

TSUNAMIS EN CENTROAMERICA

Mario Fernández Arce*
Giovanni Peraldo Huertas**
Randall Flores Fallas***
Wilfredo Rojas Quesada***

El 1 de setiembre de 1992 a las 00:16 GMT, ocurrió un terremoto (Ms 7.2) frente a la costa pacífica central de Nicaragua. Fue percibido desde la parte central de El Salvador hasta el Valle Central de Costa Rica. La zona epicentral se ubicó cerca de la trinchera mesoamericana. La ruptura asociada al sismo afectó el fondo oceánico, provocando un tsunami que se hizo sentir en aproximadamente 180 km a lo largo de la costa pacífica de Nicaragua, con olas de hasta 8 m de altura, causando pérdidas de vidas humanas y graves daños a la infraestructura. Mediante el presente trabajo, se pretende analizar la información sísmológica general con base principalmente en los eventos registrados por la red mundial del Servicio Geológico de los Estados Unidos durante los 15 días posteriores al evento. Los resultados conducen a una interpretación que describe la fuente sísmica, dimensión y tipo de ruptura.

INTRODUCCION

La generación de tsunamis en Centroamérica no es tan común, como la ocurrencia de eventos sísmicos, es por eso que la población no está familiarizada con este tipo de fenómenos. El presente artículo, tiene como finalidad ofrecer información general sobre los tsunamis y en especial sobre el que afectó recientemente la costa pacífica de Nicaragua y parte de la costarricense.

La sismicidad frente a la costa pacífica central de Nicaragua, forma parte de la zona sísmica de Masachapa, tal como fue definida por Morales (1985). La sismicidad

histórica puede ser obtenida a partir de catálogos de temblores y estudios sísmológicos particulares.

Nishenko (1989), considera a ese segmento de la trinchera centroamericana, en lo que se refiere a la ocurrencia de eventos de magnitud 7.0 o mayor, como una región con un potencial importante pero desconocido. De acuerdo con el nuevo catálogo, se encuentra un patrón en el período de retorno para los últimos 150 años de 35.5 ± 0.5 años, para 4 eventos de magnitud (Ms) entre 7.0 y 7.5. Los tres eventos anteriores relacionados con la subducción, en la zona sísmica de Masachapa, son:

- 1— El del 10 de diciembre de 1885, de Ms entre 7.0 y 7.7 según Leeds (1974).
- 2— El del 28 de marzo de 1921 con Ms 7.3, según Leeds (1974).
- 3— El del 24 de octubre de 1956 Ms 7.25, según Molnar & Sykes (1969).

DEFINICION

TSUNAMI es un término japonés para denominar la perturbación originada por un proceso geológico violento relacionado directa o indirectamente con el océano. Soloviev (1980) indica que el término significa «olas en bahía» y podría estar relacionado con las instalaciones portuarias que se encuentran generalmente

* Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica
** Universidad de Costa Rica.
*** Red Sísmológica Nacional (UCR-ICE)

CUADRO 1. Definiciones del fenómeno.

Idioma	Nombre	En español	Comentarios
Inglés	tidal waves	onda de marea	Ese nombre no es preciso, porque el proceso no resulta, como las mareas, por la atracción entre la Luna y el Sol.
Español	maremoto		Bastante apropiado aunque da la idea de que el mar interviene en su génesis.
Japonés	Tsunami	Tsu = puerto nami = ola ola de puerto	Es el término que prefieren los geólogos.

ubicadas en lugares abrigados y convenientes del litoral como las bahías. El Cuadro 1, muestra los diferentes nombres con que se conocen a estos fenómenos en diferentes partes del mundo.

El tsunami se puede definir como una perturbación en una extensión de agua, que a menudo es el efecto secundario de un determinado proceso geológico. En otras palabras, algunos procesos geológicos generan ondas gravitacionales de período largo, que al llegar a la costa se convierten en olas destructoras.

Los tsunamis están entre los más destructivos y complejos de los desastres naturales, y representan un constante reto para la vida y la propiedad. Generados por temblores, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra y otros disturbios bajo o cerca del fondo oceánico, particularmente alrededor de la plataforma del Pacífico, estas ondas de marea pueden viajar a velocidades superiores a los 700 km por hora. Cuando ellas alcanzan aguas superficiales a lo largo de la costa, disminuye su velocidad por la fricción con el fondo, lo que causa un acortamiento en su longitud y un aumento en su altura —la que llega algunas veces a más de 30 metros—, antes que se estrellen en la costa con fuerza devastadora. Para la clasificación de la intensidad de los tsunamis se utiliza una valoración de 4 a -1, de acuerdo con

sus efectos sobre las instalaciones y estructuras costeras (Cuadro 2).

