

## 8-4 Tsunami

El diagrama de flujo del mapa de amenaza de Tsunami aparece en la Figura 8-64. El modelo topográfico se define por la simulación de Tsunami basada en los datos recogidos. Se realiza una simulación y se verifica con respecto a los datos observados para ver si la metodología y los parámetros ingresados pueden reproducir un evento en el pasado. La simulación puede hacerse para otros casos y los resultados calculados se utilizan para demostrar el área de inundación estimada.

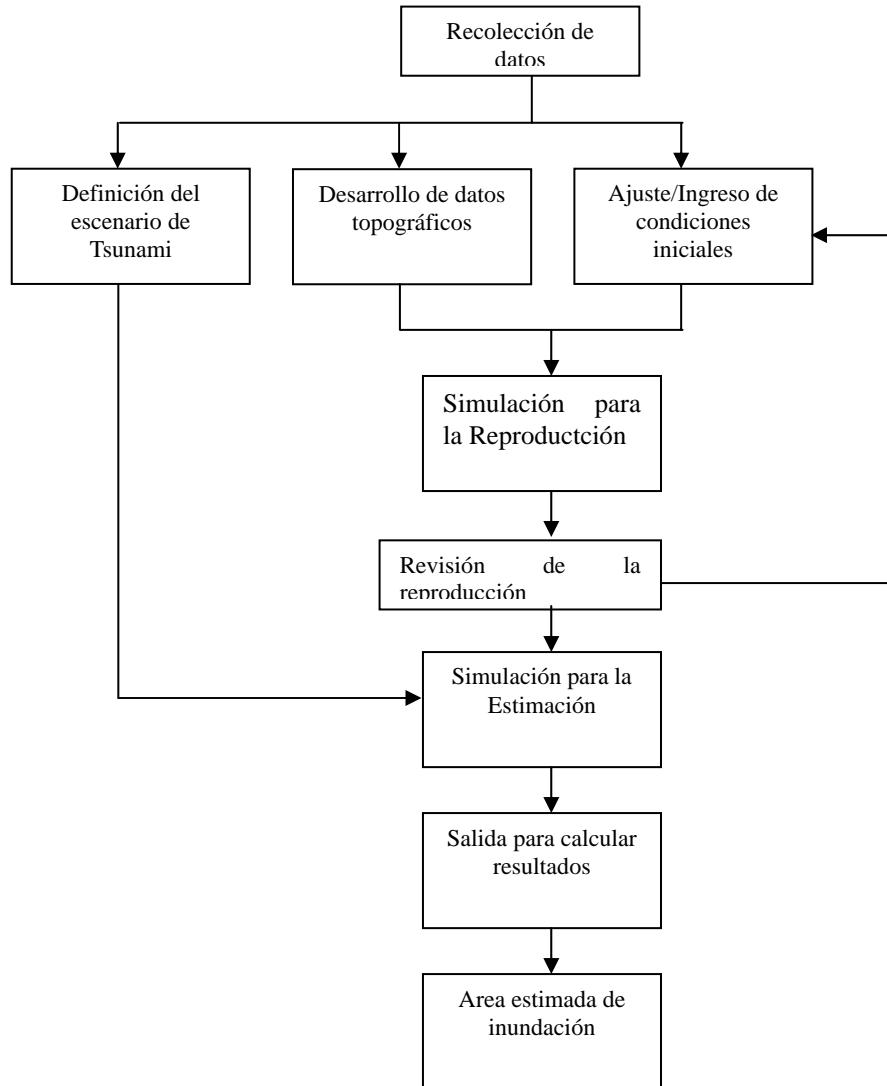


Figura 8-64 Diagrama de flujo para la estimación de inundación provocada por Tsunami

### 8-4-1 Datos e Informaciones Recogidas

Se recogieron los siguientes datos para la simulación.

#### (1) Datos topográficos

En el Cuadro 8-15 se presenta la lista de los datos topográficos recopilados para la preparación del mapa de amenazas de Tsunami desde varias fuentes. En el cuadro también aparece la disponibilidad de los datos para cada área de estudio (en las columnas derechas). Todos los datos estaban disponibles en Corinto y San Juan del Sur, no así en Puerto Sandino (falta el mapa topográfico a escala 1/5.000) y en Masachapa (faltan los datos batimétricos en la costa y el gráfico de marea).

Para complementar los datos insuficientes, se realizó un reconocimiento batimétrico fuera de la costa de Masachapa. Asimismo se utilizaron las fotografías aéreas tomadas por JICA para generar un mapa topográfico de mayor escala en el Puerto Sandino.

Cuadro 8-15 Lista de los datos recogidos

Categoría	Contenido	Fuente	Escala	Año	Disponibilidad por área de estudio *			
					Co	PS	Ma	SJ
Catálogo de Tsunami	Catalogo de daños	Fernandez et al.		2000				
	Lista de Tsunami pasados	NOAA						
Estudio de Tsunami	Tsunami de Nicaragua en 1992	ERI		1993	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	Tsunami de Nicaragua en 1992	USA			NO	SÍ	NO	NO
Gráfica de las mareas	Datos de observación horaria	INETER		1989-	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Mapa batimétrico	Mapa topográfico global	NOAA	2 minutos		SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	Carta de Navegación	Defense Mapping Agency	1/300.000	1984	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	Carta de Navegación	Defense Mapping Agency	1/75.000 1/12.500	1984- 1987	SÍ	SÍ	NO	SÍ
	Canal en Corinto	EPN	1/500-2500	2004	SÍ			
	Canal en Puerto Sandino	EPN	1/7.500	2001		SÍ		
Mapa topográfico	Mapa topográfico	INETER	1/50.000	1986- 1988	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	Mapa de área costera para el desarrollo	INTOUR	1/5.000	2001- 2002	SÍ	NO	SÍ	SÍ

(2) Datos de medición de marea

INETER tiene observatorios para medición de mareas en tres puertos a lo largo de la costa del Pacífico tal como aparece en el Cuadro 8-16. De esos, sólo los medidores de marea de Corinto y Puerto Sandino estaban funcionando durante el Tsunami de Nicaragua de 1992. Sin embargo, el registro de Puerto Sandino se saturó y no se registró el valor pico. Debe tenerse en cuenta que el Tsunami de 1992 llegó cuando la marea estaba casi en su máximo nivel.

Cuadro 8-16 Medidores de la marea operados por INETER a lo largo de la costa del Pacífico

Lugar	Lat	Lon	Equipos	Período de monitoreo
Corinto	12°29' 06''	87°10' 18''	Registrador del nivel de agua con el papel en banda, analógico, Tipo: R20, Modelo: A. OTT, fabricado en Alemania	1989-2001
Puerto Sandino	12°12' 07''	86°45' 22''	Registrador del nivel de agua con el papel en banda, analógico, Tipo: R20, Modelo: A. OTT, fabricado en Alemania.	1989-1990, 1992
San Juan del Sur	11°15' 04''	85°53' 27''	Registrador digital con sensor de presión. Modelo TWG-12, Microsistemas aplicados, hecho en Canadá.	1999-2000

Fuente: INETER (2004)

(3) Historia de Tsunami

La historia de Tsunami en la Costa del Pacífico cerca de Nicaragua está catalogada por Fernandez et al. (2000) y NOAA. Fernandez et al. (2000) documentó Tsunami histórico para el período 1539-1996. Entre ellos, 37 eventos fueron registrados a lo largo de Costa del Pacífico como se muestra en la Figura 8-65 sobre el mapa topográfico publicado por NOAA. La mayoría de ellos se produjeron entre Cocos y la zona de subducción del Caribe. El número de Tsunami histórico registrado aumentó dramáticamente desde mediados del siglo XIX tal como aparece en la Figura 8-66, probablemente debido al crecimiento de la población cerca de la costa. Los daños, efectos y comentarios relacionados a Nicaragua se describieron en el Cuadro 8-17. De estos datos históricos, el peor Tsunami que afectó Nicaragua fue el de 1992.

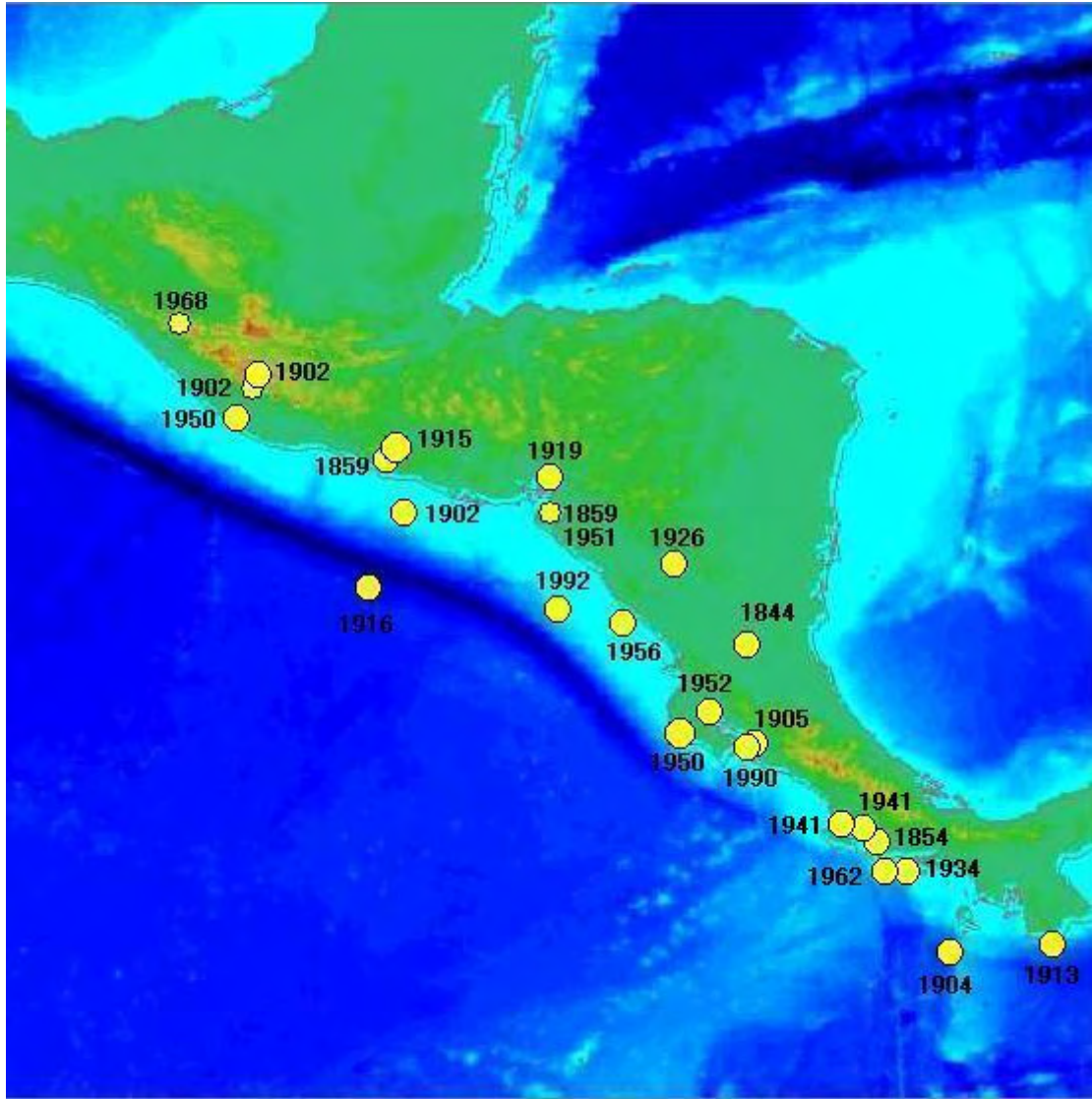


Figura 8-65 Ubicación de los eventos de Tsunami ocurridos en el pasado. (Fernandez et al., (2000)

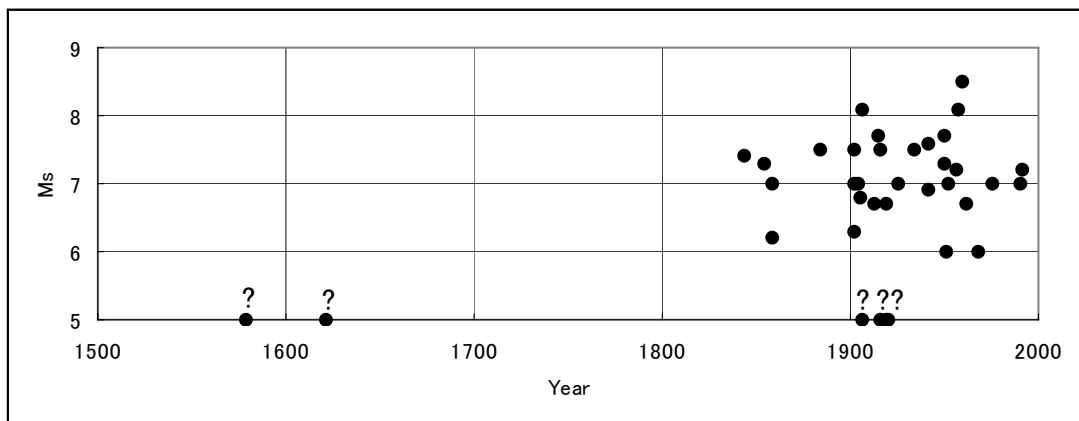


Figura 8-66 Histograma de Tsunami a lo largo de la Costa del Pacífico en América Central (Fernandez et al., (2000)

**Cuadro 8-17 Efectos de Tsunami ocurridos en el pasado en Nicaragua**

Fecha	Lon	Lat	Profundidad(km)	Ms	Efecto de Tsunami
1844/05	84,8	11,2	130	7,4	Se reabrieron dos ríos y el Lago de Nicaragua cayó en cascada a través de los rápidos causando daños. Seiches (olas estacionarias) en el Lago Nicaragua. Agua descargada del Lago Nicaragua.
1919/6/29	87,5	13,5	> 40	6,7	Áreas inundadas en el Golfo de Fonseca y Corinto.
1919/12/12					Áreas inundadas en el pueblo Ostial.
1926/11/5	85,8	12,3	135	7	El terremoto fue informado como destructivo en Nicaragua. Sobre el mar se sintió el choque en dos barcos.
1950/10/5	85,7	10	< 60	7,7	Se registraron pequeñas oscilaciones del nivel del mar en San Juan del Sur, Nicaragua y La Unión, El Salvador. Se destruyó el mareómetro en el Puerto Armuelles, y los de Puntarenas (Costa Rica), La Unión (Salvador), San Juan del Sur (Nicaragua) e Hilo (Hawai), registraron una ola del mar de 10 cm.
1956/10/24	86,5	11,5	S	7,2	Información confiable del terremoto, pero no hay información confiable de Tsunami.
1992/9/2	87,4	11,7	S	7,2	Una ola de 9,5 m de altura. En Masachapa se registró que la ola alcanzó hasta 1km. La extensión horizontal de la inundación fue del orden de varios cientos de metros. Unas 170 víctimas. El mayor alcance ocurrido en la parte central del litoral de Nicaragua. La ola de 2-4m de altura en Costa Rica. Daños a pequeños puertos y barcas.

Fuente: Fernandez et al., (2000)

(4) Parámetros de fuente

Existen varios estudios de simulacro para el Tsunami de 1992. En el Cuadro 8-18 se presenta el modelo de fuente de Tsunami según Imamura & Shuto (1993).

**Cuadro 8-18 Parámetros de fuente de eventos de Tsunami ocurridos en 1992 en Nicaragua**

Fecha	Septiembre 2, 1992	Dirección	302 grados
Tiempo de origen	00:15:57.5 GMT	Inclinación	16 grados
Latitud	11,76 N	Deslizamiento	87 grados
Longitud	87,42 W	Largo de falla(km)	200 km
Profundidad	Menos de 10 km	Ancho de falla (km)	100 km
Tiempo de duración	100 segundos	Dislocación	0,375 m
Momento sísmico	$3 \times 10^{27}$ dyne*cm		

Tal como aparece en el Cuadro 8'19, Satake (1995) propuso un modelo de falla de Tsunami, que es diferente del modelo sísmico, para entender mejor los Tsunami.

