



## NICARAGUA

# TOMO I METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS NATURALES

## INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-3 MODELACIÓN PROBABILISTA DE AMENAZAS NATURALES



CEPRENAC



Inter-American Development Bank



GFDRR



World Bank LAC

opportunities for all



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

**Consortio conformado por:**

**Colombia**

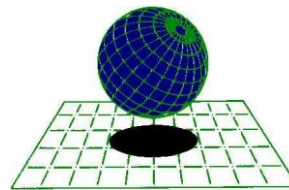
Carrera 19A # 84-14 Of 504  
Edificio Torrenova  
Tel. 57-1-691-6113  
Fax 57-1-691-6102  
Bogotá, D.C.



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](http://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

# Tabla de contenido

---

<b>1</b>	<b>Amenaza sísmica .....</b>	<b>1-1</b>
1.1	Introducción .....	1-1
1.2	Entorno Local de la Amenaza .....	1-1
1.2.1	Sismotectónica de Nicaragua .....	1-1
1.2.2	Tectónica de Placas .....	1-3
1.2.3	Sismicidad de Nicaragua.....	1-4
1.3	Información Empleada en la Modelación .....	1-4
1.3.1	Catálogo sísmico .....	1-4
1.3.2	Parámetros de sismicidad .....	1-5
1.3.3	Fuentes sísmicas empleadas.....	1-5
1.3.4	Modelo de atenuación de movimiento fuerte .....	1-9
1.4	Mapas de Amenaza para Nicaragua.....	1-10
<b>2</b>	<b>Amenaza por tsunami.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Introducción .....	2-1
2.2	Información Empleada en la Modelación .....	2-1
2.2.1	Batimetría y Topografía.....	2-1
2.2.2	Mediciones .....	2-2
2.3	Parámetros del Modelo.....	2-3
2.3.1	Eventos .....	2-3
2.3.2	Puntos de cálculo y efectos en bahías.....	2-4
2.4	Mapas de Amenaza por Tsunami en la Costa Pacífica de Nicaragua.....	2-4
<b>3</b>	<b>Amenaza por huracán .....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Introducción .....	3-1
3.2	Información Empleada en la Modelación .....	3-1
3.2.1	Topografía .....	3-1
3.2.2	Batimetría.....	3-2
3.2.3	Áreas urbanas y uso de suelo.....	3-3
3.2.4	Registros de velocidad de viento y altura de marea.....	3-4
3.2.5	Catálogo de Huracanes.....	3-4
3.3	Parámetros del Modelo.....	3-5
3.3.1	Depuración del catálogo de huracanes.....	3-5
3.3.2	Factores de exposición topográfica al viento para Nicaragua .....	3-8
3.3.3	Variación de la velocidad del viento con la altura.....	3-9
3.4	Mapas de Amenaza por Huracán en Nicaragua.....	3-11
3.4.1	Mapas de amenaza por vientos fuertes .....	3-11
3.4.2	Mapas de amenaza por marea de tormenta en la costa Atlántica .....	3-17

3.4.3	Mapas de amenaza por lluvias huracanadas .....	3-21
3.4.4	Mapas de amenaza por inundación asociada a lluvias huracanadas .....	3-27
<b>4</b>	<b>Amenaza por lluvias intensas e inundación .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Introducción .....	4-1
4.2	Información Empleada en la Modelación .....	4-1
4.3	Parámetros del modelo .....	4-2
4.4	Mapas de Amenaza por Lluvias Intensas .....	4-3
<b>5</b>	<b>Amenaza por deslizamientos .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Introducción .....	5-1
5.2	Información Empleada en la Modelación .....	5-1
5.3	Parámetros del modelo .....	5-1
5.3.1	Información general .....	5-2
5.3.2	Información de eventos detonantes .....	5-2
5.4	Mapas de Amenaza por Deslizamiento .....	5-2
<b>6</b>	<b>Amenaza volcánica .....</b>	<b>6-1</b>
6.1	Introducción .....	6-1
6.2	Entorno Local de la Amenaza .....	6-1
6.2.1	Volcán San Cristóbal .....	6-2
6.2.2	Volcán Telica .....	6-6
6.2.3	Volcán Cerro Negro .....	6-11
6.2.4	Volcán Masaya .....	6-16
6.2.5	Volcán Cosigüina .....	6-20
6.2.6	Volcán Concepción .....	6-24
6.2.7	Volcán Momotombo .....	6-28
6.2.8	Volcán Apoyeque .....	6-32

## Índice de figuras

---

FIGURA 1-1 .....	1-3
FIGURA 1-2 CATÁLOGO SÍSMICO REGIONAL DEL PROYECTO RESIS II.....	1-4
FIGURA 1-3 FUENTES DE TIPO CORTICAL. PROYECTO RESIS II .....	1-7
FIGURA 1-4 FUENTES DE TIPO INTERFASE. PROYECTO RESIS II .....	1-8
FIGURA 1-5 FUENTES DE TIPO INTRAPLACA. PROYECTO RESIS II.....	1-9
FIGURA 1-6 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PGA [CM/S <sup>2</sup> ] PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	1-11
FIGURA 1-7 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PGA [CM/S <sup>2</sup> ] PARA 1000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	1-12
FIGURA 1-8 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PGA [CM/S <sup>2</sup> ] PARA 2500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	1-13
FIGURA 1-9 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SA(T=1SEG) [CM/S <sup>2</sup> ] PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	1-14
FIGURA 1-10 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SA(T=1SEG) [CM/S <sup>2</sup> ] PARA 1000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	1-15
FIGURA 1-11 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SA(T=1SEG) [CM/S <sup>2</sup> ] PARA 2500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	1-16
FIGURA 2-1 IMAGEN DE LA BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA EMPLEADA PARA EL MODELO DE TSUNAMI EN NICARAGUA. ....	2-2
FIGURA 2-2 GRÁFICOS CON LOS DATOS DISPONIBLES DE RUN-UP DEL EVENTO DE SEPTIEMBRE DE 1992....	2-3
FIGURA 2-3 PUNTOS DE CÁLCULO PARA TSUNAMI. ....	2-4
FIGURA 2-4 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INUNDACIÓN [M] PARA 50 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	2-5
FIGURA 2-5 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INUNDACIÓN [M] PARA 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	2-6
FIGURA 2-6 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INUNDACIÓN [M] PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	2-7
FIGURA 2-7 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INUNDACIÓN [M] PARA 1000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	2-8
FIGURA 3-1 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN PARA NICARAGUA.....	3-2
FIGURA 3-2 IMAGEN DE LA BATIMETRÍA EMPLEADA PARA EL MODELO DE MAREA DE TORMENTA EN NICARAGUA .....	3-3
FIGURA 3-3 POLÍGONOS DE ÁREAS URBANAS Y USO DE SUELO PARA NICARAGUA .....	3-4
FIGURA 3-4 TRAYECTORIA DE CICLONES TROPICALES PARA LOS OCÉANOS PACÍFICO (IZQ.) Y ATLÁNTICO (DER.) HASTA EL AÑO 2007 DE ACUERDO CON LA INFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS HURDAT DE LA NOAA. ....	3-5
FIGURA 3-5 CICLONES TROPICALES CON TRAYECTORIA A MENOS DE 200KM DE LA COSTA ATLÁNTICA DE NICARAGUA, CON CATEGORÍA MAYOR O IGUAL A HURACÁN 1 EN LA ESCALA SAFFIR-SIMPSON. ....	3-6
FIGURA 3-6 FACTORES DE EXPOSICIÓN TOPOGRÁFICA POR VIENTO PARA NICARAGUA .....	3-9
FIGURA 3-7 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA ALTURA Y PARA DIFERENTES TIPOS DE TERRENO.....	3-11
FIGURA 3-8 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA 20 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-12
FIGURA 3-9 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA 50 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-13
FIGURA 3-10 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-14

FIGURA 3-11 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-15
FIGURA 3-12 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA 1000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-16
FIGURA 3-13 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL TIRANTE DE INUNDACIÓN [M] PARA 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-17
FIGURA 3-14 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL TIRANTE DE INUNDACIÓN [M] PARA 200 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-18
FIGURA 3-15 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL TIRANTE DE INUNDACIÓN [M] PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-19
FIGURA 3-16 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL TIRANTE DE INUNDACIÓN [M] PARA 1000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-20
FIGURA 3-17 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL TIRANTE DE INUNDACIÓN [M] PARA 2500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-21
FIGURA 3-18 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 20 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-22
FIGURA 3-19 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 50 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-23
FIGURA 3-20 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-24
FIGURA 3-21 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-25
FIGURA 3-22 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 1000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-26
FIGURA 3-23 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE INUNDACIÓN [M] PARA 20 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-28
FIGURA 3-24 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE INUNDACIÓN [M] PARA 50 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-29
FIGURA 3-25 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE INUNDACIÓN [M] PARA 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-30
FIGURA 3-26 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE INUNDACIÓN [M] PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-31
FIGURA 3-27 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE INUNDACIÓN [M] PARA 1000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	3-32
FIGURA 4-1 DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES CON INFORMACIÓN DISPONIBLE EN NOAA.....	4-2
FIGURA 4-2 CURVAS PADF CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN .....	4-2
FIGURA 4-3 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN PARA UNA TORMENTA ESTOCÁSTICA DE 1 DÍA DE DURACIÓN Y 2 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO. ....	4-3
FIGURA 4-4 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 20 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	4-4
FIGURA 4-5 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 50 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	4-5
FIGURA 4-6 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	4-6
FIGURA 4-7 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	4-7
FIGURA 4-8 MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DE PRECIPITACIÓN [MM] PARA 1000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	4-8
FIGURA 5-1 MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO EN CONDICIONES SECAS CON SISMO. CALCULADO CON EL MÉTODO DE MORA-VARHSON .....	5-4

FIGURA 5-2 MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO EN CONDICIONES HÚMEDAS CON SISMO. CALCULADO CON EL MÉTODO DE MORA-VARHSON .....	5-5
FIGURA 5-3 MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO EN CONDICIONES SECAS SIN SISMO. CALCULADO CON EL MÉTODO DE FALLA TRASLACIONAL .....	5-6
FIGURA 5-4 MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO EN CONDICIONES SATURADAS SIN SISMO. CALCULADO CON EL MÉTODO DE FALLA TRASLACIONAL .....	5-7
FIGURA 6-1 LOCALIZACIÓN DE PRINCIPALES VOLCANES EN NICARAGUA .....	6-2
FIGURA 6-2 COMPLEJO VOLCÁNICO SAN CRISTÓBAL .....	6-3
FIGURA 6-3 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS DE LAVA EN EL VOLCÁN SAN CRISTÓBAL....	6-5
FIGURA 6-4 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN SAN CRISTÓBAL.....	6-5
FIGURA 6-5 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN SAN CRISTÓBAL.....	6-6
FIGURA 6-6 VOLCÁN TELICA .....	6-7
FIGURA 6-7 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS DE LAVA EN EL VOLCÁN TELICA .....	6-9
FIGURA 6-8 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN TELICA .....	6-10
FIGURA 6-9 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN TELICA .....	6-11
FIGURA 6-10 VOLCÁN CERRO NEGRO (1968).....	6-12
FIGURA 6-11 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS DE LAVA EN EL VOLCÁN CERRO NEGRO..	6-14
FIGURA 6-12 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN CERRO NEGRO.....	6-15
FIGURA 6-13 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN CERRO NEGRO.....	6-16
FIGURA 6-14 COMPLEJO VOLCÁNICO MASAYA.....	6-17
FIGURA 6-15 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS DE LAVA EN EL VOLCÁN MASAYA .....	6-19
FIGURA 6-16 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN MASAYA	6-19
FIGURA 6-17 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN MASAYA	6-20
FIGURA 6-18 VOLCÁN COSIGÜINA.....	6-21
FIGURA 6-19 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN COSIGÜINA ... .....	6-23
FIGURA 6-20 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN COSIGÜINA ... .....	6-24
FIGURA 6-21 VOLCÁN CONCEPCIÓN .....	6-25
FIGURA 6-22 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS DE LAVA EN EL VOLCÁN CONCEPCIÓN....	6-27
FIGURA 6-23 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN CONCEPCIÓN .....	6-27
FIGURA 6-24 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN CONCEPCIÓN .....	6-28
FIGURA 6-25 VOLCÁN MOMOTOMBO .....	6-29
FIGURA 6-26 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS DE LAVA EN EL VOLCÁN MOMOTOMBO ..	6-31
FIGURA 6-27 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN MOMOTOMBO .....	6-31
FIGURA 6-28 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN MOMOTOMBO .....	6-32
FIGURA 6-29 VOLCÁN APOYEQUE .....	6-33
FIGURA 6-30 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN APOYEQUE .... .....	6-34
FIGURA 6-31 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN APOYEQUE .... .....	6-35

## Índice de tablas

---

TABLA 1-1 PARÁMETROS DE SISMICIDAD DE LAS FUENTES.....	1-5
TABLA 1-2 COEFICIENTES DEL MODELO DE ATENUACIÓN DE CLIMENT ET AL. 1994 .....	1-10
TABLA 3-1 PARÁMETROS PRINCIPALES (VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO, CATEGORÍA, NOMBRE Y FECHA) DE LOS CICLONES TROPICALES CONSIDERADOS. ....	3-6
TABLA 3-2 DISTRIBUCIÓN POR CATEGORÍA EN LA ESCALA SAFFIR-SIMPSON, DE LOS CICLONES TROPICALES CONSIDERADOS. ....	3-8
TABLA 3-3 FACTORES DE EXPOSICIÓN TOPOGRÁFICA AL VIENTO PARA NICARAGUA .....	3-9
TABLA 3-4 PARÁMETROS $\sigma$ Y $\tau$ PARA LOS TIPOS DE TERRENO MÁS REPRESENTATIVOS EN LA REGIÓN NICARAGÜENSE .....	3-10
TABLA 5-1. ANÁLISIS DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO REALIZADOS .....	5-3
TABLA 6-1 VOLCANES DE NICARAGUA .....	6-1
TABLA 6-2 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN SAN CRISTÓBAL.....	6-4
TABLA 6-3 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN TELICA .....	6-8
TABLA 6-4 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN CERRO NEGRO.....	6-13
TABLA 6-5 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN MASAYA.....	6-18
TABLA 6-6 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN COSIGÜINA.....	6-22
TABLA 6-7 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN CONCEPCIÓN .....	6-26
TABLA 6-8 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN MOMOTOMBO .....	6-30
TABLA 6-9 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN APOYEQUE .....	6-33

# 1 Amenaza sísmica

---

## 1.1 Introducción

Este capítulo presenta la reevaluación de la amenaza sísmica de Nicaragua, empleando los avances presentados en el proyecto regional RESIS II (NORSAR et. al. 2008), el cual constituye el estudio más avanzado a la fecha con relación a evaluación de amenaza sísmica en América Central. A partir de la sismotectónica de la región, y la sismicidad registrada e histórica, se definieron una serie de fuentes sismogénicas, las cuales cubren la totalidad del territorio centroamericano, y conservan las condiciones de sismicidad generales y su variación regional.

## 1.2 Entorno Local de la Amenaza

### 1.2.1 Sismotectónica de Nicaragua

La historia geológica de Nicaragua tiene sus comienzos en la era Paleozoica, en la cual Centroamérica se conformaba por dos provincias geológicas principales, septentrional y meridional, finalizando cada una en el norte y sur de Nicaragua respectivamente.

La provincia septentrional, que cubre parte del norte de Nicaragua como son los departamentos de Nueva Segovia y Jinotega, corresponde a una corteza continental conformada por rocas metamórficas paleozoicas sobre las cuales yacen rocas sedimentarias del paleozoico, mesozoico y terciario, y grandes extensiones de rocas ígneas del terciario, depositadas como producto de la alta actividad volcánica de esa era.

La provincia meridional, que conforma la parte sur de Nicaragua, particularmente el territorio del departamento de Río San Juan y la zona sur de la Región Autónoma del Atlántico Sur, está estructurada por una corteza oceánica cretácea conformada por rocas ígneas superpuestas por depósitos de sedimentos marinos intercalados con rocas volcánicas del terciario.

La actividad volcánica de alta intensidad que se presentó durante el terciario superior, ocasionó la alteración de las rocas de las provincias septentrional y meridional. El canal interoceánico existente entre las dos, se vio bloqueado por el gran volumen de rocas volcánicas depositadas durante este periodo, y que pueden agruparse en tres formaciones principales de la zona central de Nicaragua: Coyal, Matagalpa y Pre-Matagalpa. Dicha actividad volcánica generó el puente terrestre entre América septentrional y meridional, y forjó la orografía y geografía actual del continente (Dirección General de Geofísica, INETER).



### 1.2.1.1 Geología Regional de Nicaragua

Geológicamente, Nicaragua está limitada en su costa Pacífica por la zona de subducción de la placa Cocos con la placa Caribe, o fosa mesoamericana, mientras en la costa atlántica está limitada por la placa Caribe y el banco de Nicaragua. El territorio nicaragüense se encuentra dividido en cinco provincias geológicas principales (Dirección General de Geofísica, INETER):

*Provincia Geológica del Pacífico (Cuenca de Sedimentación de la Costa Pacífica):* Situada al noroeste de Nicaragua, en la depresión de la fosa mesoamericana, llegando hasta la cuenca de Limón en Costa Rica. Predomina el material de tipo marino como depósitos turbidíticos y pelágicos del cretáceo superior, así como estratigrafía de tipo clástica, volcanoclástica y nerítica, conformada por conglomerados, areniscas, limonitas, lutitas, grauvacas y calizas, intercaladas con rocas volcánicas y cenizas piroclásticas. La actividad tectónica de la zona, ha plegado los depósitos de la provincia del pacífico en un anticlinal con dirección predominante NO-SE, del cual se deriva la formación de una serie de fallas en dirección primordial perpendicular al anticlinal. El fallamiento ha permitido la intrusión de material magmático en los depósitos sedimentarios.

*Provincia Geológica Depresión o Graben de Nicaragua:* Constituye una formación joven, que atraviesa la región pacífica de Nicaragua. Se encuentra limitado por dos sistemas de fallas con dirección NO-SE y su origen está asociado a actividad volcánica reciente, así como a la actividad tectónica de la zona de subducción del pacífico. Está conformada principalmente por material piroclástico y aluviones. La cadena volcánica del país atraviesa esta estructura. Los lagos de Nicaragua y Managua ocupan aproximadamente el 40% del área de la depresión.

*Provincia Geológica Central (Provincia Volcánica Terciaria):* Comprende las tierras altas del interior nicaragüense, conformada por rocas volcánicas del Terciario principalmente. Las principales regiones geológicas que hacen parte de la provincia son Coyol, Matagalpa y Pre-Matagalpa. Los principales sistemas de fallas que atraviesan la provincia son, el Graben de Managua (N-S), el sistema de fallas de Punta Huete (NE-SO), el sistema de Matiguás (NO-SE) y el sistema de Hess (aprox. O-E).

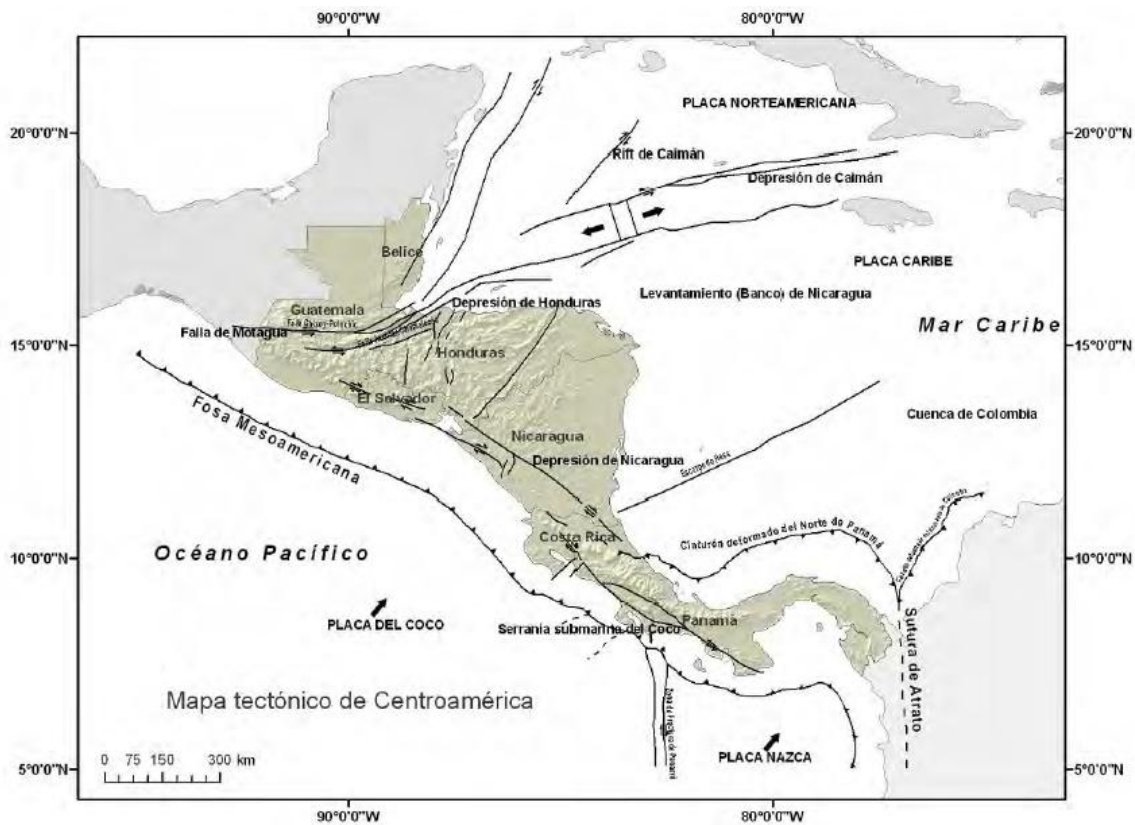
*Provincia Geológica del Norte (Plataforma Paleozoica y Mesozoica):* Corresponde a la plataforma paleozoica y mesozoica de la América septentrional, cubriendo el territorio del departamento de Nueva Segovia y parte de Jinotega. Limita el Este con rocas volcánicas de la formación Matagalpa y rocas sedimentarias de la cuenca de Mosquitia. El límite Oeste lo marca el sistema de fallas de Matiguás.

*Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica (Cuenca de Sedimentación de la Costa Atlántica):* Esta provincia abarca la Cuenca de Mosquitia y el Banco de Nicaragua, comprendiendo una extensa área del territorio nacional de Nicaragua. Limita al Sur y Noreste por la Provincia volcánica terciaria, al Oeste por la Plataforma paleozoica y mesozoica, y al Este por el mar Caribe. La región que se encuentra en tierra firme se caracteriza por terrenos bajos llanos y ondulados, cubiertos por depósitos de grava y arena,

y algunos afloramientos de las formaciones Matagalpa y Pre-Matagalpa. El Banco Continental de Nicaragua se extiende hasta Jamaica, y limita la Norte con la Cuenca de Yucatán, y al Sur con la cuenca de Colombia.

### 1.2.2 Tectónica de Placas

El entorno neotectónico de Nicaragua está regido por la interacción de las placas Cocos y Caribe en la zona de subducción del Pacífico (ver Figura 1-1). La región de subducción se localiza a 100 km aproximadamente de la línea costera de Centroamérica, y presenta velocidades de desplazamiento relativo entre placas de alrededor de 8 cm/año. El movimiento tectónico se refleja por la gran cantidad de sismos que ocurren en la zona, y en la presencia de la cadena volcánica parcialmente activa que atraviesa el continente. Nicaragua se caracteriza por presentar familias de fallamiento con dirección preferencial N-S, NO-SE, NO-SO y E-O (Dirección General de Geofísica, INETER).



**Figura 1-1**  
**Entorno Tectónico de Centroamérica**  
 (Fuente: RESIS II. Informe Final.)

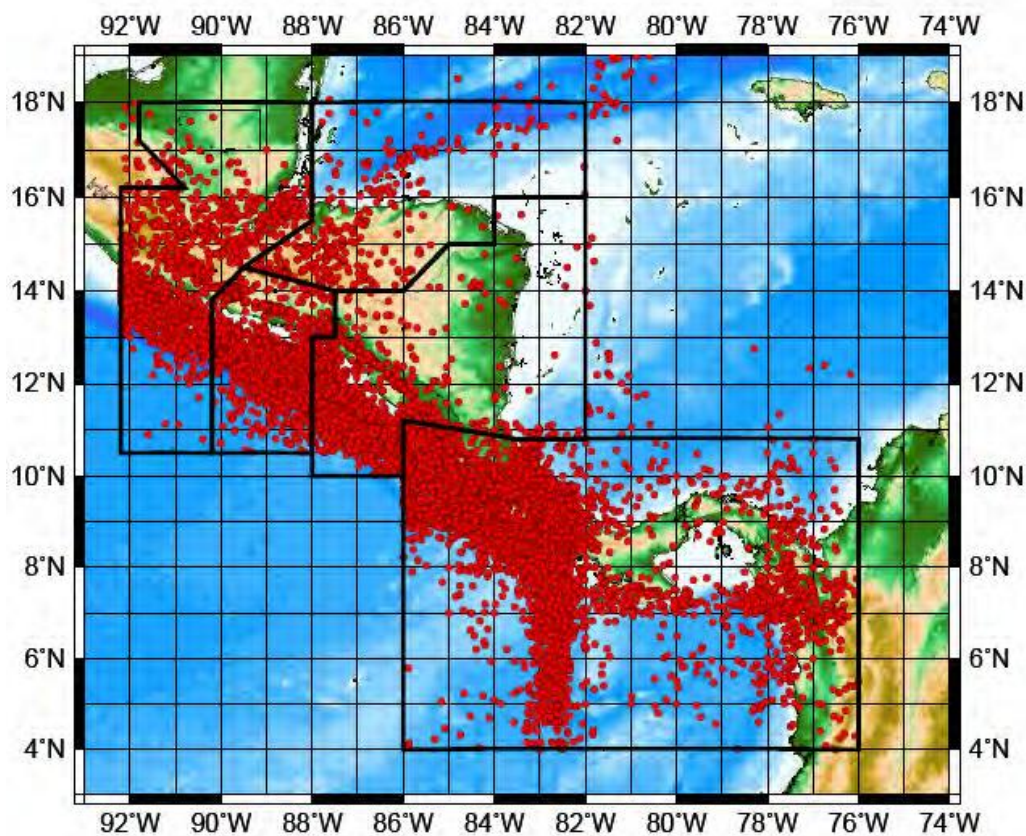
### 1.2.3 Sismicidad de Nicaragua

La ocurrencia de eventos sísmicos en Nicaragua está relacionada con la zona de subducción del Pacífico. La subducción es capaz de generar eventos sísmicos de magnitud importante (8+), a profundidades que son variables a medida que se adentra en el continente, siendo más probable la generación de un sismo relativamente superficial en cercanías a la costa Pacífica, situación que implica una importante amenaza por tsunamis sobre la infraestructura y poblaciones expuestas.

## 1.3 Información Empleada en la Modelación

### 1.3.1 Catálogo sísmico

Se trabajó con un catálogo sísmico regional (RESIS II), compilado a partir de catálogos individuales recopilados del Centro sismológico para América Central (CASC), y catálogos nacionales de El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, el cual cuenta con 29.918 sismos de magnitud  $M_w$  igual o superior a 3.5. La Figura 1-2 presenta el catálogo de eventos total para el proyecto RESIS II.



*Figura 1-2*

*Catálogo sísmico regional del proyecto RESIS II*

*(Tomado de Proyecto RESIS II Evaluación de la Amenaza Sísmica en Centroamérica, 2008)*

### 1.3.2 Parámetros de sismicidad

Cada una de las fuentes sismogénicas se caracteriza mediante una serie de parámetros de sismicidad los cuales se determinan con base en la información sísmica disponible. Estos parámetros son los siguientes:

- Recurrencia de magnitudes: se identifica mediante el parámetro  $\beta$  que representa la pendiente promedio de la curva de recurrencia de magnitudes (curva de número de eventos con magnitud mayor que M, versus magnitud sísmica M) en la zona de magnitudes bajas.
- Magnitud máxima: se estima con base en la máxima longitud de ruptura posible de cada una de las fuentes y en otras características morfológicas.
- Tasa de recurrencia de sismos con magnitud mayor que 4.5: corresponde al número promedio de eventos por año de sismos con magnitud mayor que 4.5 que ocurren en una determinada fuente.

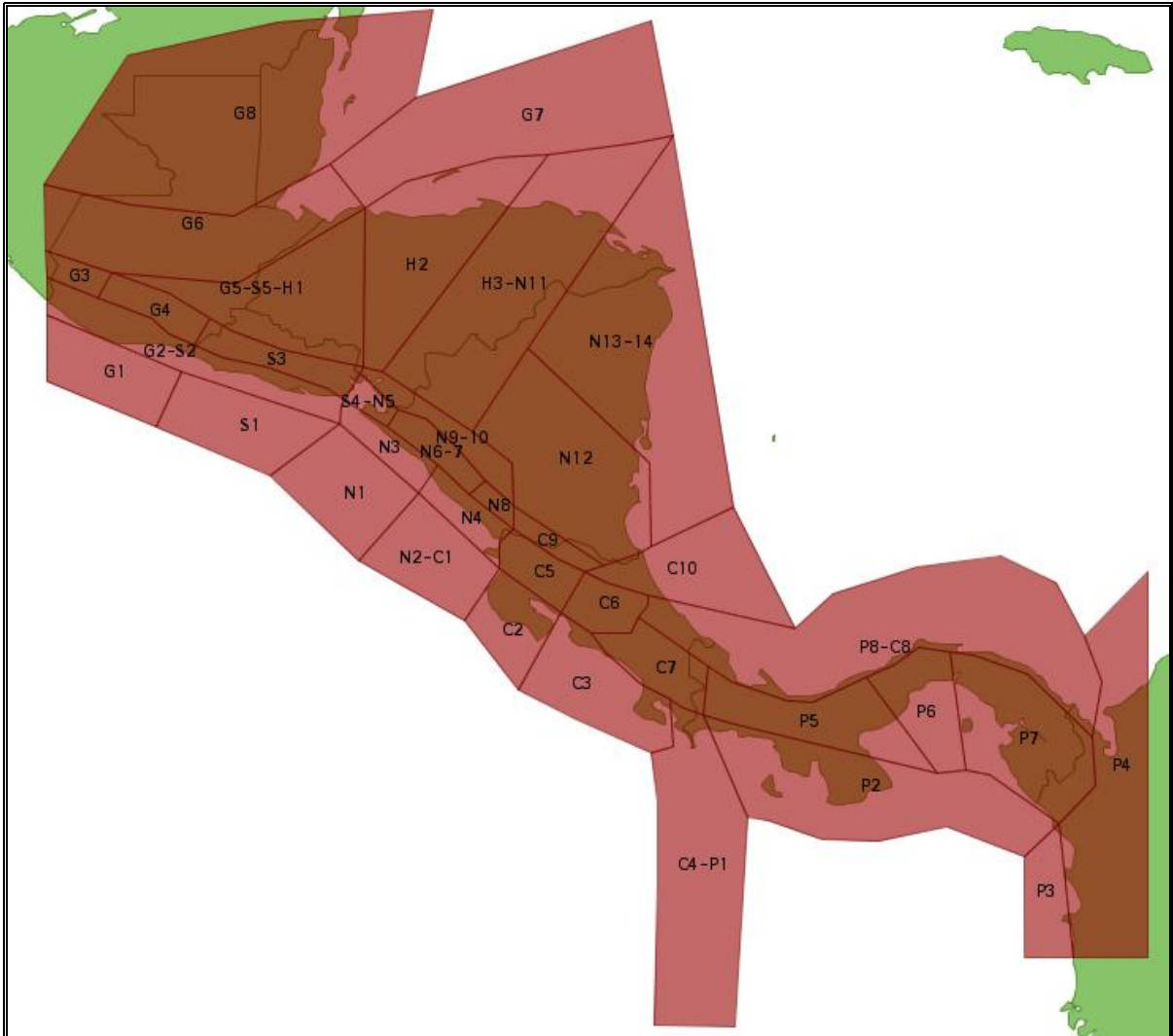
### 1.3.3 Fuentes sísmicas empleadas

El modelo de cálculo de la amenaza sísmica se basa en la información de fuentes sismogénicas a nivel regional. Los parámetros de las fuentes sísmicas nacionales son los mismos que los determinados en el estudio RESIS II. El modelo de amenaza sísmica queda conformado por 53 fuentes regionales, 37 de las cuales son de tipo cortical, y 16 profundas. En la Tabla 1-1 se presentan los parámetros de caracterización de las fuentes empleadas en el presente estudio. En la Figura 1-3, Figura 1-4, y Figura 1-5 se presenta la distribución geográfica de las fuentes sismogénicas a nivel regional.

**Tabla 1-1**  
**Parámetros de sismicidad de las fuentes.**  
(Se resaltan las fuentes particulares de Nicaragua)

Nombre zona	Código	Prof (Km)	$\lambda_0$	$\beta$	Mu	Mo
Guat. Pacífico Ctral.	G1	20	3.51	2.05	7.5	4.5
Guat-El.Salv.Antearco.Ctrl	G2-S2	20	1.6	2.22	6.3	4.5
Guat. Acrc.Volc.Oeste	G3	10	0.18	1.35	6.7	4.5
Guat. Arc.Volc.Este	G4	10	0.65	1.63	7	4.5
Guat-Sal-Hon. Depresión ctrl.	G5-S5-H1	10	0.97	1.94	6.8	4.5
Guat. Polich-Motagua Oeste	G6	10	1.32	1.88	7.8	4.5
Guat. Poloch-Motagoa NE	G7	10	0.93	1.8	7.8	4.5
Guat. Norte (Peten-Belice)	G8	10	0.75	1.71	6.7	4.5
Hond. Altiplano Central	H2	10	0.73	2.62	6.3	4.5
<b>Hond-Nic.Zona Gayape</b>	<b>H3-N11</b>	<b>10</b>	<b>0.36</b>	<b>2.38</b>	<b>6.3</b>	<b>4.5</b>
El Salv.Pacífico Central	S1	20	9.77	3.42	7.5	4.5
El Salv. Arco Volcánico ctrl.	S3	10	1.18	1.92	7	4.5

<b>Salv.Nic.ArcVolc (G.Fonsec)</b>	<b>S4-N5-H4</b>	<b>10</b>	<b>0.52</b>	<b>2.11</b>	<b>6.6</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Pacífico Oeste</b>	<b>N1</b>	<b>10</b>	<b>13.73</b>	<b>2.67</b>	<b>8</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Pacíf. SE- CR Papagayo</b>	<b>N2-C1</b>	<b>20</b>	<b>25.03</b>	<b>3.28</b>	<b>7.4</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Antearco Oeste</b>	<b>N3</b>	<b>20</b>	<b>1.35</b>	<b>1.96</b>	<b>6.8</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Antearco Este</b>	<b>N4</b>	<b>20</b>	<b>1.05</b>	<b>3.42</b>	<b>6.8</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Arco Volc. O-Ctral</b>	<b>N6-N7</b>	<b>10</b>	<b>1.68</b>	<b>2.07</b>	<b>6.5</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Arco Volc. SE</b>	<b>N8</b>	<b>10</b>	<b>0.27</b>	<b>1.4</b>	<b>6.8</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Depres. Tras Arco</b>	<b>N9-N10</b>	<b>10</b>	<b>0.24</b>	<b>0.97</b>	<b>6.8</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Caribe Sur</b>	<b>N12</b>	<b>10</b>	<b>0.44</b>	<b>2.53</b>	<b>6.2</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Caribe Noroeste</b>	<b>N13-N14</b>	<b>10</b>	<b>0.57</b>	<b>2.2</b>	<b>6.2</b>	<b>4.5</b>
CR. Antearco Noroeste	C2	20	2.2	2.27	7.2	4.5
CR. Ante Acto Pac. Ctral.	C3	15	4.56	2.11	7.3	4.5
Pan-CR.ZFP-Burica	P1-C4	5	19.61	2.37	7.5	4.5
CR. Arc.Voc.Guanacaste	C5	10	1	2.04	6.6	4.5
CR. Cord. Volc. Ctral	C6	10	1.09	2.02	7.1	4.5
CR-Talamanca.	C7	10	2.76	2.73	7.1	4.5
CR. Trascarco Norte	C9	10	0.25	1.99	6.3	4.5
CR. Carib.Ctral-Parismina	C10	20	0.44	2.41	6.2	4.5
Pan. Cint.Def.Sur-Pan	P2	10	2.97	2.05	7.1	4.5
Pan. Antearco Colombia	P3	20	0.73	1.95	7	4.5
Pan. Zona de Sutura Atrato	P4	10	1.93	2.2	7.2	4.5
Pan Occidental	P5	10	0.89	3.12	6.5	4.5
Pan. Central	P6	10	0.08	2.23	6.7	4.5
Pan. Este-Darién	P7	10	1.12	1.61	7.4	4.5
Pan.Cint.Def.N.Pan-Limón	P8-C8	15	2.6	1.94	7.8	4.5
Guat. Interplaca	Gsi9	26 -70	2.14	1.89	7.9	4.5
El Salv. Interplaca	Ssi5	26 -70	3.93	2.27	7.9	4.5
<b>Nic.Interplaca Noroeste</b>	<b>Nsi15</b>	<b>26 -70</b>	<b>4.32</b>	<b>3.09</b>	<b>7.9</b>	<b>4.5</b>
<b>Nic. Interplaca Sureste</b>	<b>Nsi16</b>	<b>26 -70</b>	<b>1.94</b>	<b>1.8</b>	<b>7.9</b>	<b>4.5</b>
CR. Interplaca Nicoya	Csi11	26 -63	0.38	1.14	7.8	4.5
CR. Interplaca Quepos	Csi12	26 -51	0.65	2	7	4.5
CR. Interplaca Osa	Csi13	26 -52	0.14	1.02	7.4	4.5
Pan. Interplaca Sur.Pan	Psi9	26 -50	0.58	2.08	7.1	4.5
Pan.InterpS.Blas.Darién -Chocó	Psi10	50 Fijo	1.16	1.72	7.5	4.5
Guat. Intraplaca	Gsp10	61- 250	5	2.11	7.9	4.5
El Salv. Intraplaca	Ssp6	61- 200	4.49	2.4	7.9	4.5
<b>Nic. Intraplaca</b>	<b>Nsp17</b>	<b>61- 200</b>	<b>13.76</b>	<b>2.78</b>	<b>7.3</b>	<b>4.5</b>
CR. Intraplaca NW	Csp14	40- 177	0.98	2.42	7	4.5
CR. Intraplaca Central	Csp15	40- 155	0.54	1.56	7.4	4.5
CR. Intraplaca SE	Csp16	40- 82	0.11	1.45	6.8	4.5
Pan. Intraplaca Sur	Psp11	50- 100	0.14	1.2	7.1	4.5



*Figura 1-3*  
*Fuentes de tipo cortical. Proyecto RESIS II*



*Figura 1-4*  
*Fuentes de tipo interfase. Proyecto RESIS II*





*Figura 1-5*  
*Fuentes de tipo intraplaca. Proyecto RESIS II*

### 1.3.4 Modelo de atenuación de movimiento fuerte

Como modelo de atenuación de ondas sísmicas se adoptó el propuesto por Climent et al. 1994, el cual fue generado con sismos de la región y otras regiones tectónicamente similares. La función de atenuación se basa en la siguiente ecuación general.

$$\ln A = c_1 + c_2 M + c_3 \ln R + c_4 R + c_5 S \quad (\text{Ec. 1})$$



donde  $M$  es magnitud de momento,  $R$  es la distancia hipocentral, y  $S$  es un factor de suelo, que vale cero para sitios en roca y 1 para sitios en suelo blando. Los coeficientes  $c$  se definen como se muestra en la Tabla 1-2.

*Tabla 1-2  
Coeficientes del modelo de atenuación de Climent et al. 1994*

A	T [seg]	c1	c2	c3	c4	c5	$\sigma$
PSV	4	-7.441	1.007	-0.601	-0.0004	0.496	0.73
PSV	2	-7.348	1.128	-0.728	-0.00053	0.536	0.79
PSV	1	-6.744	1.081	-0.756	-0.00077	0.588	0.82
PSV	0.5	-5.862	0.917	-0.726	-0.00107	0.566	0.82
PSV	0.2	-4.876	0.642	-0.642	-0.00156	0.47	0.82
PSV	0.1	-4.726	0.483	-0.581	-0.00199	0.381	0.8
PSV	0.05	-5.487	0.447	-0.55	-0.00246	0.309	0.78
PGA		-1.687	0.553	-0.537	-0.00302	0.327	0.75

#### 1.4 Mapas de Amenaza para Nicaragua

Se calculó la amenaza sísmica de Nicaragua para varios periodos estructurales y varios periodos de retorno. Los mapas de amenaza uniforme que se presentan a continuación, permiten visualizar la distribución de las intensidades máximas probables debidas a la ocurrencia de sismos simultáneos en todas las fuentes generadoras, para el periodo de retorno correspondiente. Son mapas de amenaza indicativos del peligro específico de la zona, y sus aplicaciones permiten adoptar criterios para la zonificación de amenaza, insumo para normativas de diseño y planes de socialización del riesgo.