PROCESOS GEOLOGICOS GENERADORES DE TSUNAMIS

Al producirse algunos procesos geológicos, se generan los desplazamientos de la columna de agua que está sobre, o en los alrededores de las zonas afectadas por dichos procesos (véase Cuadro 3).

El primer proceso puede dar lugar a tsunamis, está relacionado con eventos sísmicos superficiales que generan una ruptura en superficie, de tipo normal o inverso, de una sección del fondo marino. En la Figura 1.1, tomada de Plummer & McGeary, 1988, se muestra el caso de la ruptura normal que provoca un vacío al bajar un bloque respecto a otro. El segundo tipo de ruptura es la asociada a fallamiento inverso, que produce un choque de un bloque con el agua, y provoca así la perturbación, según se observa en la Figura 1.2.

El litoral afectado por este tipo de tsunamis será el que esté bajo la influencia de la extensión de la ruptura. En el caso concreto del tsunami que afectó recientemente las costas de Nicaragua, la ruptura que dio origen al evento tuvo rumbo NW y fue de fallamiento inverso, según una solución de un mecanismo focal desarro-

CUADRO 2. Escala de intensidad (I) de los tsunamis.

INTENSIDAD	COMENTARIO
4	Desastroso. Destrucción parcial o total de las edificaciones hasta una cierta distancia de la playa. Costas inundadas por olas de gran altura. Barcos grandes con graves daños. Árboles arrancados de raíz o rotos por el oleaje. Muchas víctimas.
3	Muy grande. Inundación general de la costa por olas que alcanzan cierta altura. Daños en muelles y en importantes estructuras situadas cerca de la playa. Destrucción de estructuras débiles. Grave erosión de tierras de cultivo. Dispersión de objetos flotantes, peces y otros animales marinos en costa. Con excepción de grandes naves, todos los buques son llevados tierra adentro o mar afuera. Gran oleaje en estuarios. Daños en obras portuarias, se ahogan muchas personas. Las olas son acompañadas de fuertes ruidos.
2	Grande. Inundación de la playa por olas de cierta altura. Ligera erosión de terrenos de relleno. Daños en los diques y malecones. Daños en estructuras débiles situadas cerca de la costa. Ligeros daños en la estructura sólida de la costa. Barcos de vela de gran tamaño son arrastrados tierra adentro o mar afuera. Costas quedan con residuos flotantes.
1	Bastante grande. Lo notan todas las personas que están en la playa. Pequeños buques de vela son llevados a la playa. Daños ligeros en estructuras livianas cercanas a la costa. En estuarios hay inversión de la corriente.
0	Ligero. El oleaje es notado, en playas muy planas, por personas familiarizadas con el mar.
-1	Muy ligero. La ola solo es registrada por mareógrafos.

CUADRO 3. Procesos geológicos generadores de tsunamis.

PROCESO GEOLOGICO	EFFECTO	EJEMPLO
Ruptura superficial en piso oceánico.	Movimientos diferenciales de bloques que generan perturbación en el medio acuoso.	Tembor del martes 1 del setiembre de 1992, en el cual el USGS determinó que el evento fue de fallamiento inverso.
Fuente sísmica con hipocentro en profundidad.	Aunque no llega a generar una ruptura en superficie, las ondas sísmicas provocan ondulaciones del piso oceánico que mueven la columna de agua que reposa sobre éste.	Tsunami del 15 de junio de 1911 en las Islas Ryukyu (Japón) generado por sismo con hipocentro a 160 km de profundidad.
Fuente sísmica dentro del área continental.	Genera un impulso sísmico horizontal que choca contra la pared del talud continental.	Tembor del 11 de noviembre de 1922 en Chile, epicentro en el continente.
Desprendimiento de volúmenes considerables en el talud continental.	Al deslizarse una cantidad de material del talud continental produce pequeños tsunamis.	
Exposiciones volcánicas	La onda expansiva de la explosión genera tsunamis, cuyo tamaño es directamente proporcional a la explosión.	Explosión del Volcán Krakatoa en el Estrecho de la Sonda, Océano Pacífico, olas llegan a 50000 km de distancia.
Explosiones dirigidas de volcanes (Debris Avalanches).	El choque del material volcánico, a gran velocidad, con el agua del mar produce pequeños tsunamis.	Debris avalanches del volcán Maellama de Japón, el cual produjo tsunami que afectó a una isla cercana (Siebert, 1974).

