

EL MAREMOTO DE NICARAGUA

Ocean. Guillermo Quirós - oceano@racsa.co.cr

RESUMEN

La amplitud y poca profundidad de la plataforma continental fue un elemento decisivo para frenar el ímpetu del oleaje producido por el Tsunami. Por otro lado, perfiles pronunciados normales al litoral y pendientes de playa mayores del 5%, fueron factores topográficos que permitieron al maremoto confinar su energía en frentes de mayor poder destructor.

Las construcciones ubicadas frente a rompientes naturales rocosas o bancos arenosos, así como las construidas 30m más allá de la berma con materiales y diseños apropiados, no sufrieron daño. La ubicación errónea de hoteles y casas de recreo facilitaron la labor destructiva, igualmente la construcción con base en bloques sin acero en las columnas. Las edificaciones de madera aún sobre bases de concreto fueron removidas por la acción combinada de la fuerza de empuje del tsunami y la flotación.

Los esteros transportaron la energía de la marejada varios kilómetros tierra adentro pues el maremoto ocurrió cerca de la pleamar. Allí la ubicación de poblaciones marginales ocasionó los mayores índices de mortalidad.

La falta de normativa sobre los requisitos constructivos se puso de manifiesto. El cierre, entubamiento y relleno de desagües naturales sobre el litoral, aislando y aniquilando humedales y manglares con fines de aprovechamiento turístico, es un error ecológico trascendente que recordó el océano en Nicaragua.

El saldo final es 116 personas fallecidas, 68 desaparecidas y 13500 sin hogar. El oleaje derribó 1300 casas y destruyó 185 botes. El daño causado se estimó entre 20 y 30 millones de dólares de 1992.

ABSTRACT

High amplitude and low depth continental shelf was the decisive element to reduce the wave power from tsunami. In the another side, sharply and normal profiles to the littoral combined with slope beach less than 5%, was the topographic factors let the tsunami confine his energy in high energy fronts.

Buildings in front of rocky natural reefs or sandy banks, and those located more than 30m from the berm, with good materials and design, did not show damage. Wrong places for hotels and homes made easy the tsunami destruction labour, also the use of stone blocks without steel. Wood buildings including those over concrete plate collapsed by the combination effect from tsunami waves push and flotation forces.

The estuaries carried out the wave energy several kilometres down shore because the tsunami was near the ebb tide. There the marginal population's places had the high mortality indices.

Non-normative rules about to construct homes and hotels were a nuke true. The natural creek closed and pipelining over the littoral, isolating and killing mangroves and wetlands for tourist development, was an ecological mistake, which remember the Nicaraguan ocean.

The result was 116 killing personas, 68 disappeared and 13500 homeless. The waves destroyed 1300 houses and 185 boats. Between 20 and 30 millions dollars (1992) was the damage.

INTRODUCCION

El 2 de septiembre de 1992 la costa del Pacífico de Nicaragua recibió el impacto de un maremoto o tsunami, generado como consecuencia de un movimiento sísmico de $M_w=7.6$ grados de magnitud a 10km de profundidad.

Como parte de la brigada de auxilio que envió la Comisión Nacional de Emergencia de Costa Rica, con el apoyo logístico del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, los autores visitaron los lugares más afectados por el maremoto en la costa del Pacífico de Nicaragua y de Costa Rica entre el 3 y el 9 de agosto de 1992. Se evaluaron los efectos del tsunami en las localidades de Punta Cosigüina, Estero Padre Ramos, Jiquilillo, Paso Caballo, Puerto Corinto, PoneLOYA, Las Peñitas, Salinas Grandes, Puerto Sandino, El Velero, El Tránsito, Masachapa, Pochomil, La Boquita, Casares, Huehuete, Bahía El Astillero, Popoyo y San Juan del Sur, en Nicaragua. Luego se visitó Puerto Soley, Playa Cortada, Manzanillo, Guajiniquil, Playa Panamá y Playa Hermosa en Costa Rica. En la Fig.1 se detallan las posiciones de cada uno de los poblados visitados y algunas características de la propagación del Tsunami.

El movimiento afectó la pared occidental del talud continental que separa la plataforma continental de la Trinchera Mesoamericana, a una profundidad oceánica de 210 metros en una zona con pronunciada pendiente del fondo marino.

El terremoto ocurrió a las 19:16 horas de Nicaragua. El desprendimiento se ubicó en dos focos principales, ubicados a 75 y a 125 kilómetros de la costa ocasionando la generación de olas que viajaron con una velocidad media de 120km/h, incidiendo con mayor ímpetu contra la costa donde se ubica el poblado de El Tránsito a 45°NE del evento principal, una hora después de su génesis.

Olas secundarias con rompientes tierra adentro cabalgando sobre un nivel medio de mar del orden de 2.5 metros de altura, arrastraron arena, lodo, palos y piedras en suspensión y embastieron 280km del litoral nicaragüense entre las 00:30 a 01:30 GMT. Este impacto combinado con la presencia de flujos arremolinados, fue una de las causas importantes en la pérdida de numerosas vidas humanas, del derribamiento de edificios, casas, postes, árboles, rotación de mobiliario y de gran pánico entre miles de pobladores costeros, los cuales vieron como *"se perdían entre sus manos los tiernitos y los bienes más preciados"*.

El único aviso fue un fuerte ruido que provenía del mar " segundos antes, semejante a un helicóptero artillado cuando pasa rasante a tierra....".

Según CEPAL este fenómeno causó 116 muertes, la desaparición de 63 personas, 489 personas con traumatismos y heridas varias. Además se estimó que 20.700 personas de estratos pobres fueron afectadas directamente al destruirse o dañarse sus medios de producción e ingresos: pesca artesanal, comercio y turismo. También 2800 personas que residían fuera del área afectada perdieron total o parcialmente sus inversiones de veraneo. Estimó que las pérdidas por el maremoto alcanzaron 25 millones de dólares americanos, resultando el sector vivienda el más afectado (53% del total). En orden de importancia descendente se mencionan los sectores de comercio, turismo y pesca. Los servicios de agua potable, electricidad e infraestructura portuaria se señalan en este informe como los más afectados. Millones de huevos y de tortugas recién nacidas fueron impulsadas fuera de su medio natural. Igualmente sufrieron alto impacto los ecosistemas del litoral, debido al aumento drástico de agua salina.

El trabajo en Nicaragua durante los días posteriores al maremoto, consistió en dar asesoría técnica a las poblaciones afectadas, al Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en Managua; y se evaluó el impacto del maremoto con miembros de la Comisión de Emergencias de San Juan del Sur, a quienes se instruyó sobre los orígenes y alcances del fenómeno natural.

Este acontecimiento en la región centroamericana merece la pena detallarlo y referirlo para las generaciones futuras, con el propósito de que gobiernos y ciudadanos aprendan de la dolorosa experiencia nicaragüense. Esta publicación describe los fenómenos naturales observados y hace énfasis en las recomendaciones y previsiones.

ANTECEDENTES.

En el litoral centroamericano prevalecen las componentes mareales de características lunar o semidiurna, las cuales ocasionan periodicidades dominantes del orden de 12 horas y media, con amplitudes ordinarias de 2.6 a 2.8m de altura. Durante las mareas sicigias el rango aumenta en un 17%.

En las playas visitadas la berma permanente se encontraba a una altura entre 1 y 2 metros por encima del nivel de pleamares superiores. En algunas de ellas la intervención humana había ubicado sobre la berma estacional estructuras ligeras como cercados y muros. En la mayor parte de la costa del Pacífico Nicaragüense, al igual que en Costa Rica, los edificios se construyeron por razones turísticas y financieras, lo más cerca posible del agua marina, sobre la berma permanente. La incorrecta ubicación de esa infraestructura en sitios vulnerables provocó que esta fuera fácil presa de la marejada.

En el Siglo XX no se ha manifestado en esta fuente sísmica un temblor con la capacidad de generar una onda tsunami con las características al ocurrido el 1 de septiembre de 1992. Y la información conocida no indica algo similar en la Región Centroamericana en su historia.