A continuación se presentan los mapas de amenaza calculados para Nicaragua, para aceleración máxima del terreno (PGA), y aceleración espectral para periodo estructural de 1 segundo, para periodos de retorno de 500, 1000 y 2500 años. Los cálculos fueron realizados empleando el programa CRISIS 2007 (Ordaz et. al. 2007)

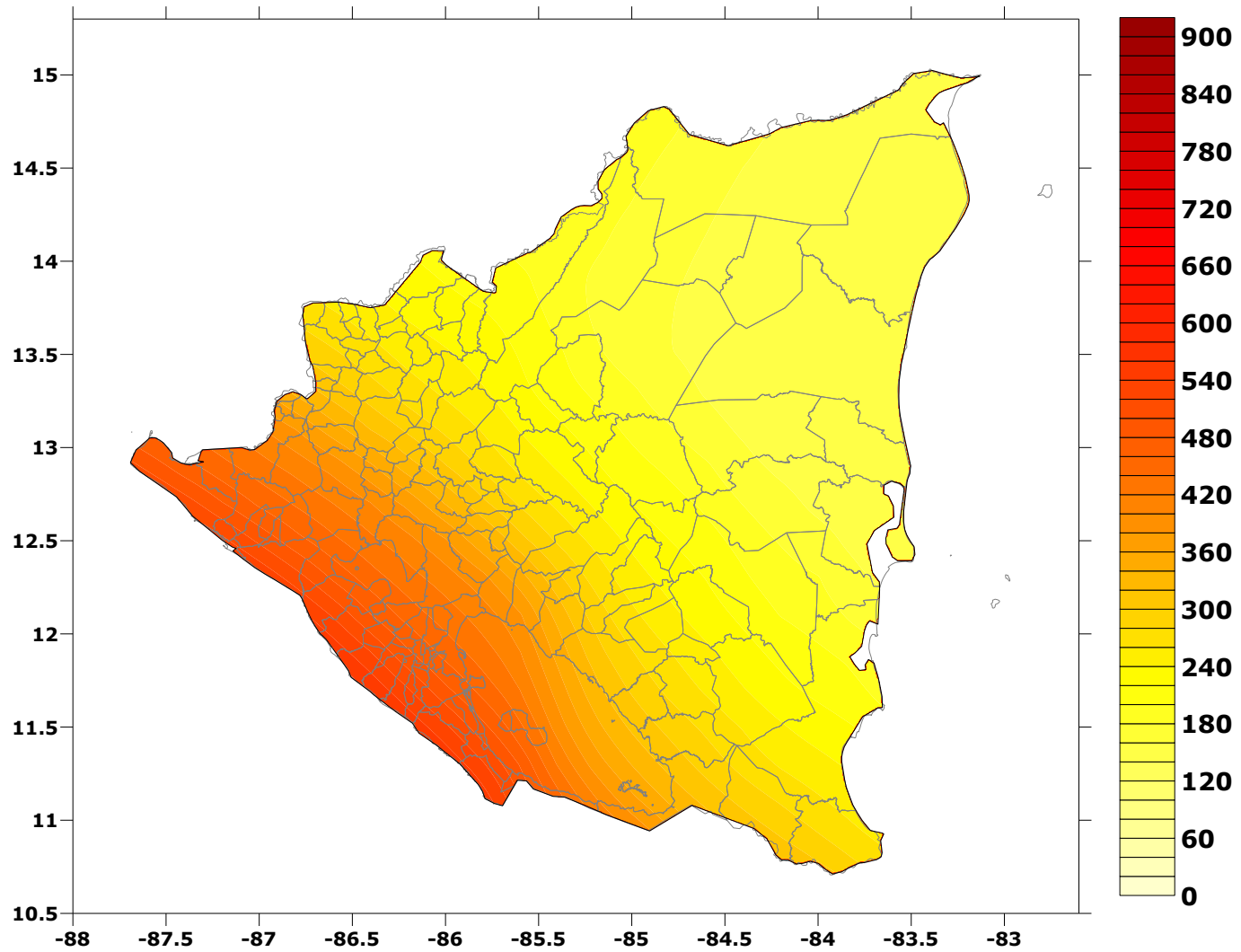


Figura 1-6  
Mapa de distribución espacial de PGA [cm/s<sup>2</sup>] para 500 años de periodo de retorno

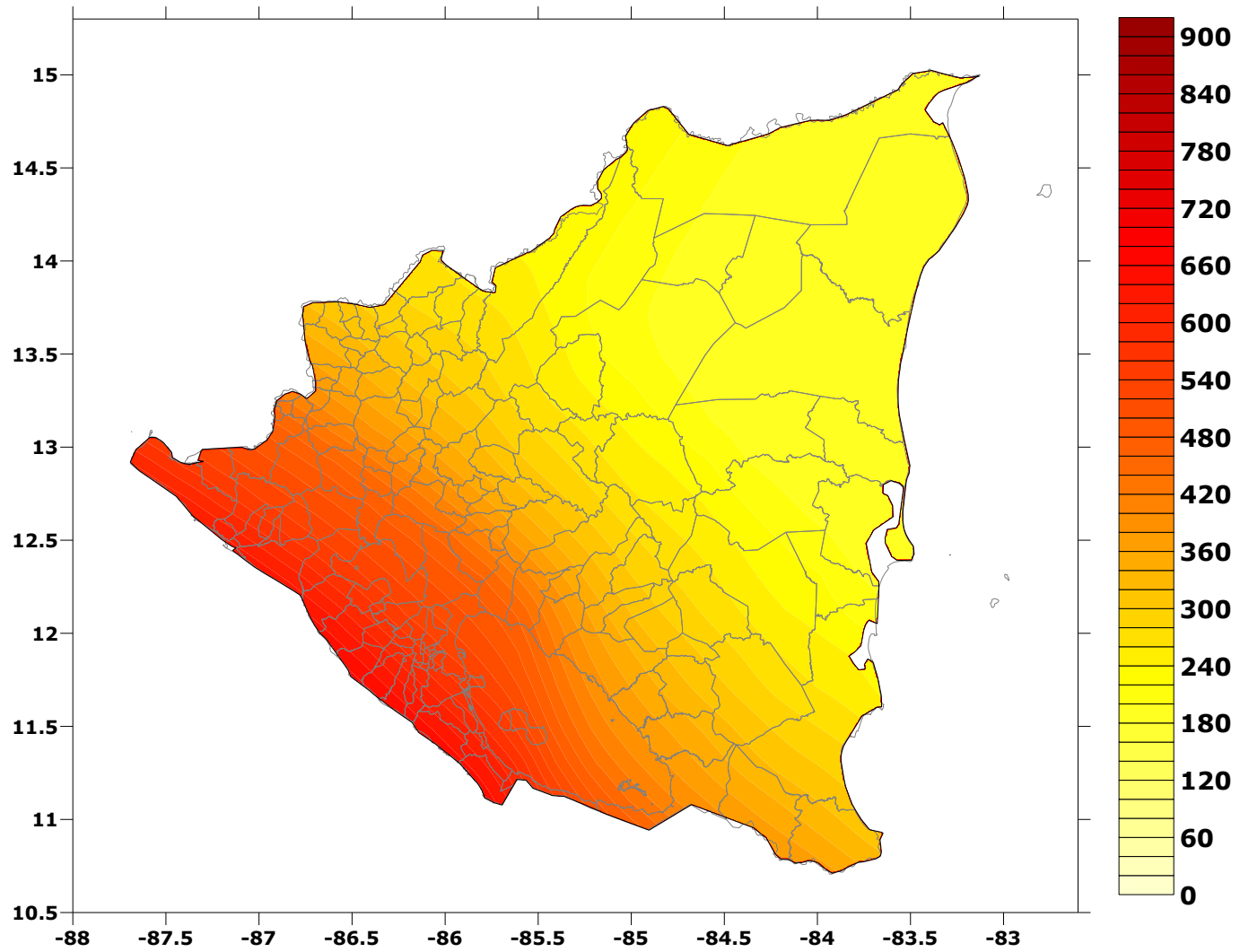


Figura 1-7  
Mapa de distribución espacial de PGA [cm/s<sup>2</sup>] para 1000 años de periodo de retorno

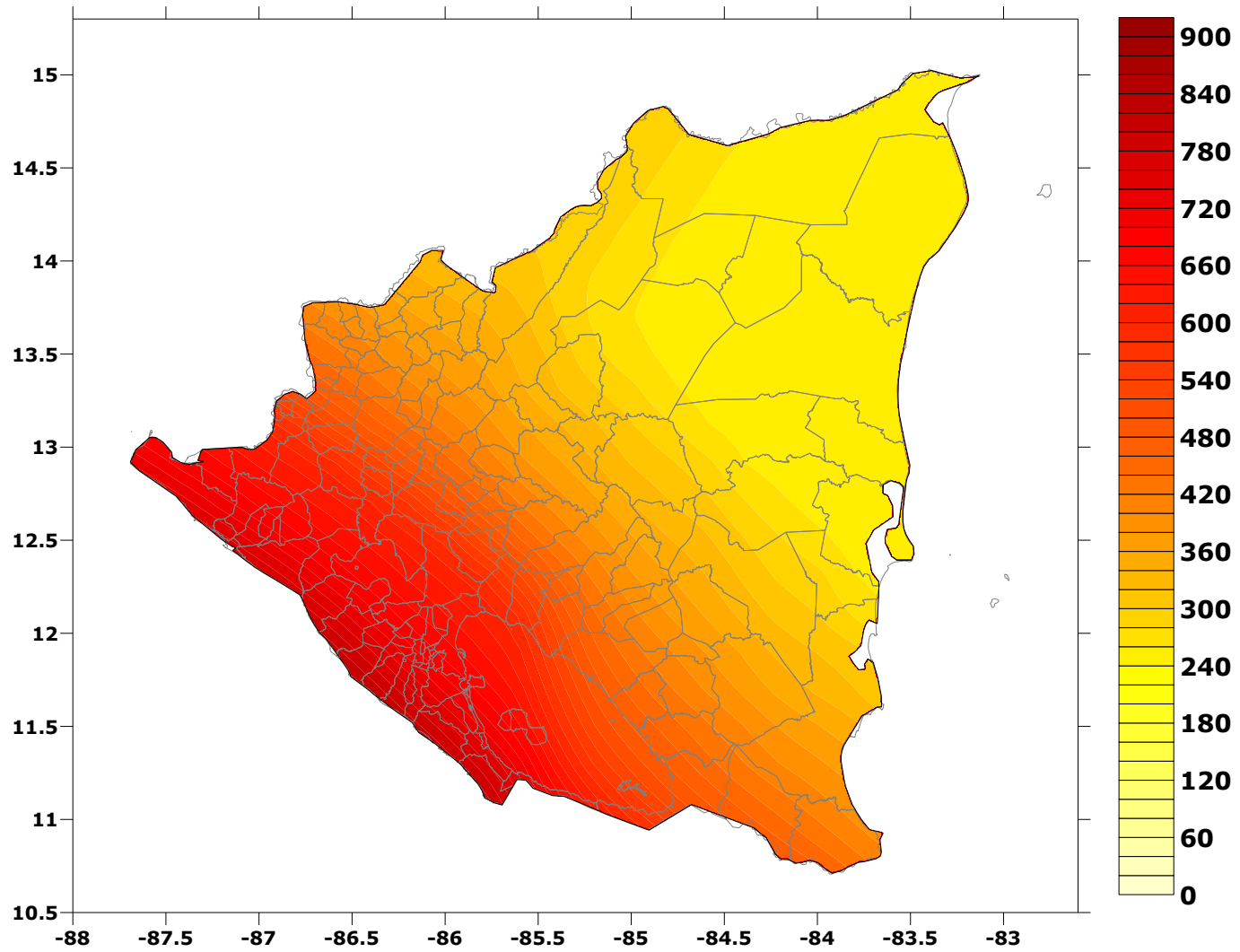


Figura 1-8  
Mapa de distribución espacial de PGA [cm/s<sup>2</sup>] para 2500 años de periodo de retorno

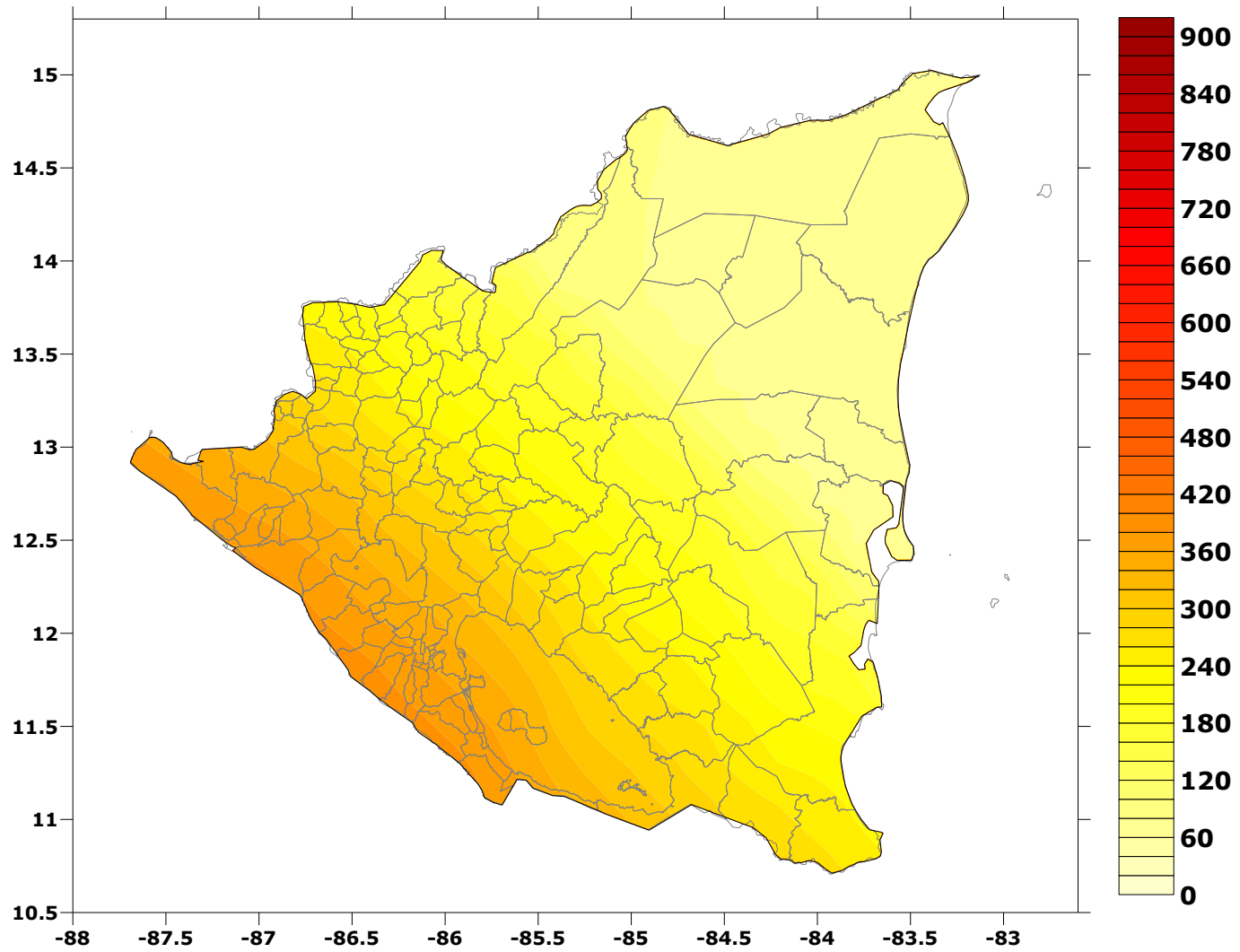


Figura 1-9  
Mapa de distribución espacial de  $S_a(T=1\text{seg})$  [ $\text{cm/s}^2$ ] para 500 años de periodo de retorno

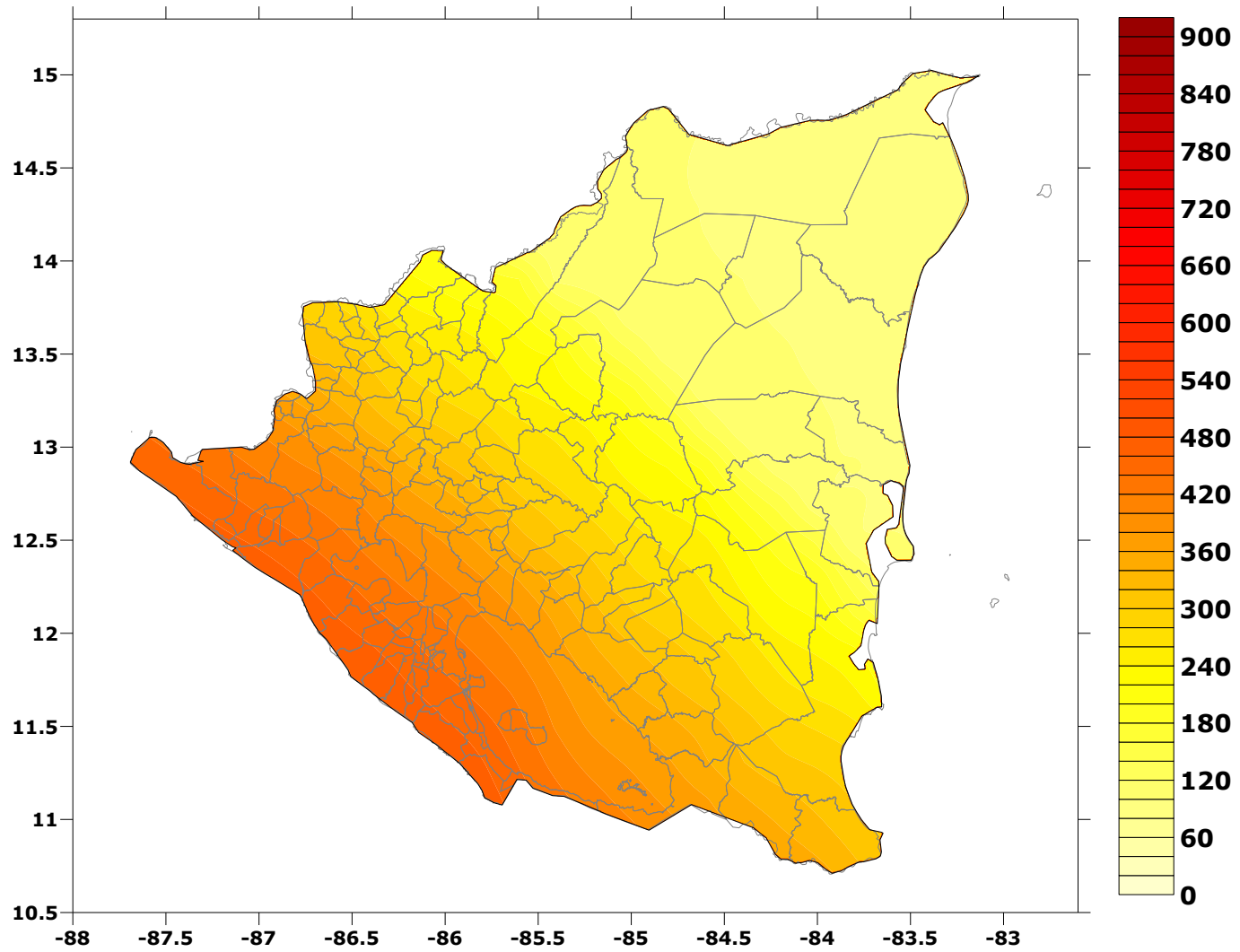


Figura 1-10  
Mapa de distribución espacial de  $S_a(T=1\text{seg})$  [ $\text{cm/s}^2$ ] para 1000 años de periodo de retorno

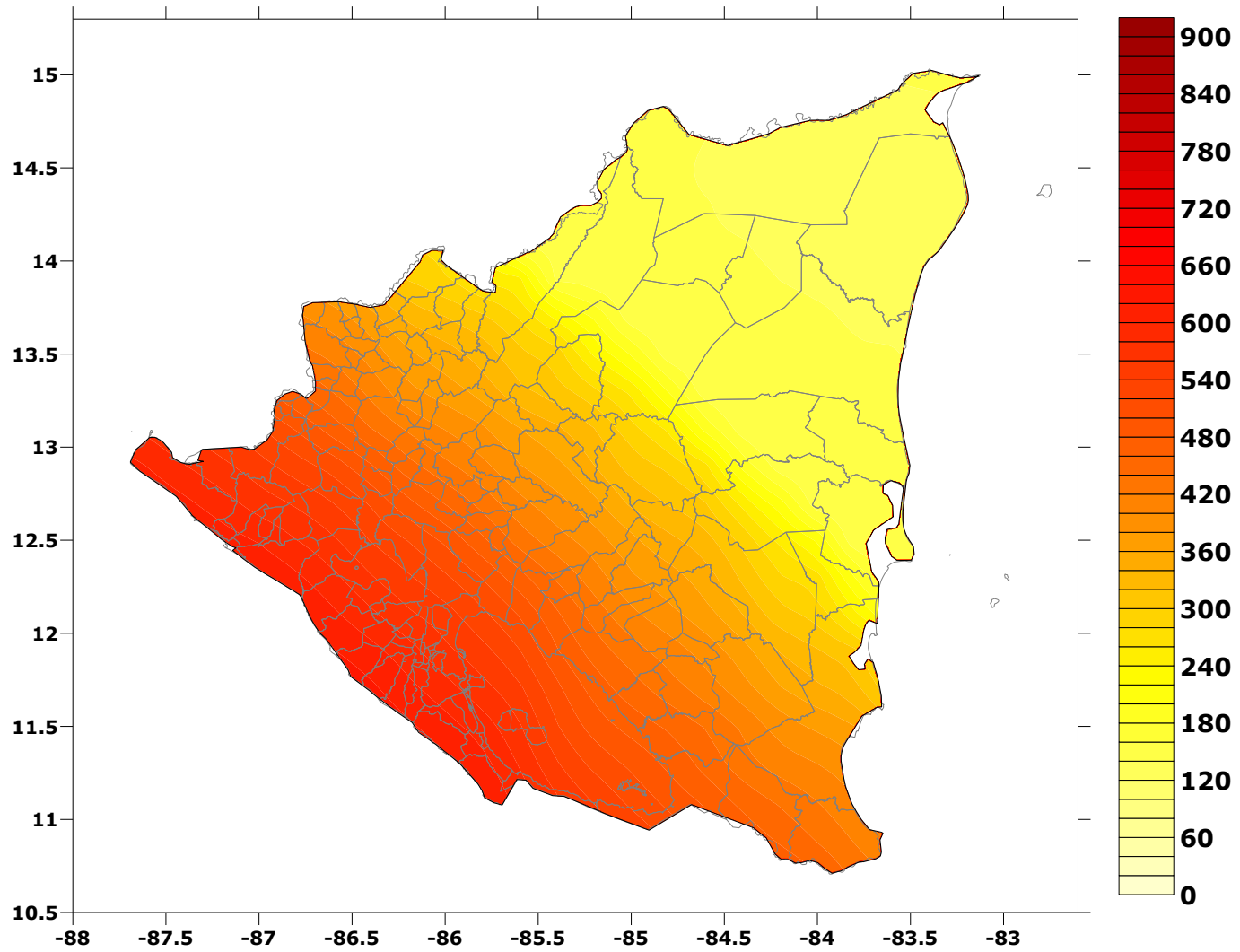


Figura 1-11  
Mapa de distribución espacial de  $S_a(T=1\text{seg})$  [ $\text{cm/s}^2$ ] para 2500 años de periodo de retorno

## 2 Amenaza por tsunami

---

### 2.1 Introducción

Los tsunamis están directamente asociados a la actividad tectónica de la zona de subducción del Pacífico nicaragüense. Las condiciones propias de esta zona de interacción de placas, implican el potencial de generación de sismos altamente destructivos, de magnitudes mayores a 7, y mecanismos de ruptura particulares que pueden generar un desnivel importante y relativamente repentino en el fondo del lecho marino, condición ideal de detonación de tsunamis.

La generación de tsunamis puede presentarse en cualquier punto a lo largo de la costa pacífica de Centroamérica. El impacto de un tsunami particular depende en gran medida de las condiciones batimétricas y topográficas locales, así como de la localización exacta de la población o infraestructura expuesta con relación a la costa, y su vulnerabilidad a este tipo de amenaza.

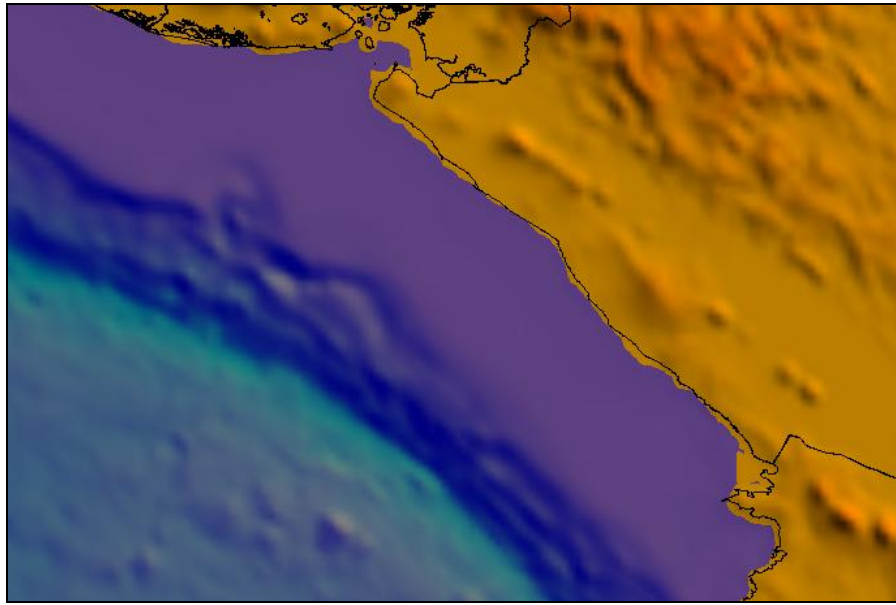
El análisis de amenaza por tsunami se realiza en dos pasos principales. Inicialmente se definen las condiciones de *generación*, las cuales están asociadas a las tasas de ocurrencia de terremotos de magnitud alta en la subducción. Los sismos que detonen un tsunami serán aquellos que induzcan un levantamiento significativo del lecho marino. Una vez se conocen las condiciones de generación, se analiza la *propagación y arribo* del tsunami, fenómeno que está asociado al desplazamiento de las ondas gravitacionales por el océano, y la modificación de sus características de arribo en función de características batimétricas locales.

### 2.2 Información Empleada en la Modelación

#### 2.2.1 Batimetría y Topografía

La batimetría y topografía costera definen la manera como se verá amplificada la amplitud de la ola, o *Run-up*, con el fin de calcular las condiciones particulares de impacto del tsunami. Se empleó un modelo digital de batimetría y topografía combinado, disponible en la base de datos de ERN, con una resolución de 2 minutos, lo cual corresponde a un tamaño de píxel de 3.6 kilómetros. La información se obtuvo de la base de datos ETOPO2v2 (2006), de la agencia estadounidense NOAA. La Figura 2-1 presenta el modelo digital de elevación empleado.



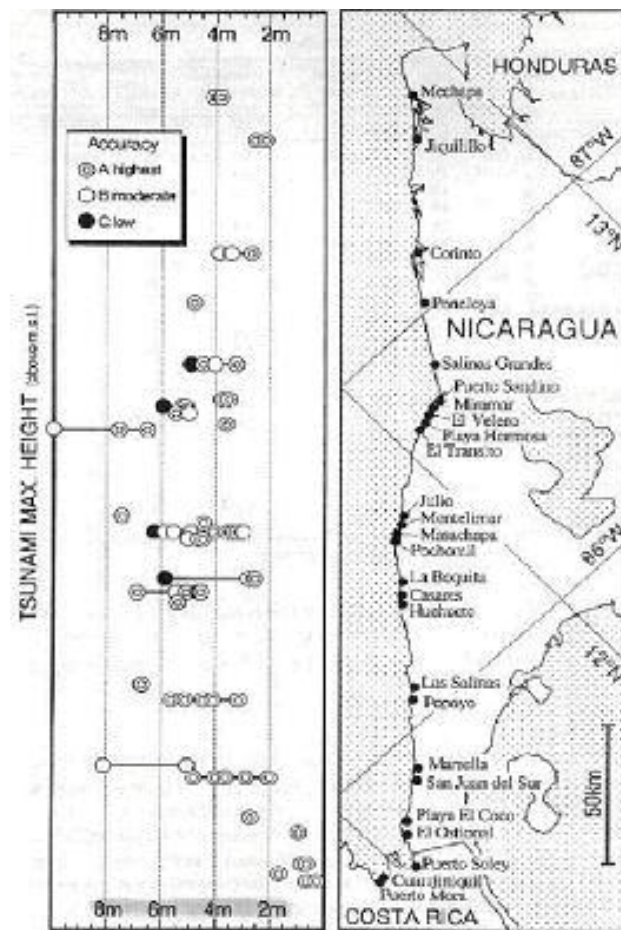


*Figura 2-1*

*Imagen de la batimetría y topografía empleada para el modelo de tsunami en Nicaragua.*

### **2.2.2 Mediciones**

Se consultaron las bases de datos disponibles relacionadas con mediciones y registros de eventos históricos de tsunami, con el fin de realizar calibraciones posteriores. La Figura 2-2 presenta un diagrama de mediciones de Run-up para el Tsunami del Septiembre de 1992 en el pacífico nicaragüense. Con esta información es posible particularizar los modelos al caso de Nicaragua, en función de sus condiciones batimétricas locales y particularidades adicionales.



*Figura 2-2*  
*Gráficos con los datos disponibles de Run-up del evento de Septiembre de 1992.*

## 2.3 Parámetros del Modelo

Con el fin de automatizar el proceso de cálculo, fue necesario precalcular las alturas de ola debido a cada uno de los escenarios. Se consideró la zona de subducción del pacífico como única fuente generadora de tsunami.

### 2.3.1 Eventos

El modelo considera la presencia de un número suficiente de sismos con magnitudes de 7 a 8.2 grados los cuales representan sismos históricos y postulados obtenidos con el módulo CAPRA de amenaza sísmica. Las frecuencias de recurrencia de cada escenario se asignan de acuerdo a la actividad sísmica de la región. La modelación de la componente sísmica del análisis se realiza empleando programa CRISIS2007 (Ordaz et. al. 2007).

### 2.3.2 Puntos de cálculo y efectos en bahías

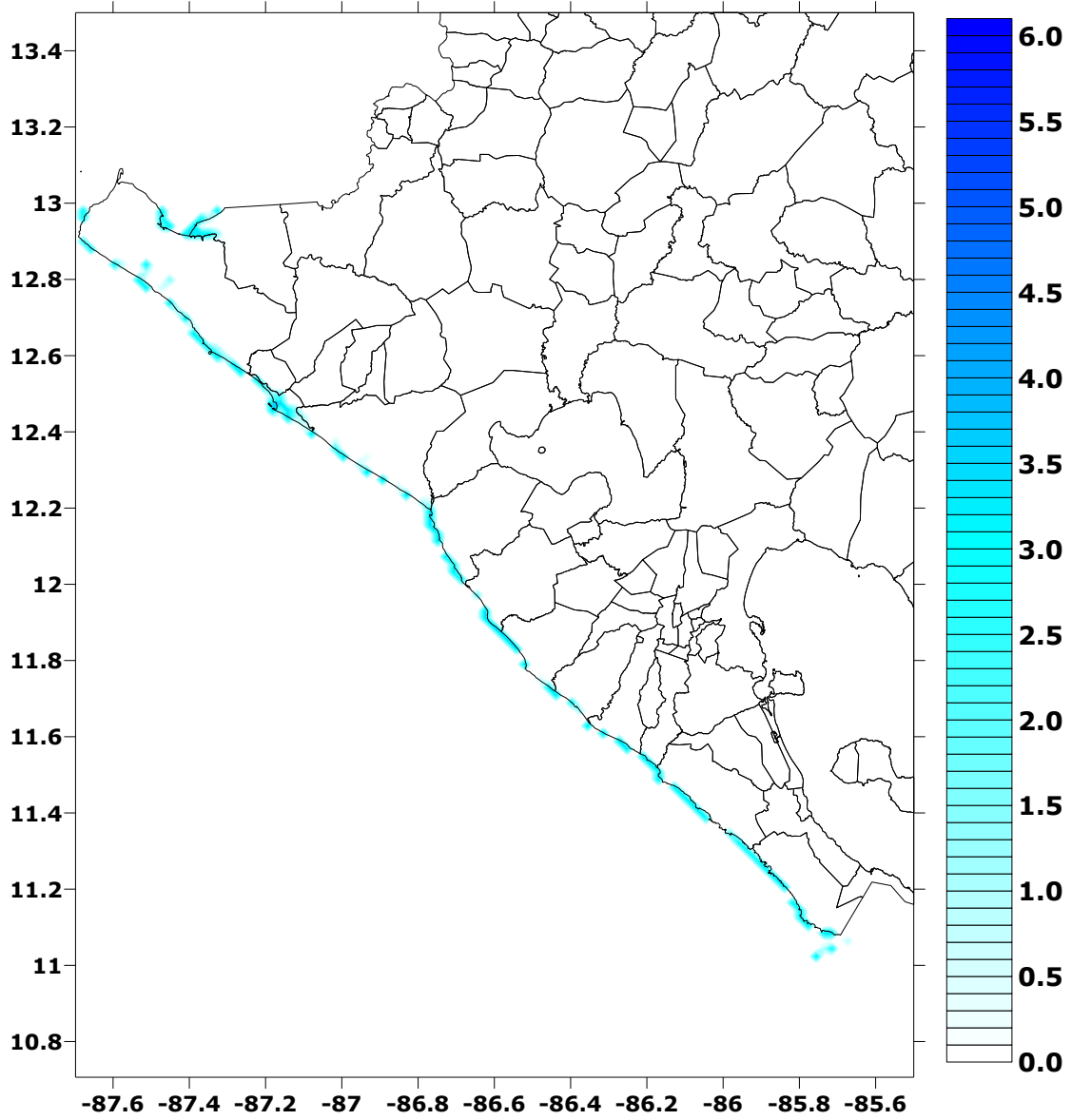
Se eligieron 82 puntos sobre la costa nicaragüense para estimar las alturas máximas de tsunami, la ubicación de estos puntos se muestra en la Figura 2-3. Para simular adecuadamente la altura del tsunami en la costa y su penetración tierra adentro, se requiere emplear un procedimiento aproximado a partir de la isóbata 100, el cual consiste en aplicar un factor de amplificación al tsunami aguas adentro para calcular la altura del tsunami al aproximarse a la costa. Este factor debe ingresarse junto con la lista de puntos de cálculo.



*Figura 2-3*  
*Puntos de cálculo para tsunami.*

## 2.4 Mapas de Amenaza por Tsunami en la Costa Pacífica de Nicaragua

Para la elaboración de los mapas se empleó la información mencionada anteriormente, y se asignó la frecuencia de ocurrencia de los diferentes escenarios, de acuerdo con la sismicidad propia de las fuentes generadoras. Se calcularon mapas de amenaza uniforme por tsunami, tomando como medida de intensidad el tirante de inundación, según lo explicado en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2009), y para periodos de retorno de 50, 100, 500 y 1000 años. Los cálculos fueron realizados empleando el programa CRISIS 2007 (Ordaz et. al. 2007).