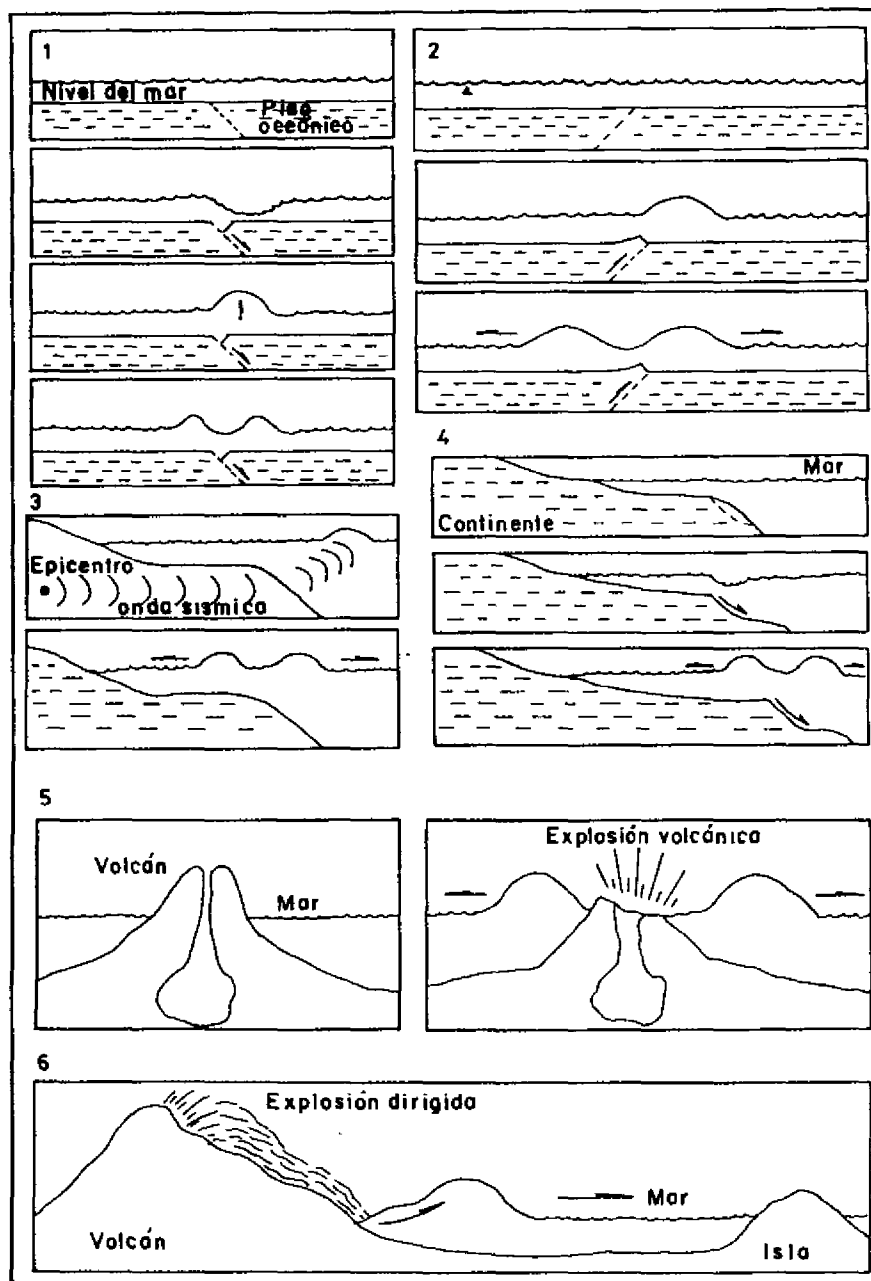
llado por el USGS (Geological Survey of United States of America).

El segundo proceso es la generación de un sismo superficial dentro del continente, el cual produce un impulso sísmico horizontal que golpea el talud continental y origina una perturbación por vibración como se muestra en la Figura 1.3.