Se refiere que el 20 de diciembre de 1858 se presenta un Tsunami en Acajutla (El Salvador) que probablemente afectó a Nicaragua. El 29 de junio de 1919 se produce una marejada que afecta a Corinto. El 5 de octubre de 1950 se produce un sismo en Costa Rica en la zona costera, cuyas olas probablemente afectaron también las costas nicaragüenses (INETER, 1993).

Tsunamis en la Region

En los países centroamericanos –excepción Nicaragua- no existen referencias que demuestren la presencia de tsunamis con daños importantes en tiempos recientes. Por ello se ha desestimado el riesgo que este tipo de fenómeno natural pueda causar. El maremoto de Nicaragua demostró que esta actitud no tiene razón de ser y es riesgosa si se considera el desarrollo de la construcción turística, urbana e industrial sobre el litoral.

GENERALIDADES.

Tsunami es una palabra japonesa que quiere decir "ola de puerto". Alusión hecha a los daños más frecuentes que causaba siglos atrás. Un tsunami es un tren de olas generadas por una perturbación de una masa de agua de tamaño importante, cuando es obligada a desplazarse verticalmente de forma súbita. Temblores, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas, explosiones e impacto de meteoritos, pueden generar tsunamis. Estos atacan las costas causando daños importantes y cobrando vidas humanas.

Una ola grande que llega habitualmente a una playa del litoral del Pacífico centroamericano, es generada por el viento y tiene un período alrededor de 10 segundos, una longitud de onda del orden de 50 metros y viaja a 20km/h. En contraposición una ola tsunami tiene un período de una hora, una longitud de 100 kilómetros y viaja a 300km/h sobre la plataforma continental.

Debido a su longitud un tsunami avanza en calidad de *ola en agua somera*. Este atributo corresponde a olas para las cuales el cociente entre la profundidad local del agua (h) y la

longitud de la ola (l) es un número pequeño ($h/l \ll 1$). En estos casos la velocidad de propagación de la ola es la raíz cuadrada del producto aceleración de la gravedad por la profundidad del agua, esto se escribe: $v = \sqrt{g \cdot h}$.

En el Océano Pacífico con una profundidad media de 4000 metros la ola viaja a 700km/hr. Adicionalmente la pérdida de energía de una ola es inversamente proporcional a su longitud de onda, por lo que un tsunami además de viajar rápido lo hace a distancias transoceánicas con poca pérdida de energía. El tsunami de Chile de 1960 atravesó 17.000km hasta llegar a la costa asiática, cobrando 200 vidas (Kanamori y Kikuchi, 1993).

La causa más frecuente de los maremotos son los temblores. Cuando estos deforman abruptamente el piso oceánico, desplazan verticalmente toda la columna de agua ubicada por encima del piso generando una o varias ondas, las cuales bajo el efecto de la gravedad terrestre tratan de recuperar el equilibrio. La situación es más propicia cerca de los bordes de las placas tectónicas donde se da el proceso de subducción. Usualmente este proceso conduce a un desplazamiento del orden de un metro por año, pero durante la generación de un tsunami el mismo proceso toma menos de un minuto (Kanamori y Kikuchi, 1993).

Deslizamientos submarinos ocurren frecuentemente acompañados de grandes temblores y explosiones volcánicas, perturban la columna de agua y deslizan grandes cantidades de sedimentos y rocas. Cuando un tsunami deja el agua profunda y se acerca a la costa, transforma su comportamiento pues el fondo -ahora muy cercano de la perturbación- le obliga a avanzar despacio. El flujo de energía de una ola como esta depende de su altura y su velocidad, permaneciendo casi constante su producto. Por lo tanto si disminuye su rapidez, la altura aumenta de manera proporcional. Esta es la razón por la cual un tsunami casi imperceptible en agua profunda crece varios metros sobre el litoral. Cuando alcanza la playa parece una marea que crece y decrece rápidamente, o como una serie de olas altas rompiendo prematuramente o aún como una onda solitaria viajando río arriba (fenómeno llamado *bora* en un estuario).

De las ondas tsunami que llegan a una playa a lo largo de cientos de años, pocas veces al menos una se transforma en la ola gigantesca. Su poder destructor está limitado a las playas próximas a la zona de génesis.

Al igual que otras olas el tsunami comienza a perder energía tan pronto se acerca a la costa. Una parte de ella se refleja hacia mar adentro, mientras que la componente que viene a tierra se disipa en forma de fricción con el fondo y turbulencia. No obstante el tsunami puede alcanzar el litoral con alto potencial erosivo sobre la playa, transformando su forma, revolcando las dunas y los árboles, alterando procesos naturales que han durado cientos de años en producirse. Es capaz de inundar terrenos cientos de metros más allá de las pleamares y alcanzar niveles de inundación de decenas de metros sobre la línea de costa.

METODOLOGIA

La información se fundamenta en la medición de algunas variables, entrevistas, fotografías y televisión. La altura del nivel medio que alcanzó la marejada se determinó mediante la identificación de los rastros que dejó sobre elementos estables, tales como paredones, árboles gruesos y paredes de edificios.

La penetración del agua tierra adentro se midió desde la berma permanente. Para ello se identificaron elementos desplazados de su posición original como muros, muebles, carretas, así como el follaje de ciertas plantas afectadas por las sales minerales del agua marina.

Para el análisis de la trayectoria del maremoto se utilizó la carta náutica 6101 del Instituto Cubano de Hidrografía. Sobre ella (Fig.1) se trazó la trayectoria más probable que siguió la marejada, se determinaron profundidades críticas, se calculó la velocidad de traslación y el tiempo de arribo. Para el análisis de los perfiles de fondo se desarrollaron programas específicos.