*Figura 2-4*  
*Mapa de distribución espacial de inundación [m] para 50 años de periodo de retorno*

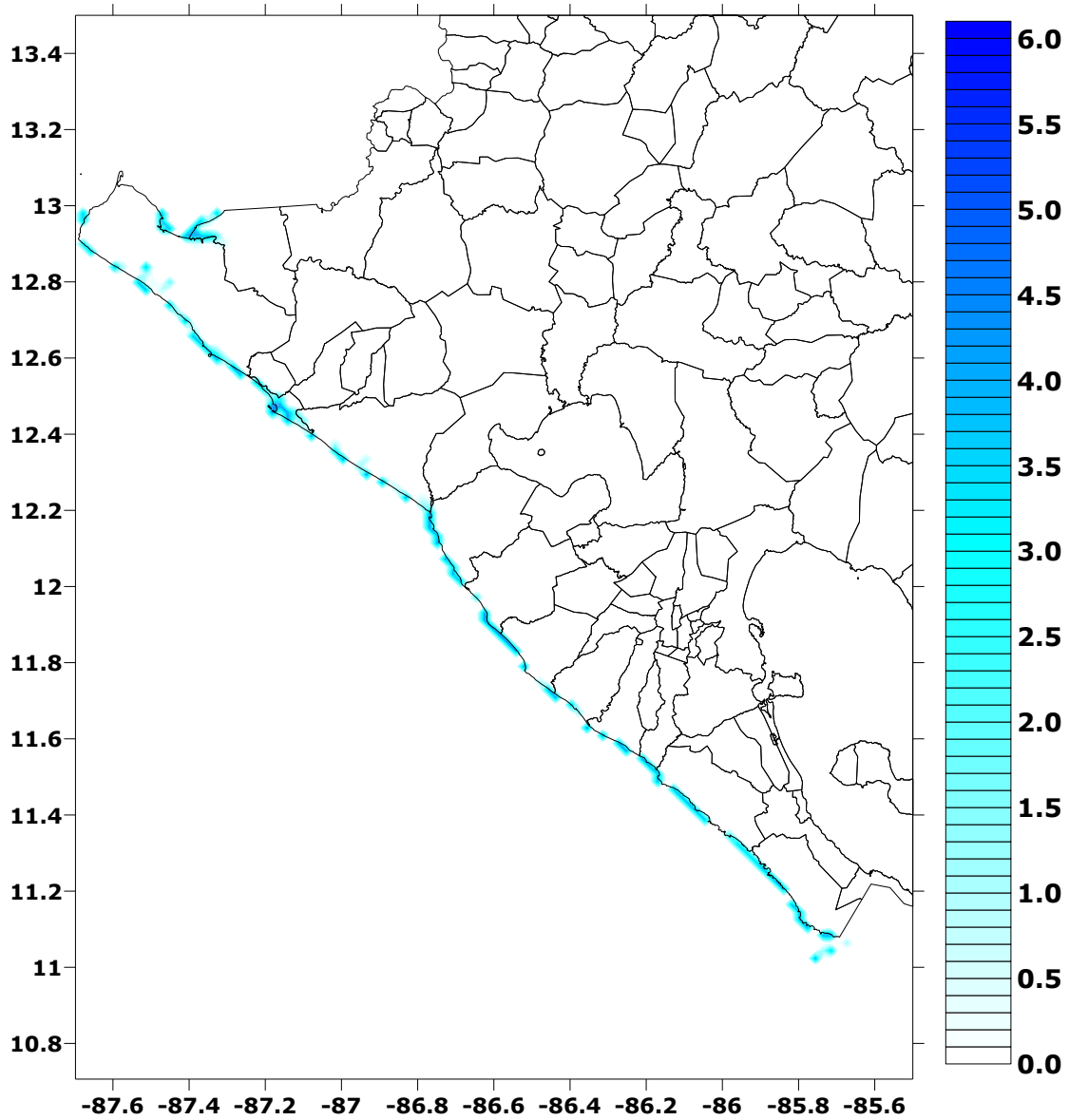


Figura 2-5

Mapa de distribución espacial de inundación [m] para 100 años de periodo de retorno

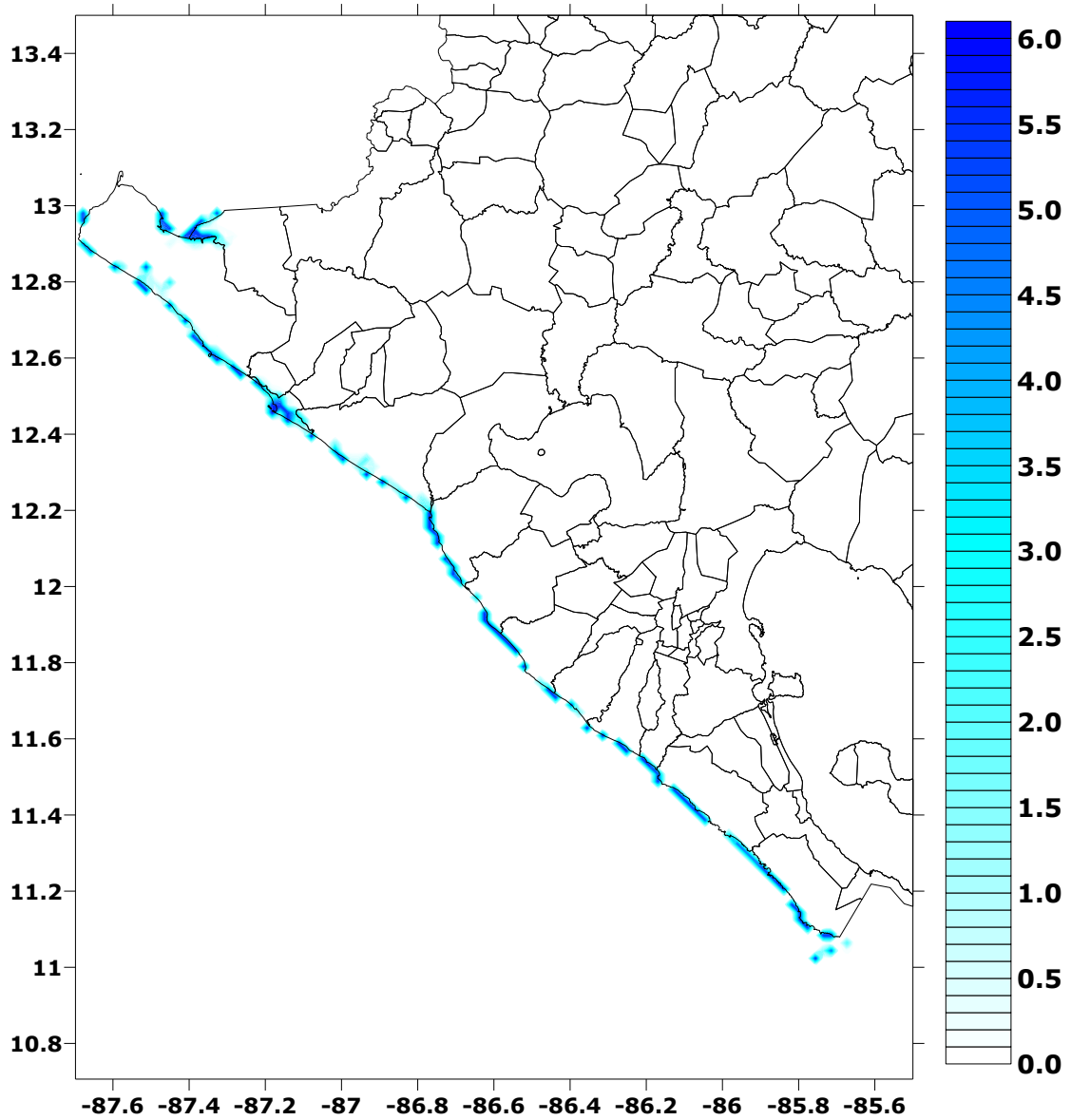


Figura 2-6

Mapa de distribución espacial de inundación [m] para 500 años de periodo de retorno

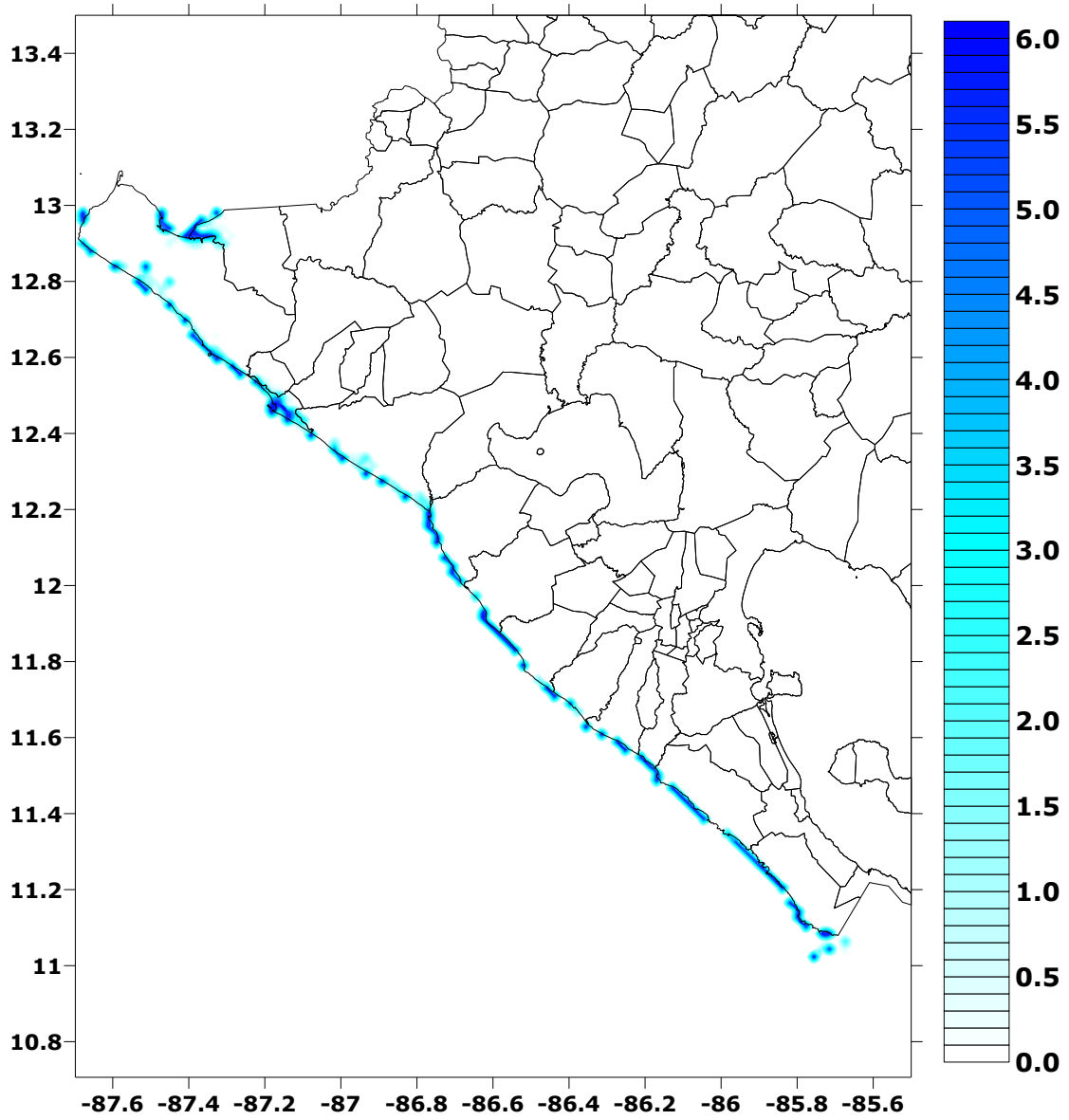


Figura 2-7

Mapa de distribución espacial de inundación [m] para 1000 años de periodo de retorno

## 3 Amenaza por huracán

---

### 3.1 Introducción

Los huracanes tiene la particularidad de ser fenómenos altamente destructivos, con frecuencias altas de ocurrencia. La modelación de la amenaza por huracán tiene en cuenta los efectos relacionados con la velocidad del viento y la altura de marea de tormenta. El modelo predice las intensidades máximas asociadas a la posible ocurrencia y paso de un huracán por el territorio de análisis (territorio que comprende al país y 200km en todas direcciones alrededor de la costa), a partir de un procedimiento estadístico conocido como *perturbación*, el cual permite generar trayectorias aleatorias que conservan las características principales de las trayectorias históricas identificadas.

### 3.2 Información Empleada en la Modelación

El modelo de amenaza por huracán requiere de información específica, que puede encontrarse disponible para cierto nivel de detalle. La calidad de la modelación dependerá del detalle con que se cuente en toda la información recolectada. Se requieren las siguientes capas de información geográfica para la aplicación del modelo de amenaza por huracán en Nicaragua:

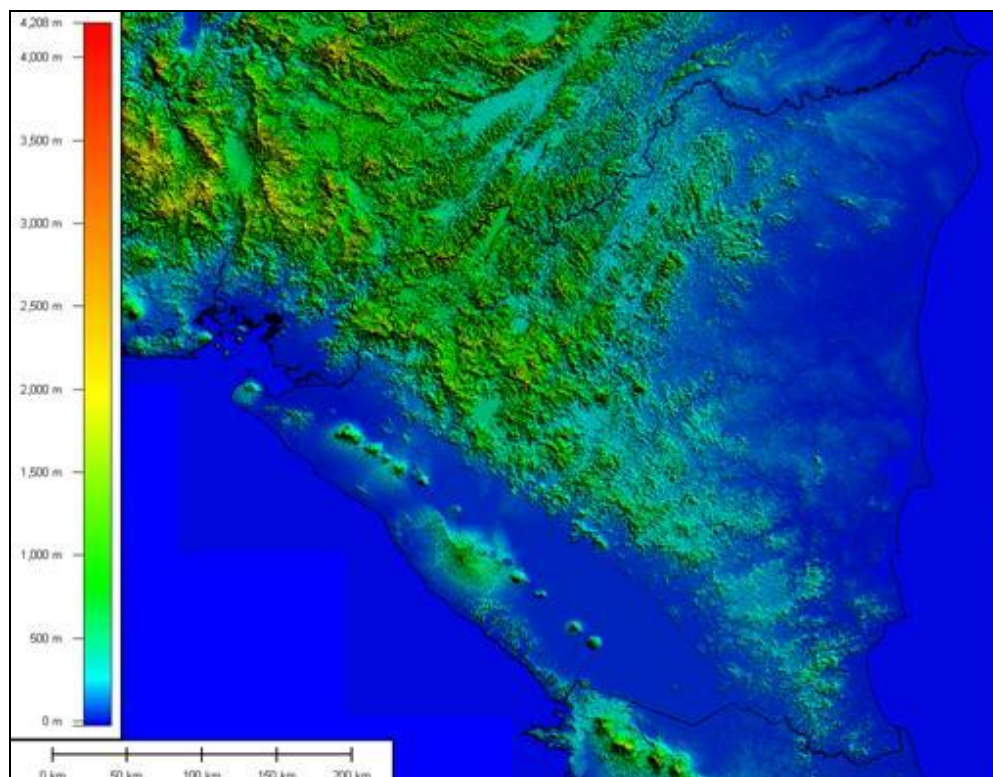
- a) Topografía.
- b) Batimetría.
- c) Áreas urbanas y uso de suelo.
- d) Registros de velocidad de viento y altura de marea.
- e) Catálogo de huracanes

La información que fue posible obtener para la modelación de la amenaza de huracán se describe a continuación.

#### 3.2.1 Topografía

Las corrientes de viento se ajustan a la topografía de la zona, pasando alrededor de los obstáculos orográficos existentes. De esta manera, se modifica la uniformidad del campo de velocidad, generando zonas con velocidades mayores o menores a la promedio establecida en una zona hipotética sin obstáculos. En este orden de ideas, la capacidad del modelo para detectar mayores detalles en la variación de la velocidad del viento, depende fuertemente de la calidad de la información topográfica con que se cuenta. El modelo digital de elevación para el territorio costarricense se obtuvo del *Shuttle Radar Topography Mision (SRTM)*, y cuenta con una resolución de 0.0008333 grados (aproximadamente un píxel cada 91.667metros), lo cual es una resolución aceptable para un análisis nacional y subnacional. En la Figura 3-1 se presenta el modelo digital de elevación empleado para la modelación.

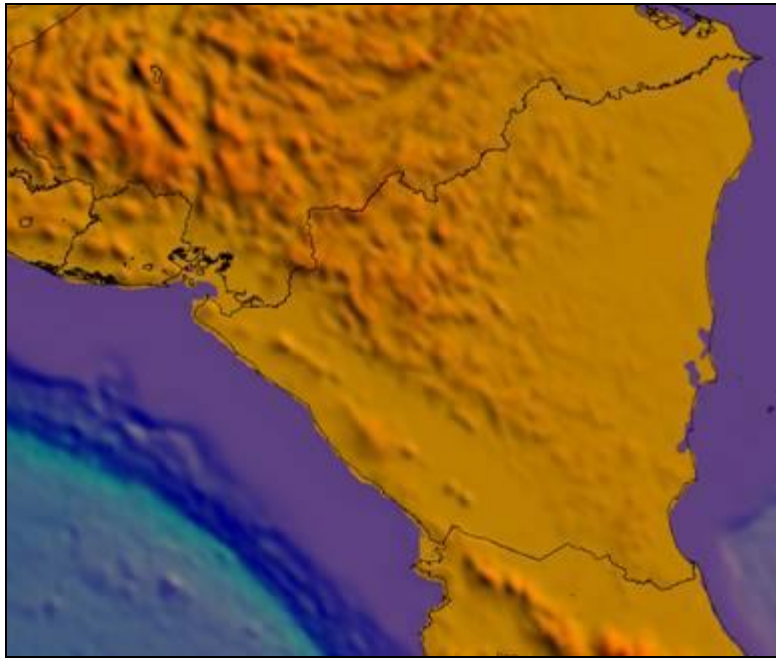




*Figura 3-1*  
*Modelo Digital de Elevación para Nicaragua*

### 3.2.2 Batimetría

La batimetría es necesaria para el cálculo de la sobreelevación del mar y la consecuente marea de tormenta que se origina durante el paso de un huracán por una zona costera. La información batimétrica corresponde a un modelo digital de batimetría-topografía disponible en la base de datos de ERN, y que cuenta con una definición de 2 minutos (aproximadamente un píxel cada 3.6 kilómetros). La información se obtuvo de la base de datos ETOPO2v2 (2006), de la agencia estadounidense NOAA. Si bien la información no cuenta con la resolución deseada, es común que la información batimétrica no sea de calidad comparable a la información topográfica disponible, razón por la cual la resolución se considera igualmente aceptable. La Figura 3-2 presenta el modelo digital de batimetría empleado.

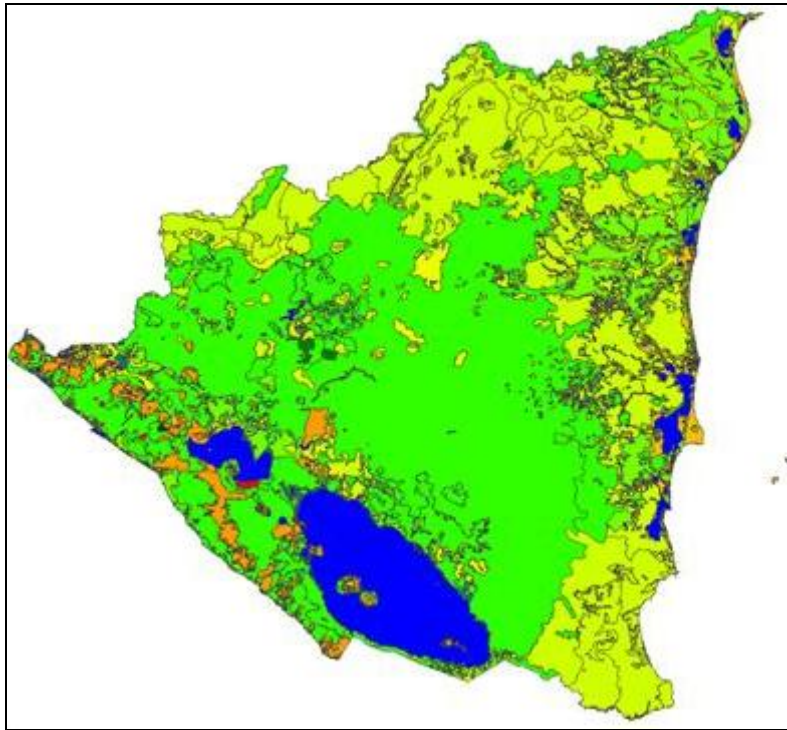


*Figura 3-2*

*Imagen de la batimetría empleada para el modelo de marea de tormenta en Nicaragua*

### **3.2.3 Áreas urbanas y uso de suelo**

La rapidez con que la velocidad del viento aumenta con la altura es función de la rugosidad del terreno. Por lo tanto, el gradiente de velocidad debe encontrarse a partir de información geográfica de usos del suelo, la cual permite establecer las condiciones de rugosidad específicas. La información de polígonos de áreas urbanas y usos del suelo se obtuvo de la Base de datos SIG para Mesoamérica de la *Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo CCAD*. La Figura 3-3 muestra los polígonos de áreas urbanas y uso de suelo.



*Figura 3-3*  
*Polígonos de áreas urbanas y uso de suelo para Nicaragua*

### **3.2.4 Registros de velocidad de viento y altura de marea**

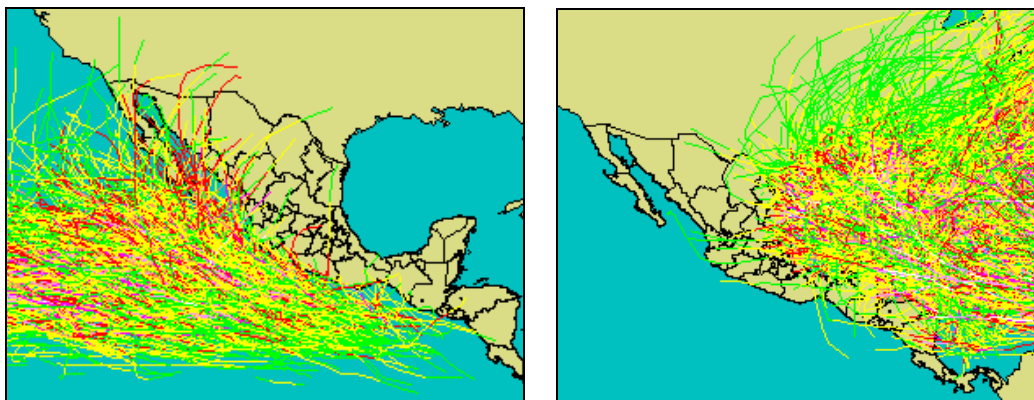
Los registros de intensidades históricas son altamente útiles para la calibración de los modelos de cálculo. En el caso de Nicaragua, no fue posible encontrar registros históricos con información de este tipo, por lo cual no se incluyeron consideraciones particulares en la modelación del fenómeno.

### **3.2.5 Catálogo de Huracanes**

Las trayectorias de los huracanes históricos, al igual que los diferentes parámetros de intensidad asociados y su variación con la trayectoria, se obtuvieron de la base de datos HURDAT, del *National Hurricane Center*, de la agencia estadounidense NOAA. Ésta base de datos cuenta con la siguiente información:

- Fecha (hora, día, mes y año)
- Presión central del ciclón (en milibares)
- Posición geográfica (latitud, longitud)
- Velocidad máxima sostenida de viento promediada a 1 min

Para el Océano Atlántico, la base de datos HURDAT cuenta con 1377 ciclones tropicales del año 1851 a 2007. Para el Océano Pacífico la base de datos cuenta con 833 ciclones tropicales de 1949 a 2007. En la Figura 3-4 se muestran las trayectorias de los ciclones tropicales para los Océanos Atlántico y Pacífico contenidas en la base de datos HURDAT hasta el año 2007.



*Figura 3-4*

*Trayectoria de ciclones tropicales para los Océanos Pacífico (izq.) y Atlántico (der.) hasta el año 2007 de acuerdo con la información de la base de datos HURDAT de la NOAA.*

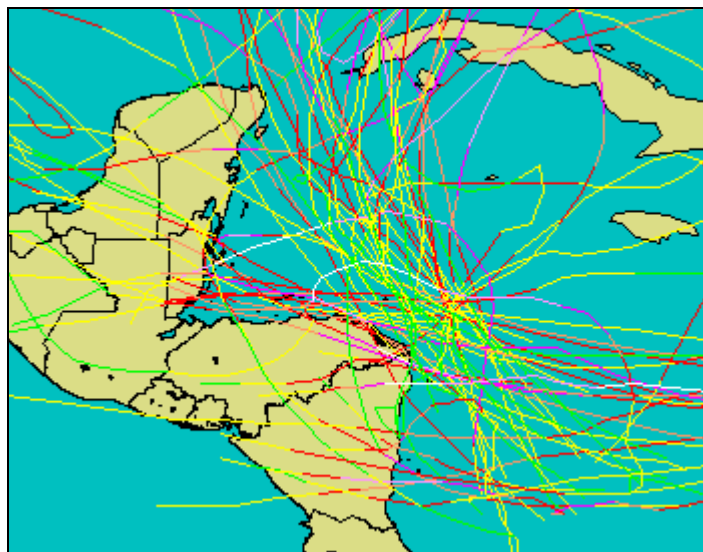
### 3.3 Parámetros del Modelo

#### 3.3.1 Depuración del catálogo de huracanes

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 nicaragüense. 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 nicaragüenses.

Los criterios anteriores aplicados a la base de datos de ciclones tropicales para el Océano Atlántico, permiten obtener un total de 62 huracanes con categoría  $\geq$  H1 SS. La trayectoria de estos huracanes se presenta en la Figura 3-5.



*Figura 3-5*

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

En la Tabla 3-1 se presentan los parámetros principales (velocidad máxima de viento, categoría, nombre y fecha) de cada uno de los 62 huracanes que se consideraron para el estudio en territorio nicaragüense.

*Tabla 3-1*

*Parámetros principales (velocidad máxima del viento, categoría, nombre y fecha) de los ciclones tropicales considerados.*

Nº	Océano	Nombre	Fecha	Vel Máx	Cat Máx
1	Atl	NOT NAMED	17/10/1865	166.5315	H2
2	Atl	NOT NAMED	28/09/1876	166.5315	H2
3	Atl	NOT NAMED	20/09/1877	185.035	H3
4	Atl	NOT NAMED	04/10/1882	222.042	H4
5	Atl	NOT NAMED	19/07/1887	157.2798	H2
6	Atl	NOT NAMED	30/10/1890	148.028	H1
7	Atl	NOT NAMED	04/10/1892	157.2798	H2
8	Atl	NOT NAMED	04/07/1893	157.2798	H2
9	Atl	NOT NAMED	30/09/1894	194.2867	H3
10	Atl	NOT NAMED	19/09/1906	194.2867	H3
11	Atl	NOT NAMED	08/10/1906	194.2867	H3
12	Atl	NOT NAMED	14/10/1908	166.5315	H2
13	Atl	NOT NAMED	09/10/1910	240.5455	H4
14	Atl	NOT NAMED	03/09/1911	157.2798	H2
15	Atl	NOT NAMED	22/06/1913	157.2798	H2
16	Atl	NOT NAMED	29/06/1916	194.2867	H3
17	Atl	NOT NAMED	10/11/1916	129.5245	H1

N°	Océano	Nombre	Fecha	Vel Máx	Cat Máx
18	Atl	NOT NAMED	22/08/1918	129.5245	H1
19	Atl	NOT NAMED	16/09/1920	166.5315	H2
20	Atl	NOT NAMED	14/06/1921	157.2798	H2
21	Atl	NOT NAMED	19/10/1921	222.042	H4
22	Atl	NOT NAMED	13/10/1924	194.2867	H3
23	Atl	NOT NAMED	29/11/1925	157.2798	H2
24	Atl	NOT NAMED	14/10/1926	212.7903	H4
25	Atl	NOT NAMED	18/10/1935	138.7762	H1
26	Atl	NOT NAMED	29/10/1939	148.028	H1
27	Atl	NOT NAMED	23/09/1941	194.2867	H3
28	Atl	NOT NAMED	02/10/1945	157.2798	H2
29	Atl	NOT NAMED	09/10/1947	138.7762	H1
30	Atl	NOT NAMED	03/10/1948	212.7903	H4
31	Atl	KING	13/10/1950	194.2867	H3
32	Atl	DOG	27/08/1951	185.035	H3
33	Atl	FOX	20/10/1952	240.5455	H4
34	Atl	ABBY	09/07/1960	157.2798	H2
35	Atl	ANNA	19/07/1961	185.035	H3
36	Atl	CARLA	03/09/1961	277.5525	H5
37	Atl	HATTIE	27/10/1961	259.049	H5
38	Atl	ISBELL	08/10/1964	203.5385	H3
39	Atl	ALMA	04/06/1966	203.5385	H3
40	Atl	GLADYS	13/10/1968	138.7762	H1
41	Atl	ALMA	17/05/1970	129.5245	H1
42	Atl	ELLA	08/09/1970	203.5385	H3
43	Atl	EDITH	05/09/1971	259.049	H5
44	Atl	IRENE	11/09/1971	129.5245	H1
45	Atl	FIFI	14/09/1974	175.7832	H2
46	Atl	GRETA	13/09/1978	212.7903	H4
47	Atl	JEANNE	07/11/1980	157.2798	H2
48	Atl	FLOYD	09/10/1987	120.2728	H1
49	Atl	JOAN	10/10/1988	231.2937	H4
50	Atl	KEITH	17/11/1988	120.2728	H1
51	Atl	DIANA	03/08/1990	157.2798	H2
52	Atl	GERT	14/09/1993	157.2798	H2
53	Atl	GORDON	08/11/1994	138.7762	H1
54	Atl	ROXANNE	07/10/1995	185.035	H3
55	Atl	CESAR	24/07/1996	129.5245	H1
56	Atl	LILI	14/10/1996	185.035	H3
57	Atl	MITCH	21/10/1998	286.8043	H5
58	Atl	IRENE	12/10/1999	175.7832	H2
59	Atl	KEITH	28/09/2000	222.042	H4
60	Atl	MICHELLE	29/10/2001	222.042	H4
61	Atl	BETA	26/10/2005	185.2	H3
62	Atl	FELIX	31/08/2007	268.54	H5



En la Tabla 3-2 se presenta la distribución, por categoría en la escala Saffir-Simpson, de los 12 huracanes que forman la base de datos depurada para el Océano Atlántico, cuya trayectoria ha circulado a menos de 200 km de la costa Atlántica de Nicaragua con categoría  $\geq$  H1 SS.

*Tabla 3-2  
Distribución por categoría en la escala Saffir-Simpson, de los ciclones tropicales considerados.*

Categoría	Número de huracanes
H5	5
H4	10
H3	16
H2	18
H1	13

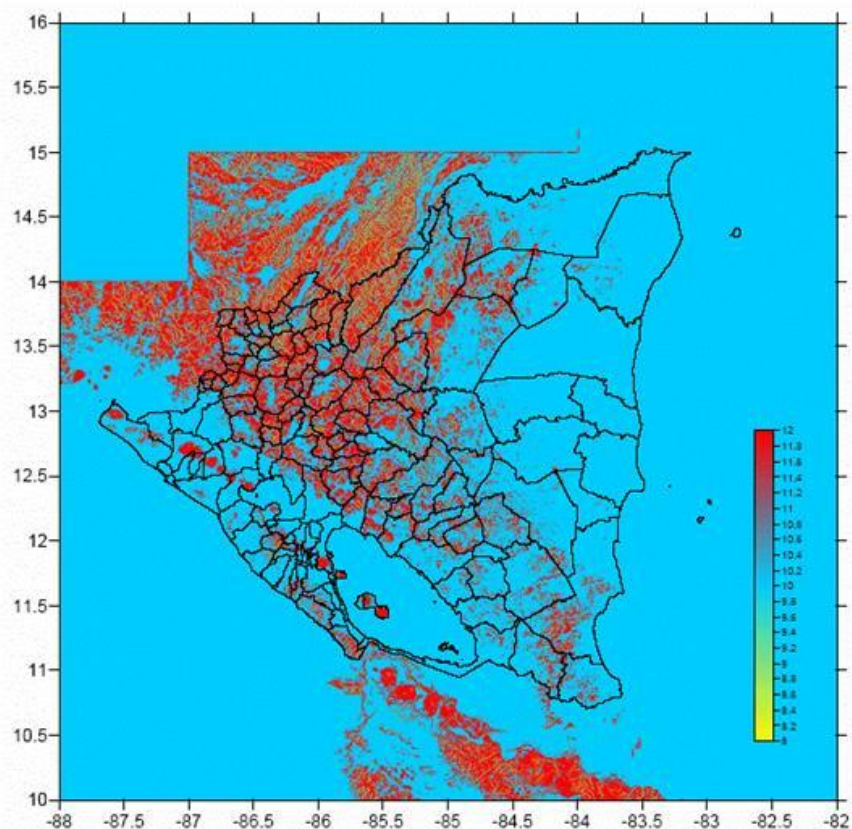
### 3.3.2 Factores de exposición topográfica al viento para Nicaragua

Debido al efecto de la topografía del sitio en que se ubica una construcción, se presentan variaciones en la velocidad del viento generada por un huracán. Los factores de topografía permiten tomar en cuenta el incremento o decremento en la velocidad del viento debido a las características topográficas del sitio en que se ubica una construcción, por ejemplo en la cima de promontorios, terrenos inclinados, islas o valles cerrados. En este estudio, para tomar en cuenta las modificaciones a la velocidad de viento debido al efecto de la topografía circundante al sitio en que se ubica la construcción, se define un factor de incremento en la velocidad, el cual actúa como un multiplicador de la velocidad de viento considerada en terreno plano; estos factores de topografía se asignaron a partir de la determinación de áreas de exposición por viento (Avelar, 2006).

Para el cálculo de las áreas de exposición por viento se planteó un procedimiento que permite, a partir de Modelos Digitales de Elevación (MDE), obtener mapas digitales con valores del factor de topografía para Nicaragua (ver Figura 3-6). Estos factores se calculan para cada uno de los píxeles que conforman el MDE de acuerdo con su exposición al flujo de viento, localizados por las coordenadas geográficas de su centroide. Este tipo de información permite conocer el factor de topografía particular de la infraestructura a evaluar, solo con conocer su ubicación geográfica. La definición y características de exposición al flujo de viento se indican en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3**  
Factores de exposición topográfica al viento para Nicaragua

Sitio	Topografía	$F_T$
Protegido	Valles cerrados	0.8
Plano	Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5%	1.0
Expuesto	Cimas de promontorios, colinas o montañas, islas, terrenos con pendientes mayores que 5%	1.2



**Figura 3-6**  
Factores de exposición topográfica por viento para Nicaragua

### 3.3.3 Variación de la velocidad del viento con la altura

El movimiento de las masas de aire se ve restringido por la fricción con la superficie del terreno, lo cual origina que la velocidad sea prácticamente nula en contacto con el mismo, y aumente con la altura hasta alcanzar la velocidad del flujo no perturbado, llamada *velocidad gradiente*.



Para un terreno muy liso, como es el caso de campo abierto con vegetación muy baja, el viento mantiene una velocidad muy alta aún muy cerca de la superficie, mientras que en el centro de grandes ciudades, con edificaciones altas, la velocidad disminuye rápidamente desde una altura de varias decenas de metros hasta la superficie del terreno. La expresión que permite obtener una estimación de la variación de la velocidad de viento con la altura y para diferentes tipos de terreno, se representa de la siguiente manera:

$$Frz = 1.56 \left( \frac{Z}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{si } 10 < Z < \delta$$

$$Frz = 1.56 \left( \frac{10}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{si } Z \leq 10 \text{ m}$$

$$Frz = 1.56 \quad \text{si } Z \geq \delta$$

(Ec. 2)

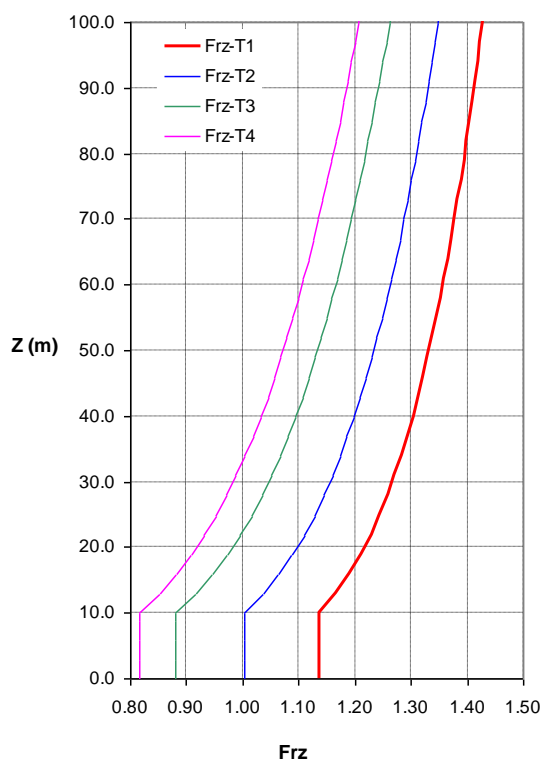
donde:  $Z$  es la altura en metros a la cual se desea determinar la velocidad de viento. Los parámetros  $\alpha$  y  $\delta$  para los tipos de terreno más comunes en la región nicaragüense se presentan en la Tabla 3-4.

**Tabla 3-4**

*Parámetros  $\alpha$  y  $\delta$  para los tipos de terreno más representativos en la región nicaragüense*

Tipo	Descripción	$\alpha$	$\delta$ (m)
1	<b>Campo abierto plano</b> (terreno abierto, prácticamente plano y sin obstrucciones, por ejemplo franjas costeras planas, zonas de pantanos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin bardas alrededor)	0.099	245
2	<b>Árboles o construcciones dispersas</b> (campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones, por ejemplo bardas, árboles y construcciones dispersas)	0.128	315
3	<b>Arbolado, barrio residencial</b> (terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas, por ejemplo áreas urbanas, suburbanas y de bosques; el tamaño de las construcciones corresponde al de casas y viviendas)	0.156	390
4	<b>Muy accidentada, centro de ciudad</b> (terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas como el centro de grandes ciudades y complejos industriales desarrollados)	0.170	455

En la figura siguiente se muestra la variación con la altura sobre la superficie del terreno del factor  $Frz$ . Se observa que para una altura de 10m sobre la superficie del terreno el mayor valor del factor  $Frz$  es de 1.137, el cual se presenta en terreno tipo 1 (terreno abierto, prácticamente plano y sin obstrucciones). El menor factor para una altura de 10m corresponde a 0.815, el cual se presenta en terreno tipo 4 (terreno con numerosas obstrucciones).



**Figura 3-7**

*Variación de la velocidad del viento con la altura y para diferentes tipos de terreno.*

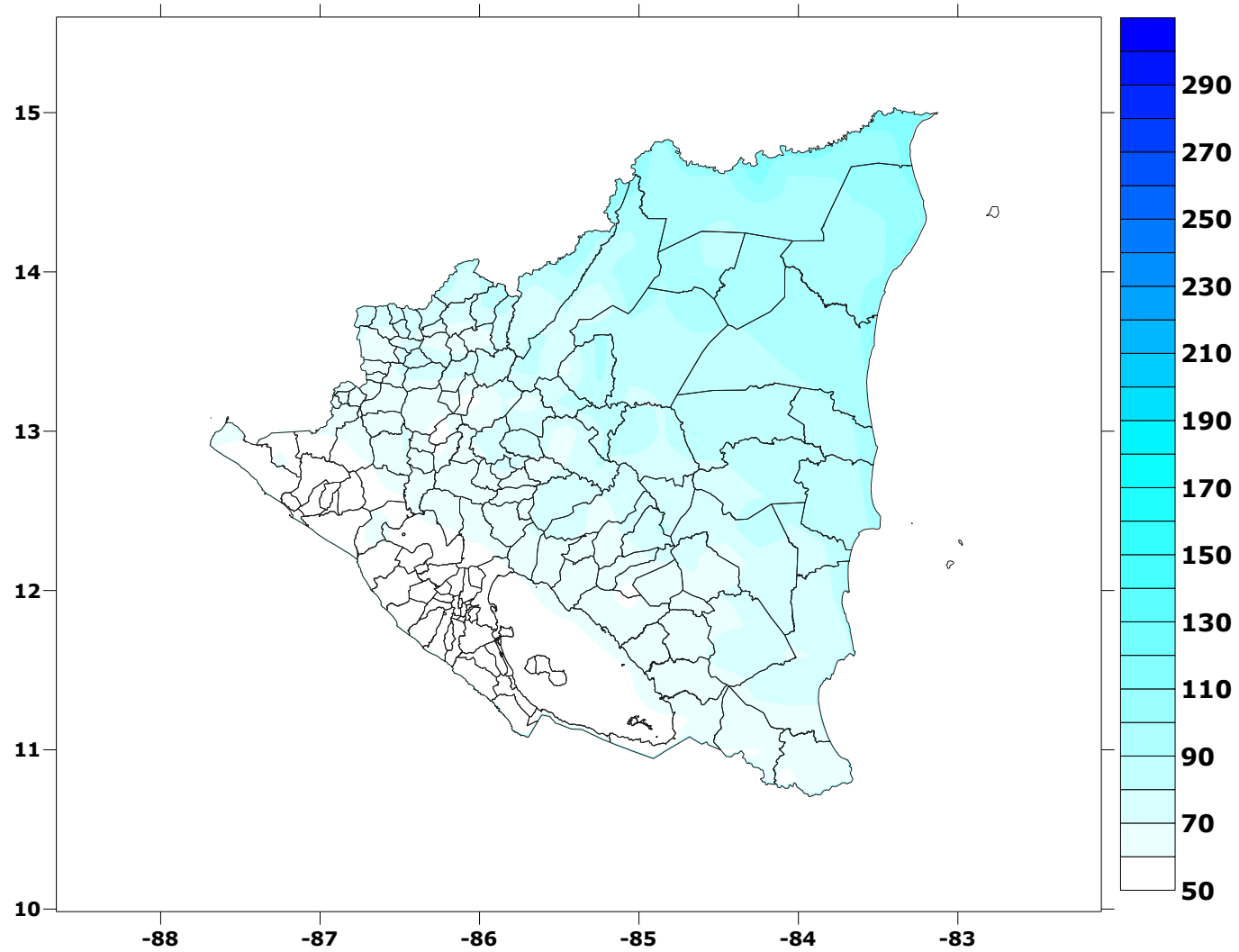
### 3.4 Mapas de Amenaza por Huracán en Nicaragua

Se calcularon de manera independiente los mapas de amenaza por vientos fuertes, marea de tormenta, precipitación huracanada e inundación. Los resultados se presentan a continuación.

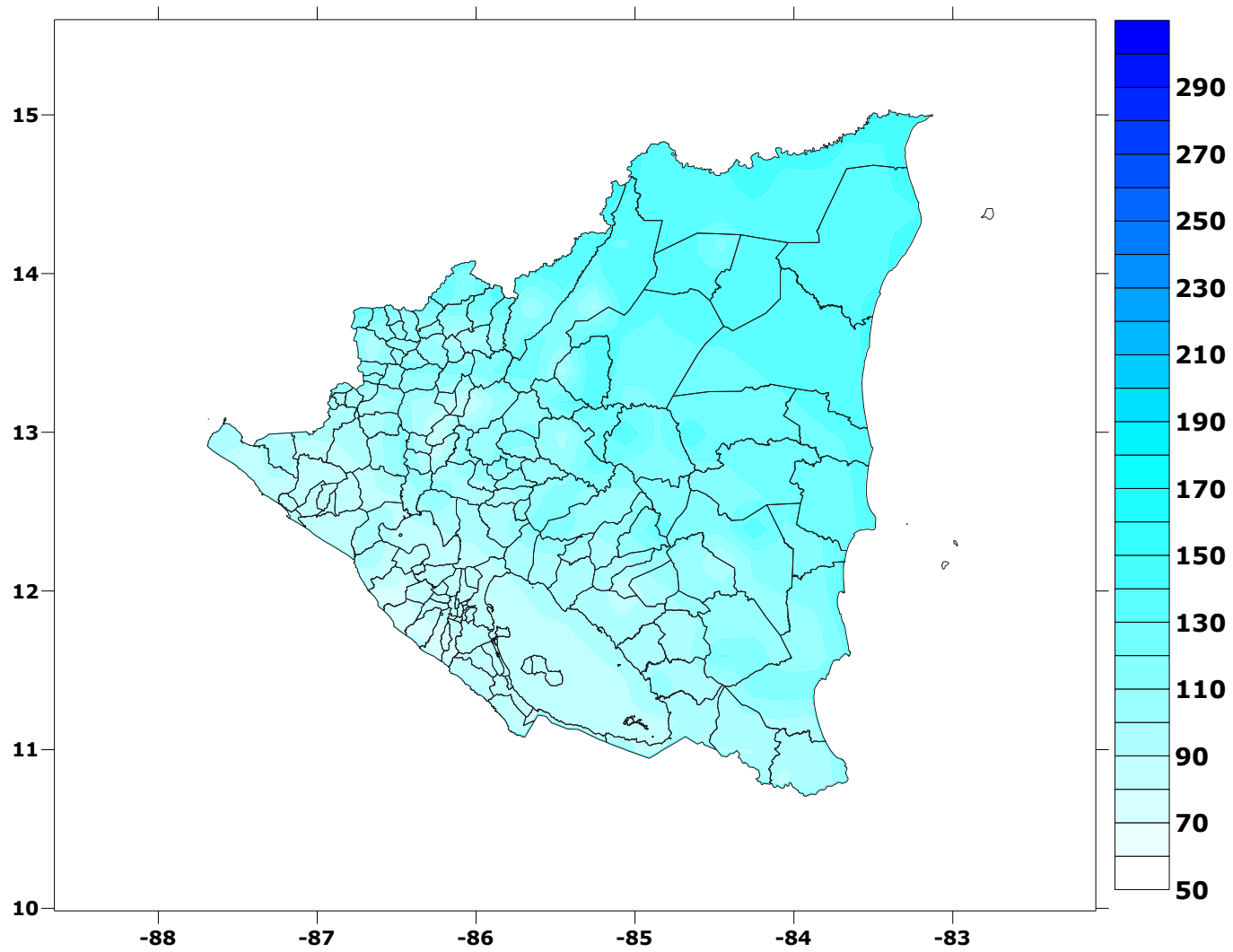
#### 3.4.1 Mapas de amenaza por vientos fuertes

Se calcularon mapas de amenaza uniforme por vientos fuertes, tomando como medida de intensidad la velocidad pico de ráfagas de viento de 3 segundos de duración, según lo explicado en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2009), y para periodos de retorno de 20, 50, 100, 500 y 1000 años. Los cálculos fueron realizados empleando el programa ERN-Huracán (ERN 2009).