El tercer caso se relaciona con grandes deslizamientos de bloques del talud continental que producen un efecto similar al caso de la falla normal. La perturbación será proporcional al tamaño del desprendimiento (Figura 1.4).

Los procesos volcánicos también generan este tipo de efectos en el agua si

FIGURA 1. Procesos que pueden dar lugar a tsunamis; 1. ruptura normal; 2. fallamiento inverso; 3. sismo superficial en el continente; 4. deslizamientos de bloques del talud continental; 5. procesos volcánicos; 6. debris avalanches.





se produce una fuerte explosión volcánica. El ejemplo de la Figura 1.5 es una simplificación de la erupción del Krakatoa en 1883, cuya onda expansiva provocó un fuerte oleaje que fue reportado de lugares distantes como África y Australia. En este caso la perturbación generada se desplaza en sentido radial al volcán. Aquí también la perturbación es proporcional a la fuerza de la explosión.

Los Debris Avalanches, en volcanes ubicados en las cercanías del litoral, son otros procesos geológicos que generan oleaje fuerte cuando el material volcánico choca violentamente con el mar. Siebert (1974) menciona una explosión de este tipo en un volcán de Japón que formó un fuerte oleaje que afectó una isla cercana (Figura 1.6).

Un tsunami pequeño ocurrido el 15 de junio de 1911, generado por un sismo cuyo hipocentro se hallaba a una profundidad de 160 km en las islas Ryukyu, indujo a pensar que éstos se pueden producir también por desplazamientos elásticos u oscilatorios del fondo marino (Soloviev, 1980).

ZONAS TSUNAMIGENICAS

Es importante anotar que las zonas tsunamigénicas coinciden con las zonas sismogénicas marinas (ver Cuadro 3). El 80 % de los tsunamis se han generado en la faja sísmica circumpacífica. Los tsunamis de intensidad máxima $I = 4$ se producen por lo común cerca de las costas de Alaska, Islas Aleutianas, Islas Kuriles, o al sur y centro de la península de Kamchatka (antigua Unión Soviética), Japón, Chile y Perú. Maremotos de intensidad $I = 3$ se han observado en el mar de Japón, en las Islas Ryukyu (archipiélago japonés), en el nordeste de Indonesia, en las Nuevas Hébridas, Tonga, Islas Kermadec, México y Hawaii. Tsunamis más ligeros se presentan en los Archipiéla-

gos de las Filipinas, las Islas Marianas, Indonesia, Nueva Guinea, Nueva Zelandia y Alaska. Tsunamis débiles de $I = 1$ han ocurrido en la costa oeste de California (Soloviev, 1980).

En el Océano Indico, las zonas tsunamigénicas principales se extienden a lo largo de Sumatra y las demás islas del Archipiélago Indonésico. En este mismo océano, el Golfo de Bengala y el Mar Arábigo son afectados por tsunamis de poca intensidad (Soloviev, 1980).

En el Océano Atlántico la zona más activa está localizada en el Mar Caribe a lo largo de Cuba y las Antillas; en esta área se han reportado tsunamis importantes en Honduras y Panamá (ver Cuadro 4). Ocasionalmente hay otras áreas del Atlántico sujetas a este tipo de actividad, como el sismo del 18 de noviembre de 1929, cuyo epicentro estuvo ubicado en las cercanías de Terranova y que produjo un tsunami que alcanzó una altura de aproximadamente 17 metros (Soloviev, 1980).

En el mar Mediterráneo, también se han observado maremotos. Los más conocidos son: el tsunami del mar Egeo en el año 479 A.C., el de Siria, acaecido en el siglo II A.C. y el de Messina (Italia), ocurrido el 28 de diciembre de 1908. La importancia de esta área es que en ella se documentó el primer tsunami de la historia (Soloviev, 1980).

No hay datos de tsunamis en el Ártico (Soloviev, 1980).

Un ejemplo histórico de un terremoto que originó una serie de tsunamis en el Pacífico, es el evento del 13 de agosto de 1868 que destruyó la ciudad de Arequipa, Arica, Tarapacá y otros lugares del Perú. Se produjo en Arica; diez minutos después del terremoto, siete olas gigantescas afectaron la parte baja de la ciudad. Veinte minutos después otro maremoto más grande, inundó la costa entre Samanco y Taicahuano, en este último lugar, el mar avanzó cerca de legua y media. Se reporta que las costas del mar del Sur desde

CUADRO 4. Tsunamis de América Central.