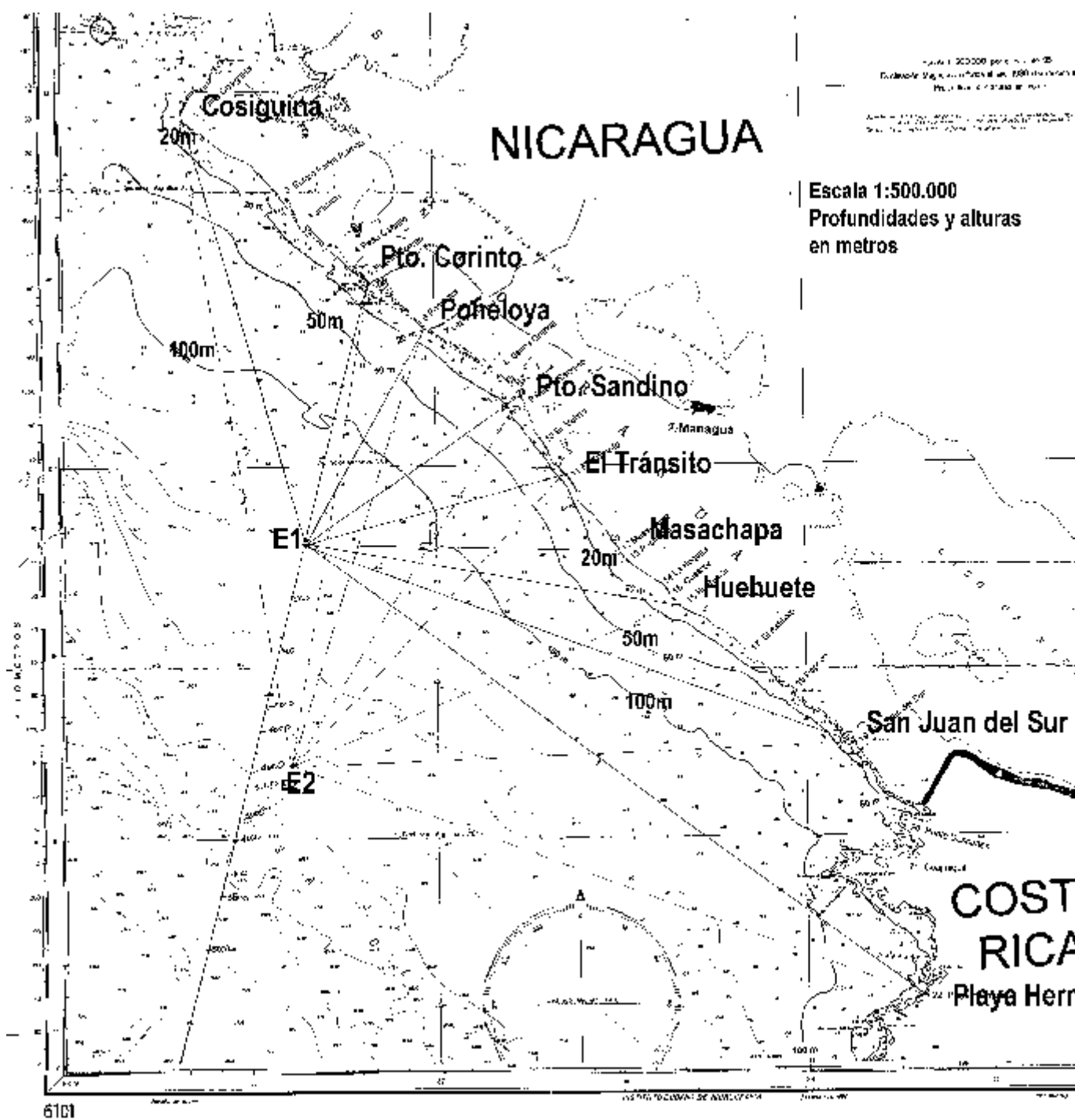
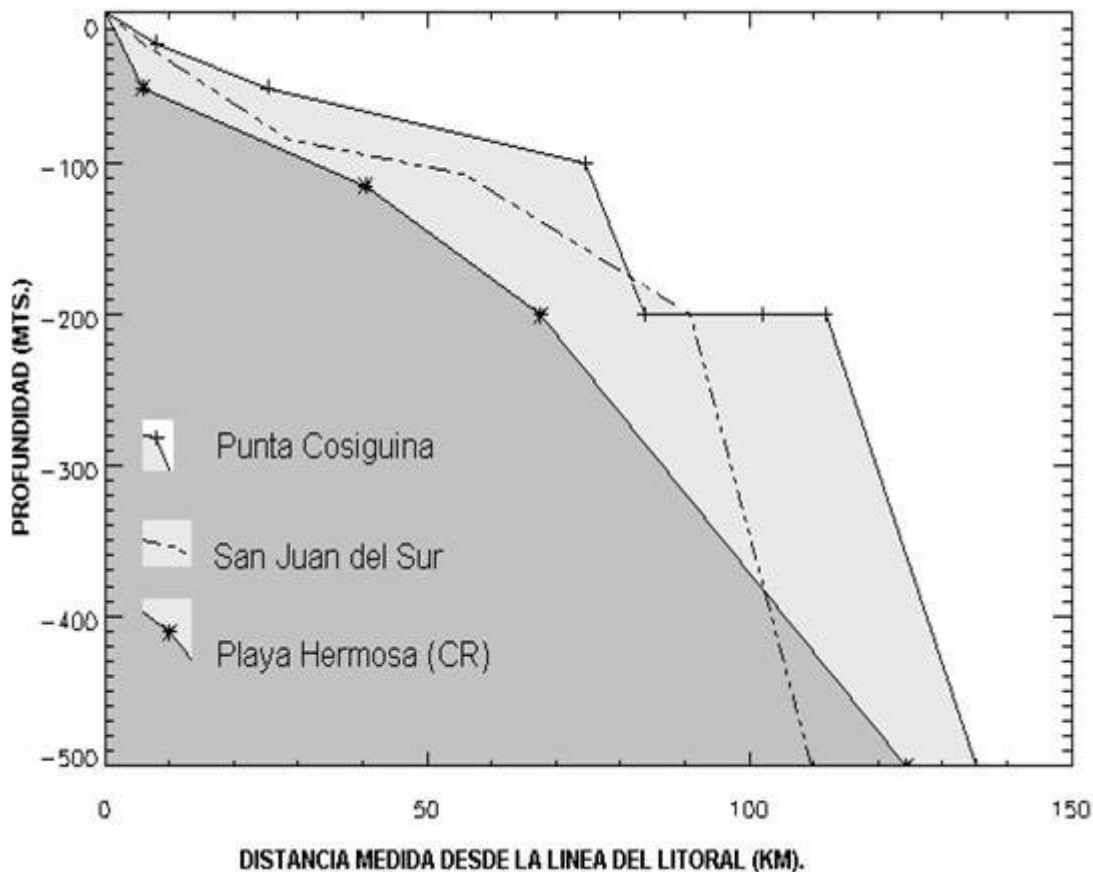


Fig.1. Carta náutica que informa de los fondos marinos de la región. Se han trazado líneas hasta las principales comunidades afectadas. Fuente base carta náutica 6101 del Instituto Cubano de Hidrografía. INETER. Y elaboración propia.

DIAGNÓSTICO DE CAMPO

Descripción de daños

PERFILES DEL FONDO MARINO PARA TRES LOCALIDADES EQUIDISTANTES DEL EPICENTRO.



El boletín oficial del 3 de septiembre de 1992 es representativo de la situación de angustia que se vivió en los primeros días del fenómeno.

Cuadro 1. Estado Nacional de Defensa Civil del Gobierno de Nicaragua. 3 de septiembre de 1992. Resumen del Boletín Oficial.

No. comunidades afectadas	Muertos	Heridos	Desaparecidos	Damnificados	Viviendas afectadas
37	116	287	153	14196	753

Características del oleaje

Los mareogramas disponibles en Nicaragua corresponden a los puertos de Corinto y Sandino separados 60km. Estos equipos están bajo la administración del INETER. Ambos registros están alterados tal como se detalla a continuación, por lo que su utilidad resultó limitada.

La Fig.2 corresponde al registro del mareógrafo de Puerto Corinto. El eje horizontal representa el tiempo y crece de izquierda a derecha, en horas locales. El eje vertical representa la amplitud de las oscilaciones, crece hacia arriba (cm).

Fig.2. Registro original del mareógrafo de Puerto Corinto.

En el lado izquierdo del registro, se muestra la amplitud de la primera ola del tren. El corte del registro ocurre a las 19:13 hrs. El equipo se restituyó después de haber pasado las olas principales sobre el puerto según lo indicó el encargado. Por ello la serie de tiempo inmediata es dudosa en cuanto a su continuidad con el pico presente (marcado con un signo ?), por lo que no se tomó en cuenta para caracterizar el oleaje posterior al tsunami. Observe como la señal anómala marcada tiene una amplitud dudosa de unos pocos centímetros, en vez de decenas.

Es conocido que la señal de marea no puede variar abruptamente en fase, amplitud y componentes menores entre dos máximos consecutivos en una señal de período semidiurno (@ 12 horas). Por ello comparando las amplitudes y fases de las dos pleamares del registro, se nota como la pleamar a la izquierda debe haber sido dibujada a mano y no por el equipo, pues su rugosidad es mínima, su amplitud mucho menor y el momento del máximo no es congruente con el máximo real de la derecha, el cual tiene todas las características esperadas. Pero el registro permitió encontrar el error y precisar el momento de arribo de la primera ola del tsunami, así como corregir y entender el registro de Puerto Sandino (Fig.3). Sobre las anotaciones originales de recibo del documento se han señalado algunos elementos importantes encontrados.

La Fig.3 es una copia del registro del mareógrafo de Puerto Sandino. El eje horizontal debe crecer también de izquierda a derecha (tiempo local). No obstante, el papel fue colocado al revés en el mareógrafo y el instrumento corrió 4 veces más rápido que la escala marcada. Cada hora del registro corresponde en la realidad a 15 minutos. El eje vertical crece hacia arriba (cm), pero también su escala es diferente del registro del mareógrafo de Puerto Corinto.