### 3. Amenaza por huracán



*Figura 3-8*  
*Mapa de distribución espacial la velocidad máxima del viento [km/h] para 20 años de periodo de retorno*



*Figura 3-9*  
*Mapa de distribución espacial la velocidad máxima del viento [km/h] para 50 años de periodo de retorno*

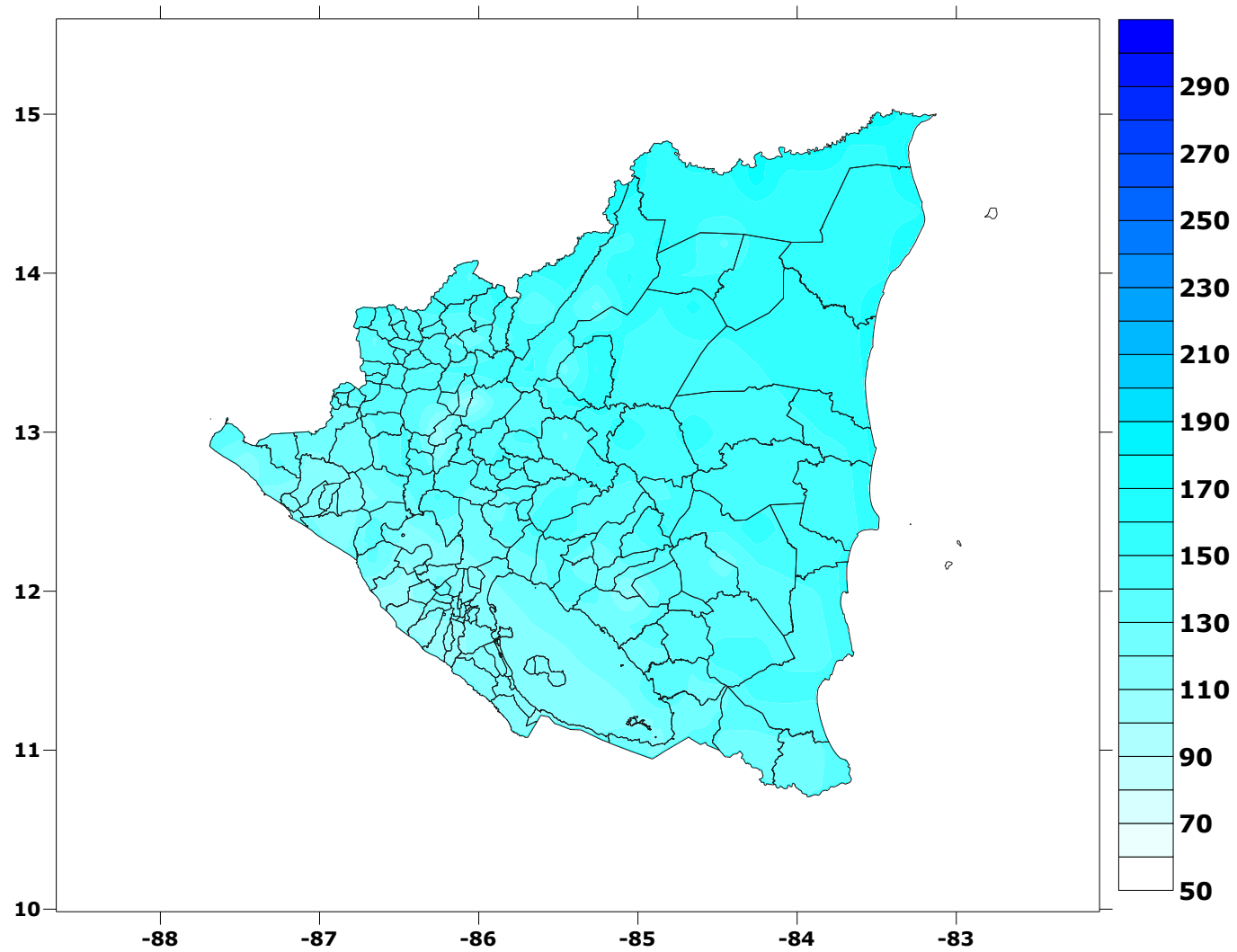


Figura 3-10  
Mapa de distribución espacial la velocidad máxima del viento [km/h] para 100 años de periodo de retorno

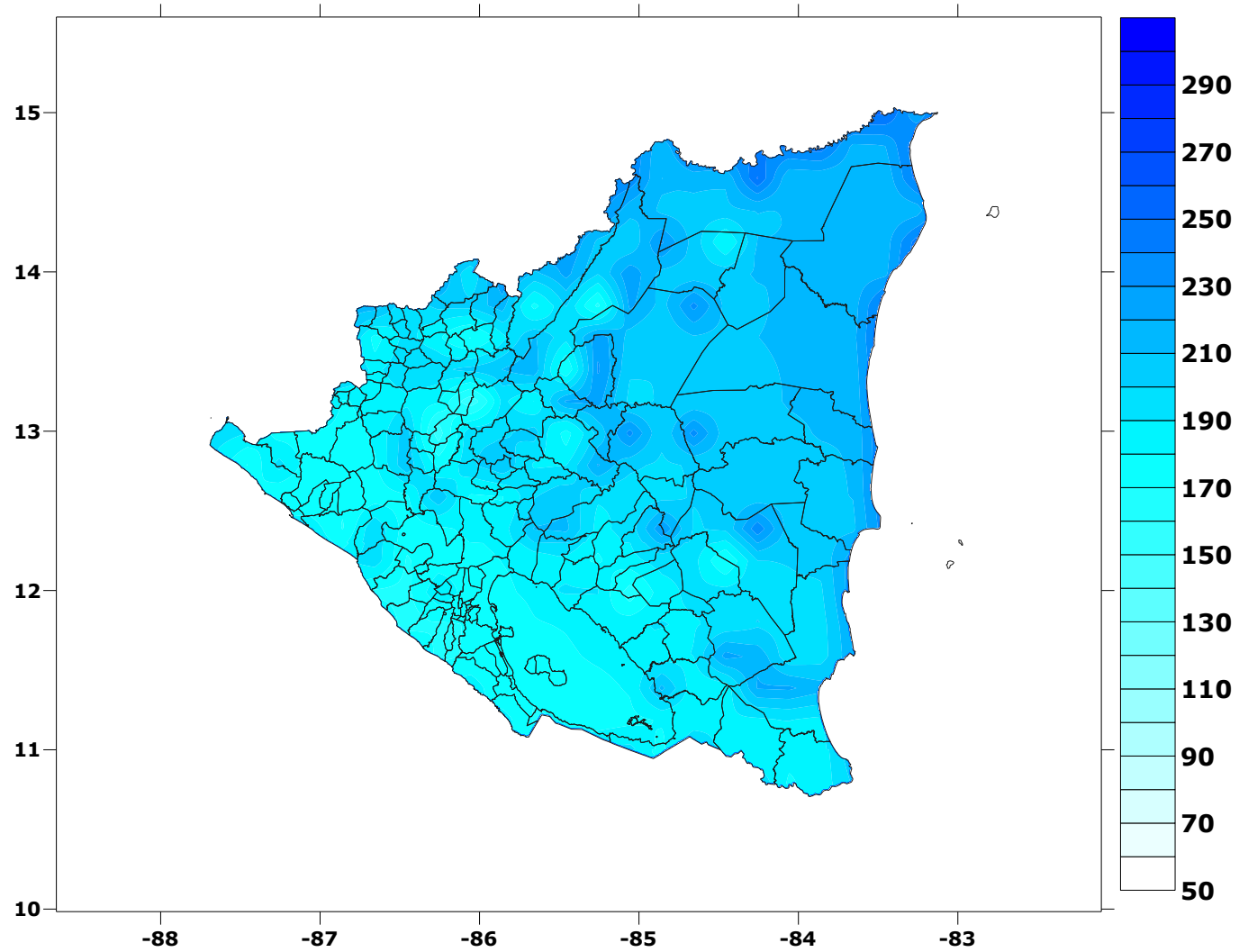


Figura 3-11  
Mapa de distribución espacial la velocidad máxima del viento [km/h] para 500 años de periodo de retorno

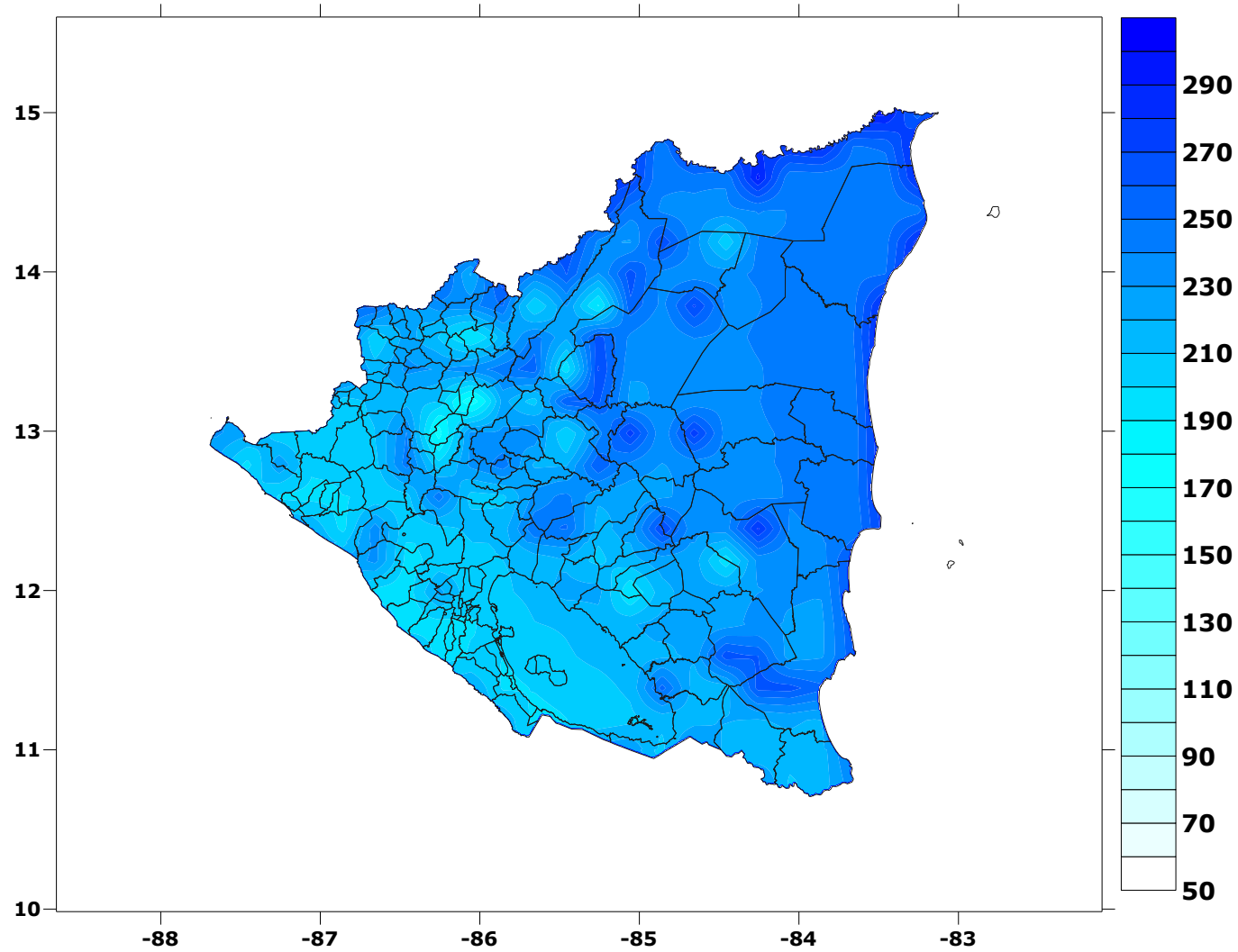


Figura 3-12  
Mapa de distribución espacial la velocidad máxima del viento [km/h] para 1000 años de periodo de retorno

### 3.4.2 Mapas de amenaza por marea de tormenta en la costa Atlántica

Se calcularon mapas de amenaza uniforme por marea de tormenta en la costa Atlántica nicaragüense, tomando como medida de intensidad tirante de inundación, según lo explicado en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2009), y para periodos de retorno de 100, 200, 500, 1000 y 2500 años. Los cálculos fueron realizados empleando el programa ERN-Huracán (ERN 2009).

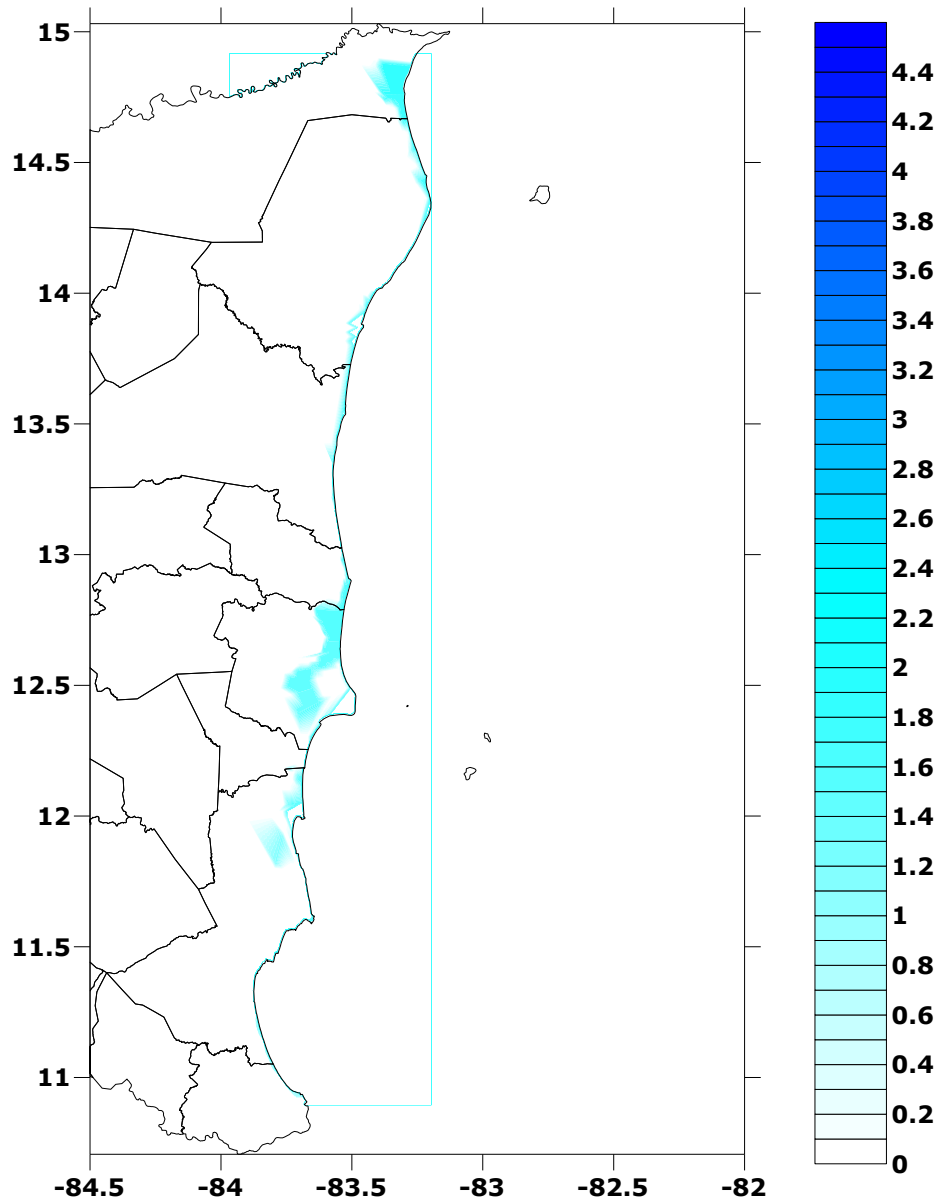
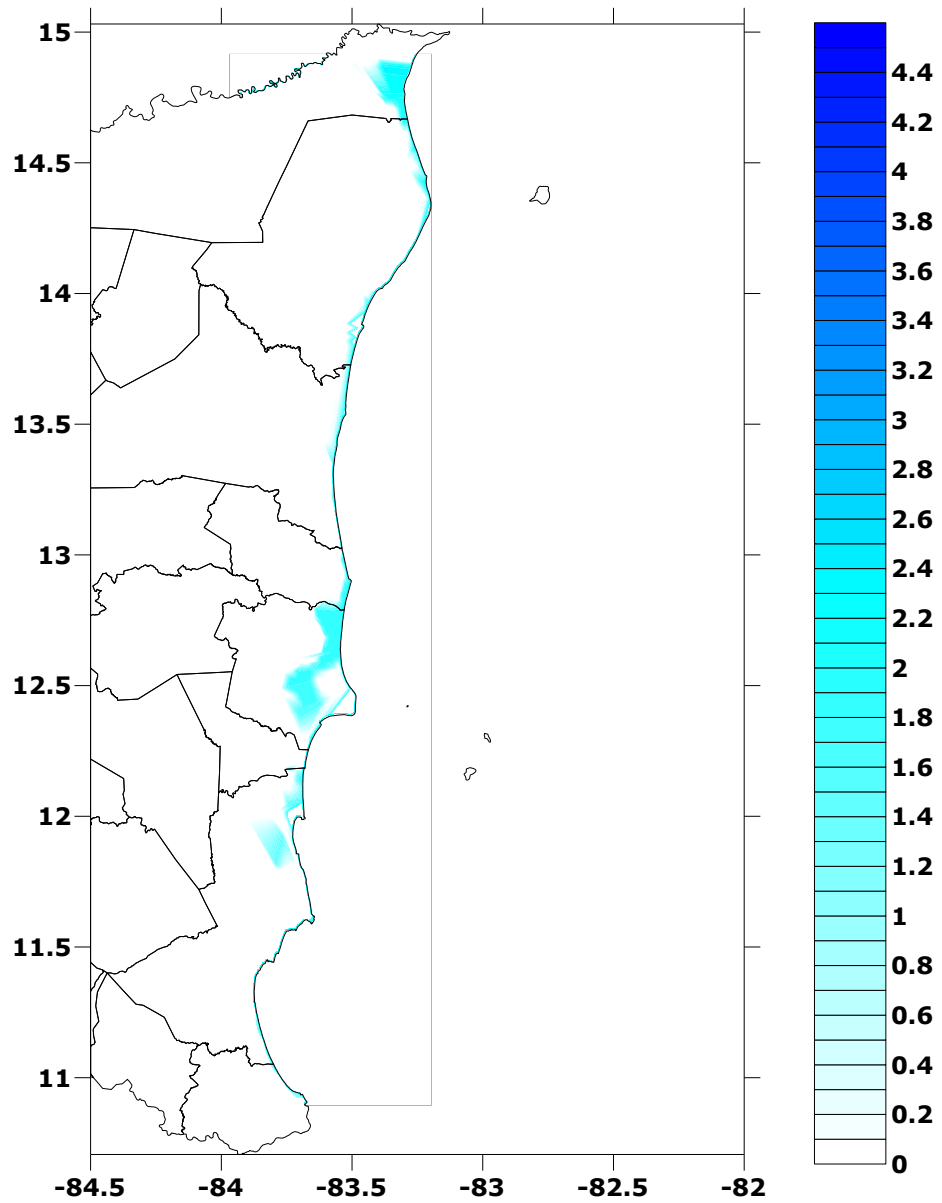


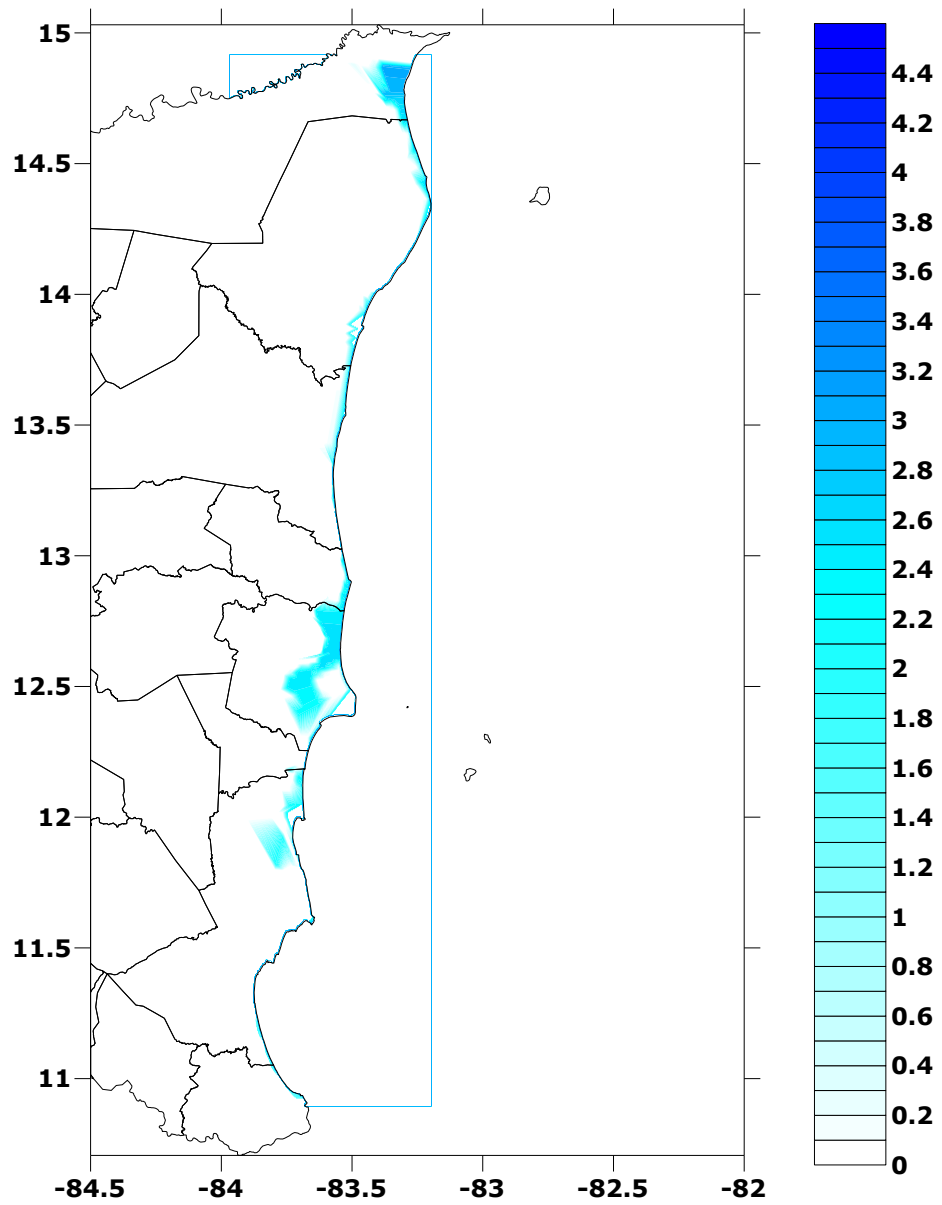
Figura 3-13

Mapa de distribución espacial del tirante de inundación [m] para 100 años de periodo de retorno





*Figura 3-14*  
*Mapa de distribución espacial del tirante de inundación [m] para 200 años de periodo de retorno*



*Figura 3-15*  
*Mapa de distribución espacial del tirante de inundación [m] para 500 años de periodo de retorno*

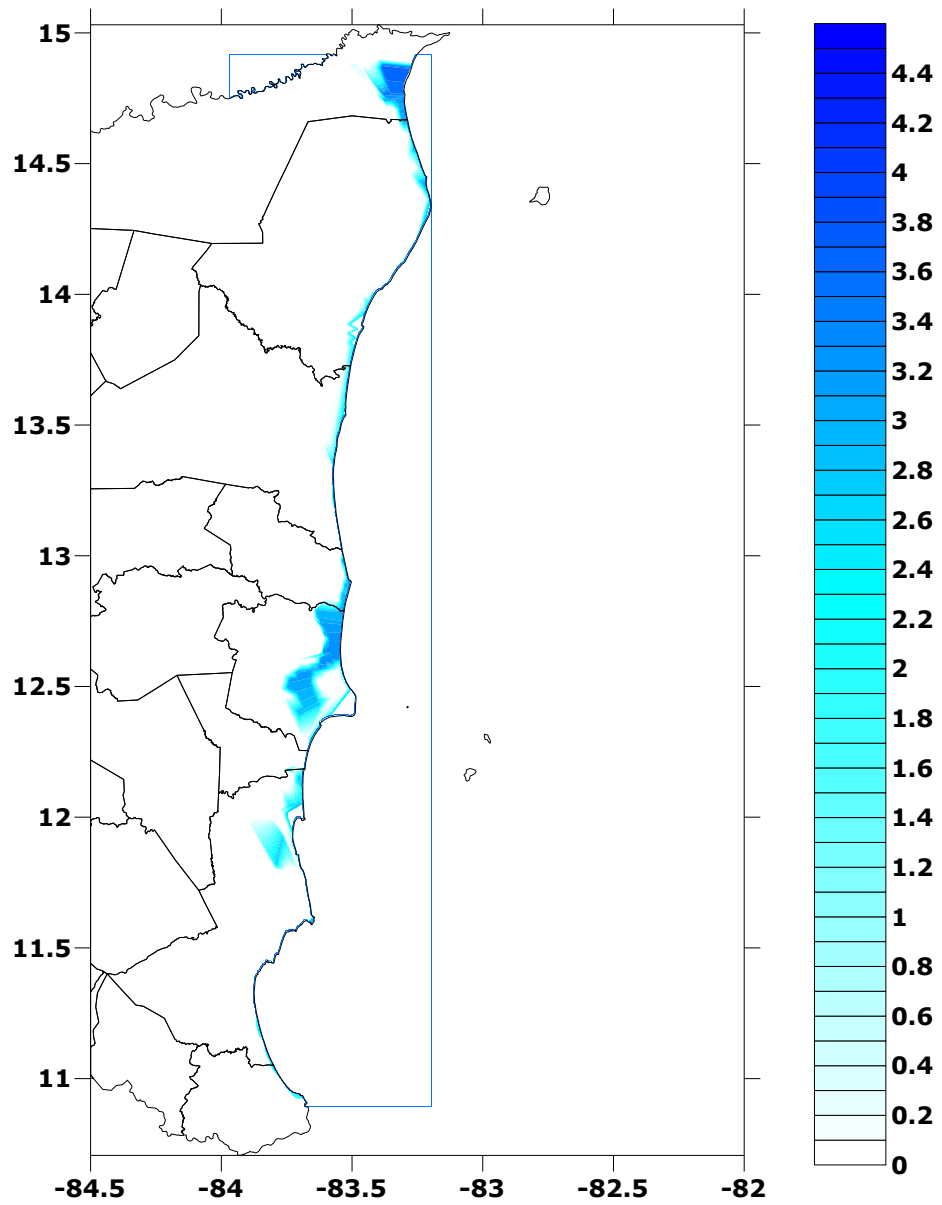


Figura 3-16  
Mapa de distribución espacial del tirante de inundación [m] para 1000 años de periodo de retorno

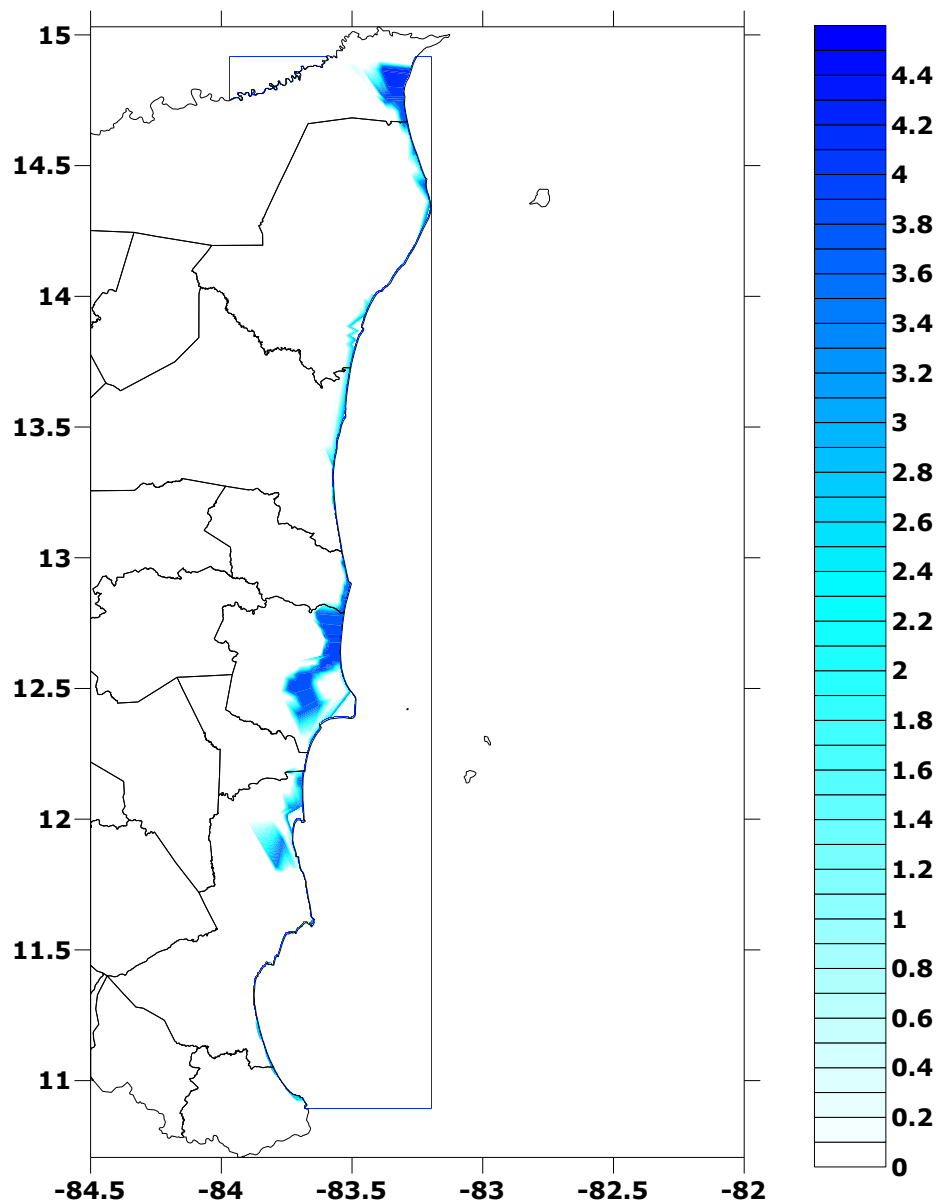


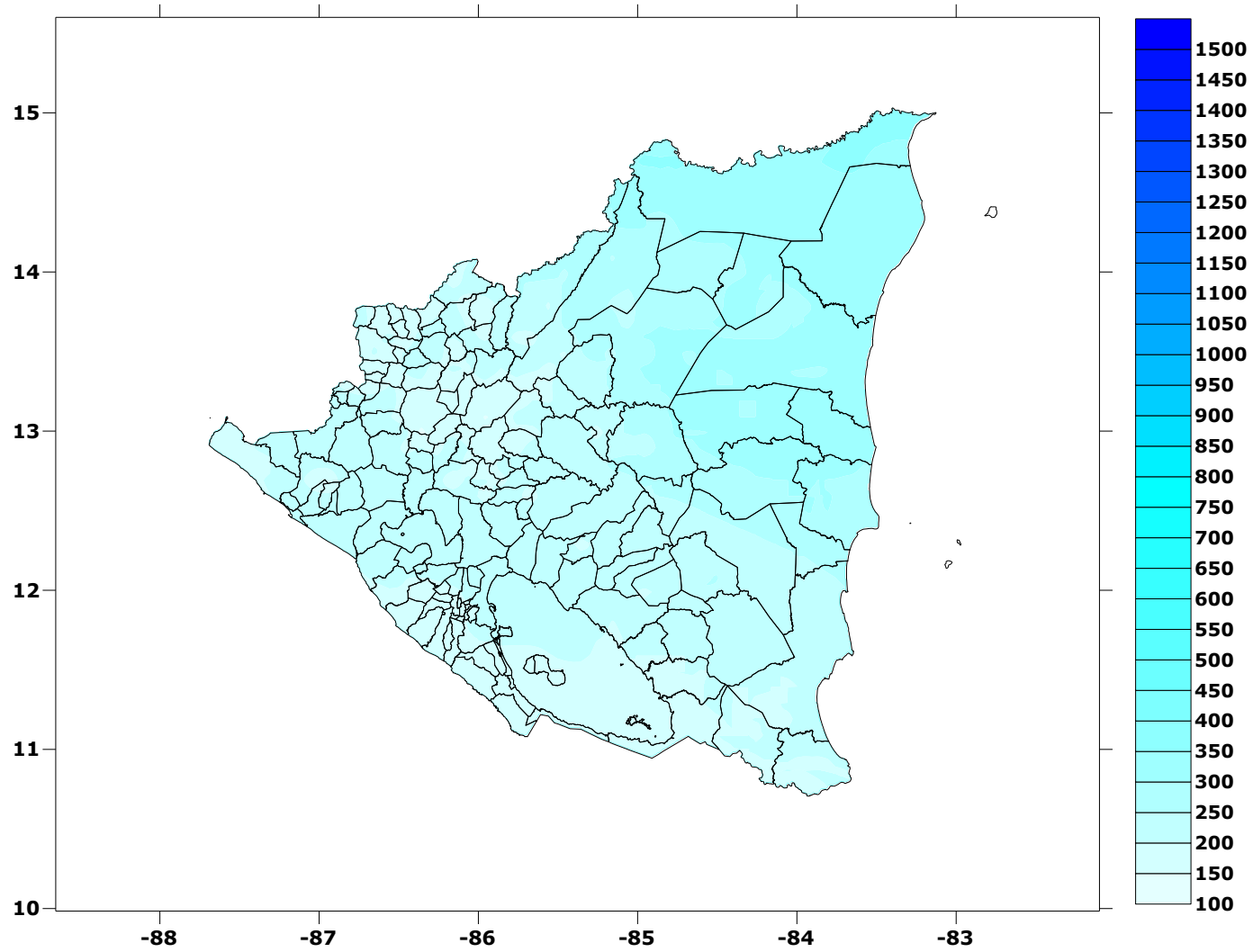
Figura 3-17

*Mapa de distribución espacial del tirante de inundación [m] para 2500 años de periodo de retorno*

### 3.4.3 Mapas de amenaza por lluvias huracanadas

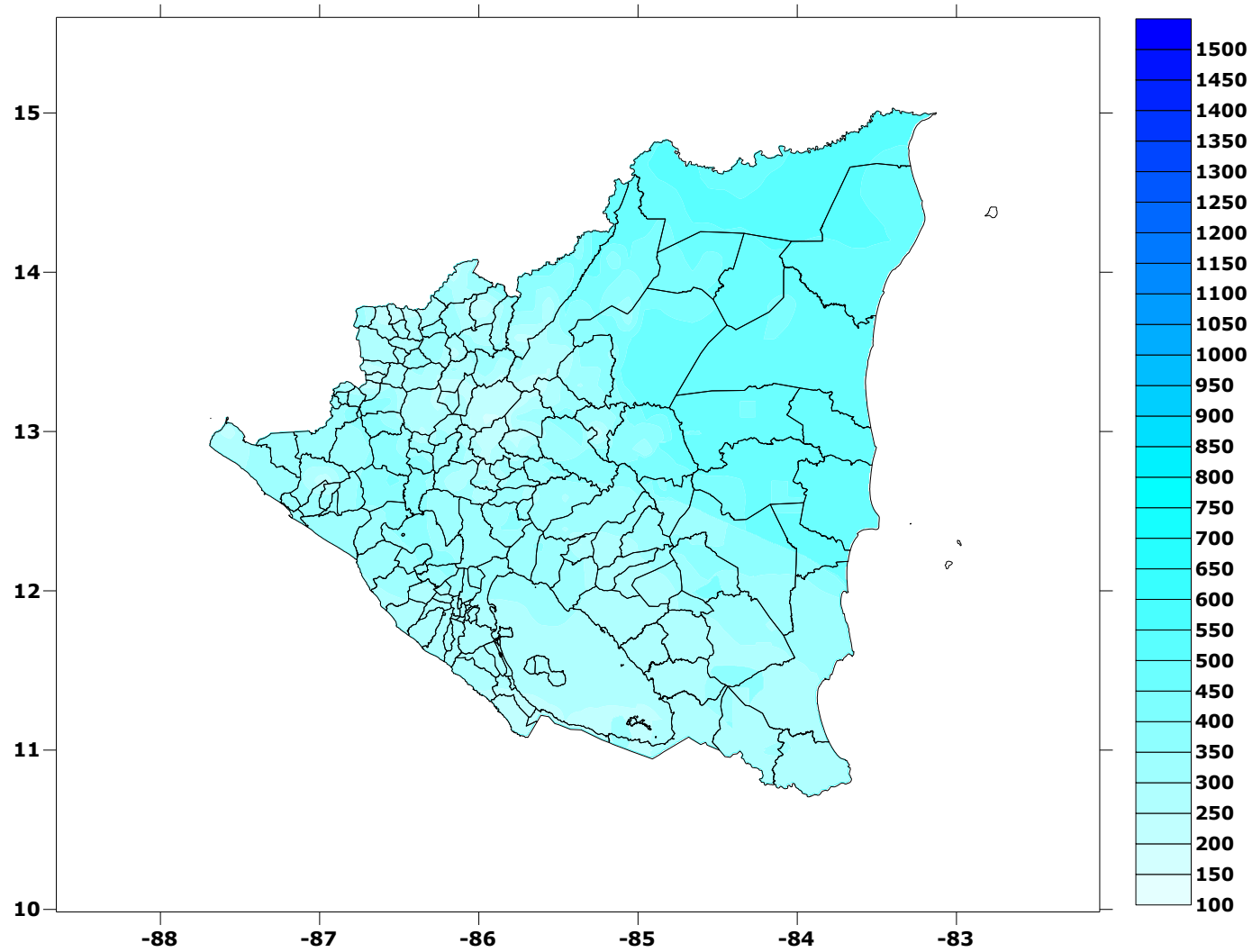
Se calcularon mapas de amenaza uniforme por lluvias huracanadas, tomando como medida de intensidad la profundidad de precipitación, según lo explicado en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2009), y para periodos de retorno de 20, 50, 100, 500 y 1000 años. Los cálculos fueron realizados empleando el programa ERN-Huracán (ERN 2007).