FUENTE	EVENTO GENERADOR	PAIS/LITORAL	COMENTARIOS
Sutch, 1981	24-11-1539	Honduras/Caribe	Navíos españoles con rumbo a Sto Domingo sintieron violento choque de agua en sus naves. En Honduras había ocurrido un terremoto.
Sutch, 1981	04-11-1539	Honduras/Caribe	Tsunami, se reportaron variaciones del nivel del mar de hasta 5 m. Temblor acompañado de un trueno, la laguna de Criba aumentó su volumen de agua. Se le asigna intensidad 2.
Sutch, 1981	26-08-1859	Honduras/Pacífico	Daños en Pto. Amapala de Honduras, tsunami provocó hundimiento de dos botes y un bergantín. Daños en Pto. La Unión. Intensidad 3.
White y Cifuentes, (preliminar)	08-12-1859	El Salvador	Destrucción, grandes daños, tsunami. Prov. de Aguachapán. Intensidad 3.
Viquez y Toral, 1987	07-09-1882	Panamá/Pacífico	En San Miguel de la Borda hay subsidencia e invasión del mar. Reportado un tsunami. Intensidad 1.
White y Cifuentes, (preliminar)	15-02-1902	El Salvador	Tsunami con olas de dos metros ocurrieron en la costa central de El Salvador y posiblemente de Guatemala. Intensidad 2.
Viquez y Toral, 1987	26-04-1916	Panamá/Atlántico	Seudo-tsunami de 50 cm. Intensidad 0.
Viquez y Toral, 1987	17-07-1934	Panamá/Atlántico	Reportado tsunami local.
Viquez y Toral	12-03-1962	Panamá/Pacífico	Pequeño tsunami menor de 30 cm reportado en Pto. Armuelles e Islas Galápagos. Intensidad 0.

(Nota. Intensidades estimadas por los autores del presente artículo).

Valdivia, Chile hasta San Francisco, Estados Unidos, y desde Nueva Zelanda, Australia y las islas japonesas fueron devastadas por un maremoto que tuvo gran extensión, este fenómeno abarcó prácticamente toda la cuenca del océano Pacífico. La alteración del nivel del mar duró varios días y como se pudo comprobar seguramente fue causado por el terremoto gigante que sacudió la noche del 13 de agosto las costas del Perú (Hochstetter, 1869 en Silgado, 1985).

América Central merece mención especial, ya que el maremoto recientemente

registrado en las costas de Nicaragua viene a definir claramente dos etapas en el conocimiento de los tsunamis en esta región. Anteriormente a este evento tsunamigénico, se tenían reportes aislados de tsunamis de diversas intensidades que afectaron ciertos lugares del área tales como Honduras y Panamá. En el caso específico de Costa Rica, se han reportado pequeños tsunamis generados por diversa actividad sísmica, los cuales, sin embargo, no han causado estragos.

No obstante, no se había dado importancia a los diversos tsunamis



documentados del área, pues la atención de los investigadores estaba concentrada básicamente en la fuente sísmogénica.

DAÑOS CAUSADOS POR LOS TSUNAMIS EN LAS COSTAS

Generalmente, en alta mar no es perceptible el tsunami debido a su escasa amplitud de onda, de solo centímetros, mientras que la longitud de la onda es muy grande. Cerca de la costa, las manifestaciones del tsunami son variadas y dependen de la energía de la onda y de las peculiaridades del relieve costero. Pueden variar desde una subida y bajada tranquila y uniforme del nivel del agua, en el caso de relieve regular, hasta grandes olas, que pueden convertirse en una inmensa muralla de agua de varios metros o incluso de decenas de metros de altura; esto sucede cuando el relieve es muy irregular, pues se genera un proceso de fricción con el fondo del mar y ocurre la turbulencia que se manifiesta como ya se describió. En este último caso, el tsunami tiene un gran poder destructor, barre cuanto se opone a su paso, y no deja huella de las construcciones e instalaciones portuarias existentes.

Cuando las olas son muy grandes, se producen los siguientes efectos en tierra firme:

- Levantamiento y arrastre de algunas estructuras ligeras como techos, edificios y puentes de madera (efectos hidrostáticos del agua).
- Destrucción y desplazamiento de edificios, arrastre de suelo (efectos hidrodinámicos).
- Daños por el impacto de objetos acarreados por el agua.