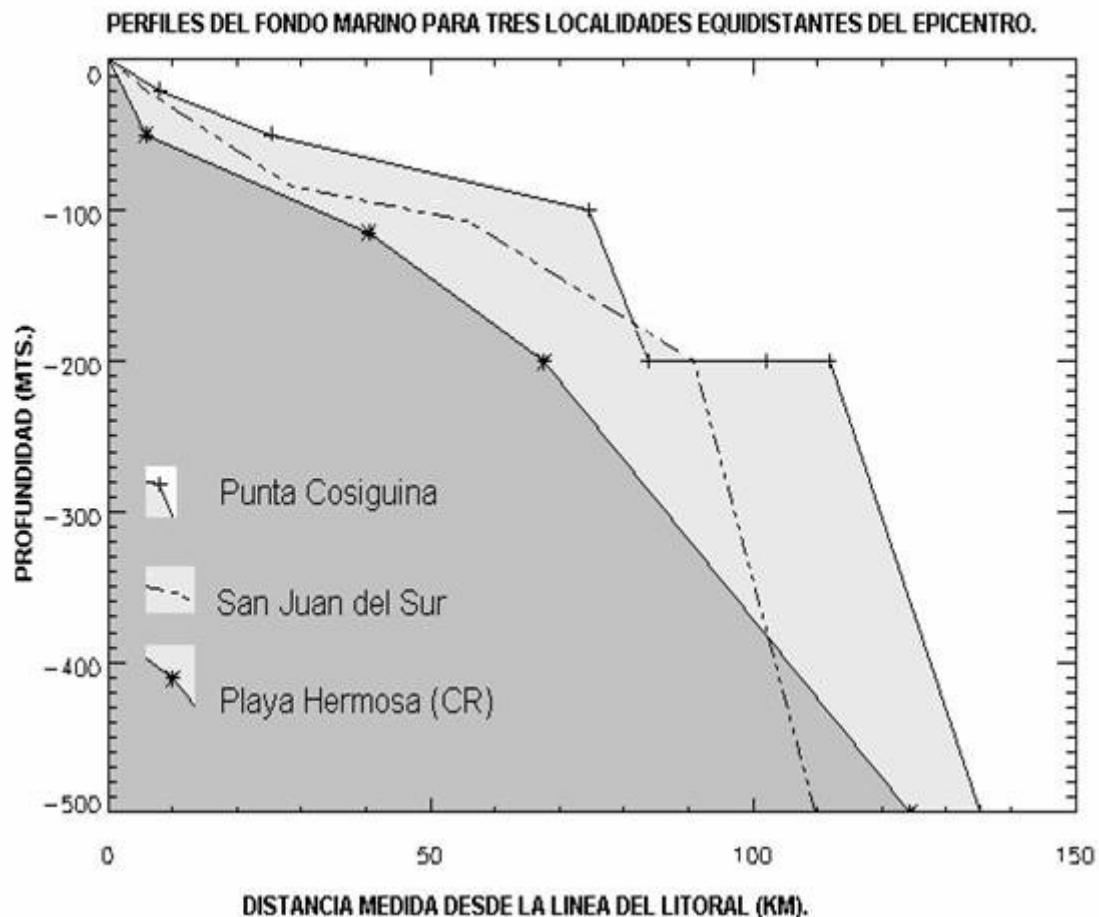


Fig.3. Registro original del mareógrafo de Puerto Sandino.

El registro permite ubicar con precisión el momento de la pleamar: 17.30 hora local. Tiempo que es congruente con el registro de Puerto Corinto, pues el desfase de la señal de marea en 60 kilómetros de costa recta es tan solo de pocos minutos. Ello permitió ubicar en el centro del registro el arribo del tsunami a las 1:27h después de la pleamar.

En el lado derecho del registro se señala la presencia de una serie de ondas inusuales de alta frecuencia, que se hicieron presentes en el puerto después del maremoto y se prolongaron unas 4 horas. Este registro puede ser el resultado de un daño mecánico del equipo pues en Corinto no se presentan.

El tsunami llegó a poblaciones pequeñas con un número de habitantes que va de pocas decenas hasta unos cuantos miles, dispersas sobre gran variedad de formas costeras. La información de campo corresponde en muchos casos a la versión de los afectados tomada solo horas después del evento. Por lo que se tuvo cuidado al evaluar las entrevistas, buscando evidencia objetiva que confirmara la versión obtenida (altura máxima de las viviendas dañadas, vegetación destruida, etc.).

El Cuadro 2 resume las características físicas sobresalientes con base en mediciones de campo. Los Cuadros 3 y 4 se prepararon para los mismos poblados.

Cuadro 2. Características geomorfológicas de la costa.

localidad	ángulo de incidencia medido respecto a la normal al litoral E1 - E2 ⁽¹⁾	ancho de la baja plataforma (km)	pendiente de la baja plataforma (%)	pendiente estimada de playa (%)	nivel medio alcanzado según evidencias (m)	altura registrada de la ola mas alta (m)	alcance del impacto según evidencias (m) ⁽³⁾
Punta Cosigüina	50° - 50°	9.7	20	2	2.	2.75	35
Puerto Corinto	40° - 35°	8.1	24		2.6 ⁽²⁾	6.40 ⁽²⁾	20
Poneloya	05° - 10°	5.4	37		3		
Puerto Sandino	00° - 15°	6.5	30		2.6 ⁽²⁾	4	
El Tránsito	10°-00°	2.1	92	8-10	5	10	70, 500
Huehuetete	50° - 40°	8.1	24	5	4.5		30
San Juan del Sur	60° - 45°	1.6	123	4	4	8	30, 3000
Playa Hermosa	0° - 30°	1.1	185	3	1.5		8, 180

⁽¹⁾ E1: viajando desde el primer epicentro mostrado en Fig.1. E2 : viajando desde el segundo epicentro. ⁽²⁾ Según reporte del observador encargado del mareógrafo. Distancia vertical sobre nivel medio del mar. ⁽³⁾ El primer valor corresponde a la distancia horizontal medida desde la berma permanente. El último valor en esta columna, después de la coma, corresponde a penetración por un estero con conexión directa a la playa. La *baja plataforma* corresponde a profundidades menores de 20m.

El Cuadro 3 presenta las características del arribo del oleaje a diversas localidades costeras, según diversas fuentes.

Cuadro 3. Características del arribo de las olas a la costa. Hora del sismo principal 0:16 GMT.

	distancia	sismos	núm. olas	tiempo de	tiempo de	tiempo de	velocidad
--	-----------	--------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

localidad	al primer y segundo epicentro (km) ⁽¹⁾	percibidos/hora (gmt)	observ./ frecuencia (min ⁻¹)	arribo observado (hrs:min)	arribo calculado. primer epicentro (hrs:min) ⁽²⁾	arribo calculado. segundo epicentro (hrs:min)	media calculada de la ola (km/h) ⁽³⁾
Punta Cosigüina	130 195	3 00:45			01:27	01:30	130
Puerto Corinto	81 146		2 c/1	01:07	00:55 18%	01:08 1%	129
Poneloya	73 138		3 c/5	01:15	00:47 37%	01:06 12%	125
Puerto Sandino	81 131			01:00	00:59 1%	01:08 13%	116
El Tránsito	78 119	1 00:30	3 c/5	00:50	00:51 2%	01:09 38%	103
Huehuate	113 125	NO se reportan		01:05	01:20 23%	00:57 12%	132
San Juan del Sur	175 169	00:45	4 c/5	00:58	01:41 74%	01:09 17%	147
Playa Hermosa (C.R.)	241 202	Varios c/minuto	2 c/1	01:45	01:57 11%	01:51 6%	109

⁽¹⁾ El primer y segundo epicentros se marcan con las letras E1 y E2 en la Fig.1. ⁽²⁾ El tiempo de arribo se calcula mediante la relación $t = v \cdot g \cdot H_{med}$, donde g es la aceleración de la gravedad, H_{med} es la profundidad media en la zona del transecto escogido. Cada transecto se escogió bajo el criterio de representar una batimetría típica del fondo marino, en la cual el comportamiento del oleaje del tsunami pasara por condiciones diferenciadas. ⁽³⁾ La velocidad media se calculó dividiendo la distancia total recorrida por el tiempo total empleado.