### 3. Amenaza por huracán

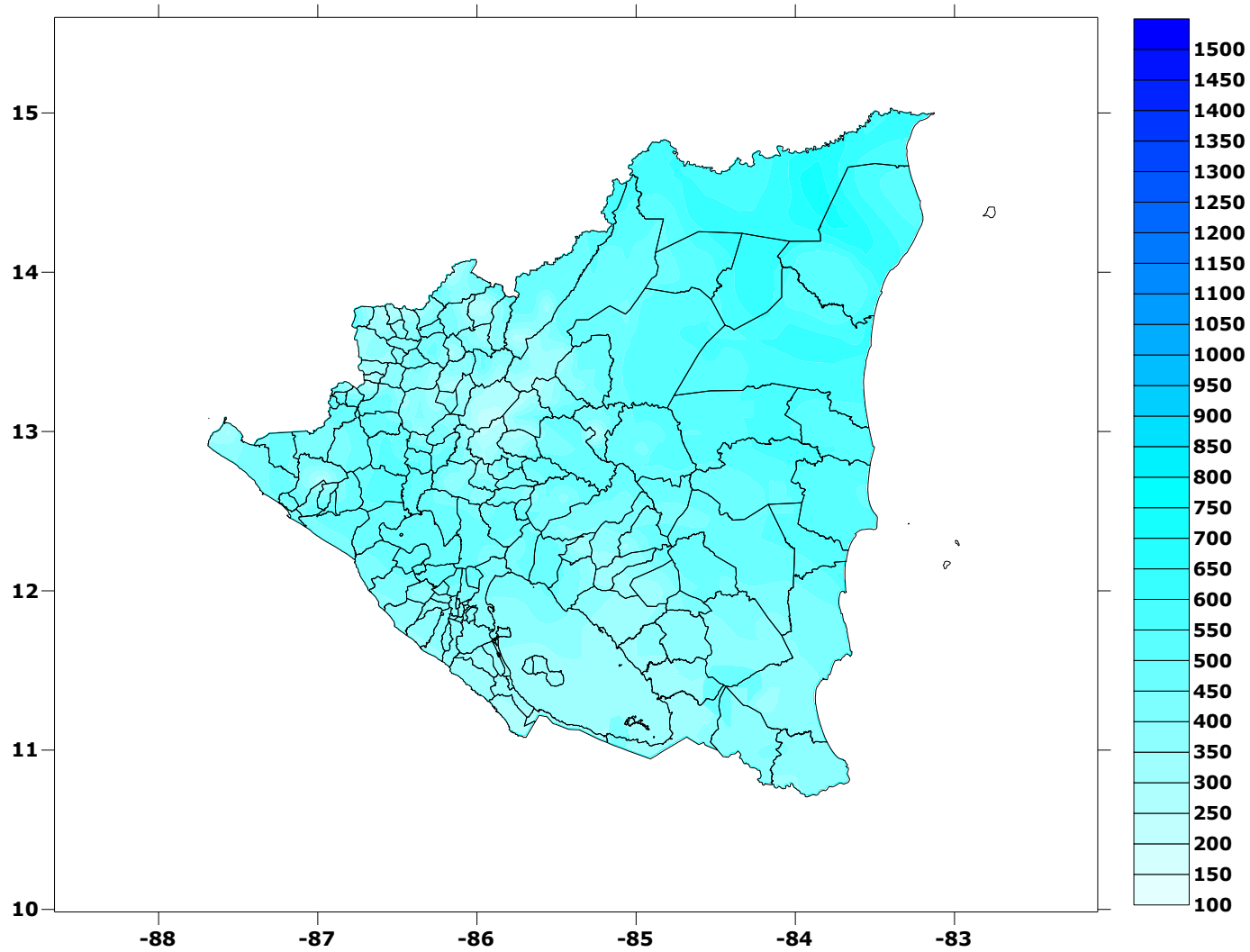


*Figura 3-18*  
*Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 20 años de periodo de retorno*

### 3. Amenaza por huracán



*Figura 3-19*  
*Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 50 años de periodo de retorno*



*Figura 3-20*  
*Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 100 años de periodo de retorno*

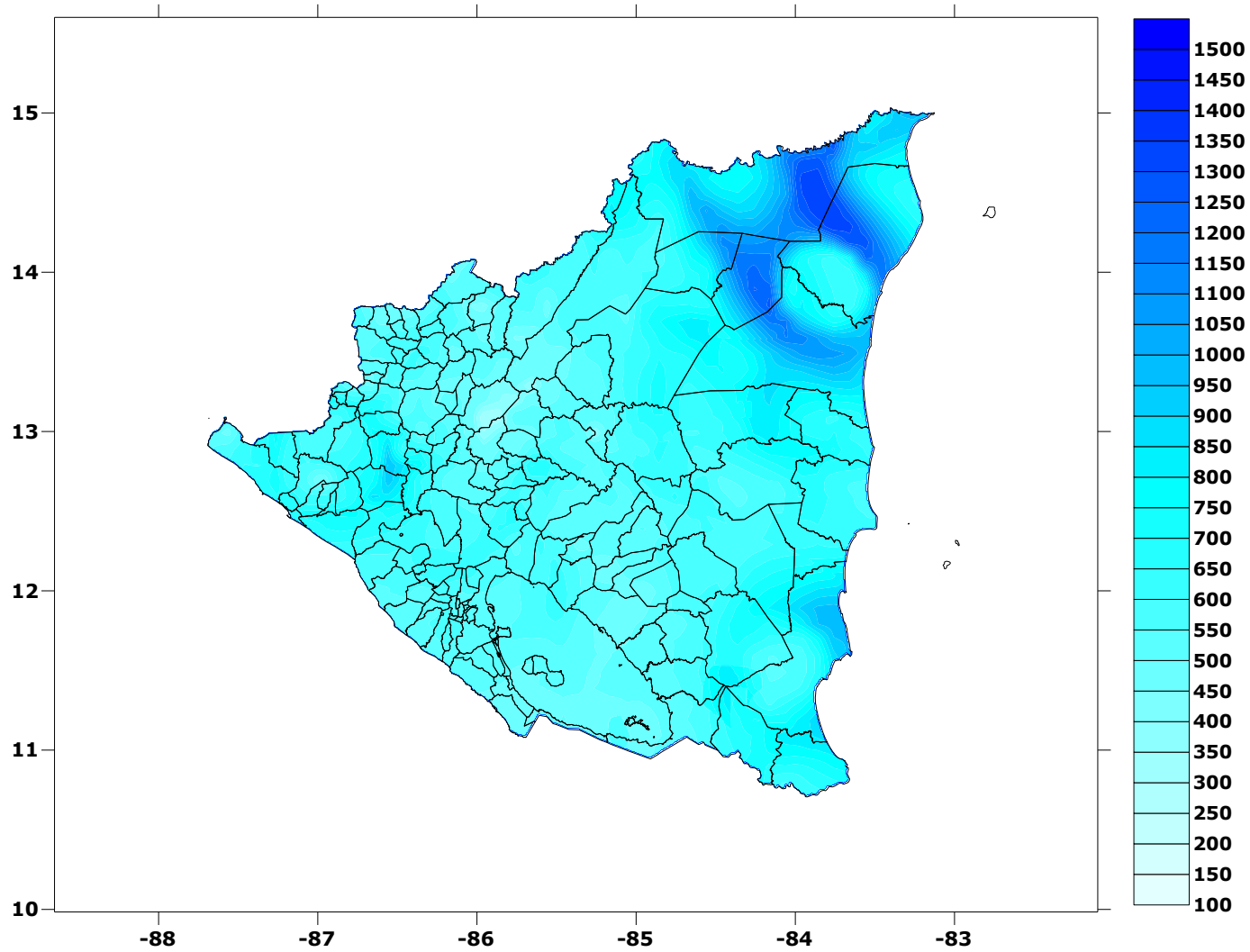


Figura 3-21  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 500 años de periodo de retorno



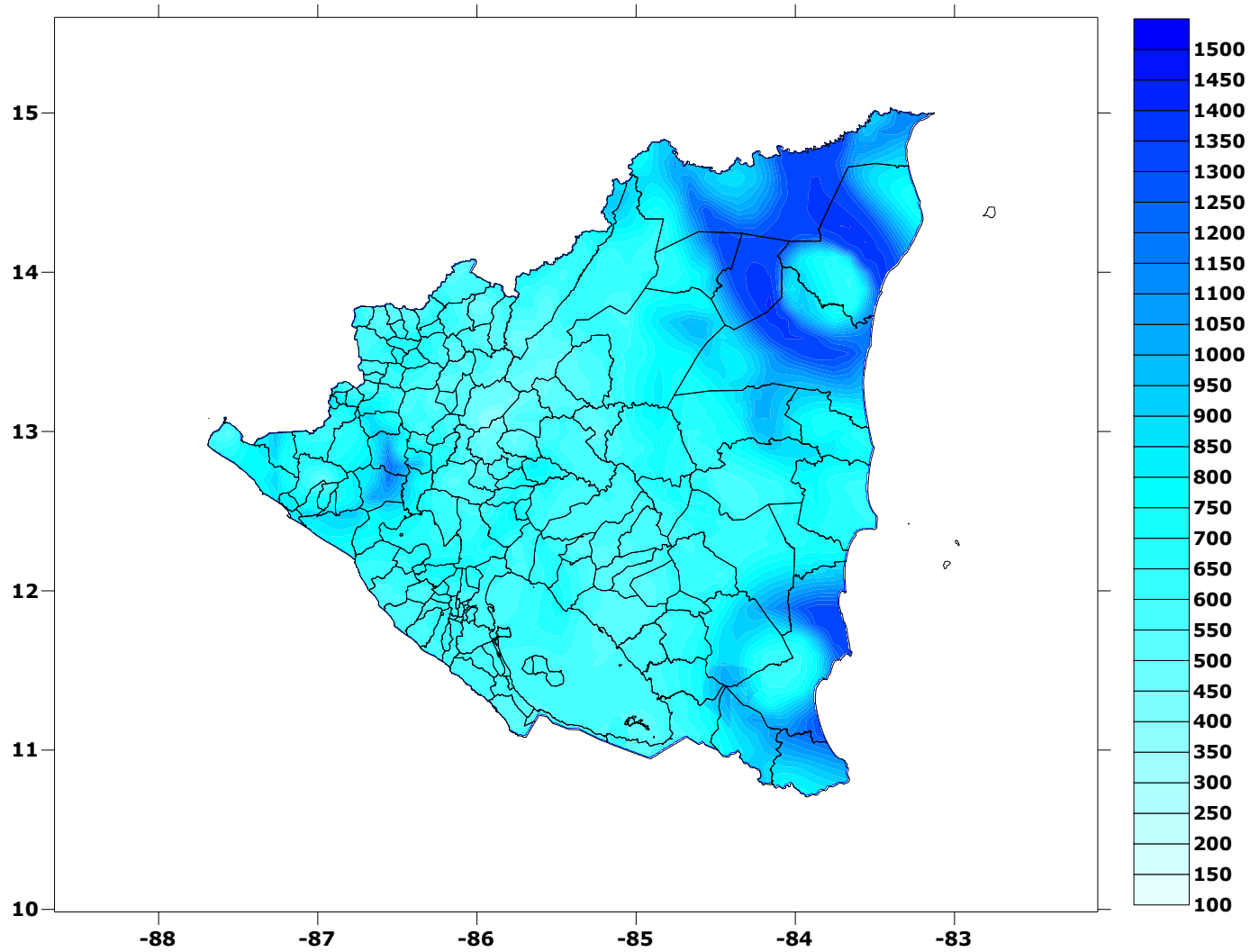


Figura 3-22  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 1000 años de periodo de retorno

#### 3.4.4 Mapas de amenaza por inundación asociada a lluvias huracanadas

Aplicando el modelo de eventos detonantes propuesto en este estudio (ERN-CAPRA-T1-1 Componentes Principales del Análisis de Riesgos, ERN 2009), se calcularon los mapas de amenaza por inundación asociada a lluvias huracanadas, tomando como medida de intensidad la profundidad de inundación, y para periodos de retorno de 20, 50, 100, 500 y 1000 años. Los cálculos fueron realizados empleando el programa ERN-Inundación (ERN 2009).

### 3. Amenaza por huracán

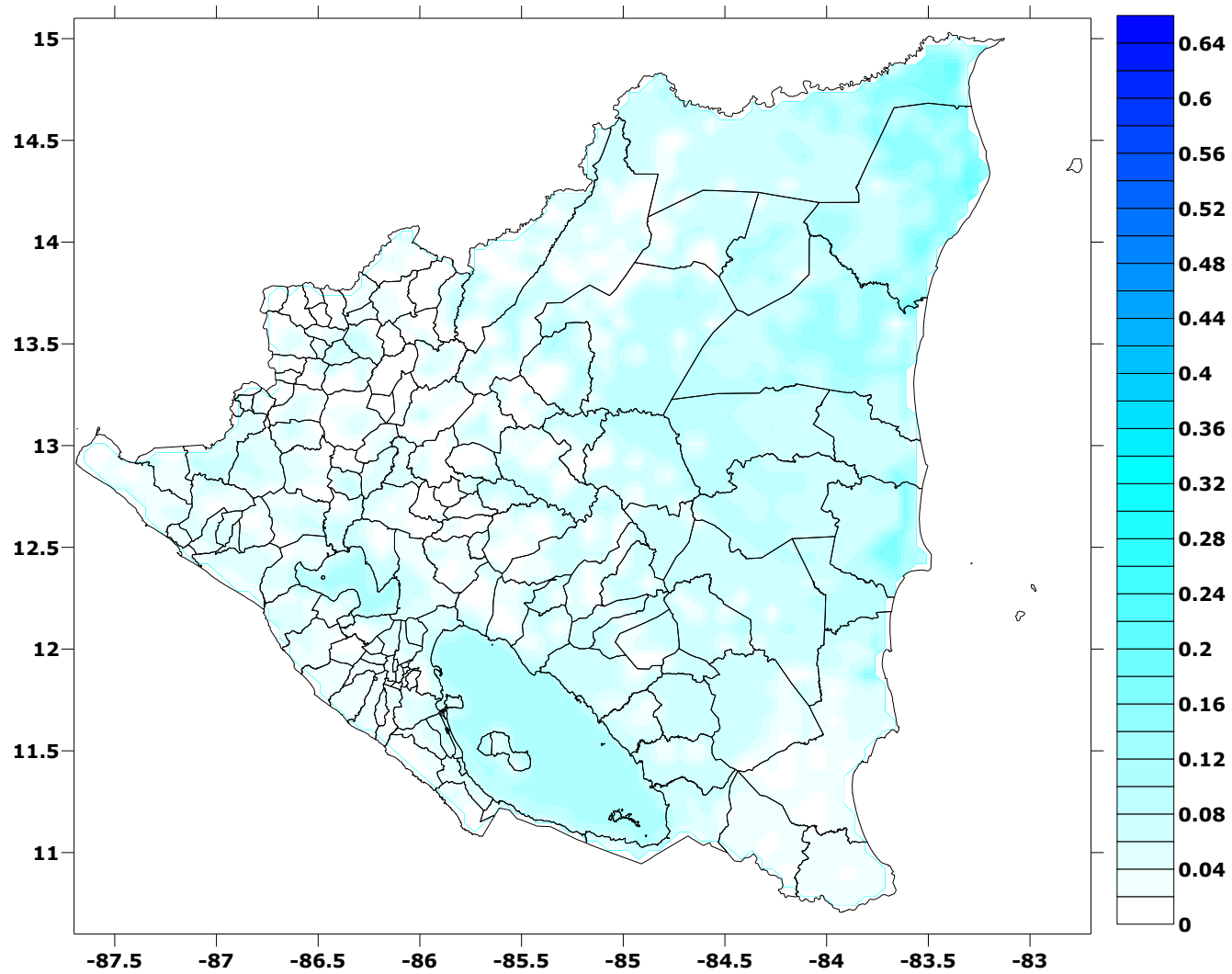
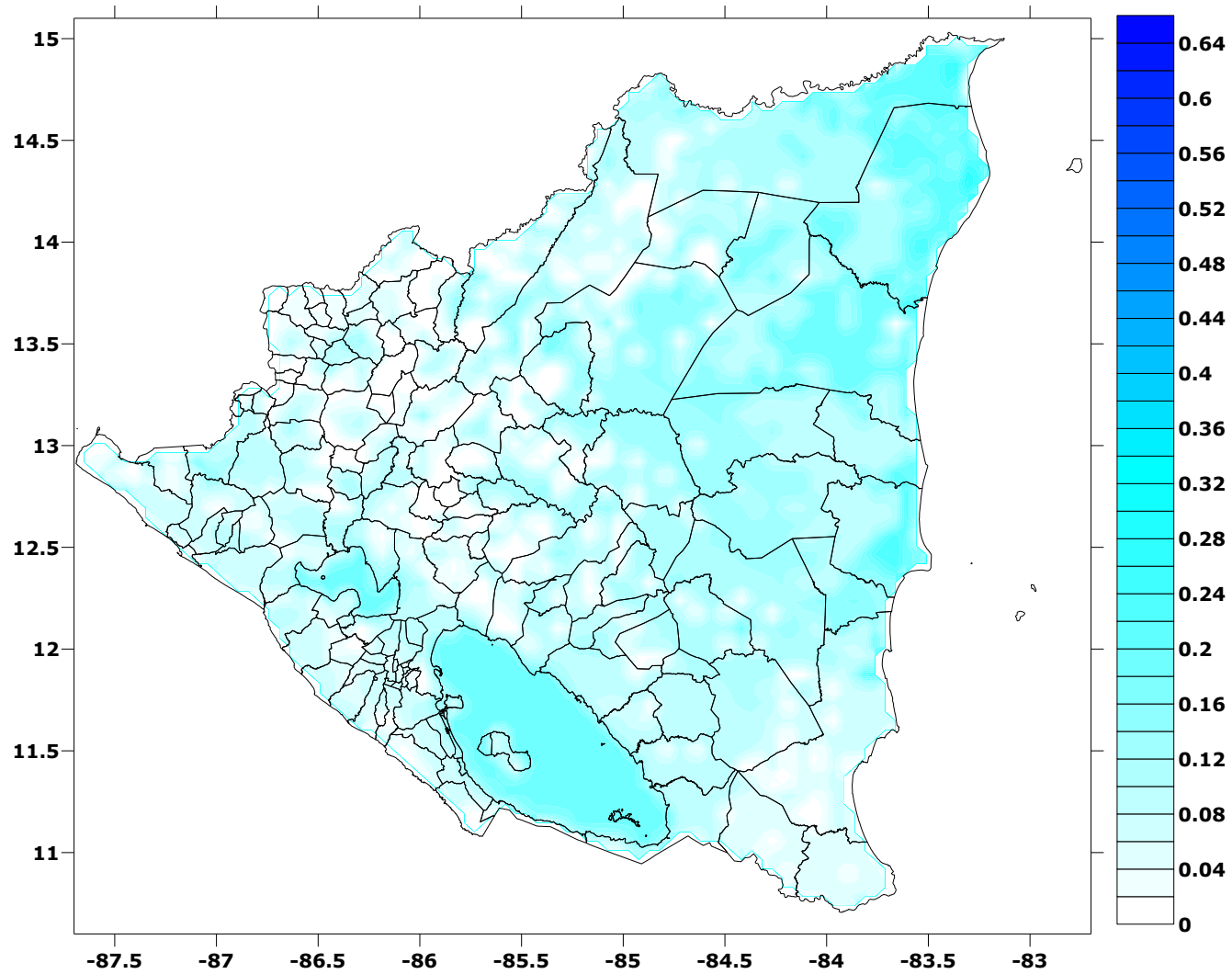


Figura 3-23  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de inundación [m] para 20 años de periodo de retorno

### 3. Amenaza por huracán



*Figura 3-24*  
*Mapa de distribución espacial de la profundidad de inundación [m] para 50 años de periodo de retorno*

### 3. Amenaza por huracán

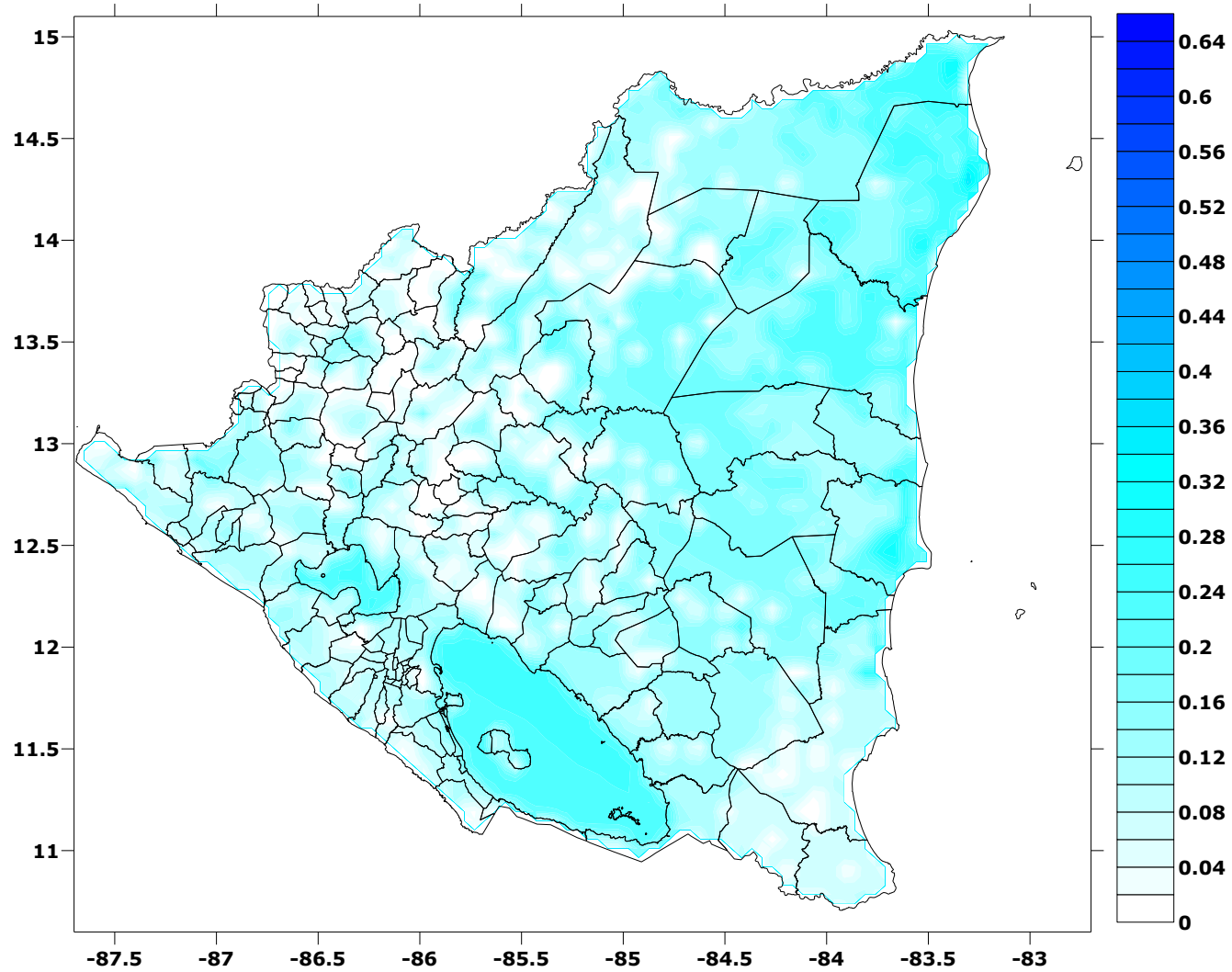


Figura 3-25  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de inundación [m] para 100 años de periodo de retorno

### 3. Amenaza por huracán

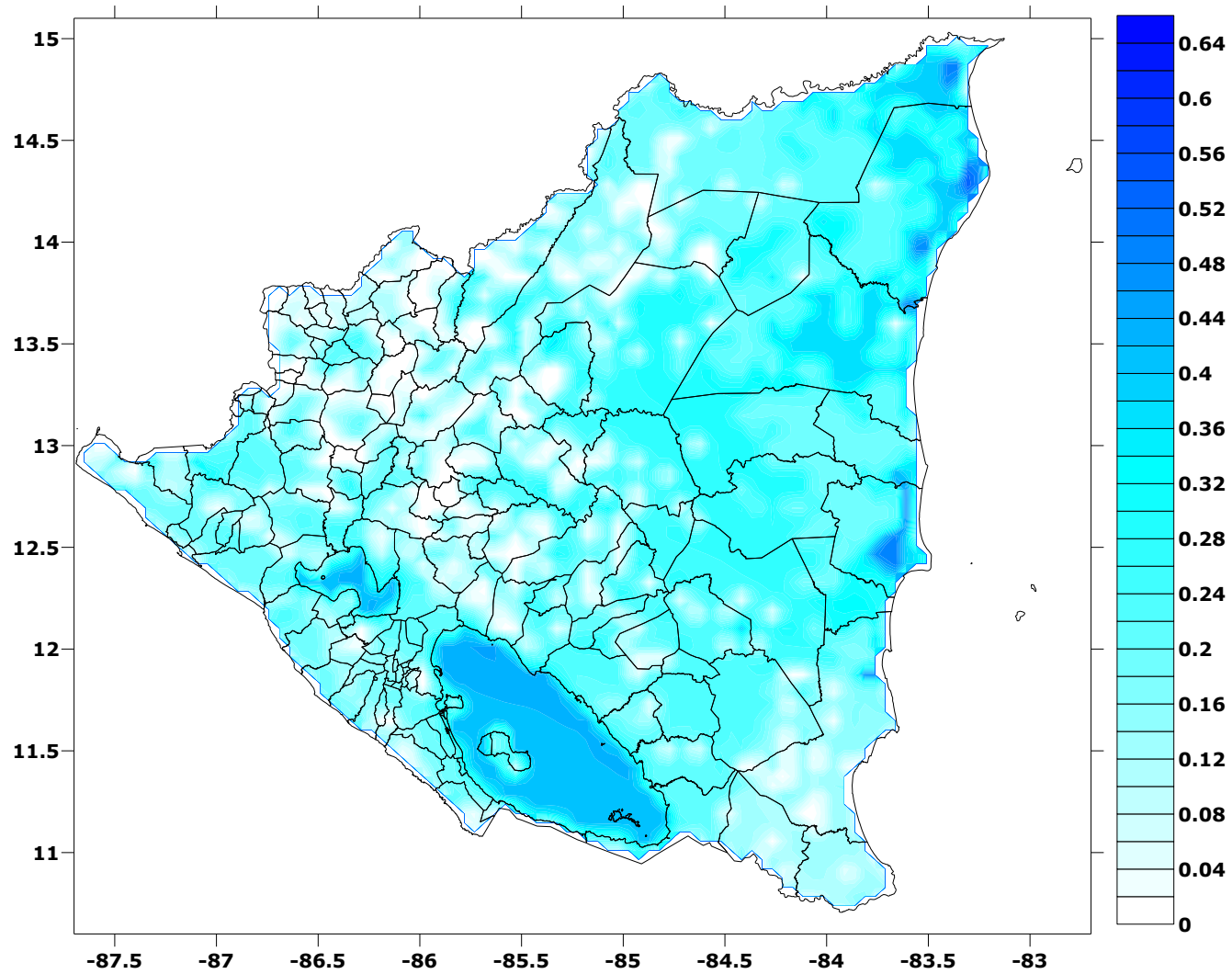


Figura 3-26  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de inundación [m] para 500 años de periodo de retorno

### 3. Amenaza por huracán

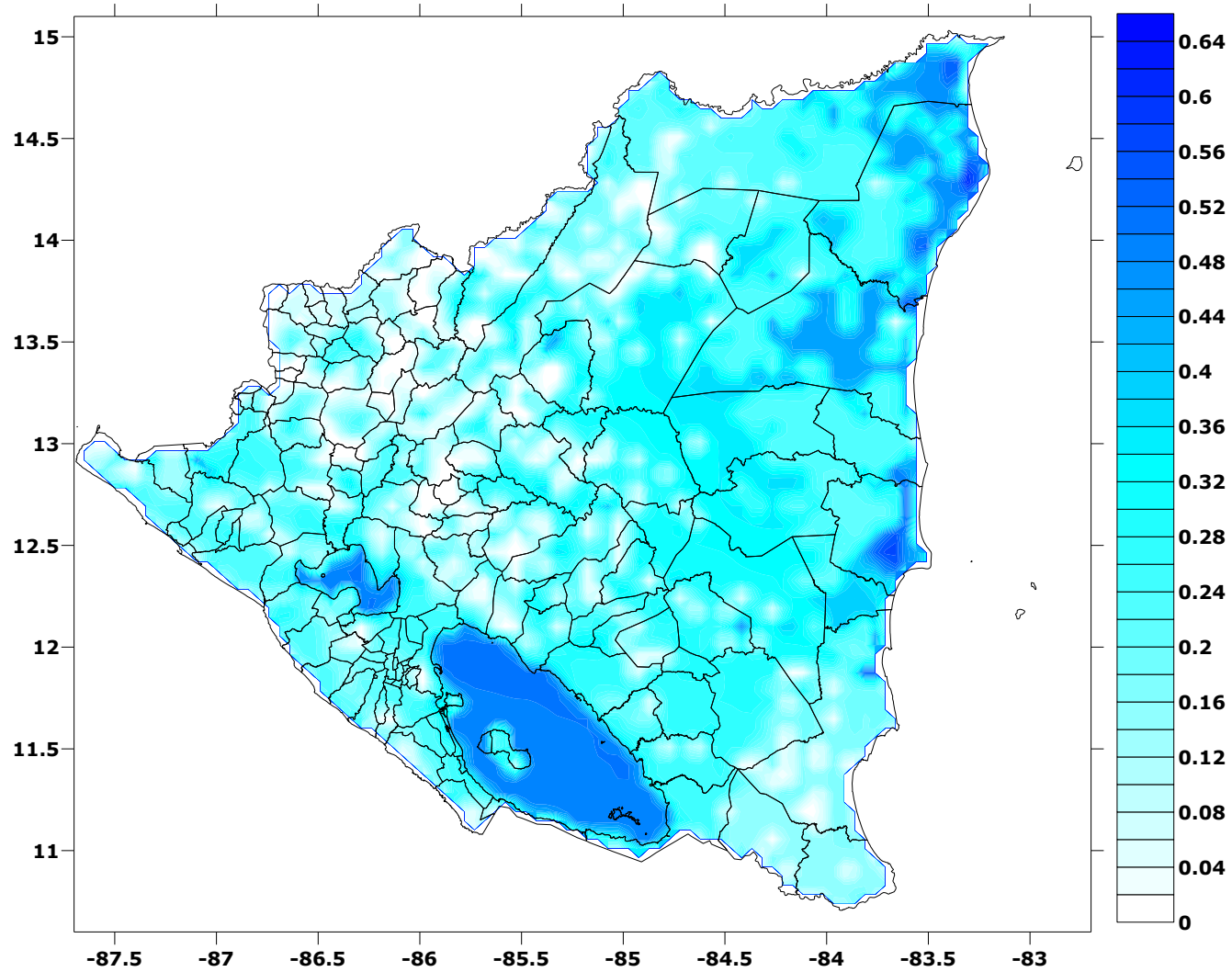


Figura 3-27  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de inundación [m] para 1000 años de periodo de retorno

## 4 Amenaza por lluvias intensas e inundación

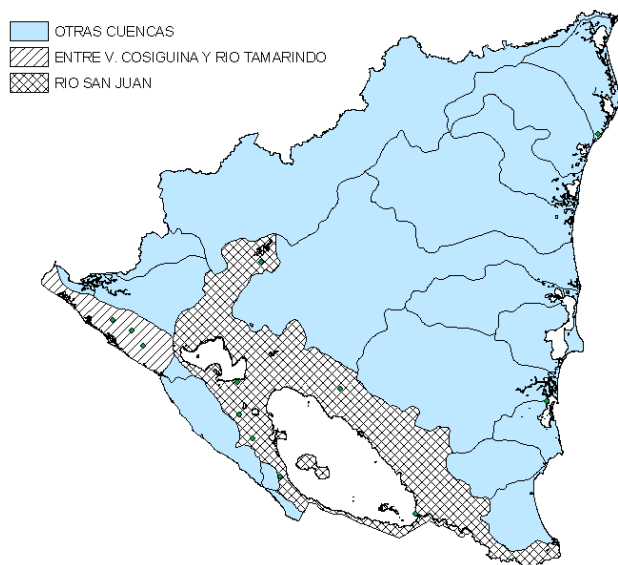
---

### 4.1 Introducción

Con el fin de llevar a cabo el análisis de amenaza por lluvias intensas, se recurrió a la revisión de toda la información meteorológica disponible. La modelación adecuada de las precipitaciones que pueden presentarse en un territorio particular depende fuertemente de la calidad de la información. Se requiere de un periodo de mediciones de valores de precipitación diarios, de alrededor de 30 años para caracterizar correctamente el régimen de lluvias de una región.

### 4.2 Información Empleada en la Modelación

La mejor información meteorológica disponible corresponde a la obtenida de la base de datos de la NOAA, disponible en su página web. Dicha base de datos contiene información de localización de estaciones, y registros diarios de precipitación. La distribución de estaciones con registros diarios, permitió hacer la escogencia preliminar de las cuencas mejor caracterizadas y potencialmente analizables. Observando la distribución de estaciones, se considero que las cuencas de los ríos Tamarindo y San Juan resultaban analizables, dado que cuentan con más de dos estaciones instaladas (ver Figura 4-1). Sin embargo, la cuenca del río Tamarindo se descartó dado que dos de las tres estaciones instaladas no cuentan con registros suficientes. Se analizó entonces la cuenca del río San Juan, en la cual fueron eliminadas del análisis tres de las estaciones dado que no cuentan con un número mínimo de registros diarios.

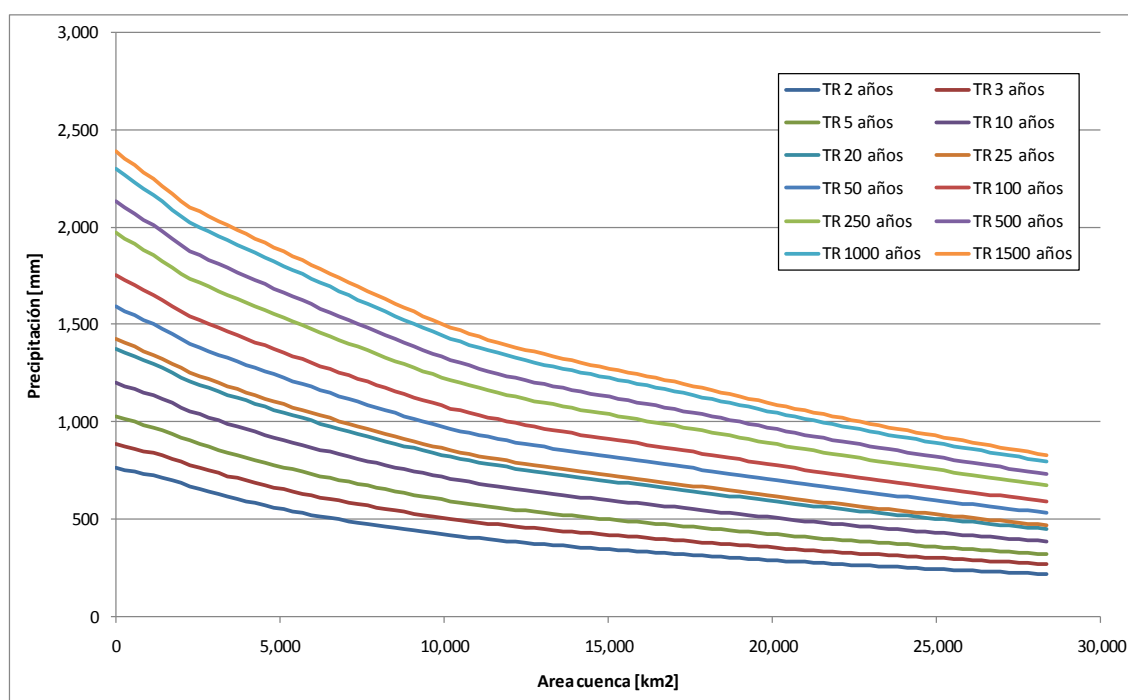




**Figura 4-1**  
*Distribución de estaciones con información disponible en NOAA*

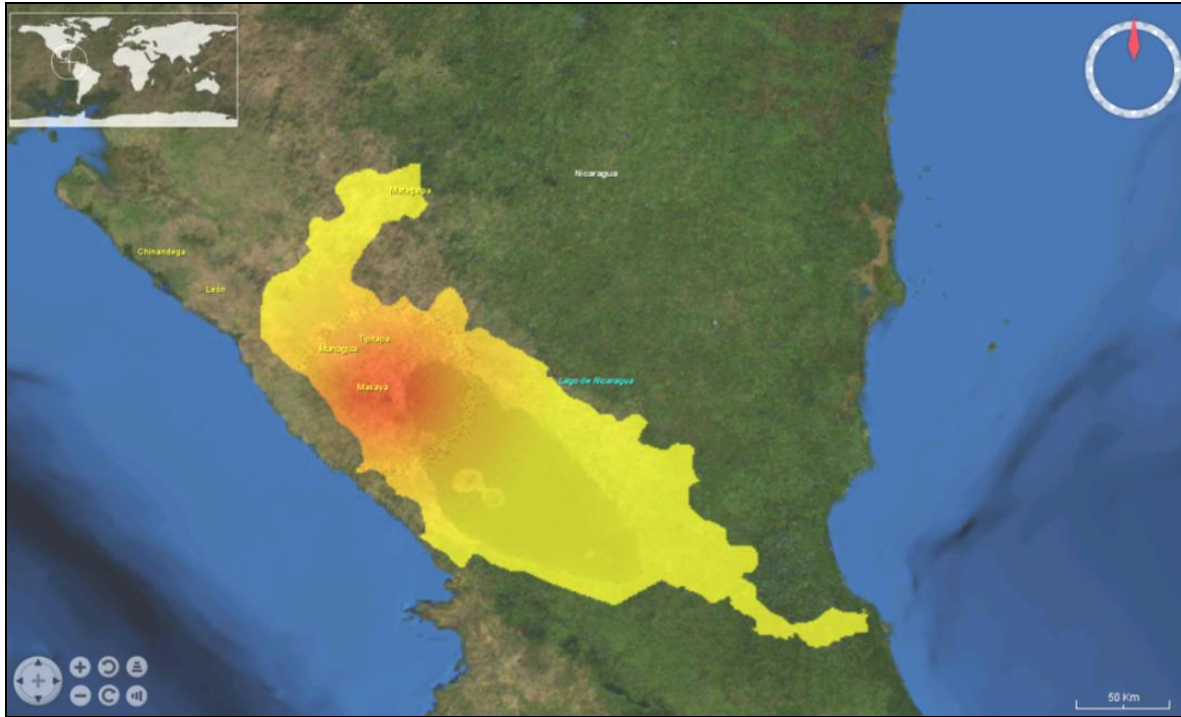
### 4.3 Parámetros del modelo.

Para la cuenca del río San Juan, se determinaron las curvas PADF en función de los registros de precipitación diaria disponibles, siguiendo la metodología especificada en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2009). Dichas curvas PADF se calcularon para la totalidad de la cuenca, duración de un día, y para periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 y 1500 años. Las curvas obtenidas del análisis se presentan en la Figura 4-2.



**Figura 4-2**  
*Curvas PADF características de la cuenca del río San Juan*

El juego de curvas PADF presentado anteriormente constituyen el insumo principal del análisis de amenaza por lluvias intensas. En la Figura 4-3 se presenta el mapa de intensidad de precipitación calculado para una tormenta estocástica, la cual cumple con las condiciones de precipitación de la cuenca, representadas en las curvas PADF. Dicho escenario fue calculado con el programa ERN-LluviaNH (ERN 2009).



*Figura 4-3*

*Mapa de distribución espacial de intensidad de precipitación para una tormenta estocástica de 1 día de duración y 2 años de periodo de retorno.*

*(Visualizado en la versión CAPRA de World Wind Java, NASA, ERN 2009. En desarrollo)*

#### **4.4 Mapas de Amenaza por Lluvias Intensas**

Se calcularon mapas de amenaza uniforme por lluvias intensas para la cuenca del río San Juan, tomando como medida de intensidad la profundidad de precipitación, según lo explicado en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2009), y para periodos de retorno de 20, 50, 100, 500 y 1000 años. Los cálculos fueron realizados empleando el programa ERN-LluviaNH (ERN 2009).