El área inundada (hacia el interior de la playa) y la relación existente entre los

efectos anteriormente citados dependen de:

- La energía del tsunami,
- El período de las ondas,
- La distancia que existe desde la fuente generadora del tsunami a la línea de costa,
- La pendiente del fondo del litoral,
- La pendiente de la costa.

En comparación con los terremotos, los tsunamis no producen tantas pérdidas materiales y humanas. Sin embargo, a semejanza de los temblores, su inevitabilidad los hace aterradores. Una persona a la que un maremoto sorprenda desprevenida tiene pocas posibilidades de salvarse. Por ello y debido a que la población y asentamientos costeros han aumentado, es muy necesario adoptar medidas para perfeccionar el sistema de alerta contra tsunamis.

TERREMOTO Y TSUNAMI DE NICARAGUA DEL 1 DE SETIEMBRE DE 1992

Parámetros de la actividad sísmica de Masachapa

La actividad sísmica asociada al terremoto de Masachapa del 1 de setiembre de 1992, se inició con una ruptura ubicada en la parte intermedia de la zona de Bennioff. El proceso de ruptura tardó 18,5 segundos, según el análisis del tensor del centroide de momentos efectuado en la Universidad de Harvard (informe preliminar PDE del USGS).

Normalmente, para los grandes temblores ocurridos en la zona de subducción frente a las costas de América Central y México, las rupturas se inician a profundidades entre 20 y 60 km sobre el plano de Bennioff y se propagan hacia el



interior en dirección al continente. Sin embargo, para este último evento de Masachapa, al parecer la ruptura se inició en profundidad y se propagó hacia la fosa de mayor a menor profundidad, alcanzando así la línea de fosa, lo que dio como resultado la generación del tsunami que arribó 30 minutos después a las costas nicaragüenses.

El planteamiento anterior puede ser respaldado por los siguientes resultados:

1. La réplica más importante (5,7 Mb), ocurrida 5 minutos después se localiza 50 km al sur del evento principal, muy cerca de la fosa mesoamericana.
2. Las réplicas ocurridas durante las primeras 12 horas, son probablemente las que están directamente relacionadas con los límites de la ruptura inicial, debido a que tienen una mejor ubicación por estar registradas en un mayor número de estaciones; además son las que aportan la mayor energía y muestran una menor dispersión.
3. Las réplicas ocurridas únicamente durante la tercera hora después del evento mayor tienden a orientarse en la dirección paralela a la fosa.

Area de ruptura

Considerando todos los eventos y sin hacer distinción por magnitud, se presenta un área de réplica muy extensa. Esta secuencia de eventos sísmicos diversos surgen a partir de la perturbación tectónica que genera importantes deformaciones y reactiva los sistemas adyacentes. Esta situación da lugar a una dispersión de eventos secundarios hacia los alrededores de la ruptura inicial. Generalmente éstos no indican la dimensión del área de ruptura asociada al evento principal.

Varios de estos eventos secundarios, están ubicados en otra zona sísmica conocida como Zona Sísmica de Papagayo, en la que la probabilidad de ocurrencia de un sismo de magnitud 7,0 o mayor, se estima en un 55% en el período 1990-2000 según Nishenko (1989). Para determinar el área de ruptura inicial, se han seleccionado las réplicas de magnitud Mb mayores o iguales a 5,0, ocurridas durante las primeras doce horas, las que están distribuidas, respecto al evento principal, hacia el suroeste en dirección de la fosa.

La forma de la ruptura asociada al evento principal, resulta aproximadamente elíptica, su eje mayor tiene una longitud de 110 km y se orienta en forma subparalela a la línea de la fosa. El eje menor tiene una distancia inclinada de 58 km. A partir de estos valores, se obtiene un área inicial de ruptura $A = 5068 \text{ km}^2$.

NEIC (NATIONAL EARTHQUAKE INFORMATION CENTER) asigna a este sismo los siguientes parámetros: el tiempo de ocurrencia 00:16 (GMT), con una magnitud $M_s = 7.0$, $M_b = 5.4$, epicentro localizado a 100 km al SW de Managua, Nicaragua, con una profundidad de 33 km

OBSERVACIONES DE EFECTOS DEL TSUNAMI EN COSTAS COSTARRICENSES

Las observaciones se efectuaron en las bahías y playas más conocidas y por ende, con más elementos vulnerables del Pacífico Norte. Se observó que los efectos generales en los puntos visitados no fueron perjudiciales. La Figura 2, muestra los lugares visitados y una estimación de intensidades tsunamigénicas y sismogénicas para cada localidad.