La perturbación producida por el maremoto fue registrada en muchas localidades de la cuenca del Océano Pacífico.

Cuadro 4. Características de la marejada en algunas estaciones del Pacífico americano. (Waverly, 1992; Katsuyuki, 1992).

Lugar	Amplitud (cm)
Isla Baltra (Galápagos, Perú)- 0.43°S, 90.28°O	111
Isla del Este (Pascua, Chile)- 27.15°S, 109.44°O	83
Isla Socorro (México)- 17°N, 120°O	28
La Libertad (Ecuador)- 2°S, 81°O	18
Valparaíso (Chile)- 33.0°S, 71.6°O	10
Hilo (Hawaii)- 19.73°N, 155.05°O	10
Cabo San Lucas, Baja Calif. (México)- 23.88°N, 109.90°O	12

Esta información evidencia la magnitud del tsunami ocurrido, así como algunas características de su propagación. Es relevante observar como las amplitudes registradas en Islas Galápagos (Ecuador) e Isla Pascua (Chile), superan en mucho las obtenidas para México y Hawaii. Ello señala una propagación preferencial al SO del la zona de ruptura.

INTERPRETACIÓN

1. Origen.

a. El sismo: el movimiento telúrico principal se ubicó a 11.761° latitud Norte y 87.419° longitud Oeste. Tuvo una profundidad de 10 kilómetros; magnitud Ms de 7.2 y un tiempo de origen de 00:15'.57.5" el 02 de septiembre de 1992 (tiempo universal). El tiempo hora local fue 19:15' el 01 de septiembre.

El evento se ubica donde la placa de Cocos se subduce bajo la placa del Caribe. Para Kanamori (1993) a pesar de que el gran tsunami causó un daño significativo en Nicaragua, el sismo tuvo una magnitud de onda superficial de 20 segundos, con un Ms de solamente 7. El mecanismo focal determinado por ondas superficiales, es bastante consistente con la subducción de la placa de Cocos por debajo de Nicaragua y una $M_w = 7.6$ ($m_0 = 3.7 \cdot 10^{11}$ dinas-cm) lo cual es significativamente más grande que Ms. Esta disparidad entre Ms y M_w según Kanamori es característica de la clase llamada *sismos tsunamis*. El análisis sísmico de la fuente no indica que fuera lo suficientemente intenso para producir el oleaje que se obtuvo en la realidad (Satake, 1994). De ahí que se considera un tsunami singular, en el cual las teorías clásicas no han logrado explicar satisfactoriamente lo acaecido. El sismo que lo produjo se prolongó por mucho tiempo (más de 100 segundos), produciendo una zona de ruptura de unos 100km de longitud con orientación SO, la cual se ubica primordialmente entre las coordenadas 11.75°N - 87.37°O (primer epicentro) y 11.2°N - 87.39°O (segundo epicentro). Los análisis sísmicos demuestran que los temblores tuvieron su origen en los primeros 10km del piso oceánico, a una profundidad muy somera, por encima de la zona de subducción donde típicamente se producen los mayores movimientos sísmicos en la región (Satake, 1994).

La Fig.4 se refiere a la distribución de los sismos luego del evento principal. Se nota una enorme distribución al azar de los eventos posteriores y tendencias claras a dos epicentros principales.

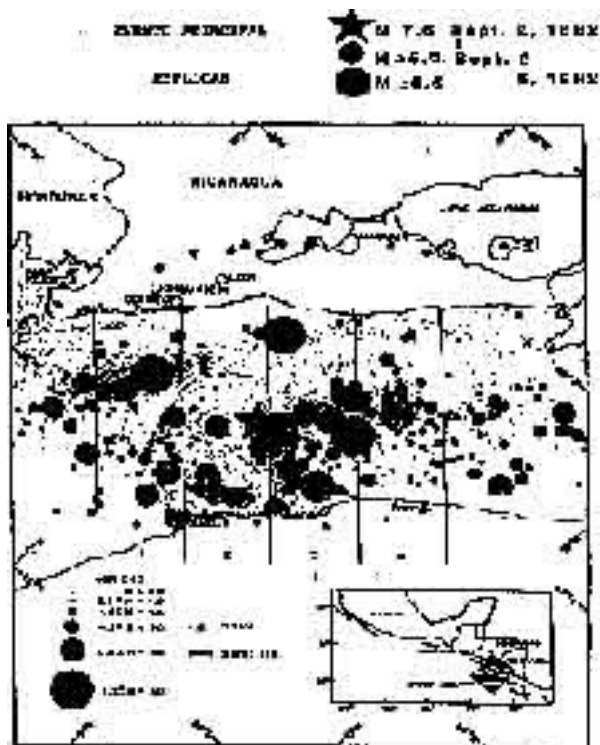


Fig.4. Distribución de las réplicas después del evento principal. Fuente OVSICORI-UNA.

b. El tsunami: Dos posibles causas motivaron el tsunami en Nicaragua: el desplazamiento vertical súbito del piso oceánico, o una gran avalancha de sedimentos sobre el talud continental, del cual se ubicó una parte cerca del epicentro (Mader, 1993). La región de ruptura, se caracteriza por un piso oceánico abrupto, con pendientes del orden de 50×10^{-3} , típicas del talud continental en esa región. Este piso recoge anualmente enormes cantidades de materia orgánica en suspensión, propias de la zona de generación de los grandes remolinos mesoamericanos que se originan en el Jet Papagayo. Estos remolinos son ecosistemas biológicamente ricos, donde se establecen abundantes cadenas tróficas que van desde plancton hasta los enormes pelágicos, incluyendo la migración y reproducción de túnidos y mamíferos marinos. Por ello el fondo marino aquí debe tener grandes capas de sedimentos recientes, relativamente inestables ante un sismo fuerte.

Otra característica relevante de este tsunami fue que no se manifestó como una onda súbita que arribó a la playa. Lo hizo mediante una elevación gradual y consecutiva (Mader, 1993), lo cual parece favorecer la teoría de que hubo varias fuentes generadoras primarias del oleaje. Los pobladores de la costa indican tres o cuatro grandes olas, separadas por períodos que van de 2 a 6 minutos entre sí. Y entre los poblados del sur del litoral y los del norte se hallan interesantes diferencias en la descripción del fenómeno marino.

La Fig.5 presenta el transecto entre el Paralelo 10.5°N y Puerto Corinto, pasando por la zona del primer epicentro ($11.75^{\circ}\text{N}-87.37^{\circ}\text{O}$). En ella se nota con claridad la presencia de la Trinchera Mesoamericana. Sobre el borde externo del talud se proyecta la normal al hipocentro de los eventos. Los fuertes gradientes batimétricos ubicados entre 100 y 200km de la línea litoral: para la región E1 es del orden de 18×10^{-3} y para E2 es de 92×10^{-3} , se convirtieron en aceleradores gravitacionales de enormes masas de sedimentos, que se desprendieron y rodaron sobre el talud continental, provocando un déficit de masa en la columna de agua que da origen al maremoto.

2. Propagación.

El frente del tren de ondas se propagó a los principales poblados costeros según se detalla en carta náutica (Fig.1). En línea gruesa se presenta la probable trayectoria del frente proveniente del primer epicentro reportado 11.75°N - 87.37°O (E1). En línea de trazos, la trayectoria probable del frente para el segundo epicentro 11.2°N - 87.39°O. (E2).