#### 4. Amenaza por lluvias intensas e inundación

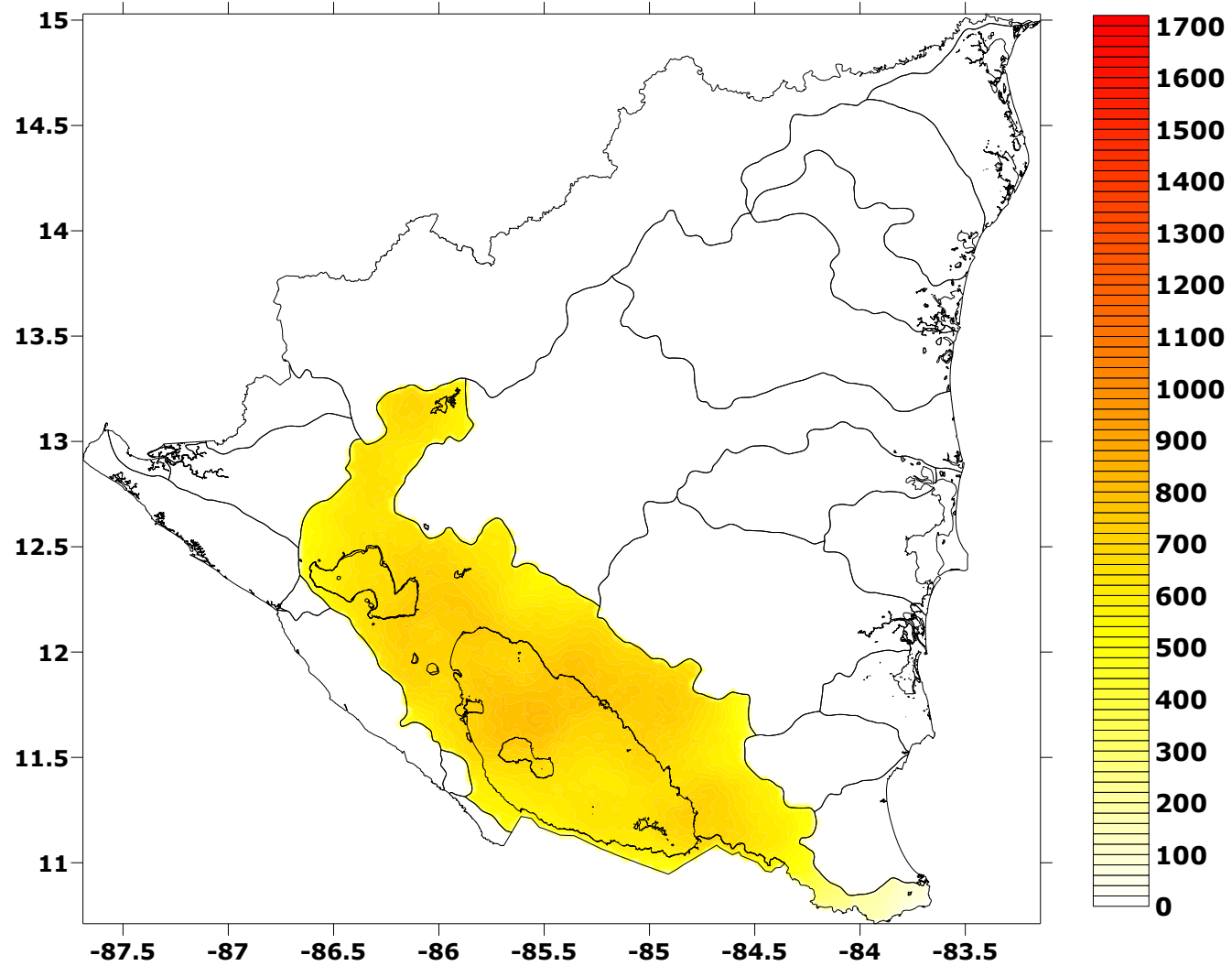


Figura 4-4  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 20 años de periodo de retorno

4. Amenaza por lluvias intensas e inundación

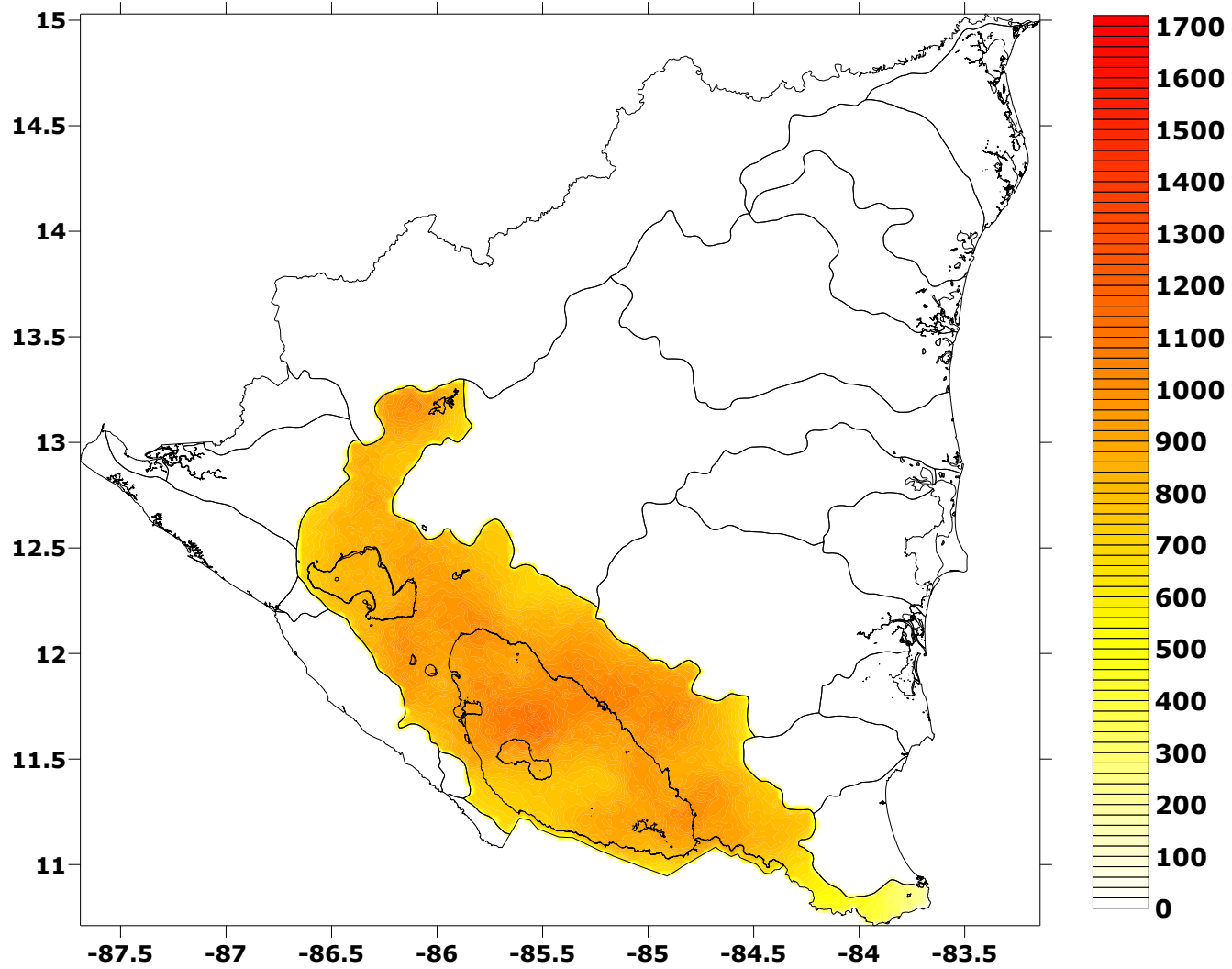


Figura 4-5  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 50 años de periodo de retorno

4. Amenaza por lluvias intensas e inundación

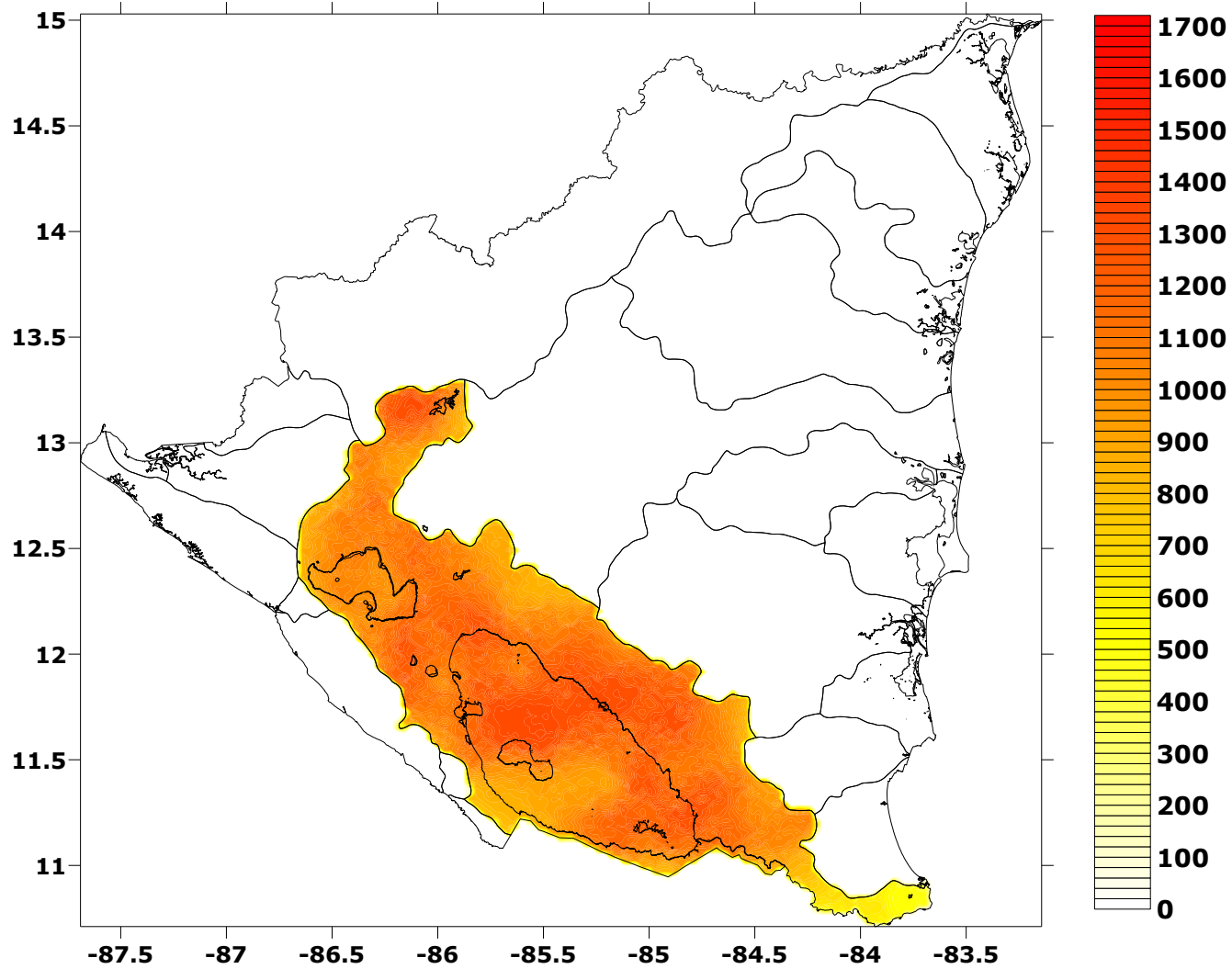


Figura 4-6  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 100 años de periodo de retorno

4. Amenaza por lluvias intensas e inundación

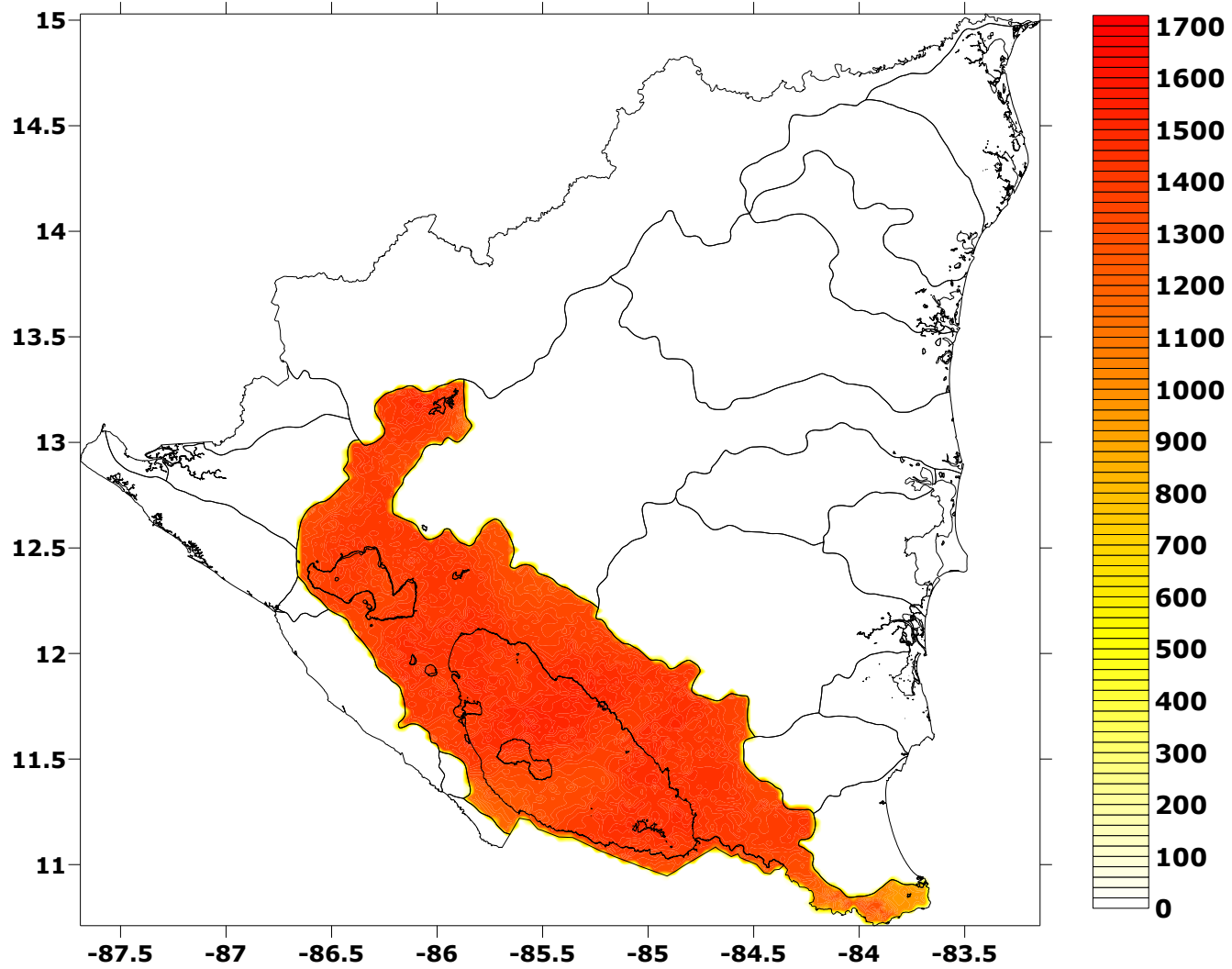


Figura 4-7  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 500 años de periodo de retorno

#### 4. Amenaza por lluvias intensas e inundación

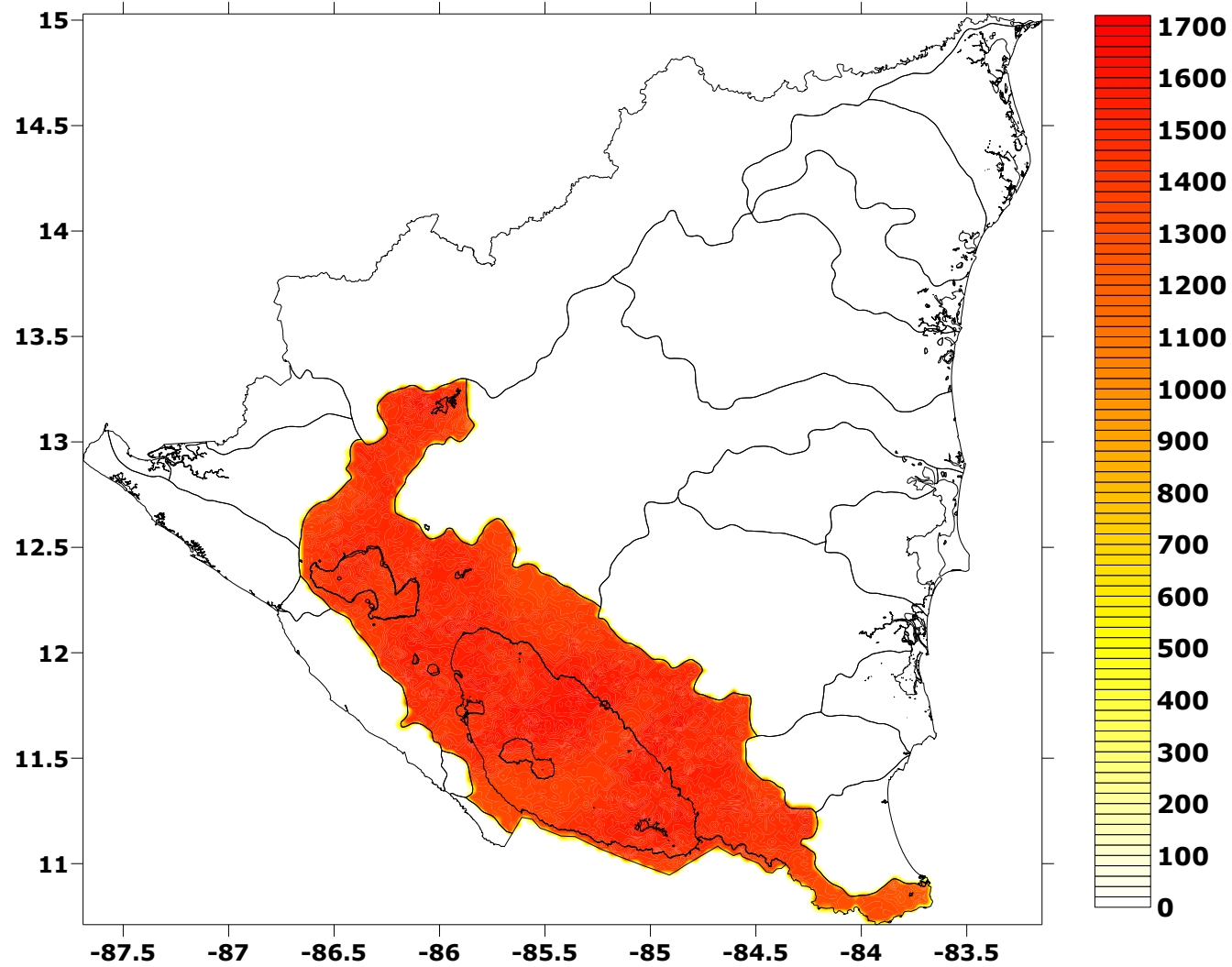


Figura 4-8  
Mapa de distribución espacial de la profundidad de precipitación [mm] para 1000 años de periodo de retorno

## **5 Amenaza por deslizamientos**

---

### **5.1 Introducción**

Los deslizamientos son fenómenos muy comunes en países tropicales con alta densidad de zonas montañosas, y regímenes de precipitaciones fuertes. Si bien la magnitud misma de un deslizamiento puede no derivar en catástrofes, su alta frecuencia de ocurrencia los posiciona como una de las amenazas más comunes y más importantes en Nicaragua.

El enfoque de cálculo aquí presentado está basado en la modelación punto a punto de la estabilidad, con el fin de cubrir espacialmente las condiciones generales de estabilidad de una región.

### **5.2 Información Empleada en la Modelación**

Para la evaluación de la amenaza al deslizamiento se requiere información detallada de la zona de estudio, según lo especificado en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2009). A continuación se lista la información disponible para conformar los datos de entrada del modelo, que hacen parte de la información geográfica existente para Nicaragua:

- Mapa topográfico, con resolución de grilla de 90 m
- Mapa geológico general con información relacionada a los diferentes tipos de roca, como descripción, edad de formación, composición mineralógica, estratigrafía y simbología.
- Mapa de zonificación agronómica de suelos con información que permite conocer las características específicas de evolución y creación del suelo, dando indicios de los horizontes en que se desarrolla, y su procedencia (rocas parentales, texturas y tamaños de las partículas). Cabe anotar que no se cuenta con una estratigrafía de precisión de los suelos existentes en el país, por ende los espesores de suelo deben ser inferidos.

### **5.3 Parámetros del modelo.**

Según lo especificado en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (ERN 2009), se desarrollaron módulos de cálculo para cuatro modelos diferentes de amenaza por deslizamientos, cuya aplicabilidad es función de la información disponible. En este caso, se realizó la modelación a nivel nacional empleando los métodos de Mora-Varhson 1993, y de falla translacional. La información que se empleó en la modelación se indica a continuación.



### 5.3.1 Información general

La información general incluye la topografía del país, y la información geotécnica que requiera cada uno de los modelos. Las capas de propiedades de los suelos deslizables se generaron a partir de la información geotécnica y geológica disponible. La totalidad de las capas de información general son las siguientes:

- Topografía.
- Suelos.
  - Cohesión del estrato potencialmente deslizable
  - Cohesión del estrato base
  - Ángulo de fricción del estrato potencialmente deslizable
  - Ángulo de fricción del estrato base
  - Peso específico del estrato potencialmente deslizable
  - Peso específico del estrato base
  - Espesor del estrato potencialmente deslizable

### 5.3.2 Información de eventos detonantes

Los eventos considerados en este proyecto como detonantes de deslizamientos se deben especificar de maneras diferentes. La amenaza sísmica debe incluirse al modelo como un conjunto de escenarios estocásticos, cada uno con como una capa de intensidades de movimiento y una frecuencia anual de ocurrencia.

Las lluvias intensas no se consideran de manera directa. Se deben indicar el *estado de humedad* del suelo potencialmente deslizable, a partir del espesor de la capa de suelo. Para el caso en que la capa se encuentre completamente saturada, el estado de humedad toma un valor de cero (0), mientras que para un suelo completamente seco toma un valor de uno (1). Es posible variar las condiciones de humedad entre los valores descritos, y asignarle a cada escenario de humedad una frecuencia anual de ocurrencia. A partir de esta información se puede ubicar el nivel freático en el estrato potencialmente deslizable.

## 5.4 Mapas de Amenaza por Deslizamiento

Se calcularon los mapas de amenaza por deslizamiento para Nicaragua mediante los dos métodos mencionados anteriormente. El cálculo con el método de Mora-Varhson se realizó para 2 condiciones de humedad del suelo (completamente saturado y completamente seco), y un escenario sísmico, correspondiente a un terremoto de magnitud 6.9 ocurriendo en la zona norte del pacífico nicaragüense (calculado con el programa CRISIS 2007, Ordaz et al 2007). El cálculo con el método de falla traslacional se realizó para las mismas 2 condiciones de humedad, sin sismo. Los análisis realizados se listan en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Análisis de amenaza por deslizamiento realizados

N°	Tipo de análisis	Escenarios de humedad	Escenarios de sismo	N° de escenarios de deslizamiento.
1	Mora Vahrson	2	1	2
2	Falla Plana	2	0	2

El parámetro de intensidad empleado es el *factor de inseguridad*, el cual corresponde al inverso del factor de seguridad. A mayor factor de inseguridad, mayor será la probabilidad de ocurrencia de la amenaza por deslizamiento. Los cálculos se realizaron empleando el programa ERN-Deslizamiento (ERN 2009).

Los mapas presentados a continuación se dibujan teniendo en cuenta las siguientes escalas:

*Escala método Mora – Vahrson:* La clasificación de la amenaza por este método se divide en varias clases que se describen en la siguiente escala de colores, que va desde amenaza insignificante hasta muy alta.

I	II	III	IV	V	VI
Insignificante	Bajo	Moderado	Medio	Alto	Muy Alto
<6	7-32	33-162	163-512	513-1250	>1250

*Escala método de falla traslacional:* la escala gráfica de estos mapas se da en función del factor de inseguridad, de la manera mostrada a continuación.

0	0.1	0.5	0.83	>1.11
Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto

5. Amenaza por deslizamientos

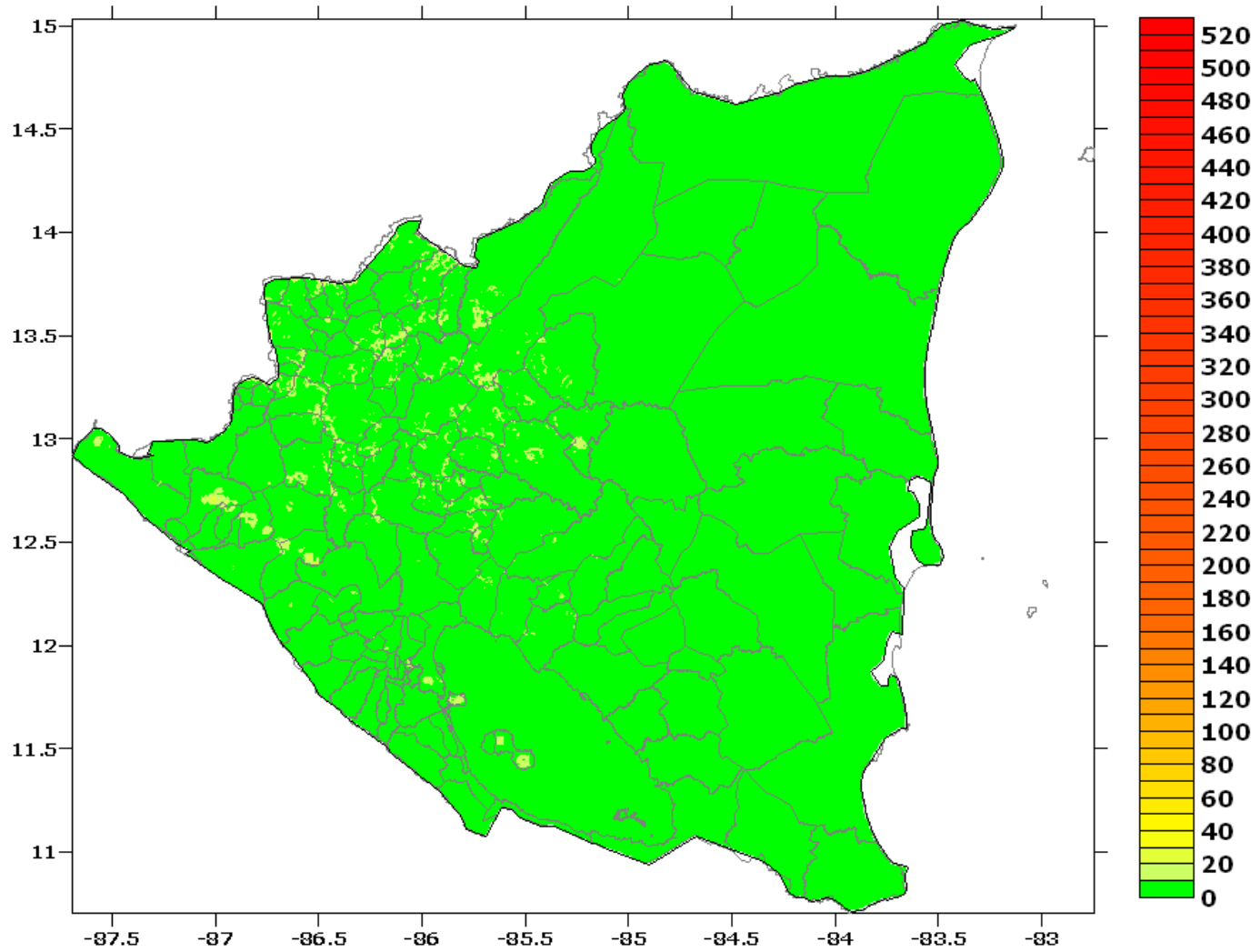


Figura 5-1

Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas con sismo. Calculado con el método de Mora-Varhson

5. Amenaza por deslizamientos

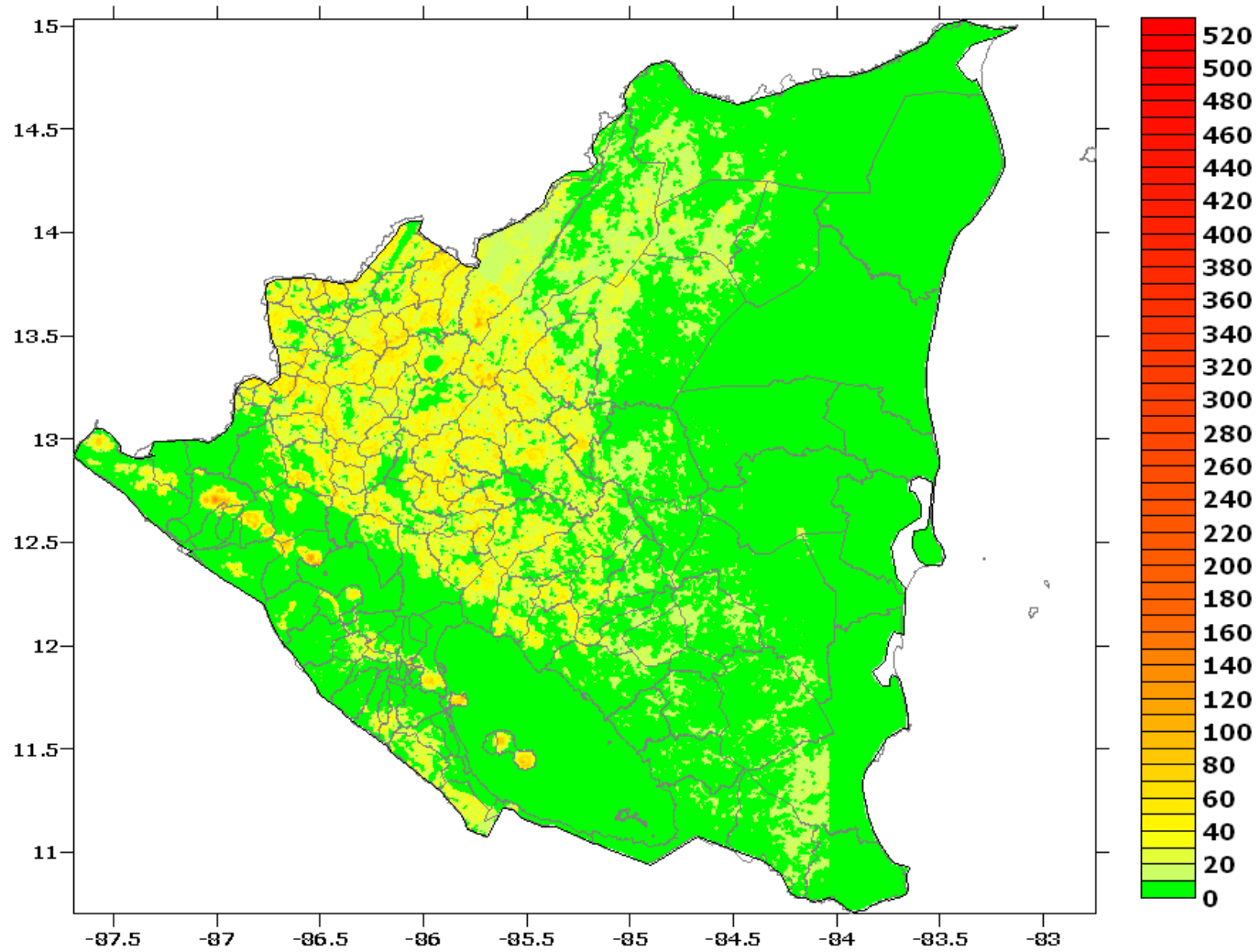
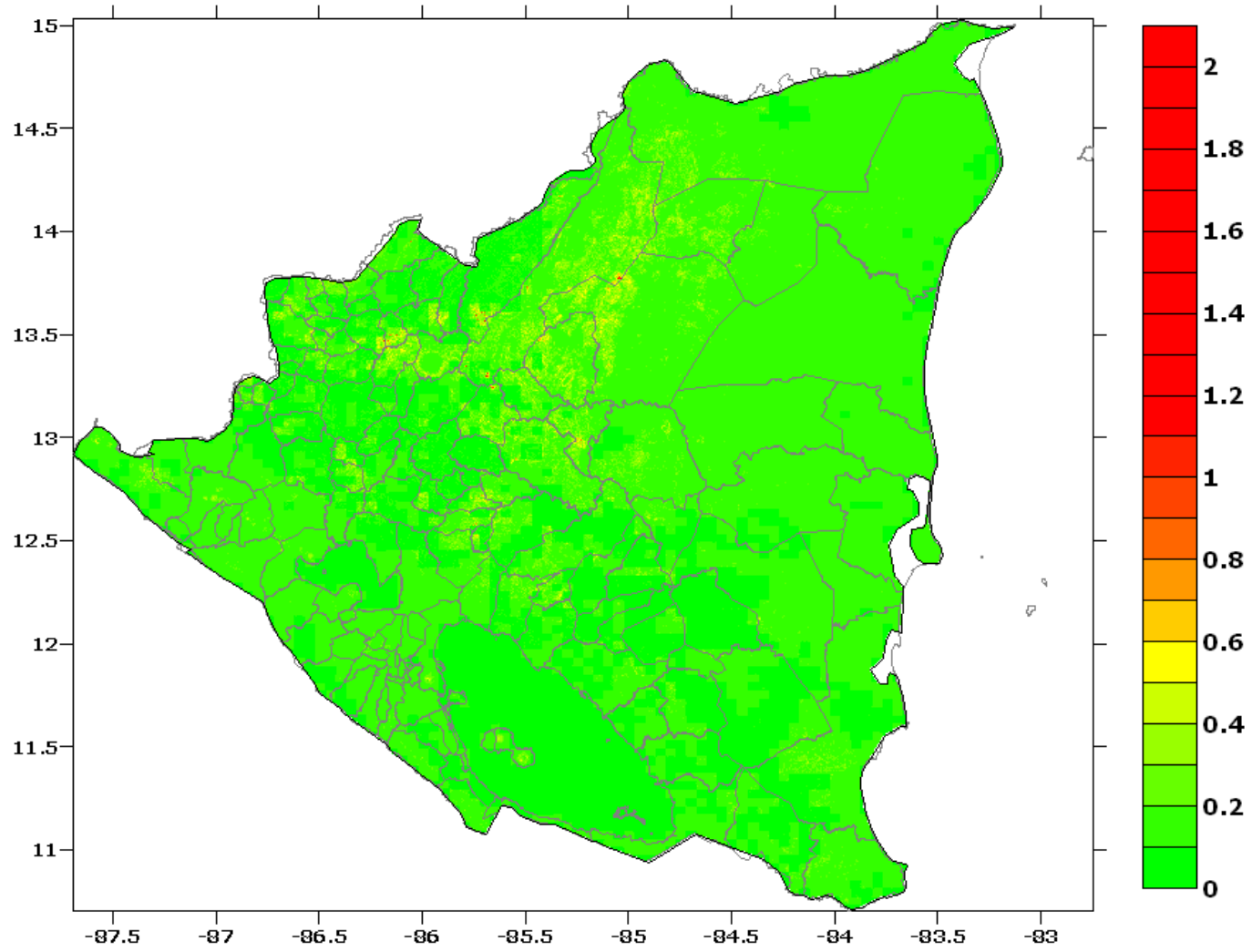


Figura 5-2  
Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones húmedas con sismo. Calculado con el método de Mora-Varhson



*Figura 5-3*  
*Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas sin sismo. Calculado con el método de falla traslacional*

5. Amenaza por deslizamientos

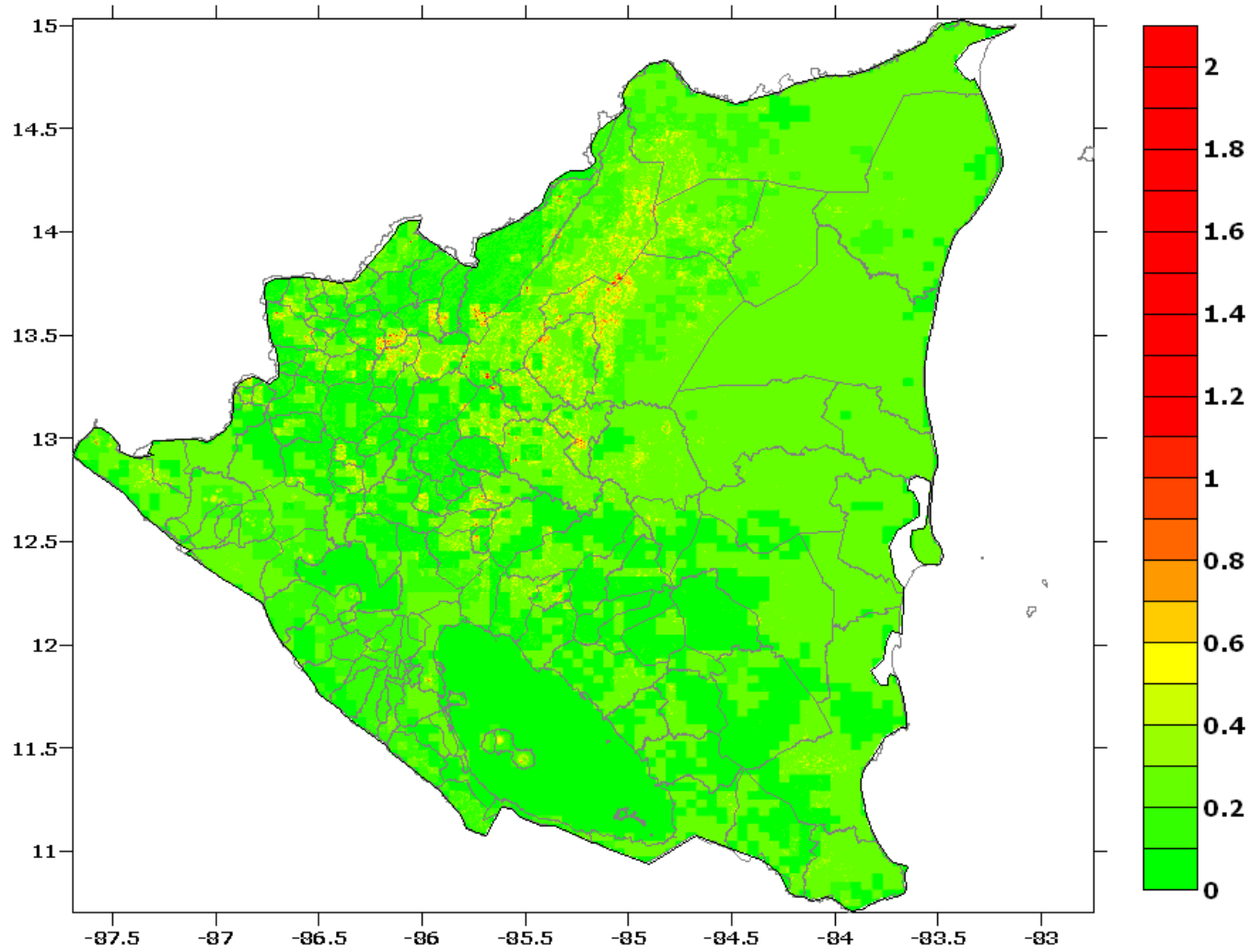


Figura 5-4

Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones saturadas sin sismo. Calculado con el método de falla traslacional

## 6 Amenaza volcánica

---

### 6.1 Introducción

Para el caso de la amenaza volcánica en Nicaragua, se realizó una modelación determinista de la amenaza al no contarse, en la mayoría de los casos, con información suficiente para una adecuada modelación probabilista. Cada volcán fue caracterizado a partir de su historia eruptiva y características vulcanológicas generales, con el fin de modelar el escenario de amenaza más representativo.

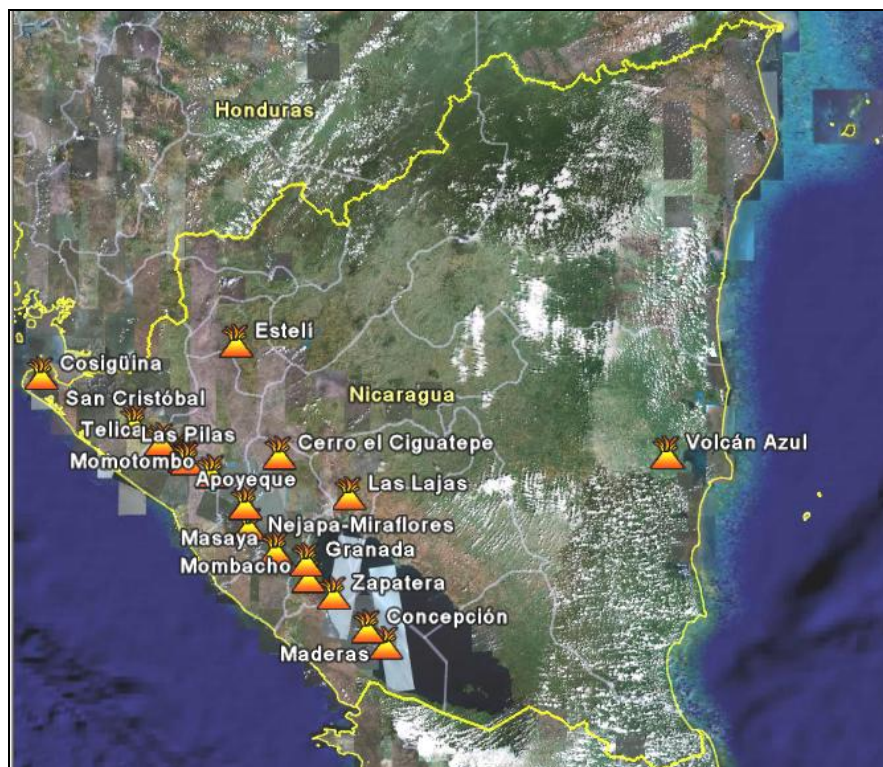
### 6.2 Entorno Local de la Amenaza

En Nicaragua hay 20 edificios volcánicos de los cuales tan solo 7 presentan indicios de actividad (ver Tabla 6-1). En territorio nicaragüense han ocurrido grandes erupciones volcánicas que han alcanzado valores de VEI de 5 y 6 (volcanes Masaya, Apoyeque y Congüina). La localización de los volcanes de Nicaragua se presenta en la Figura 6-1.

*Tabla 6-1  
Volcanes de Nicaragua*

ID	Nombre	Tipo de volcán	Tipo de erupción	Clasificación de Actividad
1	COSIGUINA	Estrato volcán	Pliniana	Reposo
2	SAN CRISTOBAL	Estrato volcán	Pliniana	Activo
3	TELICA	Estrato volcán	Sub-Pliniana	Activo
4	ROTA	Estrato volcán		Reposo
5	CERRO NEGRO	Estrato volcán	Sub-Pliniana	Activo
6	LAS PILAS	Complejo volcánico		Reposo
7	MOMOTOMBO	Estrato volcán	Estromboliana	Activo
8	APOYEQUE	Complejo volcánico	Freato-Pliniana	Reposo
9	NEJAPA-MIRAFLORES	Fisura	Freatomagmática	Reposo
10	MASAYA	Caldera	Freato-Pliniana	Activo
11	GRANADA	Fisura		Inactivo
12	MOMBACHO	Estrato volcán	Estromboliana	Reposo
13	ZAPATERA	Estrato volcán		Inactivo
14	CONCEPCION	Estrato volcán	Estromboliana	Activo
15	MADERAS	Estrato volcán	Estromboliana	Inactivo
16	ESTELI	Fisura		
17	CERRO EL CIGUATEPE	Estrato volcán		
18	LAS LAJAS	Volcán escudo		
19	CASITA	Estrato volcán	Pliniana	Reposo
20	VOLCAN AZUL	Cono de ceniza		

La modelación de la amenaza volcánica se realizó exclusivamente sobre los volcanes activos del país, que presentan actividad reciente a partir de la cual fue posible recopilar datos de erupciones históricas para la caracterización del volcán.



**Figura 6-1**

**Localización de principales volcanes en Nicaragua**

(Tomado de Global Volcanism Program - Smithsonian Institute. Disponible en Google Earth)

### 6.2.1 Volcán San Cristóbal

San Cristóbal es un *estratovolcán* ubicado a unos 100 km al Noroeste de Managua. Las primeras descripciones de erupciones se conocen de los años 1520. Todo el siglo 16 el volcán siguió activo, principalmente con emisión de gases. En Julio de 1684 y en agosto de 1685 ocurrieron fuertes erupciones estrombolianas. Después de estos eventos el volcán entró en calma la cual mantuvo hasta el siglo 20.

El complejo volcánico San Cristóbal consiste de cinco edificios volcánicos principales (Figura 6-2):

- ✓ El volcán más joven, el propio *San Cristóbal* (se conoce también como El Viejo) es un cono simétrico y el pico más alto de la cadena volcánica en Nicaragua y tiene un cráter de las dimensiones 500 x 600 m.