Cuadro 8-19 Parámetros de falla por Satake (1995)

Parámetros	Modelo sísmico	Modelo de Tsunami
Longitud de falla	200 km	250 km
Ancho de falla	100 km	40 km
Desplazamiento	0.5 m	3 m
Rigidez	$3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$	$1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Momento sísmico	$3 \times 10^{20} \text{ Nm}$	$3 \times 10^{20} \text{ Nm}$
Ángulo de golpe		315 grados
Ángulo de caída		15 grados
Ángulo de resbalam.		90 grados

(5) Ihmle (1995) utilizó un análisis de función de Green del Tsunami de Nicaragua de 1992 para mostrar que el centro de irradiación de baja frecuencia estaba ubicado a unos 40 km del epicentro hacia la fosa. El estudio también reveló que la función de tiempo de fuente relativa tenía un promedio de unos 120 segundos y la ruptura fue unilateral hacia el sureste a lo largo del eje de la fosa con una velocidad de ruptura de menos de 1 km por segundo. Sugirió que el sedimento subyacente en la interfase de placas puede ser el responsable por la naturaleza lenta y suave del Tsunami de Nicaragua de 1992.

(6) Datos de inundación durante Tsunami

Los estudios realizados después de Tsunami han proporcionado importante información para la calibración del modelo de simulación. Hay dos reconocimientos post-Tsunami. A los 18 días después del Tsunami, Abe et al. (1993) realizó un reconocimiento de 35 áreas durante 5 días. Murfy et al. (1993) realizó un reconocimiento de 12 áreas dos meses después del Tsunami.

#### 8-4-2 Batimetría en el Área Costera Poco Profunda Frente a Masachapa y sus Alrededores para el Análisis de Tsunami

(1) Equipos de sondeo

En el Cuadro 8-20 se presenta un resumen de los equipos y programas utilizados en el estudio, que fueron preparados por la contraparte. El buque de EPN ha sido construido para el estudio batimétrico y es frecuentemente utilizado en las costas de Nicaragua (véase la Foto 8-7).

El equipo de sondeo HydroTrack es el tipo más popular utilizado en todo el mundo y tiene una función integrada para exportar datos digitales tales como las coordenadas GPS del barco y la profundidad del fondo del mar. Estos datos se importan en el software HypackMax que está instalado en la computadora personal (PC) utilizado junto con el HydroTrack descrito arriba. Con esta configuración, los datos medidos se memorizan en el PC para ayudar a la navegación del barco de reconocimiento. El HypackMax puede trazar la línea de reconocimiento para filtrar (Consulte la Foto 8-8) y corregir la profundidad medida con la que se predijo o los datos de marea real en el sitio específico. Sin embargo, HypackMax no es capaz de analizar y trazar la línea de iso-profundidades. Por lo tanto, es necesario que los datos recogidos se transfieran a un programa adecuado de shareware/software para este análisis.

**Cuadro 8-20 Descripción de los equipos y del sistema del estudio batimétrico**

ITEM	Características especiales	Dueño
Nave de sondeo		
Nolan Ponce	Long. 12,71m, Manga 3,45m, Hélice 1,7m, Calado 1,6m, Máx. vel. 15km/h fabricado con acero duro, equipado del sistema de Rolan	Empresa Portuaria Nacional, Managua
Sonda		
HydroTrack	Frecuencia de pulso de eco 1Hz, con GPS y faro de radio	INETER Hidrografía
Registro de navegación y sistema del análisis		
HypackMax	Conectado a HydroTrack, la ayuda de navegación, registra, analiza y produce los datos y corrige los datos de profundidad combinado con los datos de marea externos	INETER Hidrografía
Medida de marea	Medido por vista en el muelle en <b>Montelimar</b> situado en cerca de 2 km al noroeste de Masachapa usando una escala de marea de temporal de 4m, cuya elevación se fija en sitio nivelado por el Equipo de Geodesia de INETER	INETER Hidrografía



Foto 8-7 Buque de investigación Nolan Ponce



Foto 8-8 HydroTrack Conectado a PC

Durante el reconocimiento, la altura de la marea (como elevación) se midió a ojo cada 30 minutos a la hora y en el medio utilizando la escala de marea instalada temporalmente con una altura máxima de 4 m, unido a una columna al lado del muelle en Montelimar, alrededor de 2 km al noroeste del pueblo de Masachapa (Consulte la Foto 8-9). La altura de marea medida fue convertida en elevación en función de la elevación de una marca de nivel temporalmente instalada en una esquina de la superficie de la pila. El nivel de la marca temporal de nivel (véase la Foto 8-10) fue medido previamente por el personal del equipo de nivelación de Geodesia – INETER con base en la marca de nivel instalada en el Parque Pochomil localizado al suroeste de Masachapa.

INETER publica trimestralmente las tablas de mareas de los cuatro puertos en Nicaragua, de los datos ofrecidos por USGS. Los datos de marea medidos en Masachapa son verificados comparándolos con los datos de predicción que aparecen en las tablas de mareas cerca del Puerto Sandino. Como resultado, las profundidades corregidas del fondo del mar se dieron como elevación derivada de la elevación del suelo.



Foto 8-9 Instalando el medidor de la marea



Foto 8-10 Marca de nivelación de la pila (EL.7.548m)

## (2) Estudio de sondeo preliminar en sitio

Al terminar la instalación de la escala temporal, el Equipo de Estudio inició el sondeo a las 10:33 del 9 de febrero a una velocidad aproximada de 10 km/h sobre la línea de sondeo del extremo norte según el plan inicial de estudio. La meta de este sondeo de prueba fue la de confirmar que nuestro equipo era capaz de medir la profundidad del mar de 60 a 65 km mar adentro bajo las condiciones climáticas del momento. El resultado fue que pudo navegar la lancha Nolan Ponce durante sólo 2 horas hasta las 12:30 mar adentro hasta una profundidad de 20 m donde la lancha fue movida y rodada continuamente y fuertemente haciendo imposible la recepción de la señal de impulso de eco. Además el equipo en el barco casi se cayó al piso. Por esta situación, el supervisor del estudio consideró que no era posible obtener más datos entrando a profundidades mayores poniendo en riesgo a los tripulantes, y ordenó al capitán girar y abandonar el área.

Los datos medidos (valores digitales de profundidades medidas) del día fueron restituidos utilizando HypackMax. Al día siguiente, el 10 de febrero, tratamos de hacer una navegación de sondeo similar en una línea de prueba fijada al norte de la anterior. A mayor ancho mostrado de las líneas negras, mayor es la deflexión del curso de navegación asignado. En el segundo día se registraron profundidades de hasta 65 m aproximadamente a 35 km mar adentro. Decidimos, a partir de la navegación de prueba de dos días que estos puntos mar adentro serían el límite alcanzable de las líneas de sondeo en nuestro reconocimiento batimétrico planeado en esa estación del año.



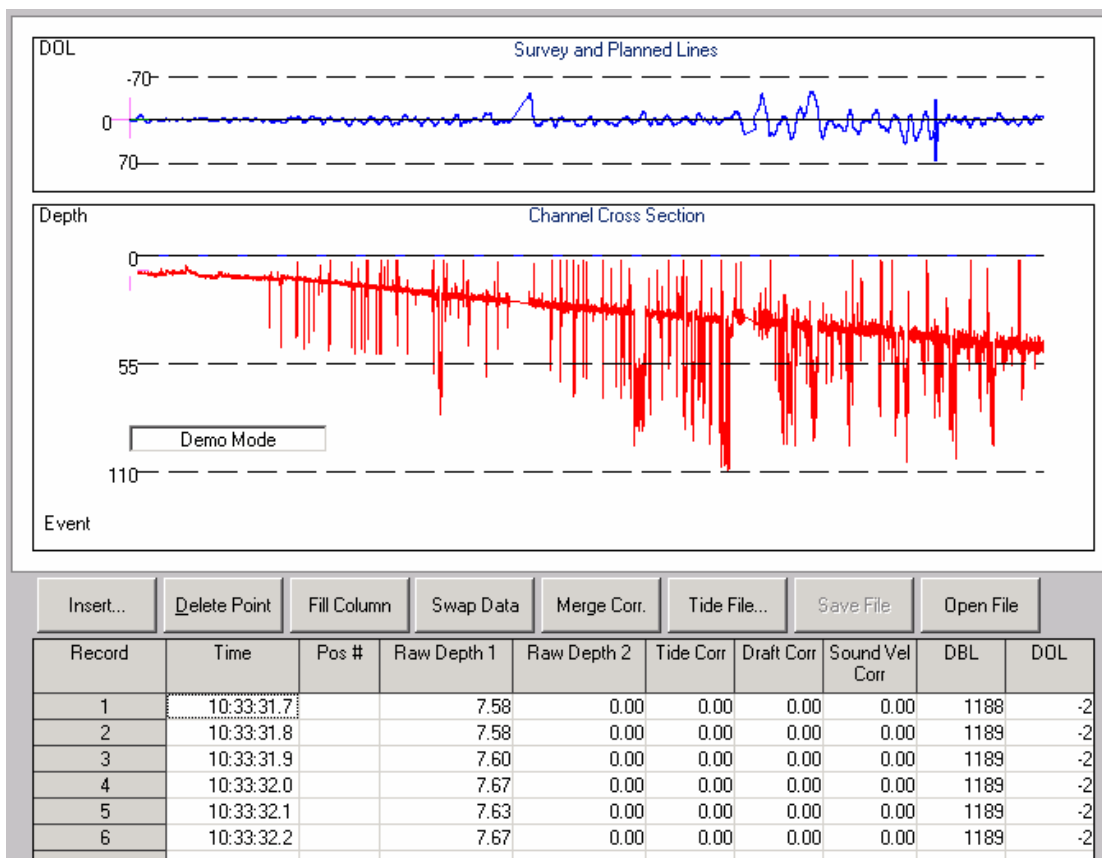


Figura 8-67 Línea de navegación (arriba) y registros (el resto) del 1er día de sondeo preliminar

(3) Revisión del plan de estudio y plan final de estudio

Como resultado obtenido en el sondeo preliminar descrito anteriormente, se modificó el Plan de Reconocimiento Inicial para convertirse en el siguiente Plan de Reconocimiento Final:

- i) El área de sondeo práctico con nuestro equipo de sondeo no puede ampliarse más de 10 a 30 km mar adentro bajo las condiciones del mar en el área durante el período del reconocimiento. Por lo tanto, la longitud de la línea de reconocimiento a sondear debe ser, en lugar de la longitud objeto inicial con una profundidad de 100m, y se decidió como lo que sería posible en las condiciones bajo el mar el día de reconocimiento.
- ii) Considerando lo anterior, el número de líneas por día que pueden sondearse por el ciclo que se repite, un inicio al punto de retorno mar adentro y de nuevo a la costa, con un máximo de 12 horas del amanecer hasta el atardecer puede aumentarse comparado con el plan inicial. Como resultado, puede esperarse que el período de tiempo necesario para el reconocimiento del área costera pueda abreviarse. Considerando este ahorro de tiempo, trataremos de ampliar el reconocimiento con líneas de sondeo adicionales fuera de las líneas a intervalos de 300 m centrado en la villa de Masachapa. El reconocimiento debe llevarse a cabo dentro del período de tiempo de diseño de 25 días con 5 días de tolerancia por condiciones de mar desfavorables. Con esta revisión del plan de reconocimiento, incluso si no se pudiera obtener el perfil de fondo del mar poco profundo con forma de lentes esperado, podríamos adquirir un perfil del fondo de mar en detalle para un área más ancha a lo largo de la costa que puede servir de ayuda en futuros análisis numéricos de Tsunami.
- iii) Comparando el perfil sugerido por los datos NOAA y los datos a obtenerse en este reconocimiento, el perfil de fondo del mar con forma de lente poco profunda

podría llegar a confirmarse con alguna corrección y utilizarse en combinación con los datos de sondeo cerca de la costa, con gran precisión.

- iv) El reconocimiento de Sondeo Final se programó para empezar el 11 de febrero y completarlo el 7 de marzo.

#### (4) Resultados de la medición de la marea

La altura de marea traducida en elevación es comparada con la altura calculada en el Puerto Sandino después de su corrección; los datos originales fueron determinados con base en el nivel de bajamares más acentuadas en Puntarenas, Costa Rica (e.g., -1.168m). En la Figura 8-68 se presenta la comparación de los datos obtenidos el 11 de febrero. La altura de marea en Masachapa es muy similar ala de Puerto Sandino: sin embargo, la marea mínima y máxima ocurren algo más pronto que en el Puerto Sandino, sin embargo, las mareas mínima y máxima se producen un poco antes que en el Pto. Sandino en 10 a 15 minutos. La altura mínima y máxima de la marea en San Juan del Sur ocurren antes que en el Puerto Sandino, según predicción, con una diferencia aproximada de 1 hora y 20 minutos. Por lo tanto, se considera suficientemente confiables los datos que se tomen de la medición de las mareas en Masachapa.

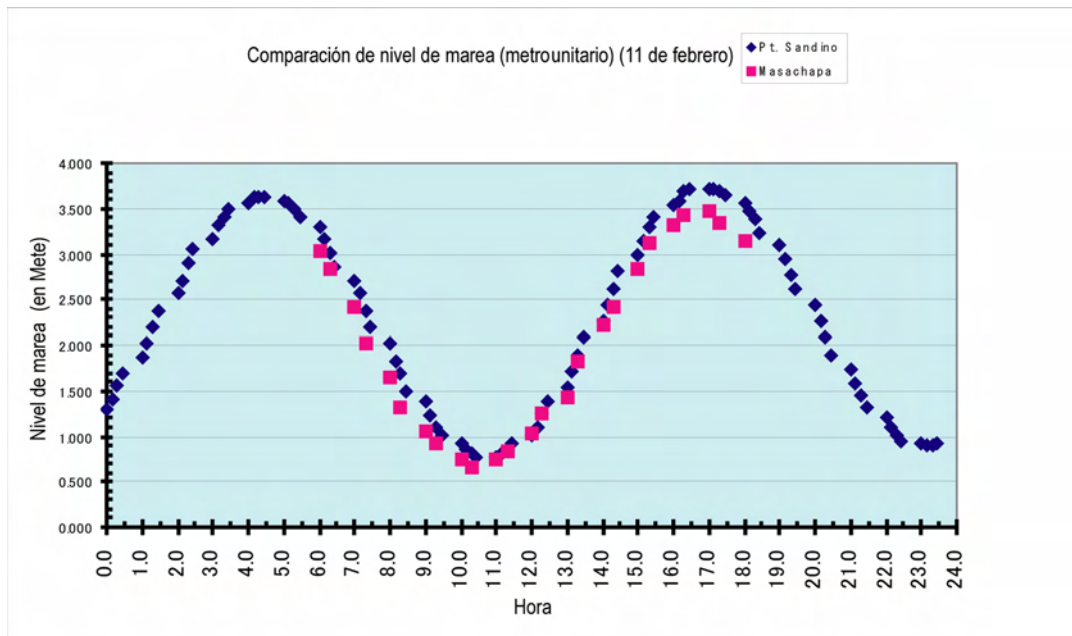


Figura 8-68 Comparación de la altura de marea en Masachapa con el valor de predicción en Puerto Sandino

El área que pudo sondearse a marzo del 2005 con el orden de 50 líneas de sondeo es el que aparece en la Figura 8-69.

