiedades geomecánicas.
Procedencia	Atlas Costa Rica 2004. Instituto Tecnológico de Costa Rica

*Figura 4-5
Mapa edafológico de la cuenca*

5 Mapas de amenaza por inundación

Con base en la información presentada, se realiza el cálculo de la amenaza por inundación ante huracanes empleando el sistema ERN-Huracán (ERN 2009). Los resultados del análisis se representan mediante mapas de inundación.

En la Figura 5-1 presenta resultados del análisis probabilístico de amenaza por inundación de huracanes para diferentes periodos de retorno. Se presentan resultados del análisis de amenaza en términos de altura de inundación sobre la superficie en metros, para los siguientes periodos de retorno: T= 100, 500 y 1,000 años.

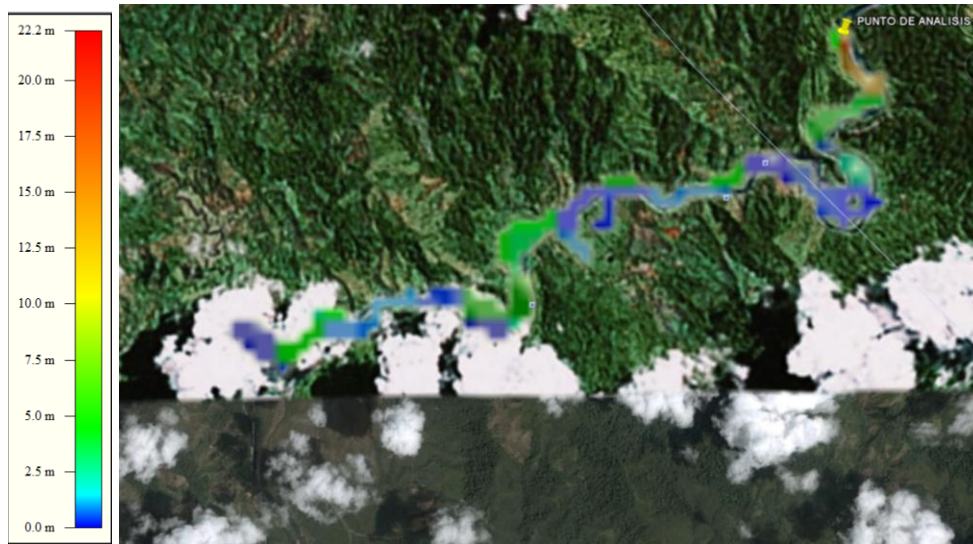


Figura 5-1 Mapa de amenaza probabilística de inundación por huracán en metros para un periodo de retorno de 100 años

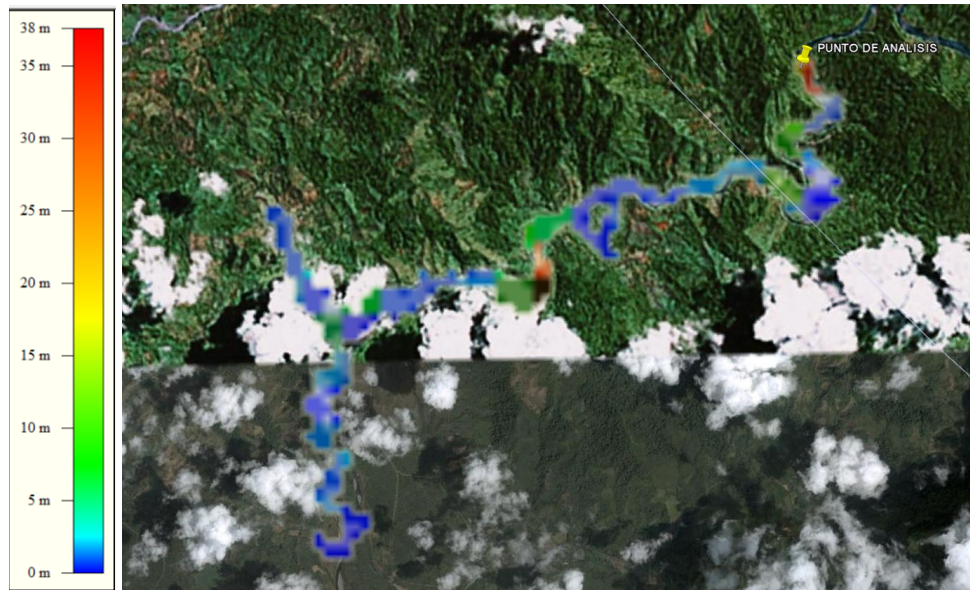


Figura 5-2 Mapa de amenaza probabilística de inundación por huracán en metros para un periodo de retorno de 500 años