- ✓ *El Chonco* es un cono andesítico -dacítico de 800 m de altura. Se ubica con varios domos de lava a 4 km al Oeste del San Cristóbal.
- ✓ El Chonco y el volcán *Moyotepe*, 4 km al Noroeste del San Cristóbal, son de la edad del Pleistoceno.
- ✓ El Volcán *Casita* tiene un cráter alargado y se ubica a 4 km al Sureste del San Cristóbal. Este volcán fue el lugar de un deslizamiento de tierra catastrófico en Octubre de 1998. *Casita* posiblemente fue activo en el siglo 16, ahora presenta varios campos fumarólicos activos.
- ✓ La caldera *La Pelona*, del Plio-Pleistoceno, se ubica en la parte Sureste del complejo San Cristóbal.
- ✓



**Figura 6-2**  
**Complejo Volcánico San Cristóbal**  
(Fuente: <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/vol/cristobal/descr.html>)

El complejo volcánico tiene una tendencia a producir cantidades significativas de magma dacítico. Este tipo de magma contrasta con los andesíticos basálticos de otros volcanes cercanos como Telica, El Hoyo/Cerro Negro.

El volcán San Cristóbal ha desencadenado *flujos piroclásticos* asociados a erupciones freatomagmáticas que han dejado depósitos a 3-4 Km hacia el suroeste y oeste del cráter, con espesores máximos de 10 m. Así mismo depósitos de *flujos de lavas* asociados a procesos estrombolianos se han identificado entre 12-15 Km en dirección sur desde el cráter, estimándose tasas de emisión de 2000 m<sup>3</sup>/seg. En los últimos 100 años no se han reportado flujos de lava emanando del volcán. Adicionalmente se han estudiado depósitos de ceniza que alcanzan los 50 cm de espesor con un tamaño de grano fino, ubicados hacia el oeste y suroeste (dirección preferencial de los vientos). Estudios preliminares sugieren alturas de columnas de hasta 12 Km. La última erupción de gran magnitud del volcán San

Cristóbal fue en el año de 1977, según los reportes, duro menos de un día y fue de un tamaño moderado (VEI=2).

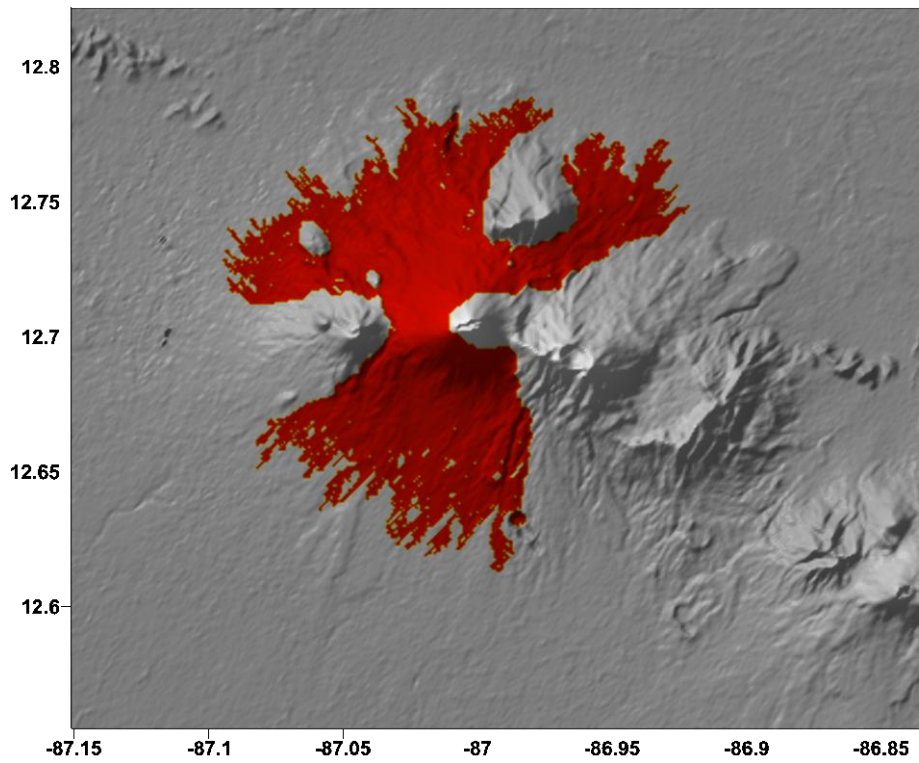
#### 6.2.1.1 Modelación de la amenaza

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán San Cristóbal se presentan en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2**  
**Parámetros del modelo del Volcán San Cristóbal**

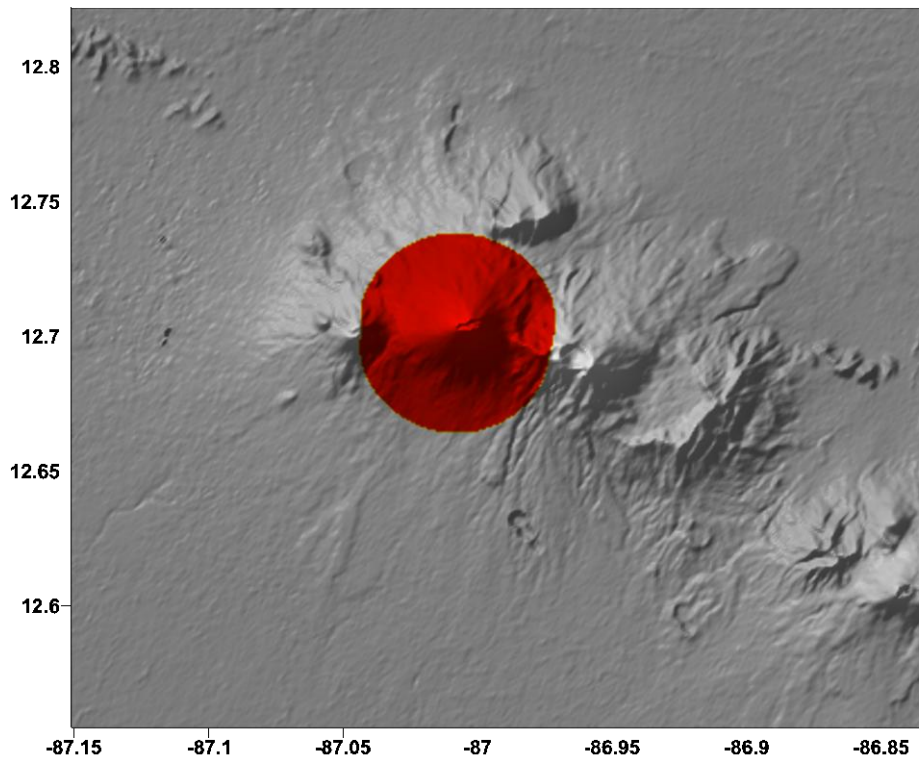
<b>Modelo de ERN-Volcán</b>				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-87.01°
			Norte	12.70°
<b>Flujos de lava</b>				
<i>Distancia máxima:</i>	15000 m	<i>Espesor:</i>	5 m	
<b>Flujos piroclásticos</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	15 Km	<i>Ángulo cono:</i>	70°	
<i>Verifica accesibilidad:</i>	No			
<b>Caída de cenizas</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	15 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	1.0 Km <sup>3</sup>	<i>Altura (%)</i>	<i>Vel (m/s)</i>	<i>Dir (°)</i>
<i>Factor de forma:</i>	0.1	0	0.5	215
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	0.5	215
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-3.5	60	0.5	215
<i>σ Tamaño partículas:</i>	1.5	80	0.5	215
<i>Paso discretización X:</i>	10	100	0.5	215
<i>Paso discretización Y:</i>	10			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m <sup>2</sup> /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.



*Figura 6-3*

*Mapa de amenaza determinista por flujos de lava en el volcán San Cristóbal*



*Figura 6-4*

*Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán San Cristóbal*

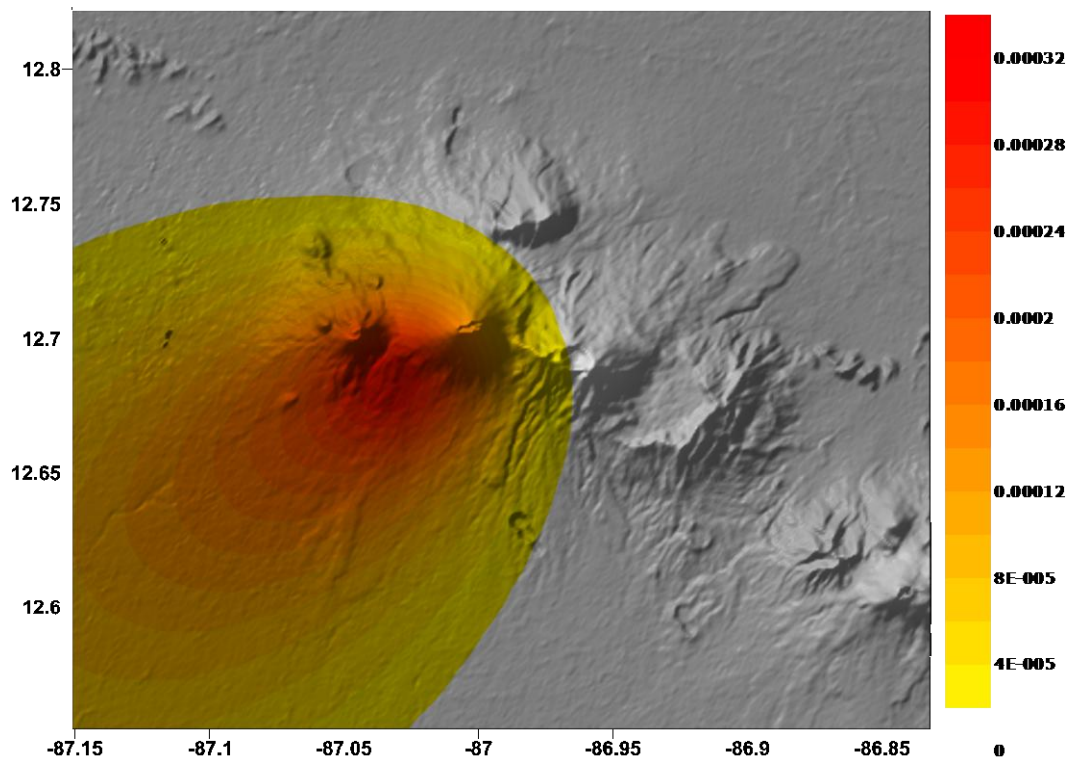


Figura 6-5

Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán San Cristóbal

### 6.2.2 Volcán Telica

Es un estratovolcán de composición basáltica que reporta en general erupciones freáticas. Es uno de los volcanes más activos de Nicaragua; tiene erupciones de forma intermitente desde la conquista española, con emisión de gases y ceniza volcánica. El cono, muy inclinado, es cortado por un cráter de 700 m de diámetro y 120 m de profundidad. La caldera de El Listón, al SE presenta un grupo de antiguos cráteres (Figura 6-6)





**Figura 6-6**  
**Volcán Telica**

(Fuente: <http://www.simplylatinamerica.com/english/nicaragua-volcanoes-trekking.html>)

El complejo volcánico del Telica está formado por varios conos y cráteres alineados en dirección noroeste. En el siglo XVI se reportaron erupciones del Volcán Santa Clara, un cono simétrico en el extremo suroeste de este complejo. Los flancos erosionados de este volcán ahora están cubiertos por vegetación, en contraste con el Telica que se mantiene sin vegetación en sus partes altas.

Los productos asociados a la actividad volcánica son básicamente *flujos de lava* que han alcanzado hasta 10 Km desde el cráter en dirección sur, suroeste y norte. Los depósitos de *caída de ceniza* han afectado las poblaciones de Cristo Rey, Juan XXIII, Posotelga, Chichigalpa y Chinandega; los depósitos más gruesos, bombas en su mayoría, se han encontrado hasta 7 Km al oeste del cráter alcanzando espesores de hasta 60 cm y con respecto a las partículas más finas, los estudios indican que ante una erupción se podría formar una capa de hasta 1 cm de espesor en un radio de 45 Km al oeste del cráter.

En 1982 se observó una columna eruptiva de 4,3 Km de altura que viajó en dirección oeste, la granulometría del depósito varía entre ceniza y bombas/bloques. Estudios posteriores indican que la máxima altura que puede alcanzar una columna eruptiva es de 15 Km.

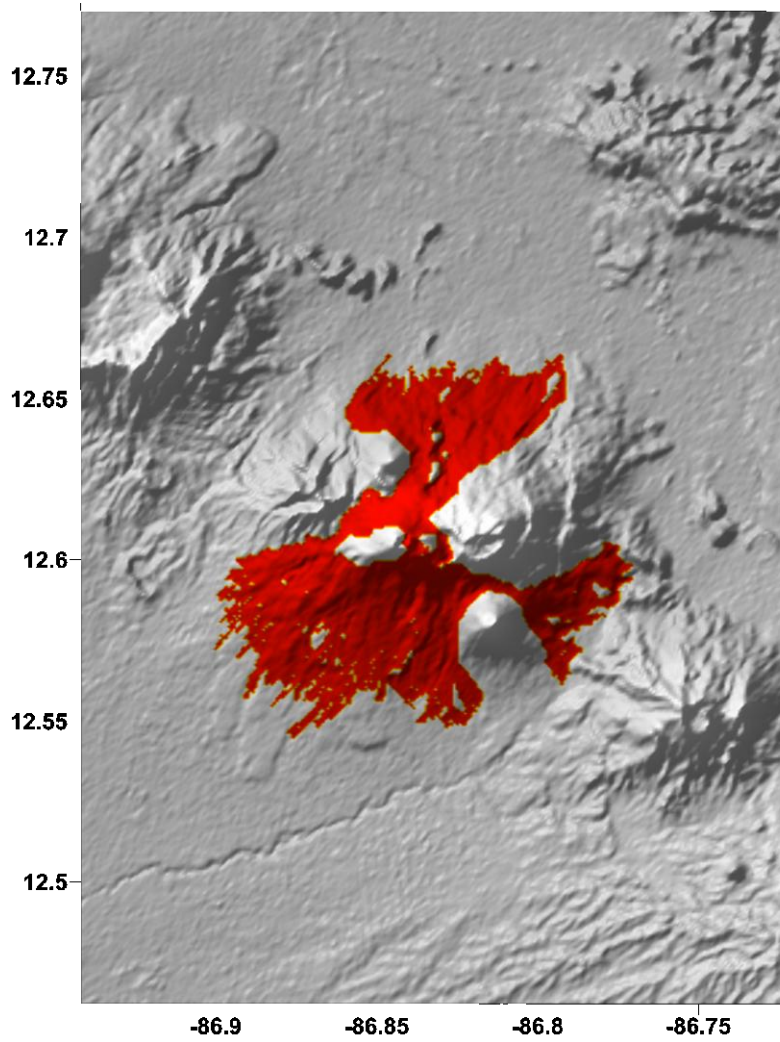
#### 6.2.2.1 Modelación de la amenaza

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Telica se presentan en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3**  
**Parámetros del modelo del Volcán Telica**

<b>Modelo de ERN-Volcán</b>				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-86.84°
			Norte	12.61°
<b>Flujos de lava</b>				
<i>Distancia máxima:</i>	25000 m	<i>Espesor:</i>	5 m	
<b>Flujos piroclásticos</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	15 Km	<i>Ángulo cono:</i>	70°	
<i>Verifica accesibilidad:</i>	Si			
<b>Caída de cenizas</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	20 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	1.0 Km <sup>3</sup>	<i>Altura (%)</i>	<i>Vel (m/s)</i>	<i>Dir (°)</i>
<i>Factor de forma:</i>	0.2	0	0.5	200
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	0.5	200
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-3	40	0.5	200
<i>σ Tamaño partículas:</i>	1.5	60	0.5	200
<i>Paso discretización X:</i>	10	80	0.5	200
<i>Paso discretización Y:</i>	10			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	720 m <sup>2</sup> /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.



*Figura 6-7*

*Mapa de amenaza determinista por flujos de lava en el volcán Telica*

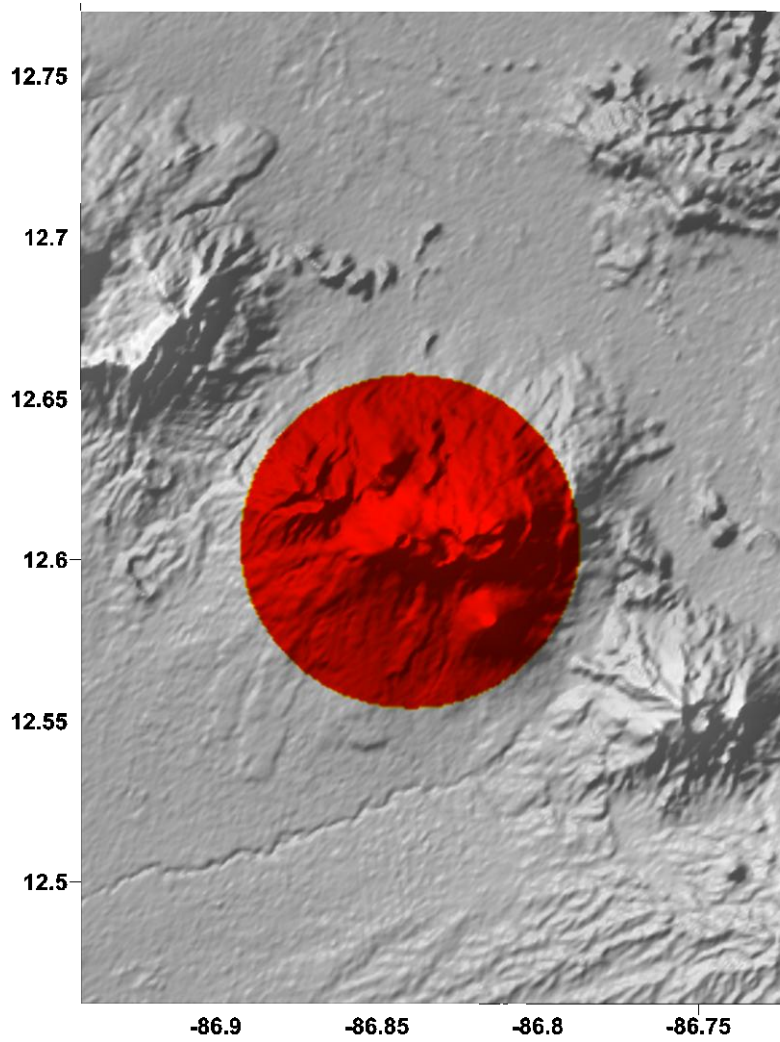


Figura 6-8

*Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán Telica*



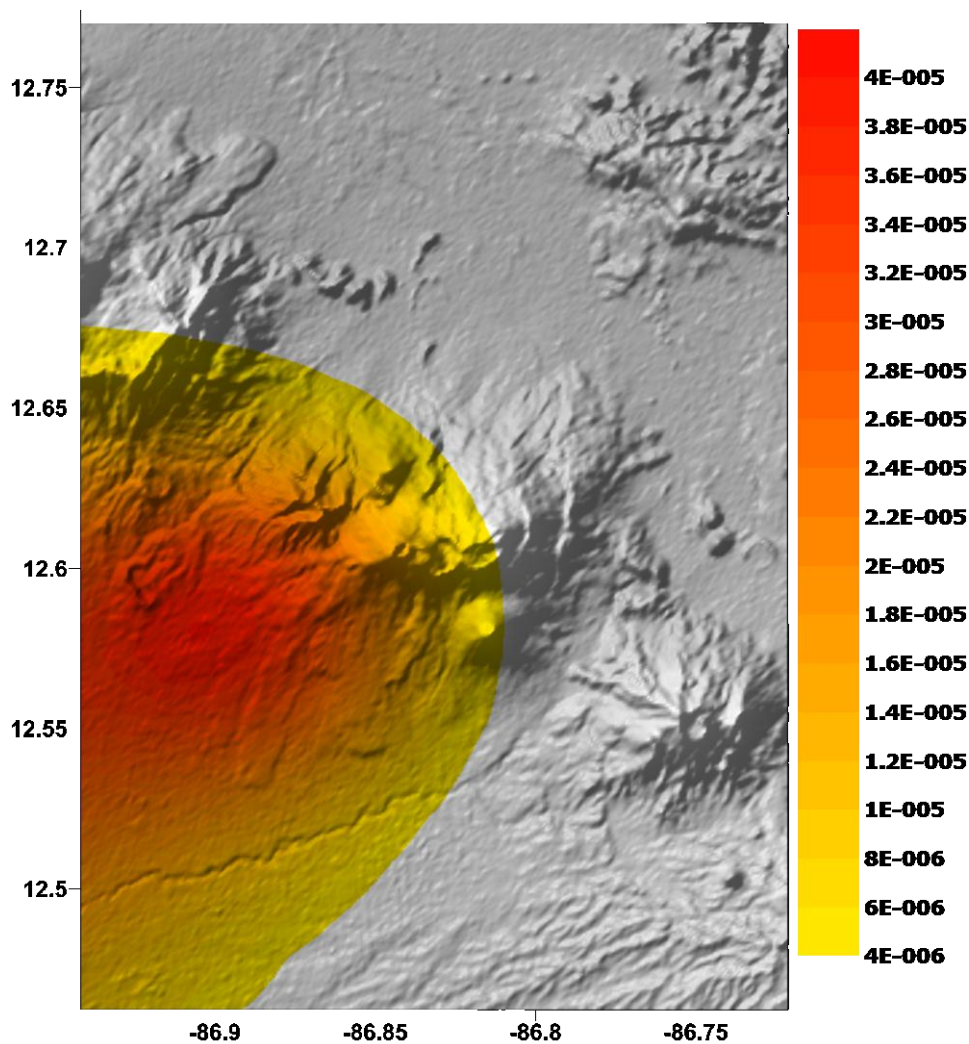


Figura 6-9

Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán Telica

### 6.2.3 Volcán Cerro Negro

El volcán Cerro Negro es uno de los volcanes más jóvenes de América Central, y es el más reciente de un grupo de 4 conos cineríticos, alineados NNO-SSE, en el centro de la Cordillera de Maribios, a 5 Km al noroeste del Volcán Las Pilas. (Figura 6-10)

Las erupciones estrombolianas y plinianas, en intervalos de pocos años a varias décadas, han construido un cono de basalto de aproximadamente 250 m de altura, y está asociado a un campo de lava que forzó a la topografía a extenderse inicialmente del NE al SW. La morfología del cono y del cráter ha variado significativamente durante su historia eruptiva. Aunque está situado en un área despoblada, ocasionalmente, la caída de espesas capas de cenizas ha causado daños en las edificaciones de las poblaciones de la región de la depresión nicaragüense.

Los procesos asociados a su actividad volcánica son flujos de lava que han recorrido hasta 5 Km en dirección oeste desde el cráter y caída de ceniza en un radio de 45 Km en dirección oeste, los depósitos de bombas se han encontrado hasta 1 Km de distancia del cráter. Los estudios indican un máximo de columna eruptiva de 10 Km



*Figura 6-10*  
**Volcán Cerro Negro (1968)**

(Fuente: <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/vol/cerronegro/cerronegro.html>)

El volcán ha presentado 18 erupciones en 150 años y de acuerdo a estudios probabilísticos de erupciones (método Suzuki), se determinó que este volcán muestra un período de recurrencia de actividad cada 15 a 20 años, con subperíodos de 3 años entre cada erupción<sup>1</sup> Las principales erupciones han registrado VEI de 1 (en 1961 y 1999); 2 (en 1850, 1867, 1899, 1914, 1948, 1962 y 1995) y 3 (en 1923, 1947, 1950, 1960, 1968 y 1992).

---

<sup>1</sup> Tomado de:

<http://www.ineter.gob.ni/geofisica/proyectos/30municipios/corinto/informes/NiR%20C%20RA%20Corinto%2020051024%20MG.pdf>

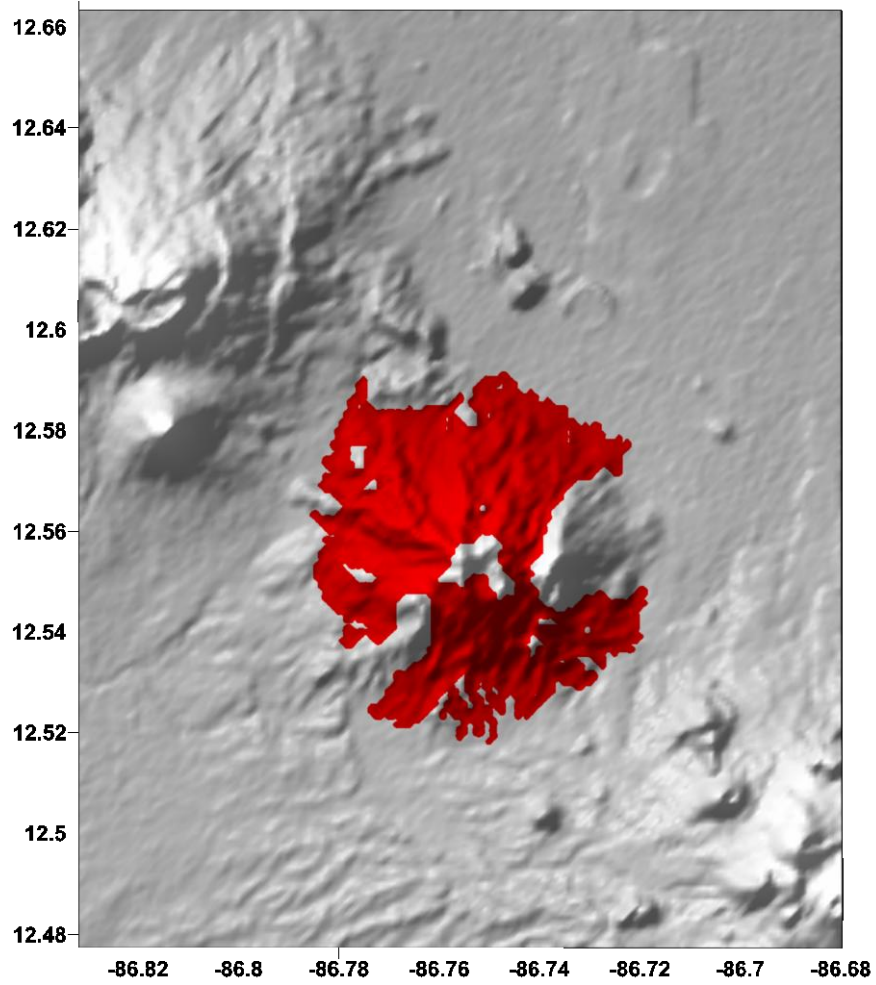
## 6.2.3.1 Modelación de la amenaza

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Cerro Negro se presentan en la Tabla 6-4.

**Tabla 6-4**  
**Parámetros del modelo del Volcán Cerro Negro**

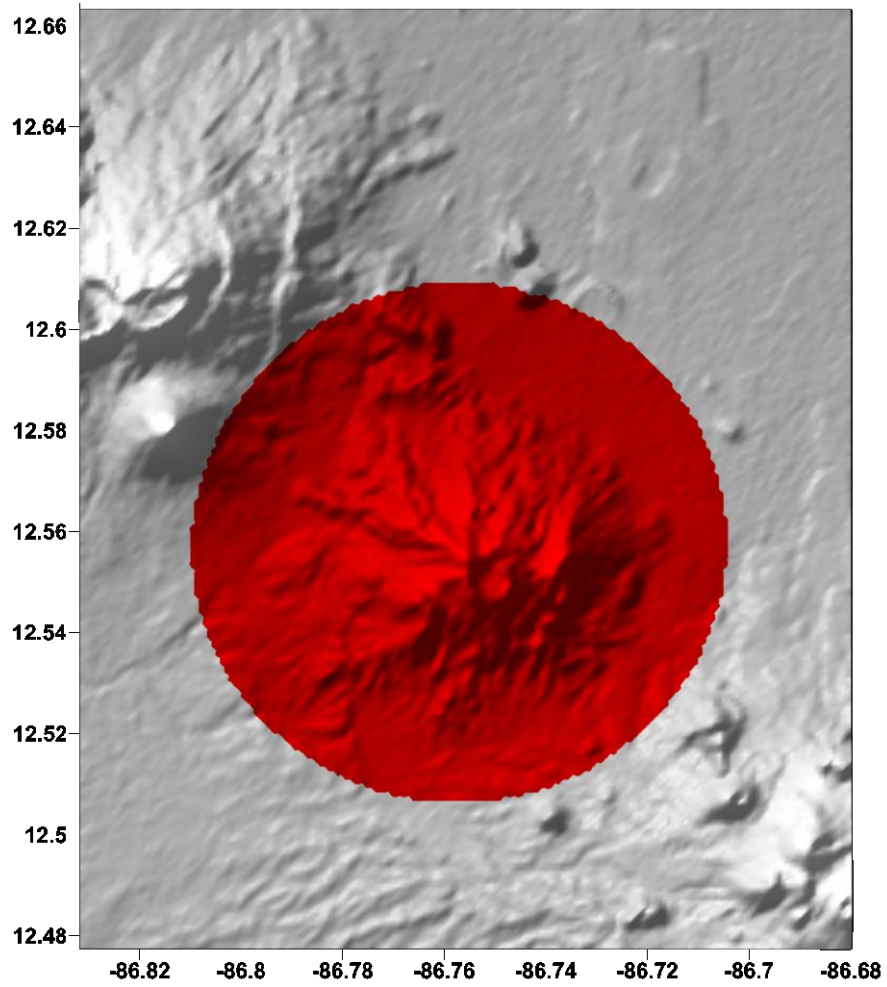
<b>Modelo de ERN-Volcán</b>				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-86.76°
			Norte	12.56°
<b>Flujos de lava</b>				
<i>Distancia máxima:</i>	18000 m	<i>Espesor:</i>	1 m	
<b>Flujos piroclásticos</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	15 Km	<i>Ángulo cono:</i>	70°	
<i>Verifica accesibilidad:</i>	Si			
<b>Caída de cenizas</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	15 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	0.1 Km <sup>3</sup>	Altura (%)	Vel (m/s)	Dir (°)
<i>Factor de forma:</i>	0.2	0	0.5	200
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	0.5	200
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-3	40	0.5	200
<i>σ Tamaño partículas:</i>	1.5	60	0.5	200
<i>Paso discretización X:</i>	5	80	0.5	200
<i>Paso discretización Y:</i>	5			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m <sup>2</sup> /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.



*Figura 6-11*

*Mapa de amenaza determinista por flujos de lava en el volcán Cerro Negro*



*Figura 6-12*

*Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán Cerro Negro*



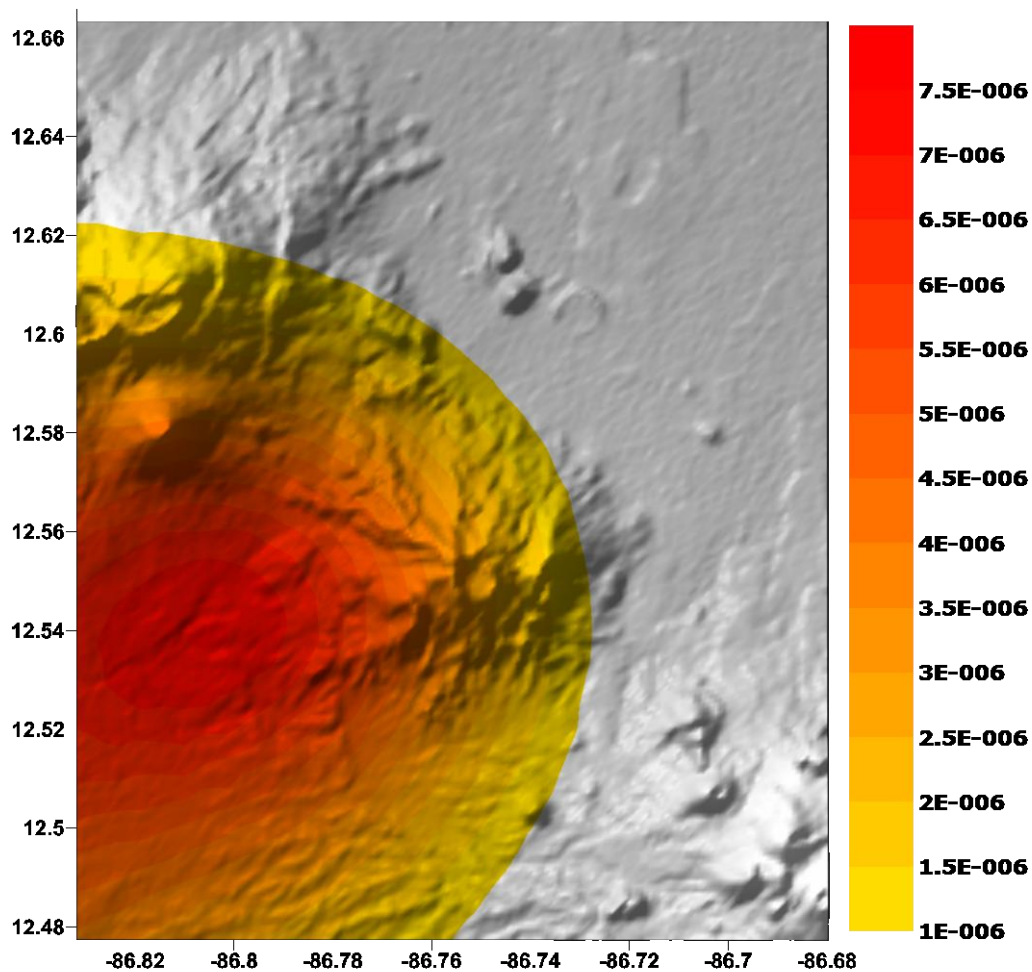


Figura 6-13

*Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán Cerro Negro*

#### 6.2.4 Volcán Masaya

Es un complejo volcánico de gran actividad y está compuesto de un nido de calderas y cráteres; la caldera Masaya tiene dimensiones de 6 x 11 km, y posee paredes que alcanzan más de 300 m. de altura. Tiene más de 12 ventosas a lo largo de 4 km. de diámetro en un sistema de fractura y alberga un nuevo complejo basáltico que incluye los conos gemelos Nindirí y Masaya y el cráter activo Santiago. (Figura 6-14)

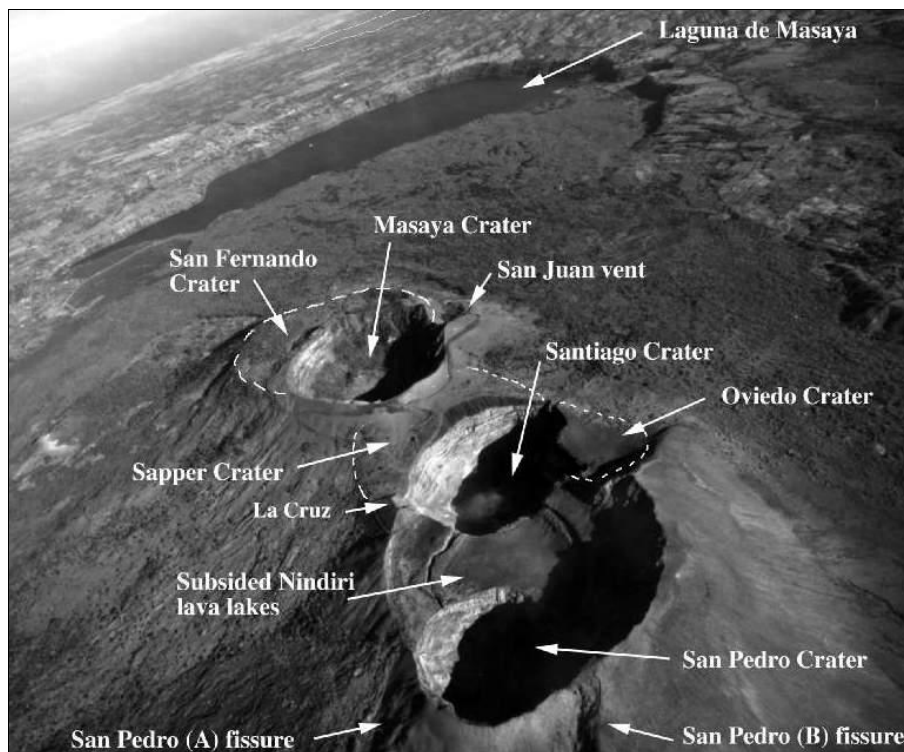


Figura 6-14

**Complejo Volcánico Masaya**

(Fuente: <http://ni.iriias.biz/aapp/vm/2.html>)

El suelo del volcán Masaya está principalmente cubierto de lavas con una pobre vegetación, indicando nuevos recubrimientos en los últimos 1000 años, aunque sólo dos coladas de lava han descendido desde el el siglo XVI. La primera, en 1670, se debió a la actividad estromboliana del volcán Nindirí, que en ese entonces albergaba un lago de lava de 1 km de diámetro. La segunda, en 1772, fue provocada por una fisura en uno de los flancos del cono Masaya. Desde entonces, la lava ha aparecido en la superficie solamente del cráter Santiago (actualmente activo y liberando gases) y ocasionalmente del cráter Nindirí.

Una de las mayores erupciones plinianas registradas en centro América es atribuida a este complejo volcánico, alcanzando valores de VEI = 6 hace aproximadamente 6,500 años, arrojando un volumen de tefra a la atmósfera de  $1.3 \times 10^{10} \text{ m}^3$ . En contraste, la erupción del 2001 solo alcanza un VEI = 1 arrojando bombas de hasta 60 cm de diámetro cubriendo un radio de 500 m en dirección sureste (velocidad de 90 m/seg y ángulo de dispersión  $79^\circ$ ). Desde el año 1524 se han registrado 23 erupciones.

#### 6.2.4.1 Modelación de la amenaza

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Masaya se presentan en la Tabla 6-5.

**Tabla 6-5**  
**Parámetros del modelo del Volcán Masaya**

<b>Modelo de ERN-Volcán</b>				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-86.17°
			Norte	11.99°
<b>Flujos de lava</b>				
<i>Distancia máxima:</i>	30000 m	<i>Espesor:</i>	5 m	
<b>Flujos piroclásticos</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	35 Km	<i>Ángulo cono:</i>	65°	
<i>Verifica accesibilidad:</i>	Si			
<b>Caída de cenizas</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	30 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	10.0 Km <sup>3</sup>	<i>Altura (%)</i>	<i>Vel (m/s)</i>	<i>Dir (°)</i>
<i>Factor de forma:</i>	0.2	0	0.5	135
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	0.5	135
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-3	40	0.5	135
<i>σ Tamaño partículas:</i>	1.5	60	0.5	135
<i>Paso discretización X:</i>	30	80	0.5	135
<i>Paso discretización Y:</i>	30			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m <sup>2</sup> /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.