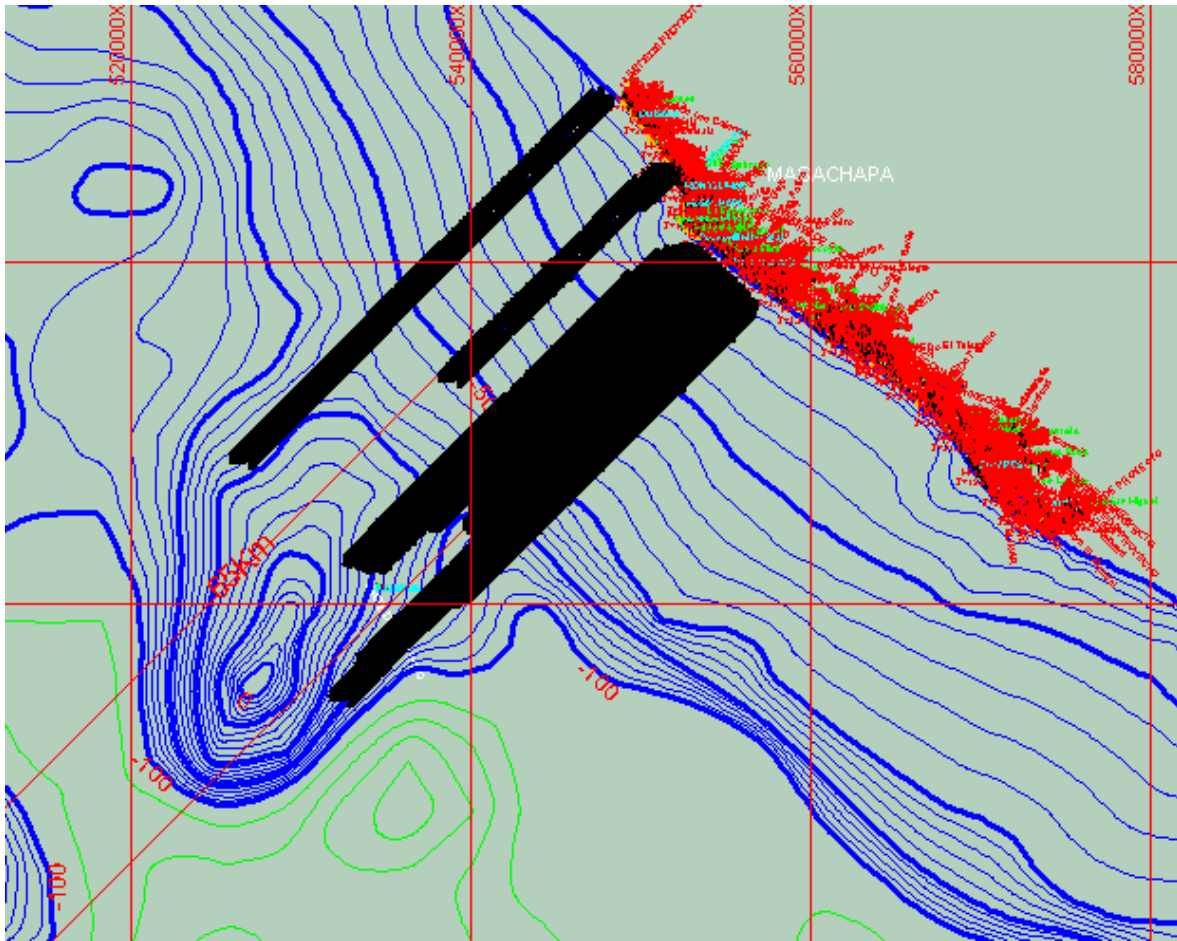


Figura 8-69 Área que se completó hasta el 6 de marzo, 2005

(5) Formato final de los datos los investigados

Los datos proporcionados por la contraparte, Hidrografía de INETER, son datos digitales en el mismo formato de XYZ03 (latitud, longitud, y profundidad) corregidos con los datos de elevación de mareas basándose en la medición temporal de marea realizada en Masachapa.

### 8-4-3 Método de Simulación

(1) Definición del escenario de Tsunami

Se disponen de pocos datos históricos de los desastres de Tsunami a lo largo de la Costa del Pacífico en Nicaragua. La mayoría de estos datos fueron registrados después de la segunda mitad del Siglo XIX, cuando la costa nicaragüense comenzó a ser poblada. Entre ellos, el Tsunami de Nicaragua de 1992 fue el peor evento en términos de magnitud así como el lugar del área de fuente con respecto a la mayoría de la costa nicaragüense. Por esta razón, el Tsunami de Nicaragua de 1992 fue considerado básicamente como el peor caso para la costa del Pacífico de Nicaragua. En este estudio, se trató de reproducir primero el Tsunami de 1992 para verificar la metodología. Los parámetros fuente se basaron primariamente en los estudios existentes pero se ajustaron para obtener una buena coincidencia con los registros observados tales como los registros de medición de marea o las alturas de inundación obtenidas por los reconocimientos en el campo post-Tsunami. Una vez reproducidos los parámetros, se definió el Tsunami de 1992 se hizo un ensayo con una falla con la misma dimensión pero en un lugar distinto para estimar el posible “peor caso” para cada área del estudio.

(2) Definición de parámetros

Basado en los estudios existentes, se ensayaron dos modelos para reproducir el Tsunami de Nicaragua de 1992. Los parámetros utilizados para cada modelo base aparecen en el Cuadro 8-21. Los parámetros básicos para el Tsunami de escenario se basan en cada papel, respectivamente. Los ángulos de desplazamiento y de golpe se modificaron para que coincidan con los datos observados por prueba y error. Debe tenerse en cuenta que el nivel de agua del océano se fijó al nivel de agua máximo (1 m por encima del nivel del mar promedio) en la simulación. Esto se hace debido a que el Tsunami de Nicaragua de 1992 se produjo al momento del nivel de agua máximo que también se considera el peor caso.

**Cuadro 8-21 Parámetros usados por la simulación para reproducir el Tsunami de 1992**

	Modelo basado en Imamura	Fuente	Modelo basado en Satake	Fuente
Longitud	200 km	Imamura y Shuto (1993)	250 km	Satake (1995)
Ancho	100 km		40 km	
Caída	16 grados		15 grados	
Deslizamiento	87 grados		90 grados	
Golpe	302-322 grados	Dentro de la gama en Imamura y Shuto (1993)	315 grados	Dentro de la gama en Imamura y Shuto (1993)
Desplazamiento	6 km		6 km-12 km	
Rise time	300 grados		300 grados	

(3) Desarrollo del modelo topográfico

El programa de simulación resuelve la ecuación del movimiento utilizando el método de diferencia finita. Para este método, la topografía del lecho del mar y la tierra se expresa como modelo de cuadrícula. El tamaño de la cuadrícula del área cerca de la costa se hizo pequeño para definir la forma de la línea de la costa o golfo. Sin embargo, no tiene sentido para el área de análisis general enorme incluyendo el área de fuente de ola de Tsunami-Tsunami a definir con una cuadrícula de tamaño pequeño. Por lo tanto, se aplicaron varios tamaños de cuadrícula para el análisis. El cálculo se realizó utilizando cuadrículas menores, uno por uno, hacia la tierra desde mar adentro.

El tamaño de cuadrícula se define por las siguientes consideraciones. Se aplicó un sistema de cuadrícula cuadrada de 2700 m en el mar abierto incluyendo el área de fuente de olas. Después se aplicaron sistemas de cuadrícula cuadrada de 900 m, 300 m y 100 m hacia la tierra desde mar adentro. Como hay varias fuentes de datos topográficos, se prefirieron los datos con mayor precisión cuando dos juegos de datos se superponían en la misma área.

El tamaño de cuadrículas se definió en siguientes condiciones.

1) La velocidad de onda en la simulación puede exceder la velocidad de las ondas reales de Tsunami.

La velocidad de onda de Tsunami en aguas profundas es aproximadamente la indicada en la ecuación (1), donde  $g$  es la aceleración de gravedad ( $= 9.8 \text{ m/s}^2$ ) y  $h_{\text{max}}$  es la profundidad máxima de agua en la región objeto del cálculo.

$$V_{\text{Física}} = (2gh_{\text{max}})^{1/2} \quad (1)$$

Se dan ejemplos de velocidad con respecto a la profundidad de agua en el Cuadro 8-22.

Cuadro 8-22 Profundidad de agua y velocidad de onda de Tsunami

H <sub>máx</sub> (m)	V Físico (m/seg)	H <sub>máx</sub> (m)	V Físico (m/seg)
5000	313,0	100	44,3
2000	198,0	50	31,3
1000	140,0	20	19,8
500	99,0	10	14,0
200	62,6	5	9,9

Por otro lado, la velocidad de onda en la simulación V<sub>numérica</sub> es expresada mediante la ecuación (2), donde Δs es el tamaño de la cuadrícula en metros y Δt es el paso de tiempo del cálculo en segundos.

$$V_{numérica} = \Delta s / \Delta t \quad (2)$$

La velocidad de la onda en la simulación varía de acuerdo con el intervalo de tiempo de cálculo y el tamaño de la cuadrícula, como se muestra en el Cuadro 8-23. En el presente estudio, el intervalo de tiempo se definió en dos segundos a través de la evaluación, como se muestra en el

Cuadro 8-24.

Cuadro 8-23 Tamaño de la cuadrícula, intervalo de tiempo y velocidad numérica

V <sub>numérico</sub>		Δt(seg)				
		1	2	3	5	10
Δs (m)	2700	2700	1350	900	540	270
	900	900	450	300	180	90
	300	300	150	100	60	30
	100	100	50	33,3	20	10
	50	50	25	16,7	10	5

Cuadro 8-24 Estimación del intervalo de tiempo para el presente Estudio

Δs	h <sub>máx</sub>	V Físico	Δt<
2700	6000	342,9	7,9
900	200	62,6	14,4
300	100	44,3	6,8
100	70	37,0	2,7

2) Para evitar el factor de viscosidad numérico y el factor de disipación numérico, el tamaño de cuadrícula debe satisfacer la ecuación (3) como requisito mínimo o satisfacer la ecuación (4) si fuera posible.

$$CT/20 > \Delta S \quad (3)$$

$$CT/30 > \Delta S \quad (4)$$

Donde,

$$C = (gh)^{1/2}$$

$$T = L / (gh_s)^{1/2}$$

C: Velocidad de la onda (m/s)

h: Nivel medio de agua en el área de simulacro (m)

T: Período aparente de Tsunami (seg.) (= 524,9 s)

$h_s$ : Profundidad media de agua en el área de generación de Tsunami (m) (= 3000 m)

L: Longitud del eje menor para el área de generación de Tsunami (m) (= 90000 m)

Cuadro 8-25 Estimación del tamaño de la malla para el presente Estudio

$\Delta s$	h	CT/20	CT/30
2700	2200	3853,6	2569,0
900	80	734,8	489,9
300	60	636,4	424,3
100	30	450,0	300,0

Como resultado, se desarrolló un sistema de cuadrículas anidadas en cuatro niveles como se muestra en la Figura 8-70. El área completa fue dividida en cuadrículas cuadradas de 2700 m. Cada área del estudio fue dividida en cuadrículas de tamaño 900 m, 300 m y 100 m. Cada cuadrícula tiene un número de identificación y sus detalles se describen en el Manual 2 de Tsunami 2-1, Mapeo de Amenaza.

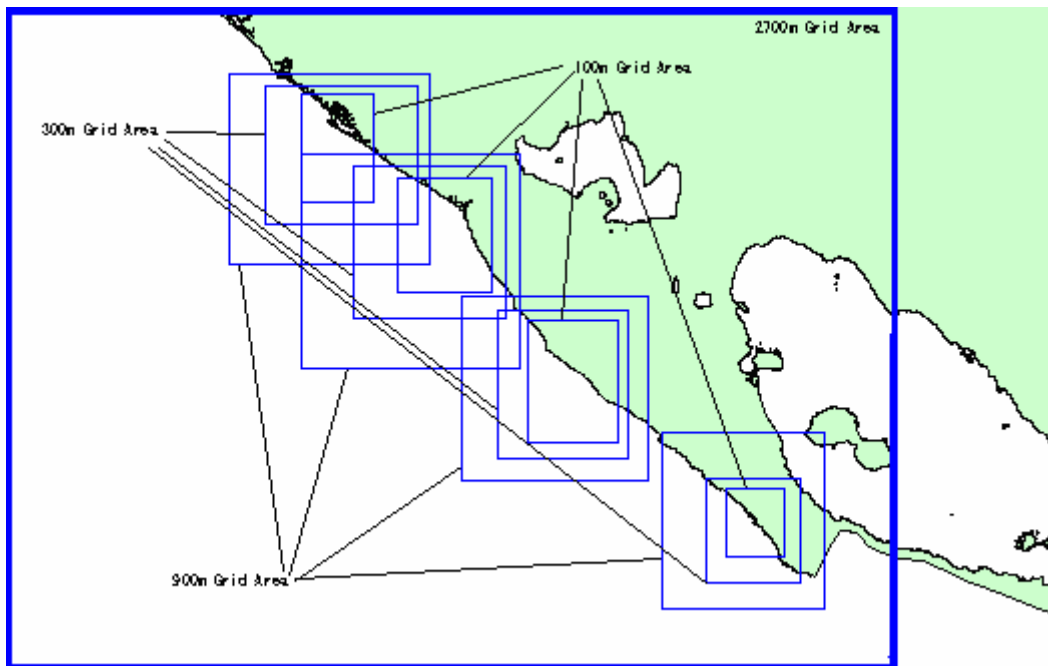


Figura 8-70 Sistema de cuadrículas desarrollado para el análisis.

#### (4) Desarrollo del programa

El código fuente del programa de simulacro fue desarrollado por el Prof. Imamura en Japón, y publicado por UNESCO. Se separaron el programa original y la simulación de cálculo lineal para la propagación de onda e inundación. Para ese estudio, se combinaron los dos programas para permitir un cálculo simultáneo. En la Figura 8-71 se muestra el programa desarrollado. En el Manual 2 de Tsunami 2-4, Mapeo de Amenaza, se presentan los detalles de las rutinas, variables, y las cadenas. De la misma manera, en el Manual se describe la modificación necesaria que debe aplicarse a otras áreas.

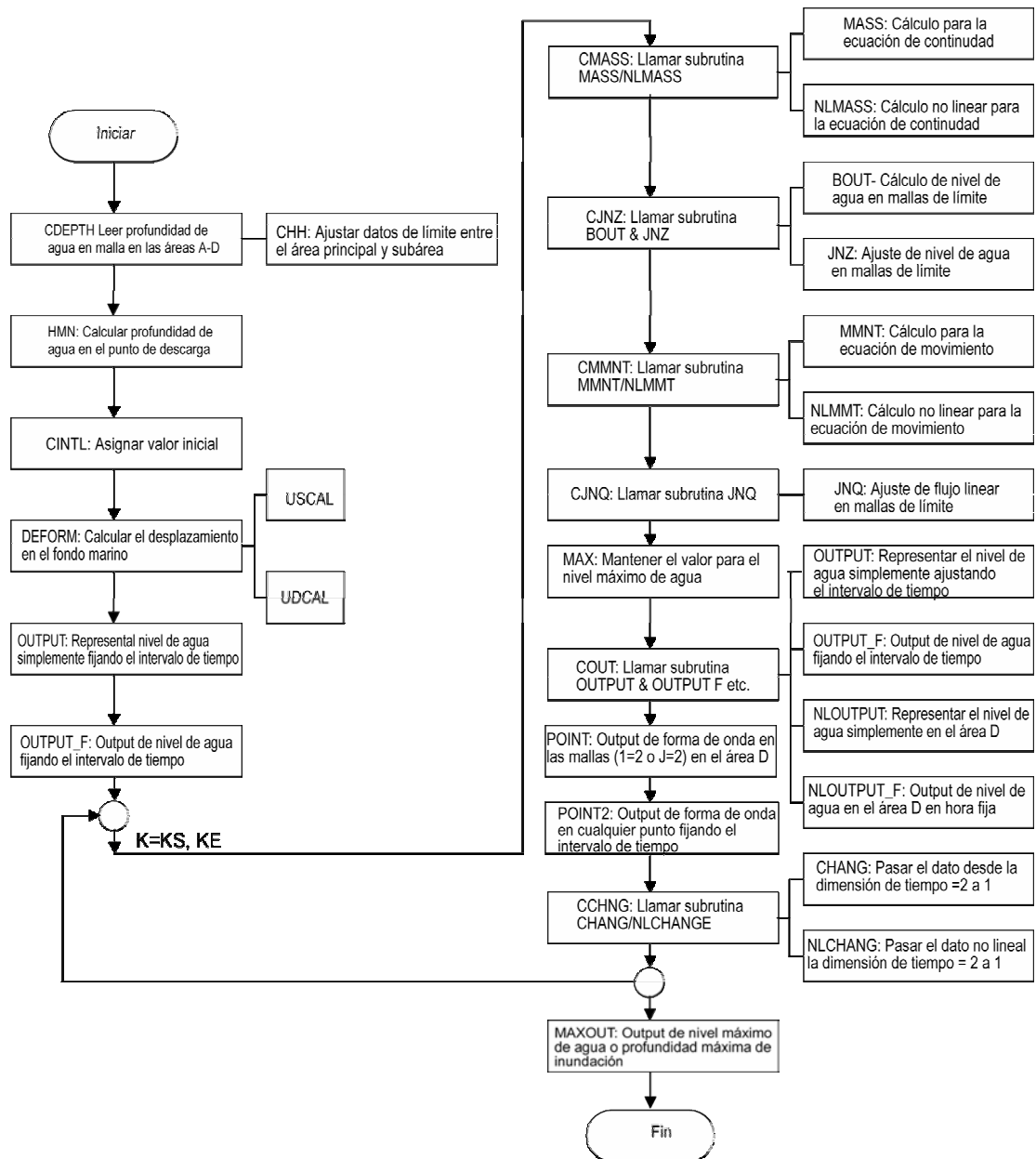


Figura 8-71 Diagrama de flujo del programa desarrollado

(5) Visualización

A continuación se describen los productos obtenidos de la simulación, cuyos detalles se incluyeron en el Manual 2 de Tsunami, Mapeo de Amenaza.