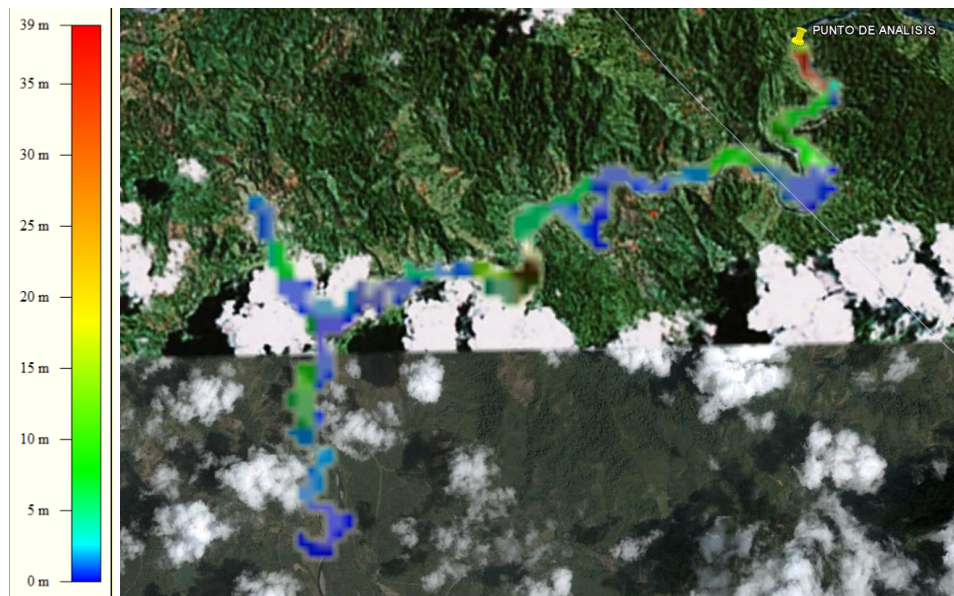


Figura 5-3 Mapa de amenaza probabilística de inundación por huracán en metros para un periodo de retorno de 1000 años

6 Conclusiones y recomendaciones

El análisis de amenaza de inundación por huracán presentado para el caso del área de estudio debe verse como una evaluación inicial que permite la cuantificación y calificación de la amenaza en esta zona y zonas cercanas considerando la mejor información disponible en el momento.

Se debe tener en cuenta que dada la escala a la que se aplican los métodos y la información utilizada en los cálculos, estos análisis en ningún caso pretenden sustituir eventuales análisis detallados en zonas críticas. Esta metodología representa una herramienta de diagnóstico muy útil que proporciona cierto grado de precisión, con el cual es posible la toma de decisiones y el manejo de áreas afectadas.

Los análisis realizados permiten obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- (a) Como era de esperarse, los mapas de inundación muestran el flujo del agua por el cauce y algunas zonas de desbordamiento, esta información resulta de utilidad para detectar zonas de peligro que para este ejercicio se identifican inmediatas a la margen del río.
- (b) La topografía de detalle influye de manera muy importante en los resultados por lo que se recomienda utilizar información con buena resolución y calidad. Esta información debe corroborarse en campo mediante levantamientos topográficos que permitan definir las características a detalle de los cauces y de las zonas planas.
- (c) Algunas limitaciones en la información utilizada para los análisis son: las simplificaciones del modelo de huracanes para el campo de lluvias (informe ERN-CAPRA-T1-3), la delimitación simplificada de la cuenca y el cauce, las consideraciones de los factores de escurrimiento N a partir de los usos de suelo y la topografía a detalle empleada.

Como ya se comentó, los resultados presentados anteriormente dependen directamente de la calidad y tipo de información suministrada al modelo. Entre más detallada y confiable sea la información, menor será la incertidumbre asociada a los resultados y por lo tanto el proceso de toma de decisiones podrá realizarse con mayor nivel de confianza.

El análisis de inundación por huracán presentado se convierte por lo tanto en un elemento fundamental en la gestión integral del riesgo. El proceso exige la participación activa de entidades públicas, universidades, sector privado y de la comunidad en general relacionada con esta temática.

7 Referencias

- Grandoso, H., 1976. Ciclones tropicales y precipitaciones intensas: Efectos Indirectos. In Intense Precipitation and Floods in Tropical Areas of Latin America, Proceedings of a Training Seminar held in San Salvador from 12 to 21 february 1976, World Meteorological Organization, Geneve, pp 41-52.
- Grandoso, H., 1979. Estudio meteorológico de las inundaciones de diciembre 1970 en Costa Rica. Geofísica Internacional, 18, 129-176.
- Rafael Chacón, Proyecto Integral de la Cuenca del Savegre. Aspectos Climáticos Relacionados con la Distribución Temporal y Espacial de la Precipitación, ARAUCARIA PSA-ICE 2002
- Proyecto Desarrollo Sostenible de la Cuenca Hidrográfica del Río Savegre. Plan de Ordenamiento Territorial de la Cuenda Hidrográfica del Río Savegre, ARAUCARIA 2003