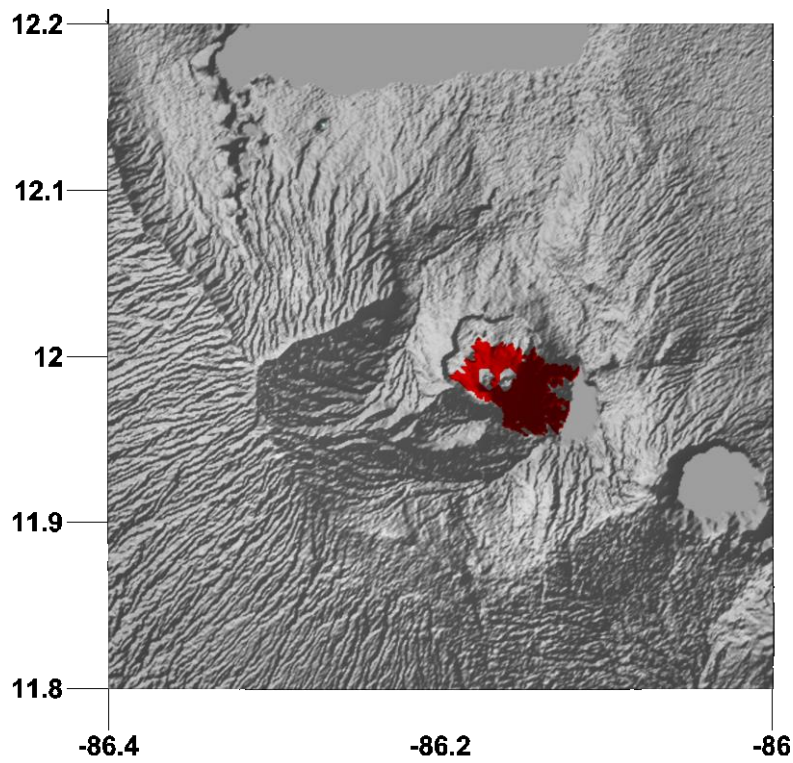


Figura 6-15

Mapa de amenaza determinista por flujos de lava en el volcán Masaya

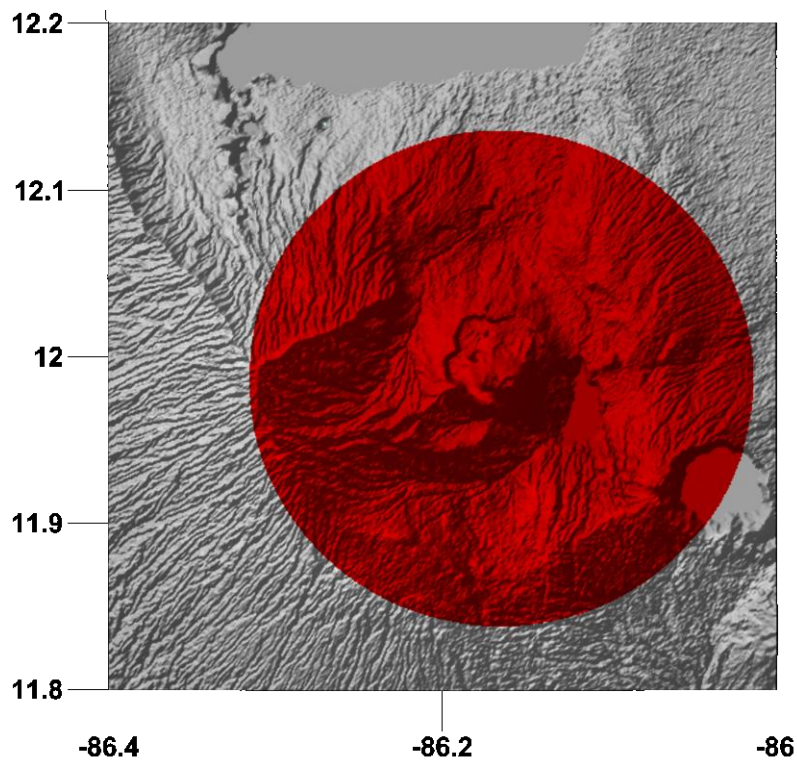


Figura 6-16

Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán Masaya

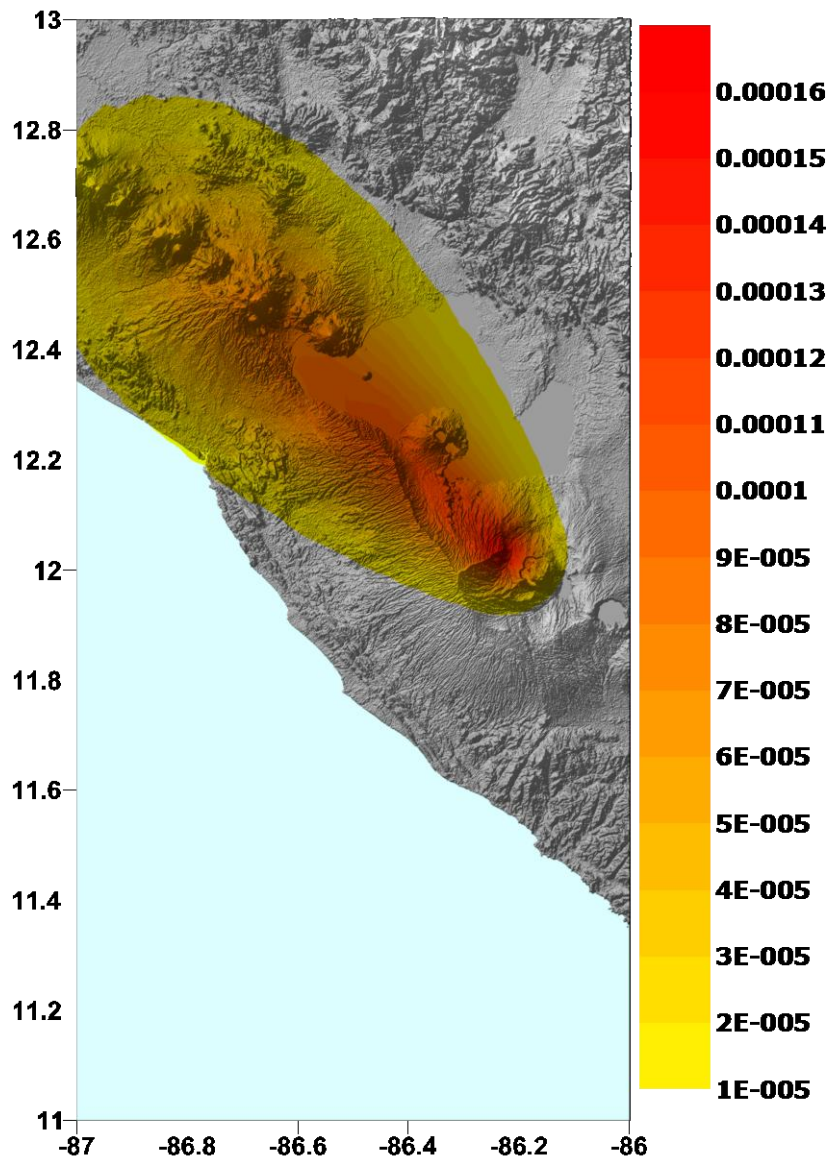


Figura 6-17

Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán Masaya

### 6.2.5 Volcán Cosigüina

El *Cosigüina* es un estratovolcán, de composición basáltica a andesítica que se encuentra aislado de los demás volcanes de Nicaragua en el Noroeste del país, formando una península en el Golfo de Fonseca (Figura 6-18)



**Figura 6-18**  
**Volcán Cosigüina**

(Fuente: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=8351>)

Un cono joven se eleva a 300 m cubre el borde en los lados. El cono joven está cortado por una extensa caldera prehistórica de forma elíptica. Esta tiene una dimensión de 2x2.4 km y una profundidad de 500 m, con una laguna en su fondo. En las laderas de la caldera predominan flujos de lava. Depósitos de lahares y flujos piroclásticos abundan alrededor del volcán.

Cosigüina originó una corta pero poderosa erupción explosiva en 1835, la más grande en los últimos tiempos. Dicha erupción figura mundialmente entre las más violentas ocurridas en la historia con un VEI = 5. Expulsando un volumen de tefra de  $5,7 \times 10^9 \text{ m}^3$ ; la ceniza volcánica cayó en lugares tan distantes como México, Costa Rica y Jamaica. Los flujos piroclásticos alcanzaron el Golfo de Fonseca. La última erupción reportada fue en 1859.

#### 6.2.5.1 Modelación de la amenaza

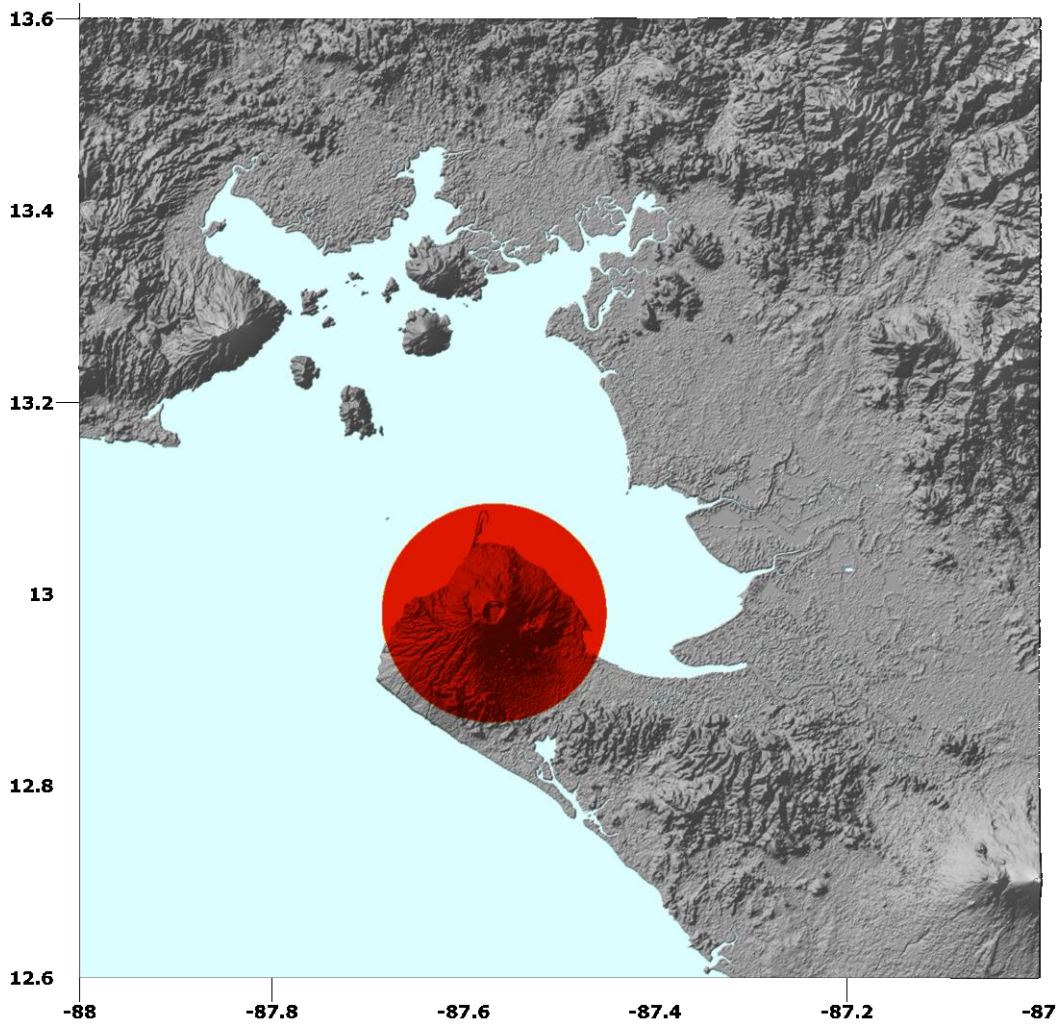
La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Cosigüina se presentan en la Tabla 6-6.

**Tabla 6-6**  
**Parámetros del modelo del Volcán Cosigüina**

<b>Modelo de ERN-Volcán</b>				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-87.57°
			Norte	12.98°
<b>Flujos de lava</b>				
<i>EL VOLCÁN NO REPORTA FLUJOS DE LAVA</i>				
<b>Flujos piroclásticos</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	27 Km	<i>Ángulo cono:</i>	65°	
<i>Verifica accesibilidad:</i>	Si			
<b>Caída de cenizas</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	22 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	60.0 Km <sup>3</sup>	<i>Altura (%)</i>	<i>Vel (m/s)</i>	<i>Dir (°)</i>
<i>Factor de forma:</i>	0.07	0	3	90
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	3	90
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-1.5	40	3	90
<i>σ Tamaño partículas:</i>	3	80	5	90
<i>Paso discretización X:</i>	15	100	5	90
<i>Paso discretización Y:</i>	15			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m <sup>2</sup> /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.





*Figura 6-19*  
*Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán Cosiguina*

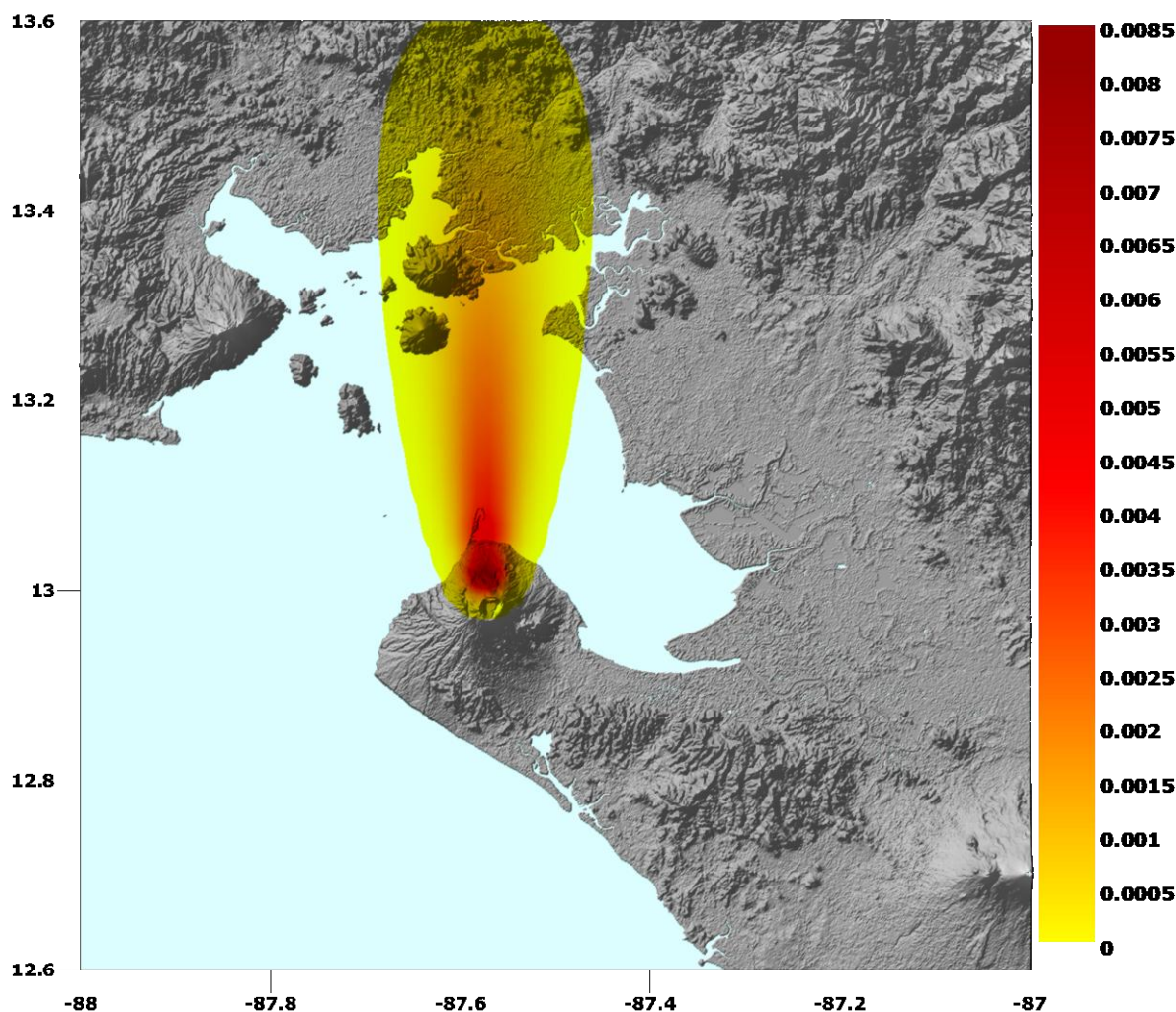


Figura 6-20

Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán Cosigüina

### 6.2.6 Volcán Concepción

El Volcán Concepción es uno de los volcanes más altos de Nicaragua, también figura entre los más activos. Su cono simétrico forma la parte Noroeste de la isla de Ometepe en el Lago de Nicaragua. Concepción es conectado por un estrecho istmo con el vecino Volcán Maderas. (Figura 6-21). Fallas tectónicas con rumbo Norte-Sur que cruzan el volcán están asociadas con conos de ceniza y escoria volcánica localizados en los flancos Norte y Sur del Concepción. En el siglo pasado frecuentemente hizo erupciones explosivas moderadas, la mayoría de las cuales se originaron en el pequeño cráter en la cima del volcán. Actualmente las erupciones son de carácter estromboliano.

Los productos asociados a este volcán corresponden a *flujos de lava* cuya distancia máxima de recorrido fue de 10 Km desde el cráter. Con respecto a la *caída de ceniza* se estima en un radio de 45 Km al oeste del volcán alcanzando espesores de hasta 1 cm para el material

más fino mientras que las bombas no viajarían más de 7 Km desde el cráter. Las poblaciones más afectadas serían La Flor, Moyogalpa, Esquipulas, Los Ángeles, San José del Sur y Sacramento. En 1992 se midieron emanaciones de gas cuya concentración de  $\text{SO}_2$  fue de  $60 \text{ g/m}^3$  a 8 Km del volcán. En los últimos años las erupciones han tenido VEI de 1 a 2.



**Figura 6-21**  
**Volcán Concepción**

(Fuente: <http://canarias24horas.com/index.php/2009030261710/canarias/sociedad/cientificos-canarios-en-nicaragua.html>)

#### 6.2.6.1 Modelación de la amenaza

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Concepción se presentan en la Tabla 6-7.

**Tabla 6-7**  
**Parámetros del modelo del Volcán Concepción**

<b>Modelo de ERN-Volcán</b>				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-85.62°
			Norte	11.54°
<b>Flujos de lava</b>				
<i>Distancia máxima:</i>	30000 m	<i>Espesor:</i>	5 m	
<b>Flujos piroclásticos</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	15 Km	<i>Ángulo cono:</i>	70°	
<i>Verifica accesibilidad:</i>	Si			
<b>Caída de cenizas</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	7 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	0.1 Km <sup>3</sup>	<i>Altura (%)</i>	<i>Vel (m/s)</i>	<i>Dir (°)</i>
<i>Factor de forma:</i>	0.2	0	0.5	200
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	0.5	200
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-3	40	0.5	200
<i>σ Tamaño partículas:</i>	1.5	60	0.5	200
<i>Paso discretización X:</i>	10	80	0.5	200
<i>Paso discretización Y:</i>	10			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m <sup>2</sup> /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.



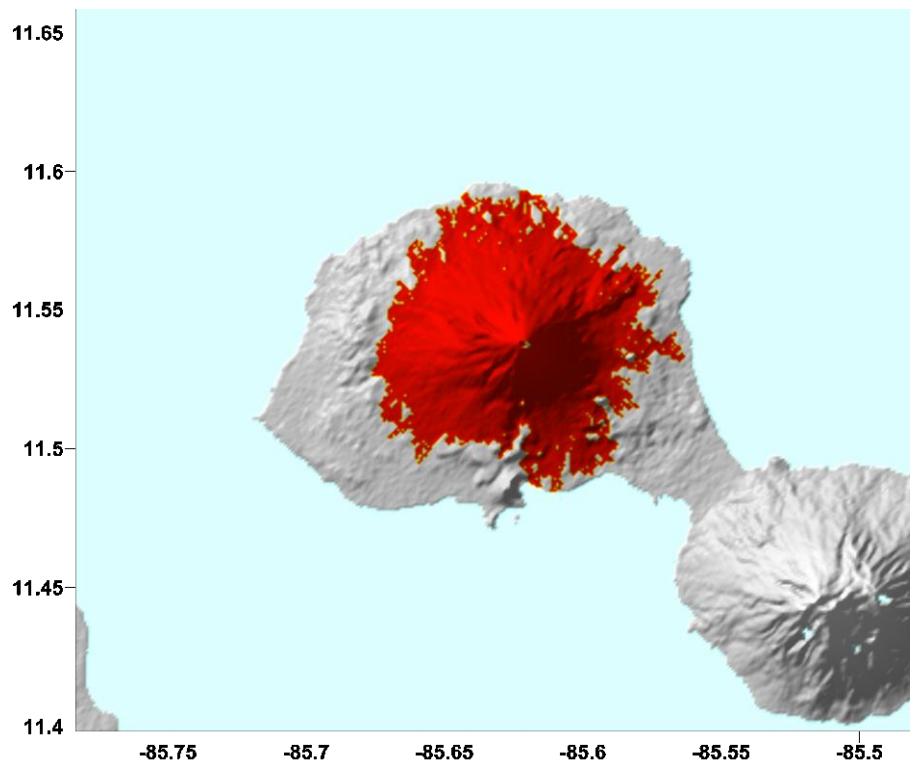


Figura 6-22

Mapa de amenaza determinista por flujos de lava en el volcán Concepción

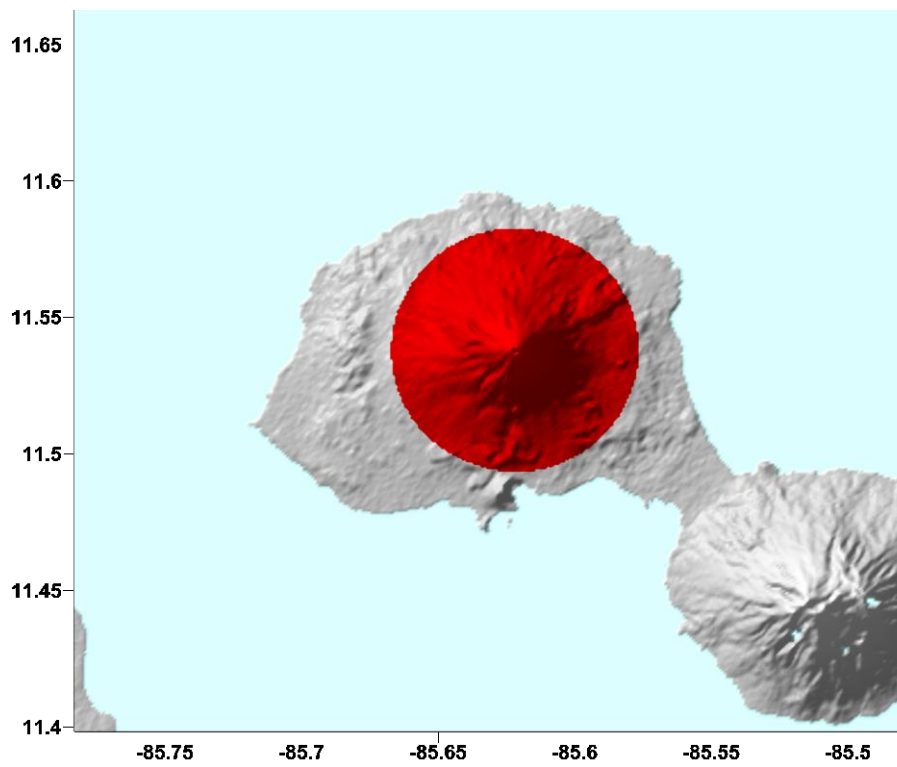


Figura 6-23

Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán Concepción

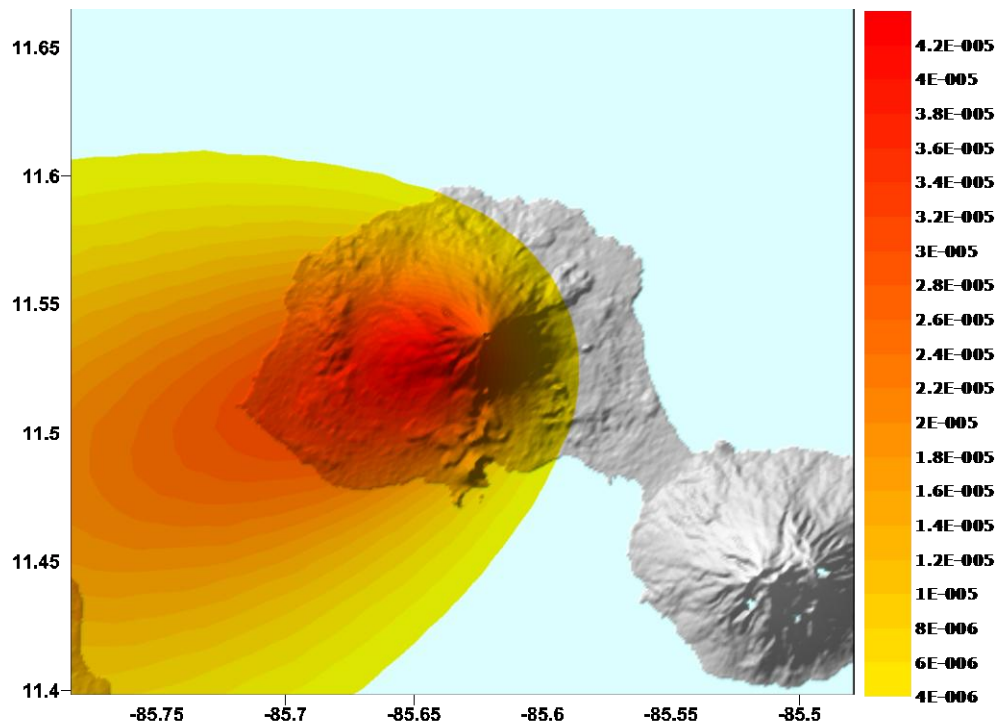


Figura 6-24

*Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán Concepción*

### 6.2.7 Volcán Momotombo

Es un volcán joven (estratovolcán) que se proyecta en forma prominente por encima del borde noroeste del Lago de Managua, conformando una de las características geomorfológicas más reconocidas de Nicaragua. Este mismo volcán en 1605-1606 destruyó la ciudad de León, originalmente la capital de Nicaragua.

Se empezó a formar hace 4,500 años sobre la base de un edificio más viejo, el cráter alcanza 150 m de alto y 250 m de diámetro. Las fumarolas en el cráter mantienen sus temperaturas en un rango entre 500 y 900°C. En el cráter existen varias zonas con azufre amarillo luminoso. En su flanco S existe una planta geotérmica desde 1982. El volcán ha sido considerado siempre con actividad central, lo que se confirma por su silueta de una simetría casi perfecta (Figura 6-25)



**Figura 6-25**  
**Volcán Momotombo**

(Fuente: <http://outdoors.webshots.com/photo/1328157039052737978NSBKrd>)

Los registros indican que en el año de 1605 una gran erupción explosiva tuvo lugar arrojando  $1.8 \pm 0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$  de Tefra a la atmósfera y se estima un VEI = 4 para dicho evento. Las erupciones precedentes han tenido VEI de 1 a 2. Además, los estudios realizados indican que la amenaza asociada a la emisión de *flujos de lava* está presente desde hace 4 siglos, alcanzando distancias máximas de 5 Km en dirección sur y suroeste. Con respecto a la caída de cenizas se estima una distancia máxima de 6 Km con capas de hasta 1 cm de espesor. Sin embargo hace 95 años el volcán no reporta actividad.

#### 6.2.7.1 Modelación de la amenaza

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Momotombo se presentan en la Tabla 6-8.

**Tabla 6-8**  
**Parámetros del modelo del Volcán Momotombo**

<b>Modelo de ERN-Volcán</b>				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-86.54°
			Norte	12.42°
<b>Flujos de lava</b>				
<i>Distancia máxima:</i>	25000 m	<i>Espesor:</i>	5 m	
<b>Flujos piroclásticos</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	20 Km	<i>Ángulo cono:</i>	70°	
<i>Verifica accesibilidad:</i>	Si			
<b>Caída de cenizas</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	20 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	1.0 Km <sup>3</sup>	<i>Altura (%)</i>	<i>Vel (m/s)</i>	<i>Dir (°)</i>
<i>Factor de forma:</i>	0.2	0	0.5	220
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	0.5	220
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-3	40	0.5	220
<i>σ Tamaño partículas:</i>	1.5	60	0.5	220
<i>Paso discretización X:</i>	5	80	0.5	220
<i>Paso discretización Y:</i>	5			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m <sup>2</sup> /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.

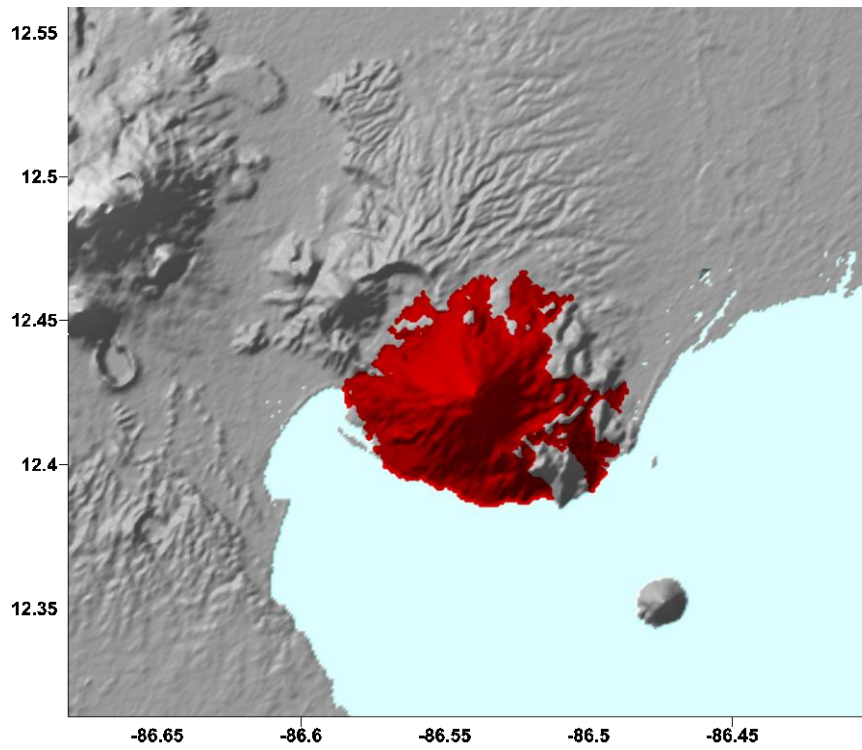


Figura 6-26

Mapa de amenaza determinista por flujos de lava en el volcán Momotombo

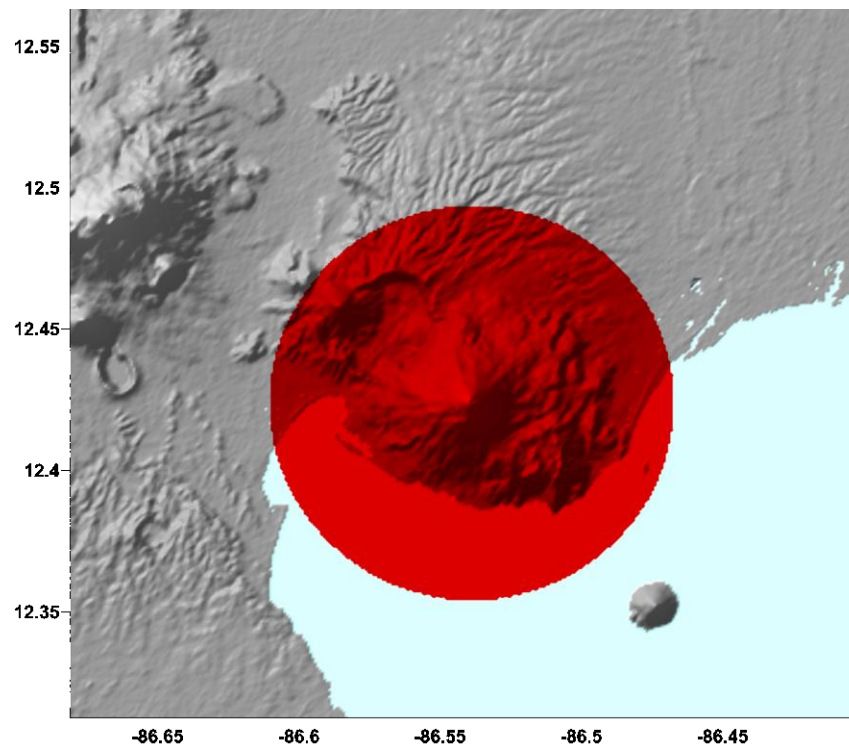


Figura 6-27

Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán Momotombo

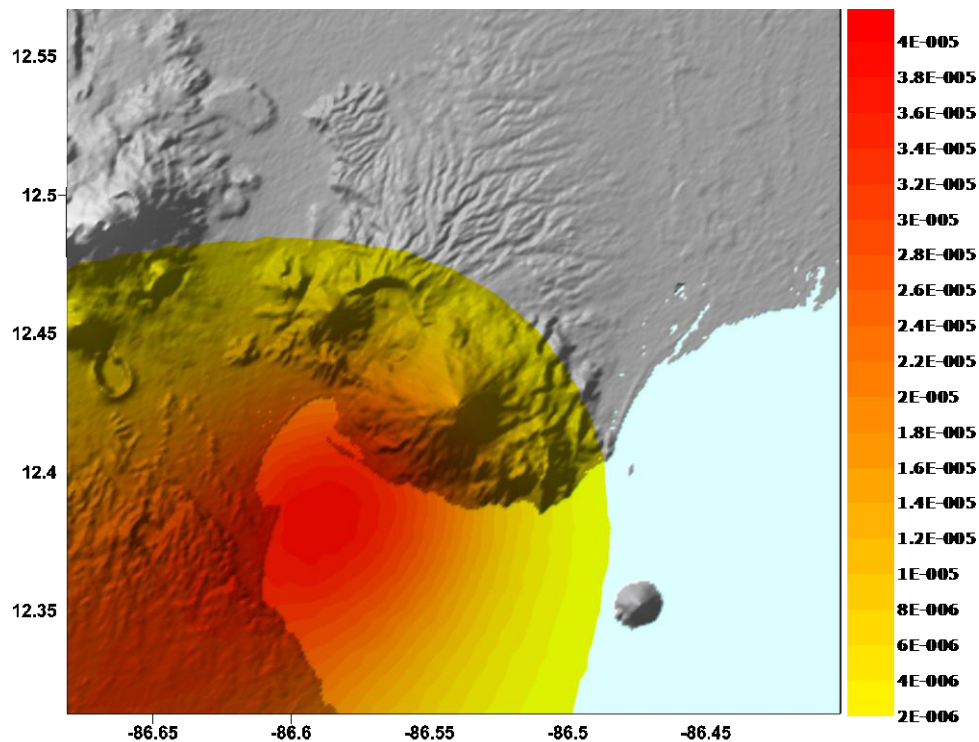


Figura 6-28

*Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán Momotombo*

### 6.2.8 Volcán Apoyeque

Es un estratovolcán que forma la amplia Península de Chiltepe, la cual se extiende hacia la parte Sur-central del Lago Managua a una distancia de 10 km del centro de Managua, con elevación de solo 420 m. La caldera es de 2.5 km de diámetro y 400 m de profundidad. Fue la fuente de una espesa capa de pómez dacítico que cubre los alrededores del volcán. Contiene una laguna que se encuentra próximo al nivel del mar. Otra laguna cratérica, Jiloá, se ubica al SE. El domo de lava Talpetatl se ubica entre la Laguna de Jiloá y la costa del Lago Managua. (Figura 6-29).

La erupción más antigua data del año 2550 AC aproximadamente, y se cree tuvo un VEI = 5 arrojando a la atmosfera más de  $1 \times 10^9 \text{ m}^3$  de tefra. En el año 1050 AC otra erupción explosiva tuvo lugar expulsando un volumen de tefra de  $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ . Por último en el año 50 DC una erupción de VEI = 6 arrojó un volumen de  $1.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ . Desde entonces no se ha registrado actividad a excepción por las emanaciones de gas que eventualmente son expulsadas por el volcán





**Figura 6-29**  
**Volcán Apoyeque**

(Fuente: [http://image03.webshots.com/3/3/65/39/3036539KMiAIFFEqP\\_ph.jpg](http://image03.webshots.com/3/3/65/39/3036539KMiAIFFEqP_ph.jpg))

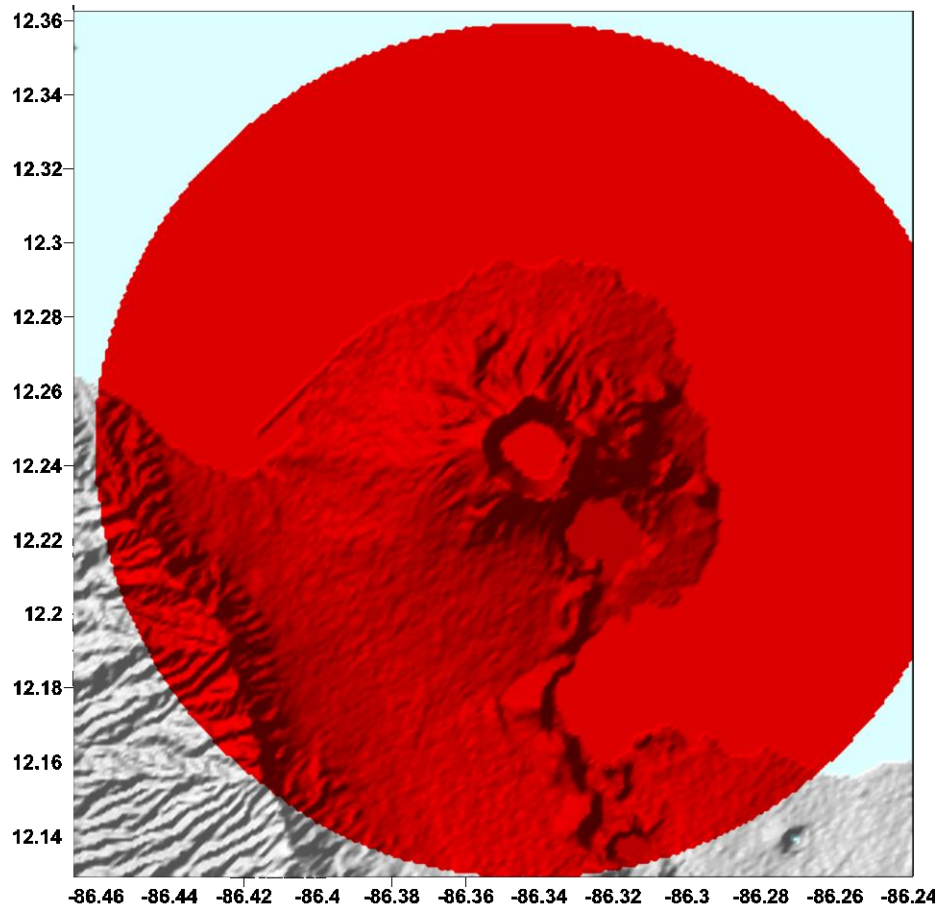
#### 6.2.8.1 Modelación de la amenaza

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Apoyeque se presentan en la Tabla 6-8.

**Tabla 6-9**  
**Parámetros del modelo del Volcán Apoyeque**

<b>Modelo de ERN-Volcán</b>				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-86.34°
			Norte	12.24°
<b>Flujos de lava</b>				
<i>EL VOLCÁN NO REPORTA FLUJOS DE LAVA</i>				
<b>Flujos piroclásticos</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	35 Km	<i>Ángulo cono:</i>	70°	
<i>Verifica accesibilidad:</i>	Si			
<b>Caída de cenizas</b>				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	30 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	18.0 Km <sup>3</sup>	<i>Altura (%)</i>	<i>Vel (m/s)</i>	<i>Dir (°)</i>
<i>Factor de forma:</i>	0.2	0	0.5	220
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	0.5	220
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-3	40	0.5	220
<i>σ Tamaño partículas:</i>	1.5	60	0.5	220
<i>Paso discretización X:</i>	5	80	0.5	220
<i>Paso discretización Y:</i>	5			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m <sup>2</sup> /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.



*Figura 6-30*

*Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán Apoyeque*



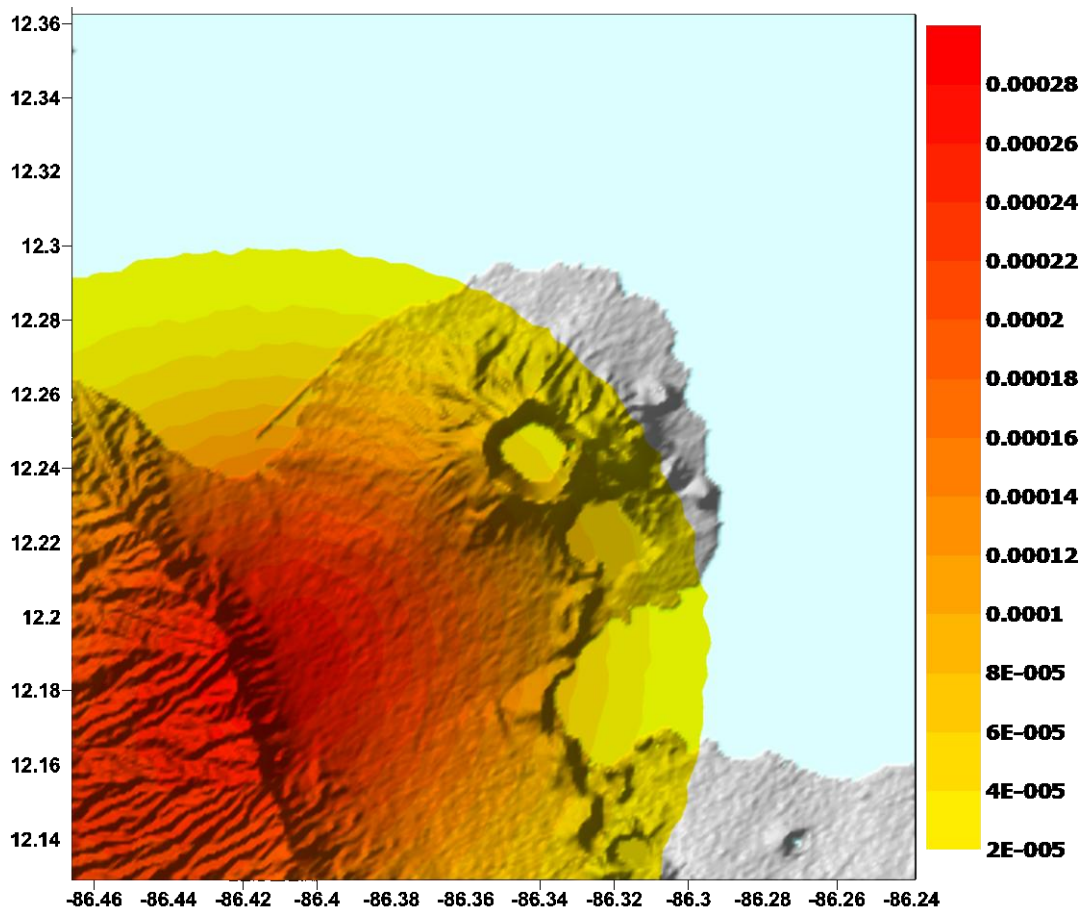


Figura 6-31

Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán Apoyeque