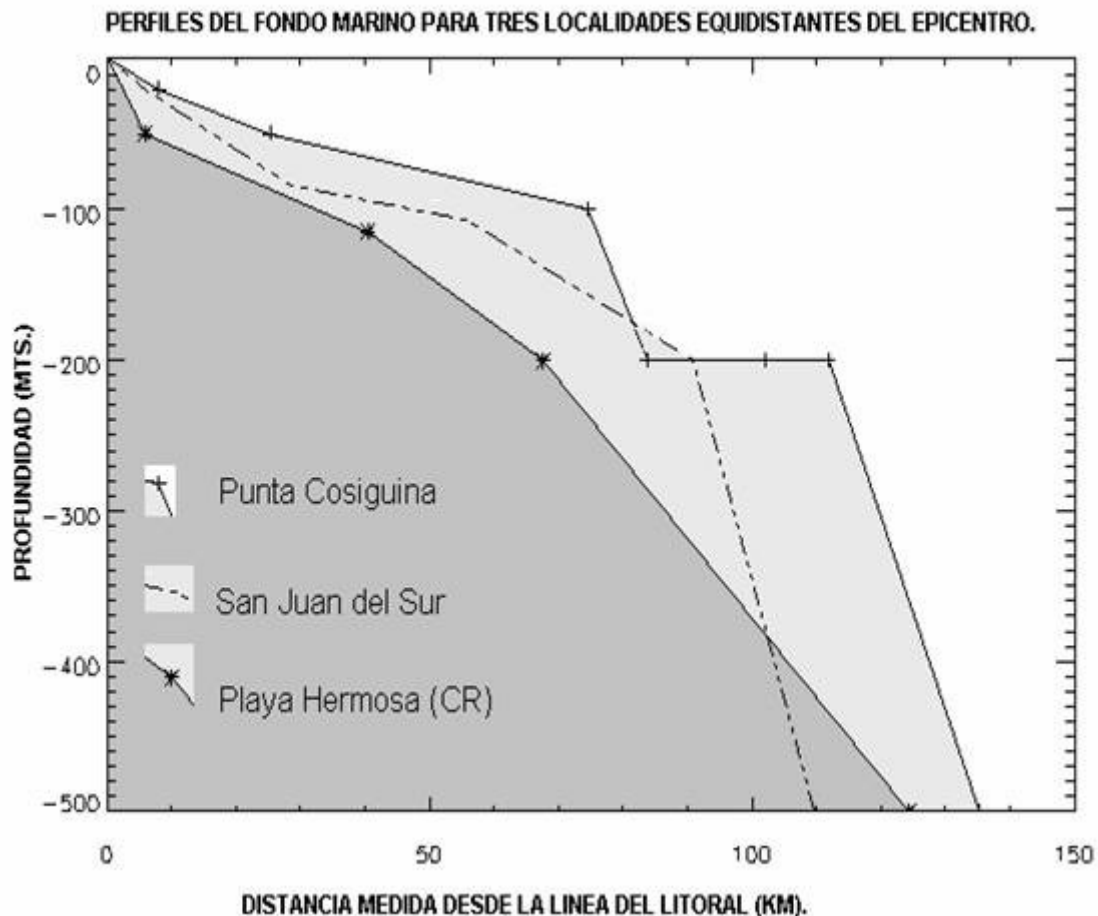


Figura 5. Perfil del fondo entre el paralelo 10.5°N y Puerto Corinto. Sobre el talud continental se proyectan las normales a los hipocentros del evento. Note los fuertes gradientes batimétricos asociados a esta región, ubicados entre 100 y 200km de la línea del litoral.

3. Análisis.

3.1.-Para oleaje somero, la disipación de energía es función del cuadrado de la distancia recorrida (L^2). Por ello uno de los agentes primarios identificados como decisivo para justificar las diferencias del comportamiento del tsunami, fue el ancho de la plataforma continental. Hemos encontrado que la porción de ella ubicada entre 20m de profundidad y la línea del litoral -baja plataforma- fue un elemento central para aminorar o acelerar la energía del impacto sobre los poblados costeros.

Frente a la población de El Tránsito la plataforma tiene solo 2.1km de ancho y en Huehuetenango 9km. De ahí que la disipación frente a este último poblado fue unas 20 veces mayor $(9/2.1)^2$.

Por ello creemos que se hallaron diferencias notables en los daños pese a que su distancia del epicentro es del mismo orden de magnitud (Fig.1).

Igualmente enfrente de Popoyo y San Juan del Sur la baja plataforma disminuye con respecto al ambiente costero circundante y es también angosta (1.6km).

Por ello el comportamiento fue más severo aquí, que en otras localidades ubicadas a distancia similar del epicentro, tal como Punta Cosigüina en el extremo norte del litoral nicaragüense. La Fig.7 resalta esta comparación batimétrica.

3.2- El ángulo del arribo también se manifiesta como un elemento decisivo. En dos aspectos:

-analizando en la Fig.1 el ángulo global de arremetida, se nota que las poblaciones costarricenses no fueron realmente afectadas por encontrarse en un ángulo mayor de 90° , con respecto a los epicentros E1 y E2,

-analizando el Cuadro 3 -columna 1-, se nota como El Tránsito fue más afectado que Huehueté o PoneLOYA debido a la incidencia normal del oleaje, lo que disminuyó la eficacia de amortiguamiento de su angosta plataforma.

3.3- Las Figs. 6,7 representan los perfiles batimétricos de las localidades referidas en los Cuadros 3 y 4. Esas Figuras permiten comparar gráficamente la forma del fondo marino que antecede -mar afuera- las comunidades de interés.

Asociando las figuras con los resultados numéricos del Cuadro 3, es posible concluir que existe una relación estrecha entre las características del fondo por las que atravesó el tsunami y los efectos advertidos en cada población. Pendientes suaves antes de las playas provocaron que la disipación de la energía fuera gradual y no se acumulara para verter luego en una corta distancia toda su potencia sobre la costa, tal como se advierte para El Tránsito con una pendiente de playa entre 8 y 10%, así como una pendiente de baja plataforma.