1) Revisión rápida del campo de ondas

Los cambios de nivel de agua en el área de cálculo fueron archivados en formato de caracteres para realizar la revisión rápida del campo de ondas, como se muestra en la Figura 8-72.

```

MAP AT K= 1
133 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180
132 AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA*****
131 AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA*****
130 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
129 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
128 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
127 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
126 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
125 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
124 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
123 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
122 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
121 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
120 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
119 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
118 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
117 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
116 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
115 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
114 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
113 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
112 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
111 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
110 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
109 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
108 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
107 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
106 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
105 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
104 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
103 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
102 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
101 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
100 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
99 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
98 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
97 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
96 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
95 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
94 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
93 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
92 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
91 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
90 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
89 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
88 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
87 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
86 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
85 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
84 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
83 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
82 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****
81 AAAAAAAAAABBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAA*****

```

Figura 8-72 Ejemplo de revisión rápida del campo de ondas

## 2) Forma de ondas

Los cambios en el nivel de agua a lo largo del tiempo en cualquier punto específico son registrados en el archivo de salida (*output file*). El nivel de agua de Tsunami fue ilustrado como se muestra en la Figura 8-73. De la misma manera, la forma de ondas fue representado como se muestra en la Figura 8-74.

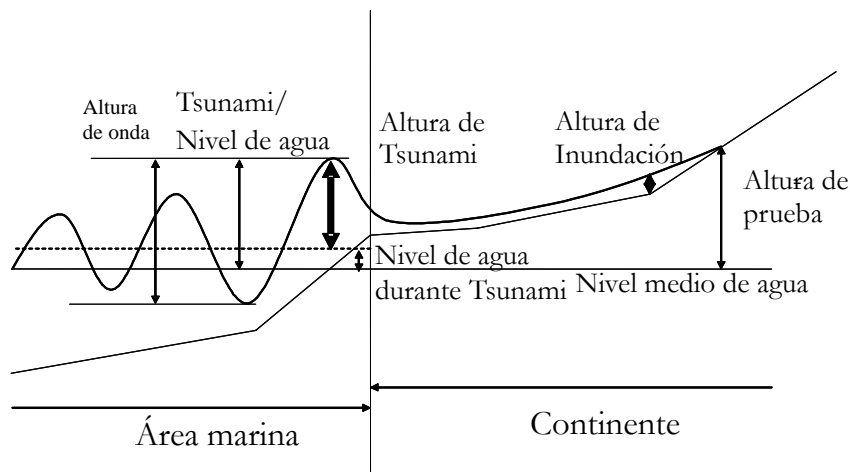


Figura 8-73 Esquema del nivel de agua de Tsunami



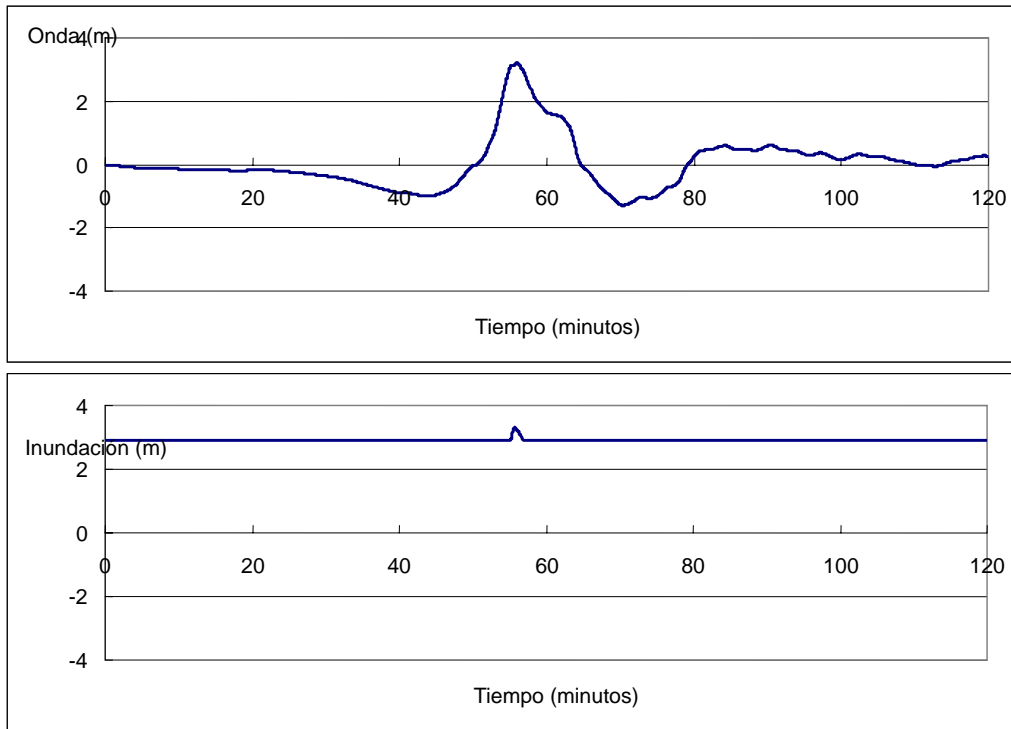


Figura 8-74 Ejemplos de la variación de niveles de agua (arriba) y altura de inundación (abajo) en su cuadrícula adyacente

### 3) Campo de onda

Los cambios de nivel de agua en un intervalo de tiempo fijo en cada área calculada área (de A a D) fueron registrados en archivos en serie, los cuales pueden ser combinados por un programa de utilidad.

El archivo combinado puede ser convertido en el formato SIG y geocodificado a través de los números de identificación de las cuadrículas. Los resultados pueden ser representados gráficamente utilizando la función de SIG, como se muestra en la Figura 8-75.

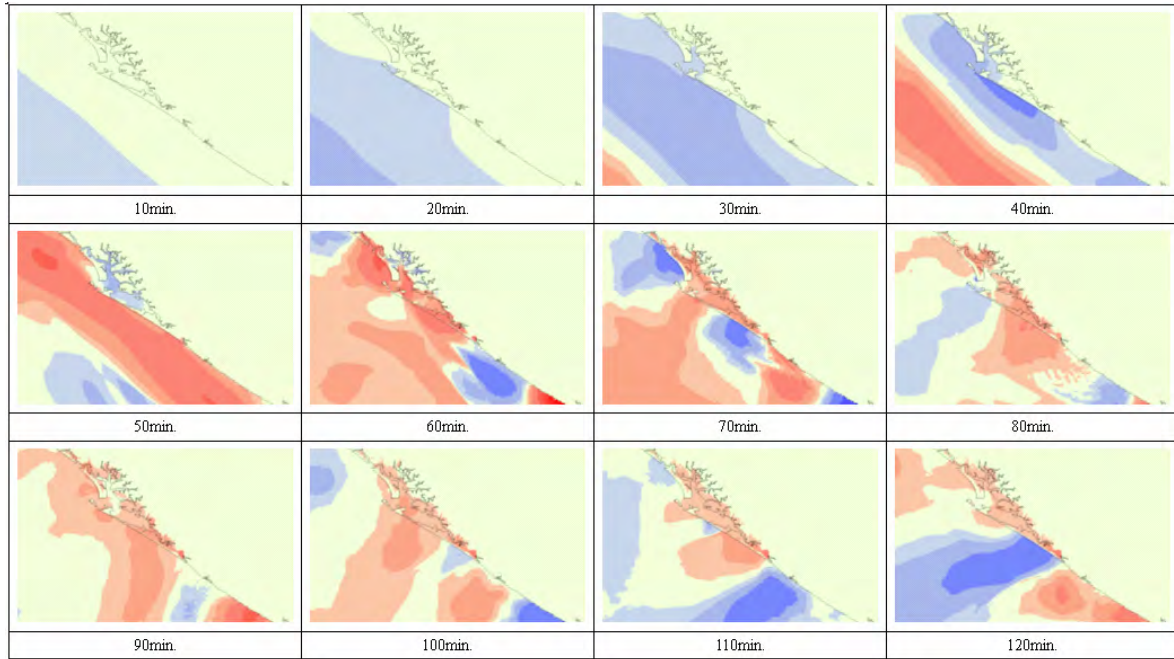


Figura 8-75 Una serie de imágenes que muestran los cambios del nivel de agua

Figura 8-75 Una serie de imágenes que muestran cambios en el nivel del agua en el tiempo

#### 4) Profundidad máxima de inundación

Se guarda en un archivo la profundidad máxima de inundación en el área D (cuadrícula de 100 m). Este archivo debe ser convertido en el formato SIG y geocodificado utilizando el número de identificación de las cuadrículas. Los resultados pueden ser representados gráficamente utilizando la función de SIG, como se muestra en la Figura 8-76.

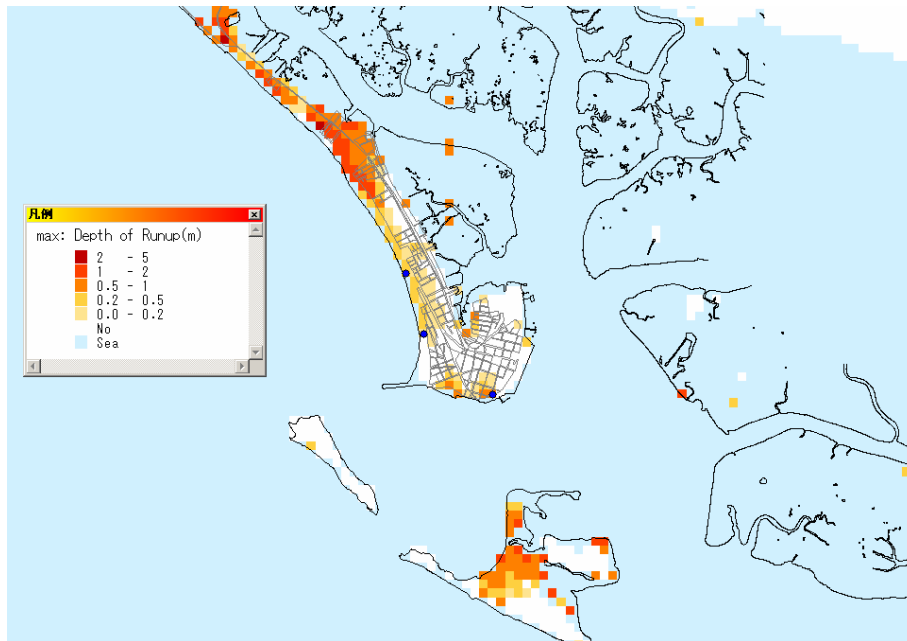


Figura 8-76 Un ejemplo de la profundidad máxima de inundación

#### 8-4-4 Resultados de la simulación

(1) Reproducción del Tsunami de Nicaragua de 1992

##### 1) Modelo basado en Imamura

Primero, los modelos de falla basados en Imamura (1993) fueron probados en diferentes lugares, con ángulos de desplazamientos y golpe como los del Cuadro 8-26 y Figura 8-77. Los resultados no tuvieron éxito en la reproducción del recorrido para las cuatro áreas de estudio, ya que la longitud de la falla de 200 km no es suficiente con respecto a la longitud costera de Nicaragua.

Cuadro 8-26 Parámetros de los modelos de falla basados en Imamura

		Modelo				
		1	2	3	4	5
Longitud (km)		200	200	200	200	200
Ancho (km)		100	100	100	100	100
Desplazamiento (m)		8	6	6	6	6
Rise time (segundo)		300	300	300	300	300
Golpe (grado)		302	312	312	312	312
Caída (grado)		16	16	16	16	16
Ángulo de resbalam. (grado)		87	87	87	87	87
Profundidad del borde superior (km)		1	1	1	1	1
Origen de la falla	Latitud	10.6510	10.3592	10.2138	9.5765	10.5049
	Longitud	87.05797	87.0617	86.9119	86.7004	87.2072

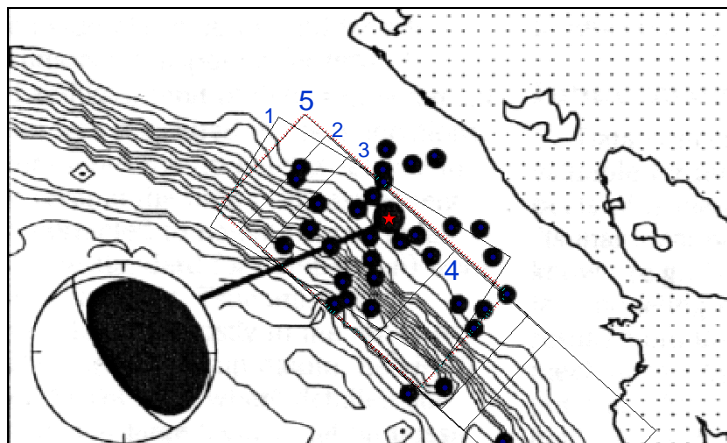


Figura 8-77 Lugar de los Modelos de falla basados en Imamura

##### 2) Modelo basado en Satake

Los modelos de falla basados en Satake (1995) fueron probados tal como se indica en el Cuadro 8-27 y Figura 8-78. El lugar inicial (Modelo S5, S6) se tomó tal como apareció en

el libro, pero se movió hacia el norte (Modelo S7-S9) y el desplazamiento se ajustó para obtener una coincidencia mejor con los datos observados. Como resultado, el modelo S8 produjo la mejor coincidencia con los datos observados.

Cuadro 8-27 Parámetros para los Modelos basados en Satake

	Modelo					
	S5	S6	S7	S8	S9	
Longitud (km)	250	250	250	250	250	
Ancho (km)	40	40	40	40	40	
Desplazamiento (m)	6	8	8	10	12	
Rise time (segundo)	300	300	300	300	300	
Golpe (grado)	315	315	315	315	315	
Caída (grado)	15	15	15	15	15	
Ángulo de resbalam. (grado)	90	90	90	90	90	
Profundidad del borde superior (km)	1	1	1	1	1	
Origen de la falla	Latitud	10.0626	10.0626	10.2880	10.2880	10.2880
	Longitud	86.5712	86.5712	86.8073	86.8073	86.8073

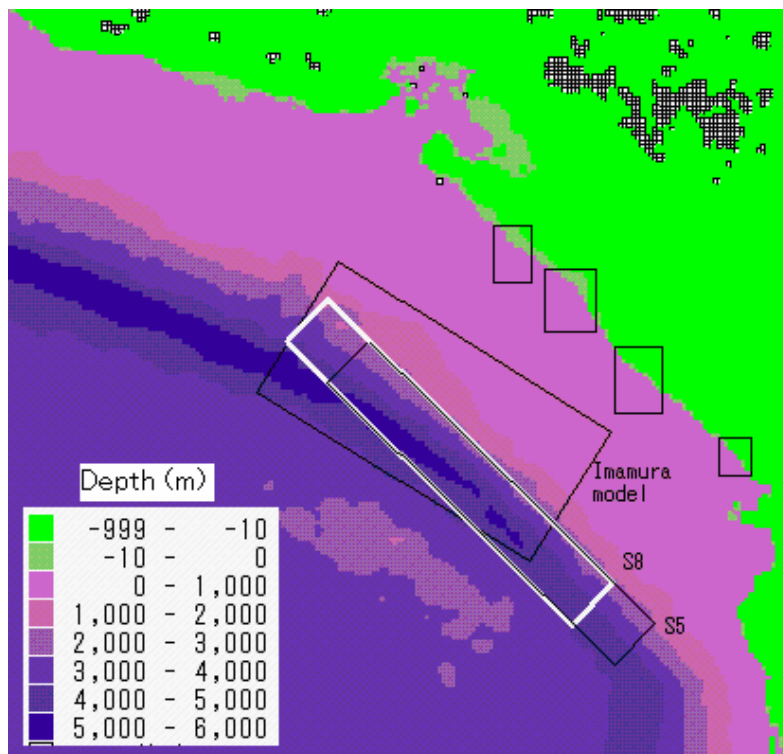


Figura 8-78 Lugar de los modelos de falla basados en Satake

2)-1 Tiempo de llegada de la forma de ola del registro de marea

La figura 8-79 muestra una comparación de la forma de ola entre el registro de medición de marea durante el Tsunami de Nicaragua de 1992 y la forma de ola de historia de

tiempo calculado. El tiempo de llegada calculado de la primera ola al Puerto Sandino coincide con el registro observado (64 minutos). El tiempo de llegada de la primera ola en Corinto fue 52 minutos por la observación mientras que el cálculo muestra 54 minutos.