Bahía Tamarindo

Las observaciones y entrevistas en este lugar mostraron que no hubo daños,



salvo el asombro por el levantamiento del nivel del mar (de 2 a 3,5 m sobre la altura promedio alcanzada durante la marea alta) aproximadamente unos 15 a 20 minutos después del sismo, el cual fue percibido con baja intensidad.

Bahía Brasilito

En esta zona donde se asienta la población de Brasilito, el temblor fue percibido parcialmente por la población, el fenómeno que más impresionó fue el levantamiento del nivel del mar en aproximadamente 3 a 4 m sobre la zona máxima de marea alta. No hubo daños en la zona, solo pequeñas inundaciones en ciertas áreas próximas a la desembocadura de esteros, que afectaron un número muy reducido de casas.

Dentro de esta misma bahía tenemos la zona conocida como Flamingo, la cual fue la más afectada por los daños que sufrió, en especial el lugar conocido como la Marina (pequeño atracadero de yates y embarcaciones para la pesca) en donde el nivel del mar ascendió unos 4 m (aprox. 16 pies) pasando por encima de los diques naturales y provocando que muchos de los yates quedaran montados sobre los diques; además hubo daños en los muelles del lugar.

Es importante mencionar (comunicación verbal) que después de percibir el sismo y pasado un cierto tiempo (20 a 30 minutos) se observó un alejamiento del mar, que dejó a la mayoría de las embarcaciones encalladas, para luego producirse el levantamiento del mismo.

Bahía Potrero

La situación es muy similar a las anteriores, donde primero fue percibido el movimiento sísmico y luego el aumento

anormal del nivel del mar. Esta zona no sufrió efectos de ningún tipo.

Bahías El Coco y Hermosa

En este lugar es donde mejor se observó el efecto del levantamiento del nivel del mar que subió a 3,85 m medidos desde la base del muelle que posee una altura de 4,10 m (de 2 a 2,5 m por encima de la marea más alta). El sismo fue sentido con una baja intensidad, entre 15 a 20 minutos después de éste se dio un efecto de retroceso del nivel del mar en aproximadamente 125 m de la zona media de marea (con un tiempo de 1:20 minutos), para luego subir el nivel a la altura antes descrita y medida (menos de 1 minuto para subir). Este proceso se observó en 4 ocasiones.

No hubo daños en estructuras (casas, hoteles, cabinas), solo pequeñas inundaciones a lo largo de las zonas de desembocadura de esteros, lo que provocó alarma en la zona.

Bahía Panamá y Bahía Culebra

La situación en esta lugar fue de mucha calma y solo se percibió el movimiento sísmico.

Bahía Cuajiniquil, Junquillal y Salinas

La situación en este sitio fue de mucha calma, pero a la vez de asombro al ver el aumento en el nivel del mar.

TRAYECTORIA

Este tsunami fue registrado en Japón, lo cual indica que atravesó todo el Océano Pacífico (Cuadro 5). Fue registrado en