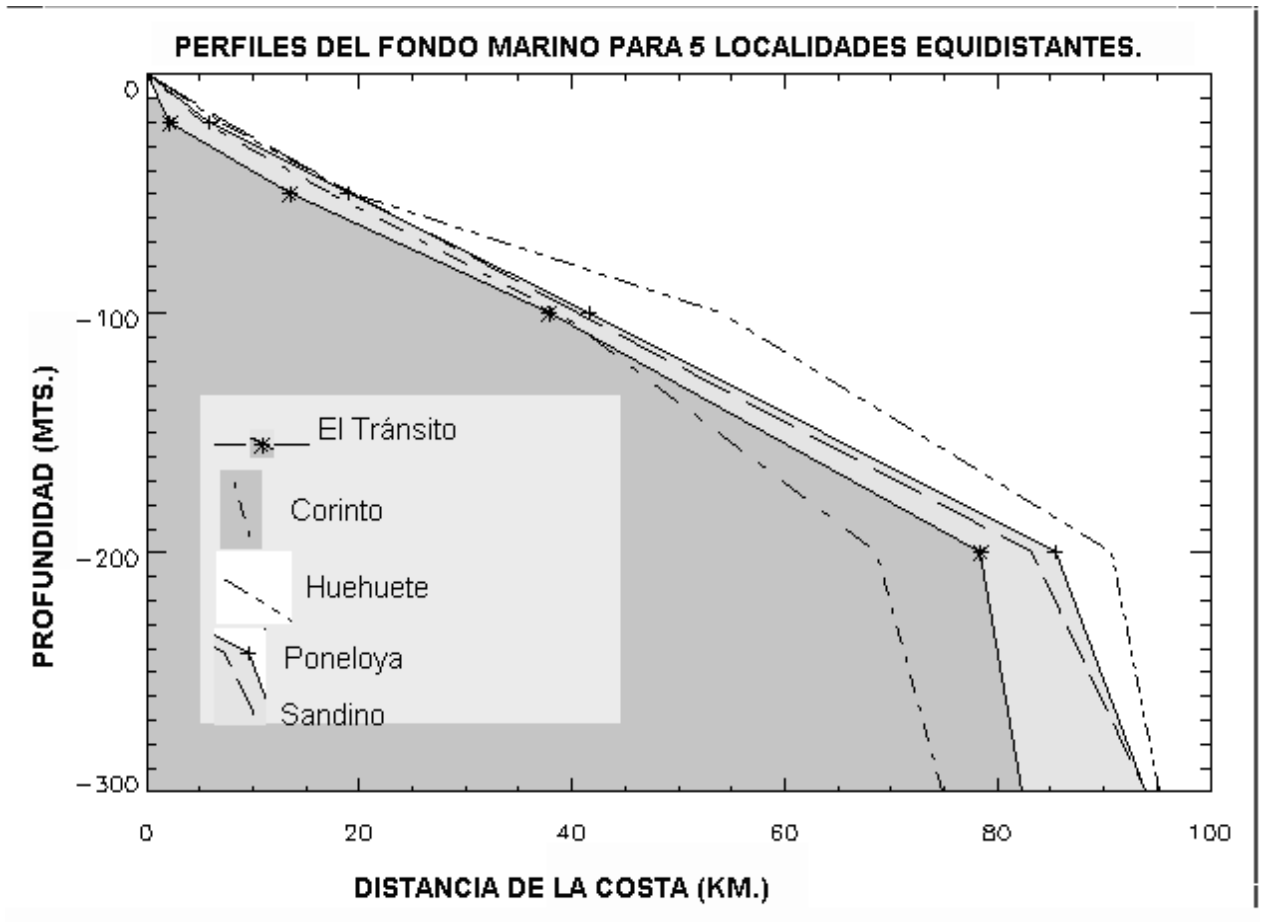


Figura 6. Secciones transversales del fondo marino para cinco localidades situadas a distancias similares y cercanas del epicentro. La mayor pendiente la tiene El Tránsito, lo que representa una menor atenuación del tsunami.

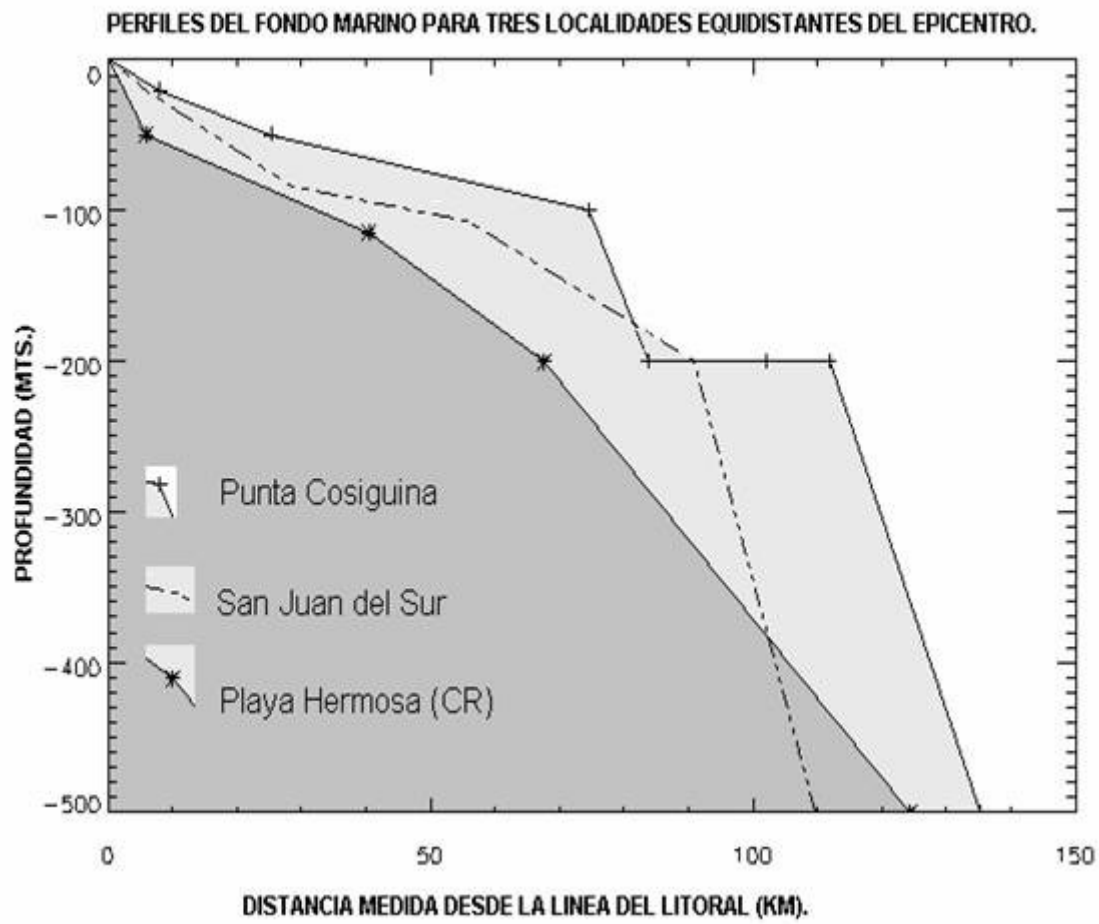


Figura 7. Secciones transversales del fondo marino, para tres localidades situadas a distancias similares y alejadas del epicentro.

La mayor pendiente la tiene Playa Hermosa (Costa Rica). Si se comparan San Juan del Sur y Punta Cosiguina se nota como para la sureña localidad *la baja plataforma continental* es mucho más profunda. Ello posiblemente ocasionó los intensos flujos turbulentos -advertidos por los pobladores- así como una elevada energía potencial, la cual produjo la flotación de techumbres y paredes de madera.

3.4. El número de olas principales varía entre 2 y 4, con 5 minutos entre ellas. Posiblemente en los poblados más cercanos al epicentro se dio la continuidad entre ellas, cabalgando el principio de una sobre el final de la anterior, pues en todos los casos la velocidad de propagación es del mismo orden de magnitud.

3.5. Los resultados indican que el epicentro más probable es el ubicado al SO de la Costa Nicaragüense. Por varias razones:

las diferencias entre el tiempo de arribo observado y el calculado es menor para el segundo,

el ángulo de incidencia para Playa Hermosa a partir del oleaje del primer epicentro, indica incidencia normal. Ello hubiese producido mucho mayores daños de los observados, pues las ondas no se hubieran refractado al acercarse a la línea de costa.

3.6. Este resultado podría interpretarse a favor de que el origen del tsunami fue el deslizamiento de sedimentos, pues el epicentro está sobre una pendiente del orden de 92×10^{-3} , unas 5 veces el gradiente en la región del epicentro ubicado unos 70km al NE (18×10^{-3}).