Debe ser necesario aumentar el ángulo de golpe para reducir la llegada calculada en Corinto pero la dirección de la fosa afuera de Corinto muestra un valor menor que el utilizado para la simulación. Por lo tanto, la diferencia en el tiempo de llegada a Corinto entre la simulación y la observación no pudo reducirse más en esta simulación.

El registro de forma de ola simulada en Corinto coincide en gran medida con el registro observado. El registro observado en Puerto Sandino se saturó pero el registro simulado coincide hasta la saturación de la primera ola.

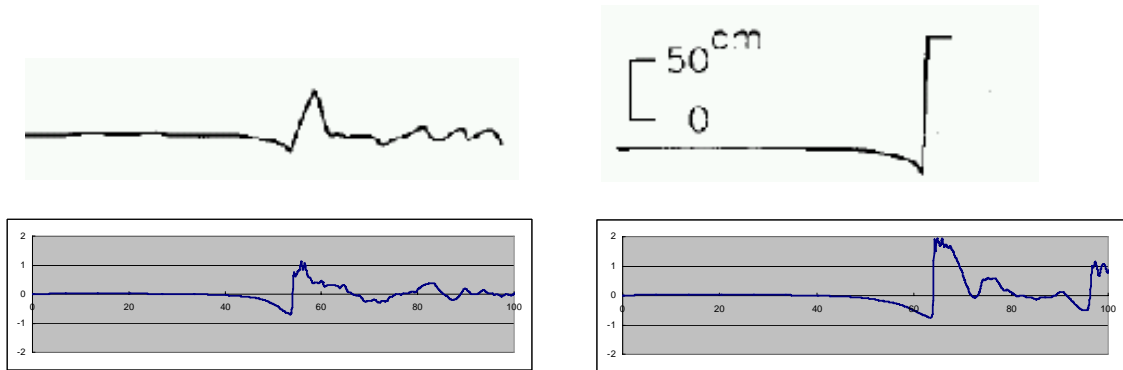


Figura 8-79 Comparación del registro de medición de marea observada (arriba) y forma de ola simulada (abajo) para 100 minutos. (Izquierda Corinto, derecha Puerto Sandino)

2)-2 Inundación a lo largo de la costa

El Cuadro 8-28 muestra datos de recorrido del reconocimiento en el campo por Abe et al. (1993) dentro del área de cuadrícula de 100 m en las áreas de estudio. En algunos casos hay varios valores observados dentro de la misma cuadrícula. En estos casos, la altura de recorrido observada se promedió para la cuadrícula. Debe tenerse en cuenta que la confiabilidad de los datos de recorrido observados son diferentes de un punto a otro.

**Cuadro 8-28 Recorrido observado durante el Tsunami de Nicaragua de 1992**

Área	Punto (página en el informe)	Altura de Tsunami sobre el nivel del mar promedio (m)	Cuadrícula (I, J)		Situación
			Punto	Mar más cercano	
Corinto	Corinto-C (p.43)	2.7	113,278	113,277	Profundidad de inundación 0,3m
	Corinto-B (p.43)	3.9	105,285	104,285	Inundación sobre el dique
	Corinto-A (p.43)	3.5	103,292	102,292	Inundación sobre la duna Profundidad de inundación de 0,7m
Puerto Sandino	Salinas Grandes (p.44)	4.5 – 4.9	130,343	130,342	Agua llegó a la línea de fachadas
		3.3	131,344	130,342	
	Puerto Sandino (p.45)	3.5	232,276	231,276	Profundidad de inundación de dársena 0,6 m
		3.7	232,279	231,279	Plantas muertas en agua de mar
	Miramar (p.47)	5.2 – 5.9	234,246	233,246	Alturas
	El Velero (p.48)	5.0 – 5.4	250,215	249,214	Parque
	Playa Hermosa (p.48)	3.6	254,202	253,201	Trazo de inundación
	El Transito (p.49)	6.4	293,120	292,119	Pueblo en duna, la mayor área de desastre
		7.5	295,118	294,117	
		9.9	296,116	296,115	
6.4		297,115	296,115		
Masachapa	Julio (p.53)	7.6	47,368	47,367	Profundidad de inundación 5,13 m
	Montelimar (p.53)	4.5	60,350	59,350	Trazo en edificios
	Masachapa (p.53)	4.9 – 6.2	65,330	63,330	Trazo en edificios y árboles
		3.4 – 4.4	65,329	63,329	Trazo en camino, arena o pendiente y árboles
		4.1	64,328	63,328	Trazo en edificios
	Pochomil (p.56)	3.3	65,328	63,328	Trazo en edificios
		4.5 – 6.0	78,310	77,309	Trazo en edificios
	La Boquita (p.57)	2.5	209,212	208,212	Trazo en edificios
		2.7 – 5.8	209,210	208,210	Trazo en edificios
	Casares (P.58)	6.8	249,160	249,159	Trazo en edificios
4.7 – 5.5		245,163	244,162	Trazo en edificios y árboles	
Huehuetete (p.60)	5.4	271,144	270,144	Profundidad de inundación 1,1 m	
San Juan del Sur	Marsella (p.62)	8.1	66,167	66,166	Duna a lo largo de la costa en frente de la bahía
		5.0	69,162	68,162	
	San Juan del Sur (p.64)	4.0 – 4.8	100,125	100,126	Área de puerto, profundidad de inundación de 0,6 – 1,5 m
		3.6	102,130	101,130	Profundidad de inundación de unos 2 m
		2.9	103,130	101,130	Profundidad de inundación de 0,7 m
		2.0	105,131	101,130	Límite de recorrido
	Playa El Coco (p.67)	2.7	179,24	178,24	Trazo de inundación

Los registros observados se comparan con los resultados de la simulación y se trazan como se muestra en la Figura 8-80. En el gráfico, la distancia en el eje horizontal se mide hacia el sur del extremo norte de la costa nicaragüense (Península Cosiguina). Los valores calculados para el modelo S8 se distribuyen en el medio de los valores observados y la forma general de la distribución corresponde también a los datos observados.

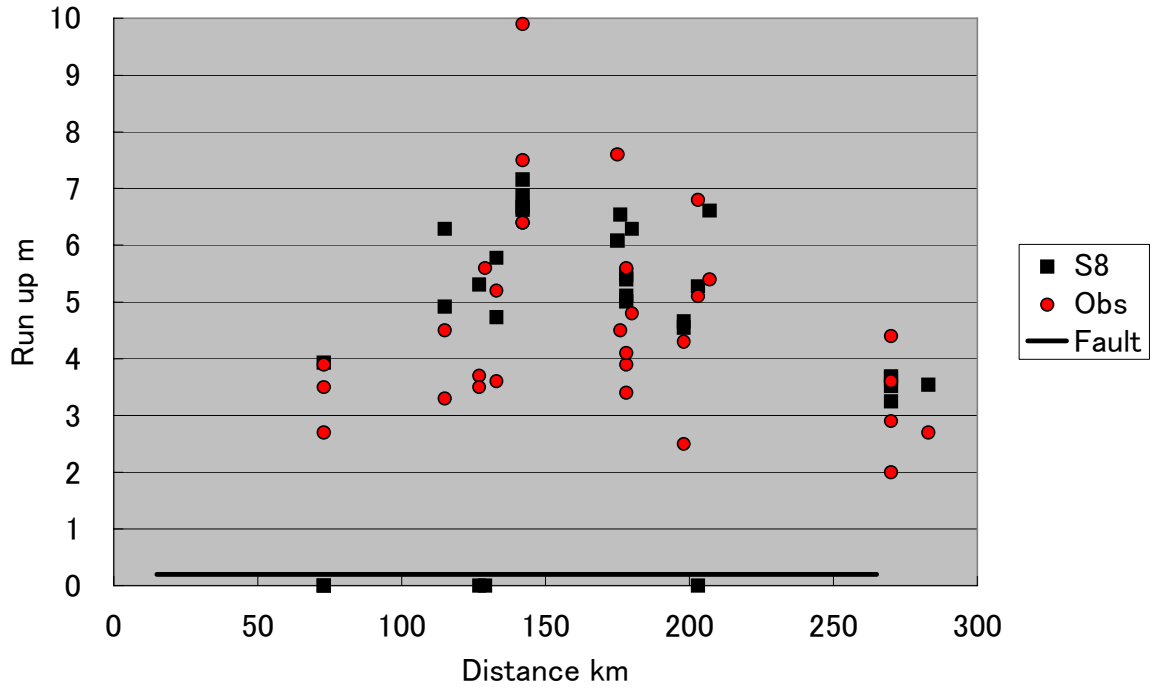


Figure 8-80 Comparación de Datos observados y resultado de la simulación

Cuadro 8-29 Máxima inundación de los modelos probados

Area	Name	Data Quality	Distance (km)	Observed inundation (m)	Model S7	Model S8	Model S9
Corinto	Corinto_A	A	73	3.5	0.0	3.9	4.2
	Corinto_B	B	73	3.9	0.0	0.0	0.0
	Corinto_C	A	73	2.7	0.0	0.0	0.0
Puerto Sandino	Salinas Grandes_ACD	A	115	4.5	5.3	6.3	7.0
	Salinas Grandes_B	A	115	3.3	4.3	4.9	5.4
	Puerto Sandino_A	B	127	3.7	0.0	0.0	0.0
	Puerto Sandino_B	C	127	3.5	4.6	5.3	5.8
	Miramar_ABC	A	129	5.6	0.0	0.0	0.0
	El Velero_AB	A	133	5.2	5.0	5.8	6.4
	Playa Hermosa	C	133	3.6	4.2	4.7	5.5
	El Transito_A	A	142	6.4	5.8	6.9	8.1
	El Transito_B	A	142	7.5	6.1	7.2	8.3
	El Transito_C	A	142	9.9	5.7	6.7	7.7
	El Transito_D	B	142	6.4	5.8	6.6	7.5
Masachapa	Julio	A	175	7.6	5.3	6.1	6.7
	Montelimar	A	176	4.5	5.8	6.5	7.1
	Masachapa_ABC	CBB	178	5.6	5.0	5.5	6.0
	Masachapa_DEF	ABA	178	3.9	4.8	5.4	5.9
	Masachapa_G	A	178	4.1	4.6	5.1	5.5
	Masachapa_H	A	178	3.4	4.4	5.0	5.6
	Pochomil_AHD	B	180	4.8	5.5	6.3	7.0
	La Boquita_AB	A	198	4.3	4.1	4.6	5.1
	La Boquita_F	B	198	2.5	4.1	4.7	5.1
	Casares BD1D2	AB	203	5.1	0.0	0.0	5.5
	Casares_I	A	203	6.8	4.5	5.3	6.0
	Huehuate	A	207	5.4	5.7	6.6	7.2
San Juan del Sur	SJS_AF	A	270	4.4	0.0	3.7	4.2
	SJS_J	A	270	3.6	3.2	3.7	4.1
	SJS_K	A	270	2.9	3.0	3.5	4.0
	SJS_L	A	270	2	2.8	3.3	3.8
	Playa_El_Coco	A	283	2.7	3.0	3.5	4.0

## 2)-3 Evaluación estadística

Aida (1977) propuso dos índices, promedio geométrico y desviación estándar geométrica para evaluar estadísticamente el resultado de la simulación. En consecuencia, el resultado simulado se evaluó utilizando estos índices.

- El promedio geométrico K se define como

$$\log K = 1/N * \sum (\log Ki)$$

donde N: número de datos

$$Ki = Ri / Hi$$

Ri: Recorrido observado en el punto i

Hi: Recorrido calculado en el punto i

Recuerde que la gama deseada del valor de K es  $0,95 < K < 1,05$ .

- La desviación estándar geométrica K es definida como

$$\log \kappa = \text{Raíz Cuad.} (1/n * \sum ((\log Ki)^2) - n * (\log K)^2)$$

donde N: número de datos

$$Ki = Ri / Hi$$

Ri: Recorrido observado en el punto i

Hi: Recorrido calculado en el punto i

Recuerde que la gama deseada del valor de K es  $K < 1,45$ .



Aunque el número total de datos disponibles para este estudio fue bastante limitado para una evaluación estadística, los resultados están en una gama razonable como aparece en el Cuadro 8-30.

Cuadro 8-30 Resultados de la evaluación estadística

Modelo	S7	S8	S9	Valor deseable
Desplazamiento	8m	10m	12m	--
Número de datos	24	26	27	--
K (promedio geométrico)	0.97	0.86	0.77	$0.95 < K < 1.05$
K (Desviación estándar geométrica)	1.28	1.27	1.26	$\kappa < 1.45$

### (3) Simulación para el “peor caso”

#### 1) Definición del escenario de “peor caso”

El registro histórico de desastres por Tsunami en Nicaragua está limitado casi siempre a los últimos 150 años cuando el área costal empezó a poblarse. De esos desastres, el Tsunami de Nicaragua de 1992 fue el peor hasta ahora. Aquí, el peor caso para cada área se estudió utilizando un modelo con las mismas dimensiones de falla como la observada para el Tsunami de Nicaragua en 1992.

En general, las áreas cerca del centro de la longitud de la falla pueden esperar una inundación más grande. Por esta razón, la meta fue la de ubicar la falla para que el centro de la longitud de la falla fuera más cercano al centro de cada área de estudio.

#### 2) Definición de la ubicación de la falla

La ubicación de la falla de extremo norte y de extremo sur tiene algunas limitaciones debido a la siguiente observación.

La observación sismológica en INETER indica que las actividades sísmicas cambian el norte y sur de la costa del Pacífico de Nicaragua. Geomar (2004) propuso que el extremo norte del segmento de falla está ubicado frente al golfo Fonseca. Por lo tanto la limitación norte del lugar de la posible falla se definió como en el medio del golfo Fonseca.

Para el extremo sur, Geomar (2004) propone que el extremo sur del segmento de falla está ubicado fuera de la península Nicoya en Costa Rica. Adicionalmente, la parte profunda (más de 4.000 m de profundidad) de la trinchera se encorva hacia la costa norte de la Península de Nicoya, de tal manera que la prolongación del segmento de la parte sur se halla limitada por la curva de la trinchera en la Península de Nicoya.

Como resultado, la posible gama de lugares para la falla para el “peor caso” aparece en la Figura 8-81 y en el Cuadro 8-31 se presenta la ubicación de las posibles fallas del “peor caso” para cada área. Para Corinto y el Puerto Sandino, la falla del posible “peor caso” puede no estar ubicado al frente de cada área, debido al límite del extremo norte del segmento. Para Masachapa es posible ubicar la falla frente al área. Para San Juan del Sur, no fue posible ubicar la falla delante del área debido a la limitación de extremo sur de la ubicación de segmento.

**Cuadro 8-31 Ubicación del peor caso para cada área de estudio**

Área	Long.	Lat.	Distancia
Corinto	-86.8073	10.2880	11km-261km
Puerto Sandino	-86.8073	10.2880	11km-261km
Masachapa	-86.5878	10.0748	53km-303km
San Juan del Sur	-86.3732	9.8681	93km-343km

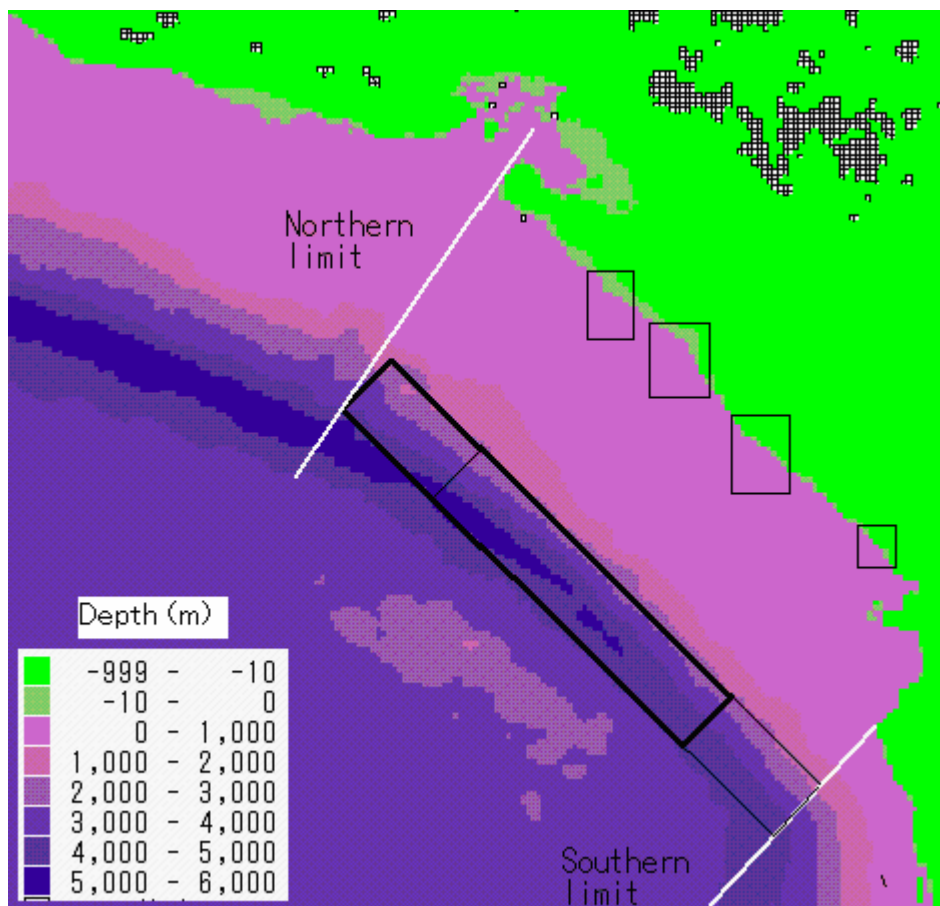


Figura 8-81 Gama de ubicación de falla para el posible "peor caso"

### 3) Resultado de la simulación

El Cuadro 8-32 muestra una comparación de las inundaciones máximas a lo largo de la costa por la reproducción del Tsunami de 1992 y por el posible "peor caso" de cada área. Excepto para el área de San Juan del Sur, la diferencia entre dos calculaciones es de sólo 0,1 m si hubiera alguno. Una comparación adicional por mapeo mostró también que no hay prácticamente diferencias entre los dos cálculos excepto para San Juan del Sur. Esto se debe a que la longitud de falla de 250 km es tan larga que una pequeña diferencia en el lugar no afecta el recorrido resultante a lo largo de la costa excepto para San Juan del Sur que está ubicado al extremo sur de la falla. Como resultado, el Tsunami de Nicaragua de 1992 puede considerarse el peor caso para la costa nicaragüense excepto para el área de San Juan del Sur.

Cuadro 8-32 Máxima inundación por el Tsunami de 1992 y para el “peor caso”

Area	Name	Distance (km)	Maximum inundation (m)		
			The 1992 Tsunami		Worst case
			Observed	Simulated	
Corinto	Corinto_A	73	3.5	3.9	3.9
	Corinto_B	73	3.9	0.0	0.0
	Corinto_C	73	2.7	0.0	0.0
Puerto Sandino	Salinas_Grandes_ACD	115	4.5	6.3	6.2
	Salinas_Grandes_B	115	3.3	4.9	4.9
	Puerto_Sandino_A	127	3.7	0.0	0.0
	Puerto_Sandino_B	127	3.5	5.3	5.3
	Miramar_ABC	129	5.6	0.0	0.0
	El_Velero_AB	133	5.2	5.8	5.8
	Playa_Hermosa	133	3.6	4.7	4.7
	El_Transito_A	142	6.4	6.9	6.8
	El_Transito_B	142	7.5	7.2	7.1
	El_Transito_C	142	9.9	6.7	6.7
	El_Transito_D	142	6.4	6.6	6.6
Masachapa	Julio	175	7.6	6.1	6.2
	Montelimar	176	4.5	6.5	6.6
	Masachapa_ABC	178	5.6	5.5	5.5
	Masachapa_DEF	178	3.9	5.4	5.4
	Masachapa_G	178	4.1	5.1	5.1
	Masachapa_H	178	3.4	5.0	5.1
	Pochomil_AHD	180	4.8	6.3	6.3
	La_Boquita_AB	198	4.3	4.6	4.5
	La_Boquita_F	198	2.5	4.7	4.6
	Casares_BD1D2	203	5.1	0.0	0.0
	Casares_I	203	6.8	5.3	5.3
	Huehuate	207	5.4	6.6	6.6
San Juan del Sur	SJS_AF	270	4.4	3.7	6.2
	SJS_J	270	3.6	3.7	6.2
	SJS_K	270	2.9	3.5	6.2
	SJS_L	270	2	3.3	6.5
	Playa_El_Coco	283	2.7	3.5	6.2

## Bibliografía

- Abe, K., Abe, K., Tsuji Y., Imamura F., Katao, H., Iio Y., Satake, K., Bourgeois, J., Noguera, E., and Estrada, F., 1993, Field Survey of the Nicaragua Earthquake and Tsunami of September 2, 1992, Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 68, 23-70, in Japanese with English abstract
- Aida I., 1977, Simulaciones de Grandes Tsunamis que Ocurrieron en el Pasado fuera de la Costa del Distrito Sanriku, Boletín del Instituto de Investigaciones de terremotos, Universidad de Tokio, 52, 71-101 en japonés con un abstracto en inglés.
- Fernandez, M., Molina, E., Havskov, J., and Atakan, K., 2000, Tsunami and Tsunami Hazards in Central America, Natural Hazards, 22, 91-116.
- Geomar, 2004, Volátiles y Fluidos en Zonas de Subducción: Realimentación de Clima y Mecanismo de Accionamiento de Desastres Naturales, Informe fase 1.
- Ihmle, P., 19967 Reubicación de acuerdo con la frecuencia del terremoto lento de Nicaragua 1992: un método de función de Green, Geofís. J. Int. 127-73-85
- Imamura, F., 1992, Recent Topics and Studies on Tsunamis – Cases of the 1992 Nicaragua and Indonesia Tsunamis, B-6, 1-16. in Japanese
- Imamura, F., Shuto, N., 1993, Estimate of the Tsunami Source of the 1992 Nicaraguan Earthquake from Tsunami Data, Geophysical Research Letters, 20, 14, 1515-1518
- INETER, 2001, Amenazas Naturales de Nicaragua, Fondo para la Prevencion de Desastres CEPREDENAC/TAIWAN
- Murphy, T., Baptista, A., and Priest, G., Post-Tsunami Survey (Nov. 2-7, 1992) of Run-up and Inundation in the Coast of Nicaragua, Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO National Geophysical Data Center (NGDC), [www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd\\_designagrid.html](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html)
- Satake, K., Bourgeois, K., Abe, K., Abe, K., Tsuji Y., Imamura, F., Iio Y., Katao, H., Noguera E., and Estrada F., 1993, Tsunami Field Survey of the 1992 Nicaragua Earthquake, EOS, Transactions, American Geophysical Union, 74, 13, 145 and 156-157.
- Satake, K., 1995, “Computaciones Lineales y No lineales del Tsunami y Terremoto de Nicaragua de 1992, PÁGINAH, Vol. 144 Nos. 3/4, páginas 455-470.
- UNESCO, 1997, IUGG/IOC Time Project, IOC Manuals and Guides No. 35.

## 9 RECOMENDACIONES

---

### 9-1 Recomendaciones para INETER

---

#### 9-1-1 Usos de la información topográfica y geográfica básica

##### *Mantenimiento de la base de datos geográficos con la misma especificación*

La base de datos topográficos de 1/50.000 elaborados por el estudio tiene el esferoide WGS84 como referencia. Por lo tanto, todos los nuevos datos geográficos que se produzcan en el futuro deben utilizar la misma referencia para facilitar su superposición con mayor exactitud. En este sentido, los viejos mapas topográficos de 1:50,000 preparados durante los años 60, que tienen el esferoide NAD27 como referencia, se deben convertir al esferoide WGS84 para asegurar compatibilidad.

##### *Ampliación de los datos básicos geográficos a otras partes del país*

Como el estudio cubre solamente la Zona del Pacífico de Nicaragua, en un área de menos del 40% del territorio nicaragüense, es necesario continuar estos estudios para producir los datos geográficos para el resto del país. Esto permitirá a las instituciones nicaragüenses el realizar análisis de SIG para mayores áreas del país o, incluso, para el territorio entero..

##### *Instalación de puntos de referencia geodésica (BM)*

No existen en Nicaragua puntos de referencia geodésica y es necesario instalarlos. Los puntos de referencia geodésica son cruciales para observar los cambios de altura. Cuando no están disponibles, las alturas del modelo geoide derivado de la observación del GPS pueden ser suficientes para estudios topográficos. Sin embargo, para la observación de la actividad sísmica, los puntos de referencia geodésica son imprescindibles y es necesario prepararlos.

##### (1) Actualización de claves de interpretación

Actualización de las claves de interpretación para garantizar un reconocimiento de campo consistente entre todos los topógrafos. Durante el proyecto se prepararon unas cuarenta y dos claves que necesitan refinarse y estandarizarse para su uso futuro.

##### *Preparación del diccionario geográfico*

Se debe elaborar un diccionario geográfico basado en las anotaciones de la base de datos preparada con los datos recogidos durante el proyecto.. Se debe tener en cuenta que, durante el reconocimiento de campo, todos los datos de anotación fueron extraídos de mapas topográficos existentes. Los resultados de ese trabajo se deben organizar sistemáticamente para su uso en el futuro.

##### *Desarrollo de productos y servicios nuevos y de sus estrategias de la comercialización*

Con la introducción de la tecnología SIG en este proyecto y la utilización de un nuevo software como Adobe Illustrator, que se utilizaba por primera vez en INETER, es comparativamente fácil ahora corregir los mapas y producir formatos fáciles de distribuir tales como los formatos gráficos eps, bitmap, GIF, y jpg. Por lo tanto, además de producir los mapas de papel, INETER puede ahora proporcionar mapas digitales que pueden ser muy útiles y tener aplicaciones y usos numerosos por parte de instituciones nicaragüenses en los sectores públicos y privados. Nuevos mecanismos de distribución, administración, y comercialización deben desarrollarse para hacer los mapas digitales fácilmente accesibles a la sociedad.

##### *Desarrollo de programas de capacitación sobre la preparación de mapas digitales*

La división de Geodesa tiene manuales que el Equipo de Estudio encontró contenían

información desactualizada. Considerand la nueva tecnología incorporada, INETER debe desarrollar una nueva versión del programa de capacitación que incluya tecnologías digitales.

#### *Asignación de recursos humanos*

Hasta que el conocimiento y las habilidades adquiridas durante el proyecto se conviertan en parte integral de la organización, debe evitarse, en lo posible, el traslado del personal entrenado por el proyecto. Este personal debe documentar en español las habilidades y tecnologías adquiridas de modo que el nuevo personal pueda aprender dichas habilidades.

#### *Conocimiento compartido entre el personal*

Las habilidades y el conocimiento deberán der compartidos en el departamento en la mayor medida posible. Personal con habilidades y tecnología especiales deberían recibir compensaciones o premios por su contribución a la difusión de la tecnología o por su liderazgo.

### **9-1-2 Mapeo de amenaza**

Las recomendaciones que se presentan son basadas en cuestionarios llenados por los expertos Japoneses que estuvieron a cargo de la producción de los mapas de amenaza producidos por el proyecto. Se consideran cuatro tipos de amenaza: 1) Amenaza Sísmica, 2) Amenaza volcánica, 3) Amenaza de inundación y 4) Amenaza de tsunami.

#### (1) Amenaza de terremoto

##### *Recomendaciones a nivel institucional*

Las actividades realizadas en colaboración con el personal de INETER demostraron que este personal entiende bien el procedimiento de cálculo y que, teóricamente, es capaz de hacer estudios similares para otras ciudades en Nicaragua. Sin embargo, el problema principal y más difícil a enfrentar es la carencia de la información básica requerida para la determinación de los parámetros usados en la simulación. En este contexto, se pueden recomendar las siguientes acciones y contramedidas:

- Adquisición de mejores datos de la ubicación de terremotos mejorando/aumentando el control de la ubicación de los terremotos en rangos que van desde la superficie hasta profundidades focales profundas. Esto debe ser alcanzado por medio de un desarrollo de la red de observación sismológica que incluya la instalación de sismómetros de alta sensibilidad especialmente en la zona del Caribe.
- Instalación de un número mayor de estaciones de observación continua (24 horas/día) en el sistema de observación de movimientos fuertes. También se recomienda un formato de procesamiento estándar para los movimientos registrados y la publicación periódica de los resultados del análisis.
- Recolección de datos confiables para toda el área del territorio sobre las características de terremotos desastrosos del pasado y de sus consecuencias en términos de daños y pérdidas observadas en tipos particulares de objetos existentes tales como llanuras, laderas, casas, edificios e instalaciones industriales. Los datos deben ser analizados cuantitativamente para fórmular relaciones empíricas para pronosticar daños y pérdidas futuras.
- Recolección de datos geofísicos y geotécnicos para las capas superficiales del suelo y el basamento rocoso ingenieril. Entre las instituciones nacionales con personal con experiencia en ingeniería geotécnica, se debería distribuir un número adecuado de perforadoras, tomadoras de muestras inalteradas y máquinas de ensayo para cumplir este propósito.
- Establecimiento de un programa nacional para generar la información básica necesaria para realizar simulaciones similares a las hechas en este estudio para otras partes de Nicaragua.
- Cuidadosa extensión de estos estudios al resto del país. Como el nivel de la

información disponible para otras áreas fuera de Managua es menor que el que está disponible para el capital nicaragüense, debe tenerse gran cuidado con la aplicación en otras áreas del país del método utilizado en este proyecto. La calidad y cantidad de los datos existentes se deben analizar cuidadosamente para entender las limitaciones y la aplicabilidad del proceso de la simulación.

- Mejor distribución de los recursos de capacitación. Los niveles de educación, conocimiento y capacidad del personal son desiguales dentro de INETER. Esto es cierto incluso dentro de las secciones del instituto. En el caso del Departamento de Geofísica, los miembros de la Sección de Sismología están bastante mejor preparados que los miembros de otras secciones. Generalmente y especialmente después del huracán Mitch, el Departamento de Geofísica ha recibido muchos proyectos y contribuciones por ayuda del extranjero porque este departamento se ocupa de las amenazas naturales más comunes en Nicaragua, como terremotos, derrumbamientos, y erupciones volcánicas. Como resultado de esta interacción activa con proyectos internacionales, el Departamento de Geofísica ha podido incorporar cantidades importantes de nueva tecnología, equipos y software. Sin embargo, estas tecnologías se limitan a los individuos que eran responsables (como contrapartes) de estos proyectos extranjeros. Para continuar y mejorar la capacidad del Departamento para proporcionar los servicios se espera que proporcionen, un esquema educacional interno que difunda el conocimiento y que esté al alcance a todas las personas.

#### *Recomendaciones para mejorar el Mapa de Amenaza de Terremoto para Managua*

La calidad y cantidad de los datos actualmente disponibles no puede, básicamente, cumplir con las necesidades de la evaluación de amenaza de terremoto en el nivel de un sistema de cuadrícula de 500 m en la ciudad de Managua. Podría haber la misma situación o aun peor para otras áreas del país. Por lo tanto, un programa adicional para generar información básica necesaria deberá ser diseñado e implementado inmediatamente para poder realizar mapas de amenaza de terremoto para otras áreas de Nicaragua.