CONCLUSIONES

De Naturaleza Geofísica

a.-El ancho de 75km de la plataforma continental en la costa del Océano Pacífico de Nicaragua, fue un elemento decisivo para frenar el ímpetu del oleaje producido por el tsunami. Esta misma fuente frente a Costa Rica, con una plataforma continental tan solo de 25km de ancho medio y pendientes cuatro veces mayores, hubiese producido olas de mucho mayor tamaño.

b.-Debido al perfil del fondo marino en la región del epicentro (Fig.5), es muy probable que el origen del tsunami de Nicaragua fue el desprendimiento de una parte del talud continental en las coordenadas 11.2N - 87.39O (E2), el cual provocó una deficiencia importante de masa en la columna de agua, la cual como efecto restitutivo equilibrante generó un tren de tres o cuatro olas principales.

c.-Las olas viajaron en grupo a una velocidad proporcional a su longitud de onda, arribando primero la de mayor longitud, pero no la más energética, al igual que lo hacen las ondas gravitacionales comunes. Los testimonios en varias localidades permiten asegurar que fue la segunda ola la más destructiva (El Tránsito, San Juan del Sur). Cuando esta llegó reventó a una profundidad local igual a la propia del nivel medio superior de marea -después de una hora y media de la pleamar- más la diferencia impuesta por la resaca de la primera ola. Por ello los severos daños entre 15 y 30 metros tierra adentro.

d.-Perfiles pronunciados normales al litoral, así como pendientes de playa mayores del 5%, fueron factores topográficos que permitieron al maremoto confinar su energía en frentes de mayor poder destructor. En oposición a lo ocurrido en lugares con perfiles y pendientes suaves de playa -menores del 3%- donde la disipación fue gradual y el daño menor (Cuadro 3).

e.-De modo general -sin considerar los poblados ubicados al frente del epicentro-, las construcciones ubicadas frente a rompientes naturales rocosas o bancos arenosos, así como aquellas construidas más allá de 30 metros de la berma con materiales y diseños apropiados, no sufrieron daño.

f.-Las rompientes del tsunami con materiales en suspensión como arena gruesa, palos y piedras, aumentaron el poder erosivo y la densidad media del flujo turbulento. Ellas causaron daños severos y sembraron el pánico en poblaciones costeras que habitaban en las orillas de los esteros o cerca de centros de recreo.

g.-Los esteros se comportaron como mecanismos de fácil transporte de la energía de la marejada, pues cerca de la pleamar su conexión con el mar era plena, asociándose a ello una impedancia hidráulica mínima en la boca del estero.

h.-Nicaragua no contaba con una buena red sismográfica y mareográfica para darle cobertura al fenómeno sísmico, por lo que es probable que se perdieran datos valiosos sobre el origen y las características. Las réplicas fueron de gran ayuda para caracterizar el evento, pero con mayor instrumentación in situ se podría haber obtenido un mejor conocimiento de la fuente sismogeneradora y del oleaje resultante.

i.-En cuanto a la magnitud del sismo hay discrepancias en cuanto a su valor pues fue evaluada por diversas estaciones. Además la relación que existe entre magnitud M_b y M_s tiene una componente regional importante. En el presente caso se ha considerado la magnitud M_s debido a la deficiencia en instrumentación local.

De Naturaleza Constructiva

a.-La ubicación errónea de hoteles y las casas de recreo sobre la berma facilitaron la labor destructiva del tsunami. El hecho de que se produjera en temporada baja del turismo minimizó las pérdidas de vidas humanas.

b.-La deficiente construcción con base en pesados bloques de piedra cantera (35-40 kg c/u) de 80x50x15cm de lado sin más que una o dos varillas de acero en las columnas, son elementos estructurales que no ofrecieron mayor resistencia a un flujo turbulento de 3 o 4 metros de espesor.

c.-Las edificaciones de madera -sentadas sobre bases de concreto o losas de cantera- fueron arrancadas de sus bases por la acción combinada de la fuerza de empuje del tsunami y el efecto de flotación en el agua. Así los pisos y techos de hoteles y salones fueron removidos en conjunto 30 o 40 metros, constituyendo arietes de demolición a su paso.

De Naturaleza Socio Económica

a.-En esta emergencia el grupo de especialistas que viajó a Nicaragua fue testigo de la solidaridad del hombre en la tragedia sin distinciones de raza, religión o creencias políticas.

b.-La ubicación de poblaciones marginales en tierras costeras de poco valor, tales como esteros y áreas inundadas, agudizó el problema social al ser estas regiones fácilmente alcanzadas por el tsunami causando los mayores índices de mortalidad .

c.-La falta de normativa sobre los requisitos constructivos y de ubicación de las facilidades de recreo sobre la costa, se puso de manifiesto. Igual que en Costa Rica, el dinero y las influencias políticas determinan la ubicación y construcción final de los inmuebles sobre el litoral.

d.-El cierre, entubamiento y relleno de desagües naturales sobre el litoral, aislando y aniquilando humedales y manglares con fines de aprovechamiento turístico, es un error ecológico e histórico, que recordó el océano en Nicaragua.

e.-El evento tomó desprevenidas a las autoridades y a las poblaciones costeras los cuales no contaban con un plan de contingencia.

RECOMENDACIONES

a.- Valorar la ubicación de los centros de recreo, casas de habitación, rancherías y asentamientos marginales, con respecto a la morfología de la baja plataforma continental, a la berma y a los esteros y humedales en zonas costeras.

b.- Disponer de al menos 50m detrás de la berma permanente para ubicar edificaciones. Ello dará un margen de seguridad razonable, embellecerá el paisaje costero y permitirá la filtración apropiada de las aguas negras que vierten sobre la playa, contribuyendo a la preservación de los ecosistemas costeros.

c.- Disponer al menos 30 metros a cada lado de las riberas de los esteros como zonas verdes, medidos desde la línea de pleamares sicigias,

d.- Reubicar las rancherías y poblaciones marginales al menos a 100 metros de las líneas señaladas, debido a la facilidad con que estos grupos sociales se distribuyen en los espacios vacíos. De ser posible mover estos asentamientos humanos a zonas con elevaciones mayores de 10 metros sobre el nivel del mar.

e.-Las construcciones que no sea posible trasladar o remover a los sitios sugeridos, deberán transformar su estructura, a construcciones de bloques livianos, con suficiente varilla metálica interna, con buenos espacios y corredores interiores, los cuales deben dar de frente a la línea de litoral. Ello permitirá a las marejadas pasar de largo, con la menor resistencia posible, a la vez que permitirá una mejor ventilación y con ello un ambiente interno más fresco.

f.- Diseñar de manera eficiente los techos de madera, mediante anclajes metálicos sujetos a la estructura principal.

Para prevenir que sucedan tragedias futuras, recomendamos:

llevar a cabo un análisis para identificar los diversos niveles de vulnerabilidad del litoral centroamericano, según las zonas de generación potencial identificadas,

identificar poblados, caseríos y edificaciones en riesgo,

divulgar los resultados de la investigación hecha entre los municipios, los organismos estatales y los inversionistas, a fin de minimizar los riesgos sobre la población costera,

capacitar a funcionarios de la Cruz Roja, organismos estatales y municipales encargados de la atención de desastres naturales en la identificación y prevención de tsunamis.

Establecer un programa de educación y prevención en maremotos en las escuelas primarias de las zonas costeras.

REFERENCIAS

Comisión Económica para América Latina y El Caribe. 1992. El Maremoto de Septiembre de 1992 en Nicaragua y sus efectos sobre el desarrollo. Boletín Núm. LC/L.708-LC/MEX/L.209. 54 pp.

INETER. 1993. Tsunami 1 de setiembre 1992. Ministerio de Construcción y Transporte. Informe Técnico. Agosto. 37 pp.

Kanamori, H. y M. Kikuchi. 1993. The 1992 Nicaragua earthquake: a slow tsunami earthquake associated with subducted sediments. Nature, 361, 714.

Katsuyuki A., 1992. Some seismological information of the Nicaragua Earthquake of September 2, 1992. Earthquake Res. Institute, Tokio University, Tokio. Informe técnico. 11 pp.

Mader Charles L. 1993. Modeling the 1992 Nicaragua Tsunami. Science of Tsunami Hazards. Vol. 11 (2): 107-110.

Página Web: <http://www.geophys.washington.edu/tsunami>. Instituto de Geofísica. Universidad de Washington.

Satake, Kenji. 1994. The Nicaraguan Tsunami. EOS.

Waverly J. Person. Diciembre 31, 1992. Reporte original del Tsunami de Nicaragua. En: Significant Earthquakes Of The World, 1992. Earthquakes of magnitude 6.5 or greater or ones that caused fatalities, injuries or substantial damage. Berkeley. Pasadena.

Ocean. Guillermo Quirós

Instituto de Costas. Universidad San Juan de la Cruz, Heredia, Costa Rica.

E-mail: oceano@racsa.co.cr

Sitio Web: <http://www.institutodecostas.net>

Lic. Juan Segura Torres

OVSICORI, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.