- Preparación de una base de datos de las características de las respuestas de sitio derivadas de registros de movimientos fuertes obtenidos en el pasado.
- Preparación de una base de datos confiable de las intensidades sísmicas observadas en sismos catastróficos históricos.
- Integración y análisis de los registros digitales de micro-vibraciones existentes para investigar las características de la respuesta de sitio en Managua.
- Recolección y evaluación de todos los estudios geológicos de campo hechos en fallas activas.
- Recolección de los datos geológicos y geofísicos relacionados con el perfil geológico, la clasificación y las propiedades físicas y dinámicas de las capas de suelo bajo la superficie y del basamento rocoso ingenieril.

#### (2) Amenaza volcánica

El mapeo de amenaza volcánica en Nicaragua, realizado principalmente por INETER, hace frente a distintos desafíos en las diversas etapas del proceso. Algunos de esos desafíos y recomendaciones acerca de cómo superarlas se presentan a continuación.

#### *Interpretación de la fotografía aérea*

El personal vulcanológico de INETER ha tenido muy pocas oportunidades de trabajar con fotografías aéreas y, consecuentemente, saben muy poco sobre las técnicas de interpretación. Aún cuando tienen cierto conocimiento, el nivel técnico es considerablemente bajo. Esta situación podría cambiar si la utilidad de la fotografía aérea fuese reconocida y esta información muy valiosa fuese adoptada con frecuencia en los estudios. Sin embargo, actualmente hay sólo unos 6 estereoscopios en total en INETER, a pesar de estos instrumentos sean necesarios para la interpretación de la fotografía aérea. Aparte de indicar que estos estereoscopios no están bien calibrados, se recomienda la



adquisición de instrumentos nuevos.

#### *Procedimientos para mapeo de amenaza*

Hasta ahora, no han habido suficientes discusiones sobre la idea básica y la lógica de mapeo de amenaza volcánica en la Dirección General de Geofísica de INETER. En consecuencia, las contrapartes y otros investigadores de la Sección piensan, equivocadamente, que este trabajo se puede completar en la computadora únicamente, usando simplemente algunos programas relacionados. Es necesario ir más allá en las discusiones sobre los conceptos básicos y las filosofías de mapeo de amenaza necesario para elaborar mapas que reflejen las realidades locales. Para que estas discusiones sean posibles, es imprescindible continuar con los programas de capacitación en INETER.

#### *Investigación geológica sobre volcanes*

La interacción con el personal de INETER mostró que, mientras que tienen el conocimiento básico adquirido en la universidad sobre este aspecto, ellos carecen de los conocimientos y experiencia necesarios para realizar investigación de campo en áreas volcánicas. Es especialmente notoria la distancia que existe entre el conocimiento que tienen de estructuras volcánicas y su capacidad de identificarlas en el campo. Hay también una clara falta del conocimiento básico en procesos volcánicos y la geología volcánica. Para solucionar este problema, es necesario que se desarrollen programas de capacitación sistemáticos con énfasis en los aspectos prácticos de la geología volcánica.

#### *Recursos humanos*

La primera prioridad debe ser la de desarrollar recursos humanos con la capacidad de ejecutar investigaciones de campo en los volcanes nicaragüenses, puesto que es un país de un volcanismo muy activo. Para ese propósito, un volcanólogo experimentado tendrá que entrenar al personal de INETER en la teoría y la práctica de volcanes.

#### *Recolección y organización de datos básicos*

Programas sistemáticos para la adquisición de datos, validación, síntesis y análisis deben ejecutarse. Un especialista con conocimientos profundos de las técnicas SIG y la geología volcánica debe dirigir a los investigadores de geofísica en la generación y manejo apropiados de datos. Además, INETER no tiene suficientes libros básicos en la geología volcánica y tiene dificultad en suscribir a las revistas académicas internacionales, lo que limita las oportunidades de su personal de aumentar su conocimiento.

#### *Mejoramiento a corto plazo de la capacidad*

A corto plazo, la sección de Vulcanología podía consolidar su capacidad técnica enfocando los siguientes aspectos:

- Adquisición de los conocimientos básicos de la geología volcánica incluyendo programas regulares de práctica de campo
- Definición de las filosofías básicas de mapeo de amenaza volcánica para desarrollar un marco lógico para la representación de los resultados de los cálculos.
- Aumento de la coordinación con la sección de observación sísmica para el beneficio de la interacción entre ellas.
- Identificación y análisis apropiados de la sismicidad volcánica.
- Implementación de programas regulares de capacitación regular y educación para elevar la capacidad técnica del personal.

#### (3) Amenaza de la inundación

##### *Desarrollo de recursos humanos*

Para continuar el proceso de aprendizaje de mapeo de amenaza de inundación iniciado por este proyecto, se recomienda realizar inmediatamente las siguientes actividades:

- Traducir al Español y completar el manual de instrucciones que se preparó y distribuyó durante las sesiones de la capacitación sobre mapeo de amenaza de

inundación. Ésta debe ser la base para el desarrollo de su propio manual.

- Aplicar a otro río la metodología utilizada y enseñada en este proyecto. El personal de INETER debe familiarizarse con cada paso del procedimiento y preparar los manuales y las pautas de apoyo necesarios.
- El personal de la Sección de Recursos Hidrológicos debe dominar el análisis hidráulico, especialmente el análisis bidimensional de flujo inestable.
- Se deben hacer todos los esfuerzos necesarios para aumentar la programación de FORTRAN y la capacidad de simulación numérica del personal de modo que puedan preparar programas de computadora que satisfagan sus necesidades específicas y reduzcan la dependencia de programas pre-preparados, los cuales pueden ser innecesariamente complejos y son generalmente costosos.

#### *Acumulación de datos*

Acumulación de datos hidrológicos y establecimiento de una base de datos completa, bien organizada. El problema principal de Nicaragua es la carencia de información básica. Se deben hacer todos los esfuerzos necesarios para generar, recoger, validar, y organizar nuevos datos de una manera sistemática.

#### *Catálogo de la inundación*

Se debe establecer un “catálogo de la inundación” para recoger y organizar la información valiosa de desastres pasados.

#### *Desarrollo de un plan maestro*

Un plan maestro debe desarrollarse con la meta a largo plazo de preparar mapas de amenaza para todos los ríos en Nicaragua. El plan maestro debe definir prioridades, fuentes de financiamiento, y un cronograma que refleje en forma realista los recursos y las capacidades locales.

#### *Equipo de trabajo*

Establecimiento, capacitación, y desarrollo de un “equipo de trabajo” especializado en la estimación y mapeo de la amenaza de inundación.

#### *Desarrollo de la estrategia*

Desarrollo de una estrategia que permita la puesta en práctica del plan maestro para mapeo de amenaza de todos los ríos en Nicaragua. Esta estrategia debe incluir la colaboración activa con otras instituciones, autoridades locales, y las comunidades.

#### *Programa de investigación*

Se debe establecer un programa de investigación de las características particulares de la amenaza de inundación en Nicaragua. Los resultados de estas investigaciones permitirían una adaptación de las metodologías para los requisitos particulares de los mapas de amenaza de Nicaragua que refleje mejor las condiciones y las necesidades locales. Esta adaptación para podría incluir, entre otras cosas, las definiciones de métodos convenientes de análisis hidrológico, los tamaños de malla adecuados para el análisis, los programas de simulaciones, criterios necesarios para la selección de parámetros, contenido de estudios y de mapas, usuarios y usos.

#### *Mejora de los procedimientos del pronóstico de inundación*

Los procedimientos del pronóstico de inundación se deben mejorar y combinar con las metodologías de mapeo de amenaza para poder prevenir desastres de inundación de una manera más eficaz.

#### (4) Amenaza de tsunami

##### *Colaboración entre el Departamento de Geofísica y el Departamento de Hidrología*

Para la mejora futura del mapa de amenaza de tsunami, una colaboración más cercana entre los Departamentos de Geofísica y Recursos Hidrológicos es imprescindible.

#### *Nueva clasificación de datos para una simulación mejor*

Nuevos y mejores datos son necesarios, especialmente datos de batimetría en el área cercana a la costa, que es un factor clave para mejorar los modelos usados en la simulación. Para generar la información apropiada, es necesario una buena comprensión de la metodología de la simulación en ambos departamentos mencionados.

#### *Mejora del modelo topográfico*

En este Estudio, los mejores datos topográficos disponibles a la fecha se utilizan para desarrollar el modelo topográfico. Sin embargo, se encontró que la densidad de datos todavía es limitada, especialmente cerca de la costa donde se requieren datos con suficiente densidad de distribución para desarrollar una cuadrícula con tamaño de 100 m. Se recomienda muy especialmente realizar un estudio batimétrico en un futuro próximo, por lo menos en las áreas donde se concentra la población a lo largo de la costa. Para esto es necesaria una buena colaboración entre el Departamento Geofísico y el Departamento de Recursos Hidrológicos.

#### *Estudios de campo*

El obtener datos básicos de simulación confiables de un estudio de desastres es muy importante. El estudio de campo para el tsunami de 1992, por ejemplo, fue hecho principalmente por investigadores extranjeros. Sin embargo, tales estudios deben ser hechos por nicaragüenses cuando vuelva a ocurrir un fenómeno similar. Para esto, debe hacerse la capacitación de estudio en el campo. Además, se recomienda documentar las memorias del desastre que guardan los residentes para diseminarlas entre los residentes locales con propósito educativos y para recoger nuevos datos científicos.

#### *Uso para la prevención del desastre*

Como INETER es un instituto de investigación científica, su interés en el mapa de la amenaza se limita a realizar simulaciones. El propósito de desarrollar mapas de la amenaza se debe discutir dentro de INETER y con institutos relacionados. El departamento de ordenamiento territorial en INETER y SINAPRED pueden ser elementos importantes para el planeamiento de la utilización del suelo. Además, la cooperación con institutos relacionados tales como INTUR, EPN, MTI, MARENA, y MIFIC etc. son importantes. Se recomienda formar un grupo de trabajo que incluya estos institutos para incorporar medidas preventivas en las principales actividades de cada sector.

#### *Capacitación a otro personal*

Actualmente, no hay personal asignado específicamente al estudio de tsunami y el número de personal entrenado por el proyecto fue limitado por falta de tiempo. Se espera que el contenido proporcionado en la capacitación sea transferido al resto del personal dentro de INETER para promover un entendimiento básico de los tsunamis.

#### *Aprendiendo de experiencias internacionales*

Como un tsunami grande es un fenómeno raro, experiencias en otros países y el acceso a los avances en el estudio de tsunami a nivel internacional proporcionan buenas oportunidades para su mejor entendimiento. Para esto, se recomienda asociarse a la sociedad internacional de Tsunami ([www.sthjournal.org](http://www.sthjournal.org)), o estudiar experiencias en otros países, tales como Japón, EE.UU., Hawái, Chile, Indonesia etc.

### **9-1-3 Usos y desarrollo de la tecnología de SIG**

#### *Uso compartido de datos básicos geográficos*

Como la preparación de datos básicos geográficos requiere la inversión de una cantidad significativa de recursos, el uso compartido de tales datos entre el mayor número posible de agencias aumentará perceptiblemente la eficiencia del trabajo y, por lo tanto, reducirá el costo de la inversión inicial. Por otra parte, la circulación de datos de mapa confiables como infraestructura social por el gobierno dará lugar a la promoción de la cooperación

de los sectores público y privado y animará el crecimiento de la inversión privada.

#### *Distribución de datos efectivos y ayuda a los usuarios*

Los datos básicos geográficos preparados por este estudio deberán diseminarse a través de los distintos canales factibles, tales como Internet, CD-ROM, DVD, y mapas impresos, para asegurar su uso extenso como instrumento para la toma de decisiones o como herramienta para el análisis de la información. Sin embargo, puesto que es imposible esperar que todos los usuarios tengan las capacidades necesarias para la administración de datos y la personalización de requisitos particulares de datos, deben diseñarse programas de ayuda apropiados para los usuarios y deben ponerse en ejecución.

#### *Abastecimiento de los datos para SINAPRED*

Los siguientes tipos de datos se proporcionarán a SINAPRED:

- información básica para las etapas antes/durante/y después del desastre,
- ayuda para las actividades de respuesta en caso de emergencia, y
- mapas adaptados a las necesidades y a las condiciones específicas de cualquier lugar dentro del país.

#### *Capacitación en el diseño estructural del sistema*

Un programa de capacitación en profundidad de SIG se debe poner en ejecución sobre el diseño apropiado de la estructura del sistema y su implementación sistemática. El sistema debe diseñarse con una visión institucional y estructurarse de una manera tal que todas las Divisiones de INETER se beneficien de su existencia. En un sentido más práctico, se deben preparar los manuales y la documentación adecuada sobre el diseño del sistema de modo que la expansión del mismo se realice metódicamente y todos los miembros del personal tengan maneras fáciles de entender su estructura. Se deben desarrollar procedimientos estandarizados para asegurar la integridad del diseño original del sistema cuando se agrega nueva información obtenida o generada.

#### *Promoción de la interacción entre las distintas secciones de INETER*

El programa de capacitación de SIG puesto en ejecución en este proyecto se podría utilizar como modelo para la puesta en práctica de programas a mayor escala que incluyan todas las Divisiones de INETER. La formación de clases para personal de todas las divisiones y la rotación de los lugares de la capacitación entre las distintas divisiones deberían promover la interacción entre las divisiones de INETER y facilitarían la formación de grupos de trabajo inter-divisionales y la exposición de la gente de una división dada al trabajo hecho por las otras divisiones. Además, este trabajo interdivisional reduciría ciertamente la gran variación de la capacidad de uso del SIG que existe entre las distintas divisiones de INETER y facilitaría el compartir las experiencias, conocimiento y técnicas de trabajo.

#### *Desarrollo de estrategias de comercialización y distribución para los productos de INETER*

Nuevas técnicas de comercialización se deben poner en ejecución para identificar a todos los usuarios actuales y potenciales de los productos de INETER así como también sus necesidades y preferencias. Eso ayudará a INETER a dedicar sus esfuerzos a la producción de productos que respondan a las demandas del mercado y que, por lo tanto, son de interés de los clientes y los beneficiarios del trabajo de INETER. Finalmente, se deben desarrollar métodos apropiados de promoción y distribución para asegurar un acceso sin problemas y fácil a los productos de INETER por los usuarios actuales y potenciales.

#### *Utilización apropiada de los paquetes SIG*

Debido a su visibilidad y claro valor, los sistemas SIG se han convertido en una herramienta popular para la ayuda internacional. Muchas computadoras y licencias de software y sistemas se han donado a instituciones nicaragienses. Sin embargo, donaciones de hardware y software no son suficientes y se deben hacer todos los

esfuerzos posibles para consolidar a las instituciones, proporcionar la capacitación adecuada, y crear las estructuras formales para el uso e intercambio eficientes de la información entre las instituciones. Esto asegurará la comprensión apropiada de la tecnología SIG y de sus usos y no permitirá que esta útil herramienta se utilice por debajo de su potencial real.

#### **9-1-4 SIG de Georriesgos**

El Sistema de Información (SIG) de Georriesgos desarrollado por la Dirección de Geofísica en cooperación con las demás Áreas del INETER y con muchas instituciones nacionales y extranjeras tiene un alto estándar técnico, es el SIG más avanzado de su temática en toda Centroamérica, y integra ya una gran cantidad de cobertura y bases de datos sobre amenazas, vulnerabilidad y riesgos en Nicaragua. EL SIG es accesible desde todas las computadoras del INETER por medio de la Red Lan y publica información por el INTERNET, por ejemplo con mapas interactivos. La forma interdisciplinario en que trabajan juntos los especialistas SIG, geocientíficos del INETER, informáticos es ejemplar y debe recibir apoyo continuo en el futuro. Se entiende que el SIG es la unidad entre Hardware/Software, Base de Datos y el personal que entiende y maneja los datos de forma eficiente. Notamos que el SIG ya fue utilizado en muchos proyectos (por ejemplo, en más de 90 proyectos ubicados en toda Nicaragua de un programa con INVUR) y diario vienen científicos, estudiantes y otras personas para pedir información y apoyo en el desarrollo de sus investigaciones o actividades. Es también notable el enfoque regional de este SIG, la cooperación activa con otros países de la región y los avances en la conexión entre SIG y redes de monitoreo y alerta temprana.

##### *Integración de datos de amenaza en el SIG*

Se recomienda integrar todos los resultados del proyecto realizado con JICA en el SIG de Georriesgos y aprovechar de esta herramienta para continuar con el desarrollo y actualización de las bases de datos y mapas creados junto con la cooperación japonesa. Publicar los mapas y coberturas en el servidor de mapas del SIG Georriesgos.

##### *Integración de cobertura geográfica en el SIG*

Se recomienda integrar toda la cobertura geográfica, sectorizada, fotos aéreas y DEM elaborados en el proyecto con JICA en el SIG de Georriesgos para poder usar esta información de forma rápida y eficiente en el desarrollo de nuevos mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y para aplicar el SIG en caso de emergencias.

##### *Integración de la base de datos de elementos bajo riesgo en el SIG*

Se recomienda integrar en el SIG de Georriesgos la base de datos de elementos bajo riesgo y publicar esta base de datos en un mapa interactivo en el sitio Web de INETER. De esta forma la base podría ser aprovechada por un amplio público, especialmente en situaciones de emergencia. Se debe actualizar continuamente esta base.

##### *Uso del SIG Georriesgos en todas las Áreas del INETER*

Se recomienda que todas las Áreas del INETER hagan uso – en forma rutinaria - de las bases de datos del SIG de Georriesgos aunque cada una de las Direcciones puede tener sus aplicaciones SIG propias. Se debe aprovechar de la capacidad y del avance existente en la Dirección General de Geofísica para capacitar profesionales de otras Áreas para el uso de Se recomienda especialmente una mayor cooperación entre las Direcciones de Geofísica y Geodesia/Cartografía para aprovechar de las experiencias y ventajas en ambas Áreas para desarrollar de forma concertada el SIG de Georriesgos y el emergente SIG de Mapas Básicos. Cada uno de los SIG's tendrá sus peculiaridades en los objetivos, maneras de trabajar, productos, pero también pueden tener bases, soluciones y prácticas comunes.

##### *Uso del SIG Georriesgos por SINAPRED y otras instituciones*

Se recomienda que SINAPRED y otras instituciones hagan mayor uso del SIG

Georiesgos y de todo el material acumulado sobre las amenazas, vulnerabilidades y riesgo porque esta base es muy valiosa, concentra gran cantidad de información existente de este tipo en Nicaragua y permite ahorrar fondos y tiempo en el desarrollo de programas de prevención de desastres.

## **9-2 Recomendaciones para otras instituciones y el sistema nacional**

---

### **9-2-1 Usos de los mapas de amenaza**

Se desarrolló y ejecutó un programa completo de actividades para recoger la información relevante y para promover las discusiones necesarias para producir recomendaciones sobre los usos de los mapas de amenaza preparados por el proyecto y sobre la Consolidación de la Prevención de Desastres en Nicaragua. Se prepararon cuestionarios para recoger la información necesaria. Las recomendaciones presentadas aquí son el resultado del análisis de más de 350 cuestionarios que fueron completados por representantes de más de 50 organizaciones de los sectores públicos, privados y sociedad civil de Nicaragua. Después de discutir los resultados entre sus miembros, el Equipo de Estudio decidió recomendar el uso de los mapas de amenaza en dos aspectos importantes: 1) Uso de los resultados para actividades de reducción del riesgo; y 2) Medidas de difusión de la información.

#### (1) Uso de los resultados para actividades de reducción del riesgo

##### *Incorporación de los datos de censo a los mapas de amenaza*

En primer lugar, se sugirió combinar esta información con los resultados del censo en curso para determinar a la población bajo riesgo. Esta información se puede utilizar para poner en práctica ejercicios de respuesta frente a la emergencia, diseñar sistemas de alerta temprana, y determinar áreas de evacuación seguras.

##### *Desarrollo de planes de administración de prevención de desastres*

Es crítico que se incorpore a la comunidad en las actividades de reducción de riesgo. Versiones simplificadas de estos mapas se pueden utilizar para educar y para elevar la conciencia de la comunidad y sus líderes sobre el riesgo existente. Estos resultados se deben utilizar en la preparación de planes de contingencia apropiados para las ciudades y las organizaciones y para la revisión de los planes existentes. Este trabajo lo pueden realizar los comités municipales de preparación de desastres. Trabajando con las comunidades, estos mapas se pueden utilizar para preparar mapas específicos para las ciudades, los pueblos o las comarcas para que ellos estén familiarizados con su propio riesgo.

##### *Desarrollo de planes regionales*

SINAPRED, las autoridades locales, y las organizaciones a cargo de la infraestructura deben coordinar la incorporación de estos resultados en los correspondientes instrumentos de reglamentación y legislación para el control de riesgo de desastre. La utilización del suelo y las reglamentaciones de planeamiento urbano se deben revisar utilizando la nueva información producida por el proyecto.

##### *Formulación de políticas regionales de prevención de desastres*

SINAPRED debe utilizar estos resultados para poner al día las existentes y crear nuevas políticas y reglamentaciones para la reducción de desastres. De la misma forma, INETER debe utilizar esta experiencia para preparar mapas de las áreas que no se han considerado en el Estudio y para diseminar la tecnología aprendida mediante programas educativos tanto dentro de INETER como en otros institutos relacionados.

#### (2) Medidas de la difusión de la información

##### *Autoridades locales*

Las autoridades locales y los comités de emergencia locales deben difundir estos

resultados trabajando en colaboración con los líderes de la comunidad.

#### *Colaboración con los medios*

Se deben preparar programas de capacitación para los medios de comunicación de modo que los comunicadores profesionales puedan transmitir con eficacia la información exacta a la comunidad. Los medios de comunicación tales como radio, TV, y periódicos podrían ayudar mucho a difundir los resultados del proyecto. Se sugirió una presentación en TV, por ejemplo, como una manera eficaz de llevar esta información a la comunidad.

#### *Preparación de folletos para el público en general*

Es importante asegurar el acceso del público en general a toda la información y resultados importantes producidos por estos estudios. Para facilitar esto, materiales fáciles de entender deben prepararse de tal forma para explicar correctamente a la comunidad los resultados del proyecto. Programas educativos se deben preparar especialmente para instalaciones críticas como escuelas, hospitales y edificios públicos. Es generalmente necesario identificar a los diversos grupos de usuarios y editar los productos y desarrollar los mecanismos de distribución para cada uno de ellos.

#### *Haciendo que los mapas de la amenaza estén disponibles*

Copias de los mapas resultantes pueden exhibirse en lugares públicos tales como centros comunitarios, bibliotecas, escuelas, iglesias, hospitales, edificios públicos. También se pueden implementar regularmente seminarios y talleres para la comunidad para no sólo educar al público sino también recoger las reacciones de los ciudadanos y clarificar las dudas que pudieran existir.

#### *Difusión de la información a través de instituciones y profesionales*

Una de las mejores maneras de difundir estos estudios es su utilización en la educación de nuevos profesionales en las universidades. Esta nueva información debe incorporarse en la educación de nuevos profesionales. Además, las asociaciones profesionales (ingenieros, arquitectos, planificadores urbanos), universidades, cámara de la construcción deben participar activamente en la difusión de estos resultados entre los profesionales nicaragüenses.

El trabajo de difusión de todas las instituciones relacionados debe coordinarse. Puede establecerse un programa periódico de seminarios en los cuales todas las instituciones relacionadas tienen la oportunidad no sólo de aprender sobre los estudios sino también dar sus opiniones y recomendaciones. Las organizaciones relacionadas con la reducción del riesgo podrían utilizar estos resultados para preparar programas de capacitación para la comunidad.

#### *Coordinación total de las actividades de publicidad y promoción*

Es crítico que INETER actualice sus mecanismos de distribución y los dé a conocer a los usuarios potenciales para facilitar el acceso a estos resultados por todas las organizaciones relacionadas. Se sugirió, por ejemplo, hacer que todos estos resultados estén disponibles en Internet utilizando un software que facilite la manipulación de esta información.

### **9-2-2 Consolidación de la prevención de desastres**

El Equipo de Estudio realizó una serie de discusiones y entrevistas con autoridades locales y organismos relacionados con la prevención de desastres. Los temas principales de la investigación fueron: 1) Institucionalización de la reducción del riesgo; 2) Actividades a realizarse en el futuro; y 3) Participación de la comunidad. Con estos temas, el Equipo de Estudio produjo las siguientes recomendaciones.

- (1) Institucionalización de la reducción del riesgo
  - Revisión del marco legal para descentralizar las actividades de reducción de riesgo y reducir la fuerte dependencia actual en decisiones centralizadas. La descentralización del sistema y el fortalecimiento de los sectores locales aumentarán la eficacia y

eficiencia de los programas y actividades de reducción del riesgo.

- Mejor coordinación de los proyectos y de las actividades puestos en ejecución con ayuda extranjera para aumentar su impacto y eficiencia y optimizar el uso de los recursos entregados por la comunidad internacional. Se deben promover sinergias entre las agencias de cooperación y sus proyectos para aumentar la eficacia de estos esfuerzos y para evitar la repetición de esfuerzos.
- Mejor comunicación y colaboración entre SINAPRED y los institutos técnicos tales como INETER, universidades y centros de investigación. De la misma forma, la interacción y la colaboración con los usuarios finales tales como autoridades locales y los líderes de la comunidad se deben aumentar y mejorar para promover una mejor coordinación de actividades.
- Creación de un centro de información para la reducción de desastres que compile, organice y ponga toda la información, existente y nueva, a disposición de todos los usuarios potenciales. Este centro de información debe recoger toda la documentación e información existentes que ahora se encuentra diseminada en diversos institutos sin ninguna organización sistemática.
- Establecimiento de la capacitación local como componente central de cualquier nuevo programa de reducción del riesgo de desastres. Las instituciones del sistema de SINAPRED deben tener conocimientos suficientes sobre la administración del riesgo que les permita enfocar sus actividades en la reducción del riesgo y el planeamiento de la recuperación y no sólo en la respuesta frente a emergencias. De la misma forma, los gobiernos locales deben tener la capacidad para introducir la gestión del riesgo en sus planes de desarrollo y de inversión. El fortalecimiento de las autoridades locales facilitará el proceso de descentralización.
- Establecimiento de la estabilidad financiera de las iniciativas de reducción del riesgo. Se debe revisar el marco legal existente del SINAPRED para permitir y facilitar la incorporación activa del sector privado y de sus valiosos recursos financieros y tecnológicos. Además, se podría establecer un fondo municipal para la reducción del riesgo de desastres que garantice la continuidad a largo plazo de los esfuerzos de reducción del riesgo. Finalmente, se debe reconocer el papel del sector de seguros en la transferencia del riesgo y en el abastecimiento de los fondos necesarios para la reconstrucción y se debe incorporarlo en las iniciativas de gestión de riesgo a todo nivel.
- Fortalecimiento del papel de las autoridades locales en la información a las comunidades sobre el riesgo y los medios existentes de reducirlo. Esto no se puede hacer solamente a través de SINAPRED y/o la Defensa Civil. La consolidación de capacidades locales debe aprovechar al máximo la ventaja de las estructuras sociales locales existentes y trabajar en colaboración con líderes de la comunidad.
- Coordinación de los esfuerzos individuales ya hechos por organizaciones en los sectores públicos y privados. Planes de contingencia y de reducción del riesgo no coordinados y desarrollados independientemente pueden interferirse entre sí reduciendo su eficacia e impacto.
- Desarrollo de programas y mecanismos para incorporar la participación activa de todos los sectores (público, privado, sociedad civil) de la comunidad en actividades de reducción del riesgo. Estos esfuerzos deben incluir la revisión y la consolidación del sistema universitario para mejorar la preparación de nuevos profesionales y para incorporar a la gestión del riesgo en su educación.
- Evaluación sistemática del estado actual de la gestión del riesgo en Nicaragua para identificar qué se ha alcanzado y qué falta. De acuerdo con esa evaluación, se debe tratar de lograr el consenso sobre las acciones que se tomarán para construir sobre lo ya alcanzado, las estrategias de implementación que se adoptarán, y la utilización óptima de recursos.
- Protección de la continuidad operacional. Se deben desarrollar programas financieros y técnicos para garantizar el mantenimiento y operación del equipo donado por proyectos internacionales de cooperación después de la conclusión de



dichos proyectos. Si esto no se hace, como sucede actualmente, el equipo donado se convertirá en una carga más bien que una solución.

(2) Actividades a realizarse en el futuro

- Mejor calidad de datos disponibles ejecutando programas para recoger sistemáticamente nueva información y para realizar los análisis requeridos para validar su calidad y utilidad.
- Preparación de planes apropiados de reducción del riesgo y de contingencia para ciudades e instituciones y revisión de los planes existentes. De la misma forma, se deben hacer esfuerzos para preparar planes de recuperación para asegurarse de que el riesgo no vuelve a re-crearse después de un desastre.
- Desarrollo de herramientas y mecanismos para observar y evaluar el progreso de las actividades de gestión del riesgo e implementación de evaluaciones periódicas del proceso para hacer las correcciones necesarias. Se debe desarrollar un programa de evaluaciones regulares para tanto el sistema de reducción del riesgo nacional en su totalidad como para las iniciativas individuales para medir objetivamente su impacto real.
- Ejecución de programas especiales en colaboración con las empresas de la construcción, asociaciones profesionales, y la Cámara de la Construcción para entrenar a los profesionales en técnicas eficaces de reducción del riesgo y prácticas apropiadas de construcción.
- Establecimiento de programas de capacitación para autoridades locales, que son los usuarios finales de los resultados y la información producidos por los estudios de reducción de riesgos. Con la puesta en práctica de los programas de capacitación que tienen como objetivo a los responsables de la toma de decisiones, las autoridades locales deben poder utilizar esta información e incorporar consideraciones de gestión del riesgo en el planeamiento del desarrollo y de los planes de inversión.
- Utilización de la experiencia y la tecnología aprendidas en proyectos como éste para continuar un trabajo que abarque todo el territorio nacional. En el caso específico de este proyecto, por ejemplo, los estudios abarcan apenas cerca del 40% del territorio de Nicaragua. No hay casi trabajos hechos para la región central y la costa del Atlántico del país. Es necesario utilizar la experiencia de este y otros proyectos similares para desarrollar estudios similares para otras áreas de Nicaragua.
- Coordinación con otras instituciones similares en la región que estén haciendo estudios similares en países vecinos para aumentar la cobertura y el impacto de estos estudios. Como las condiciones geográficas, sociales, económicas, y culturales son muy similares entre los países de la región, las iniciativas regionales se deben promover más bien que las nacionales y locales.

(3) Incorporación de la comunidad en actividades de reducción del riesgo

- Incorporación de todos los sectores de la sociedad como agentes activos en la implementación de actividades de reducción del riesgo. Puesto que los desastres son procesos complejos, se tienen que adoptar métodos multidisciplinarios y promover la participación de todos los sectores de la comunidad.
- Utilización de los resultados de éste y de otros estudios similares para ejecutar programas sistemáticos de simulacros periódicos de desastres en las comunidades. El público general necesita familiarizarse con las características, causas, y efectos de las amenazas naturales para evitar la parálisis causada por el miedo irracional o el caos resultante de la información falsa o de la existencia de mitos.
- Incorporación de la reducción de riesgos en los programas de las escuelas en coordinación con el Ministerio de Educación. Hasta ahora, han habido varios esfuerzos para educar a la comunidad con programas educativos informales, de breve duración. La introducción de la reducción del riesgo de desastres en la enseñanza convencional ayudará a crear una cultura establecida acerca de la prevención.
- Concientización de la comunidad sobre el riesgo existente y de la existencia de

medidas factibles para reducirlo. La actitud del público general debe cambiar de una actitud fatalista o reactiva a una proactiva en las cuales se reconoce, se entiende y se decide el nivel del riesgo aceptable. Esto se puede hacer con la puesta en práctica de programas educativos regulares, bien coordinados para la comunidad. Estos esfuerzos deben incluir campañas para elevar la conciencia y reforzar la capacidad de los responsables de tomar las decisiones de modo que puedan incluir a la administración del riesgo en sus decisiones de planeamiento y de inversión.

- Incorporación de la reducción de riesgos en la cultura y vida diaria de la comunidad. Para estos propósitos, se debe considerar el establecimiento de fechas especiales para recordar la importancia de la preparación contra desastres. En Corinto, por ejemplo, el establecimiento del “Día del Tsunami” para el 1 de septiembre, el aniversario del tsunami de 1992, fue sugerido para elevar la conciencia de la comunidad acerca del riesgo existente y la importancia de reducirlo.