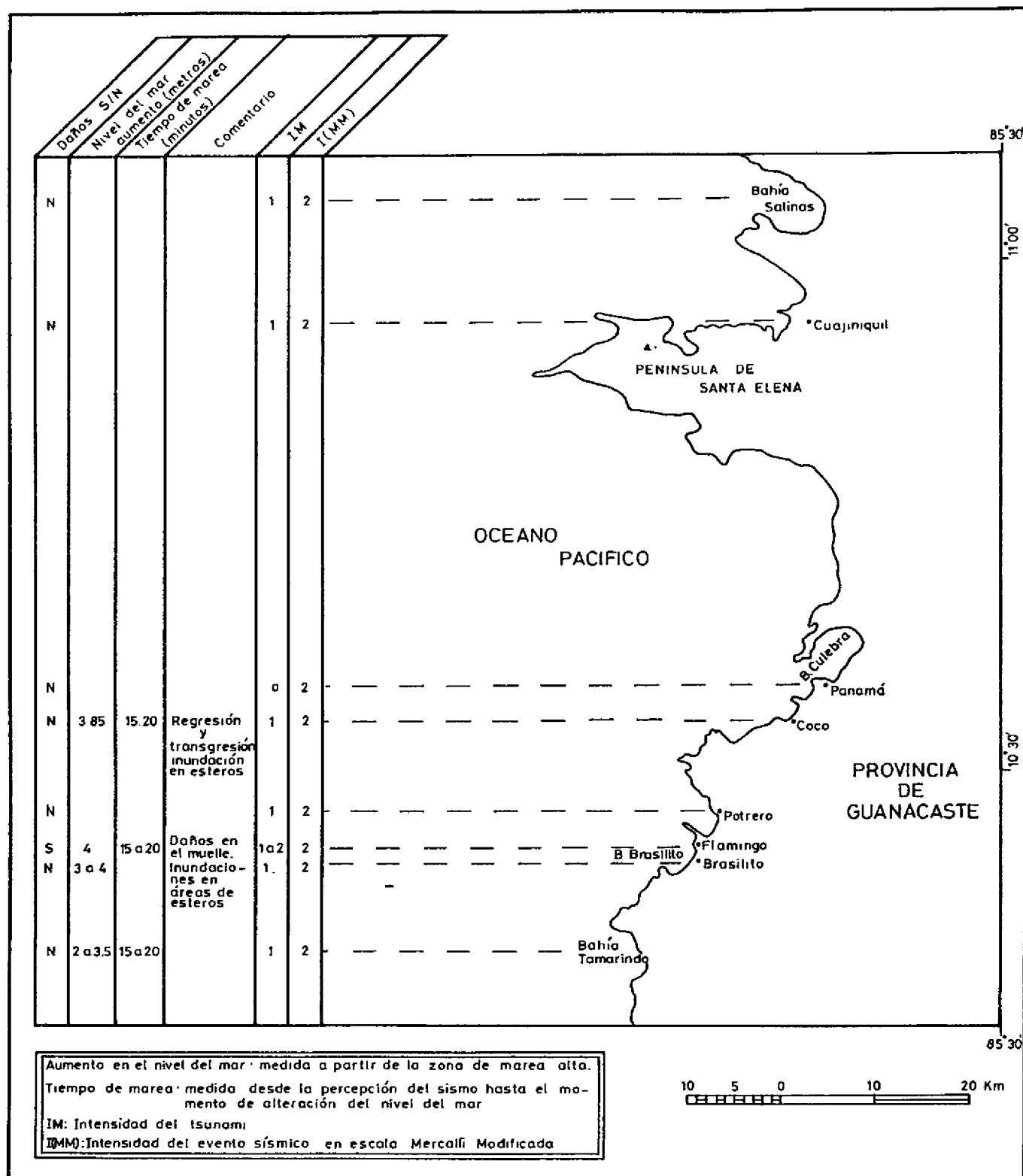


FIGURA 2. Intensidad y daños del tsunami del 1 de setiembre de 1992 en la costa pacífica norte de Costa Rica.

CUADRO 5. Puntos de registro del tsunami del 1 de setiembre de 1992.

Lugar	Altura ola	Tiempo de Recorrido	Velocidad media
Nicaragua	6-8 m	—	—
Costa Rica	1,5-2 m	—	—
Isla Baltra (I. Galápagos)	1,07 m	2:23 horas	672,6 km/h
La Libertad (Ecuador)	18 cm	3:17 horas	441,6 km/h
Isla Socorro	13 cm	4:39 horas	592,2 km/h
Valparaíso (Chile)	5 cm	6:53 horas	765,7 km/h
Isla de Pascua	75 cm	7:36 horas	652,2 km/h
Hilo (Hawaii)	11 cm	10:01 horas	693,1 km/h
Kawaihae (Hawaii)	5 cm	10:25 horas	731,7 km/h
Miyagy (Japón)	3 cm	16:14 horas	873,6 km/h

(Fuente: Centro de Detección de Tsunamis del Pacífico con sede en Honolulu).

Hawaii 10 horas después de que se generó y alcanzó velocidades superiores a los 760 km/h. El maremoto se dispersó en todas direcciones a partir del punto de origen.

El análisis de las trayectorias seguidas por la onda y los tiempos de arribo a diferentes puntos del Pacífico, revelan que la topografía submarina jugó un papel

importante en la propagación y velocidad de esta masa de agua. Las irregularidades del piso oceánico redujeron la velocidad del maremoto en algunas trayectorias.

El tsunami fue registrado en Nicaragua, Costa Rica, La Libertad (Ecuador), Valparaíso (Chile), Isla de Pascua (referida en la Figura 3 con el número 1), Islas de

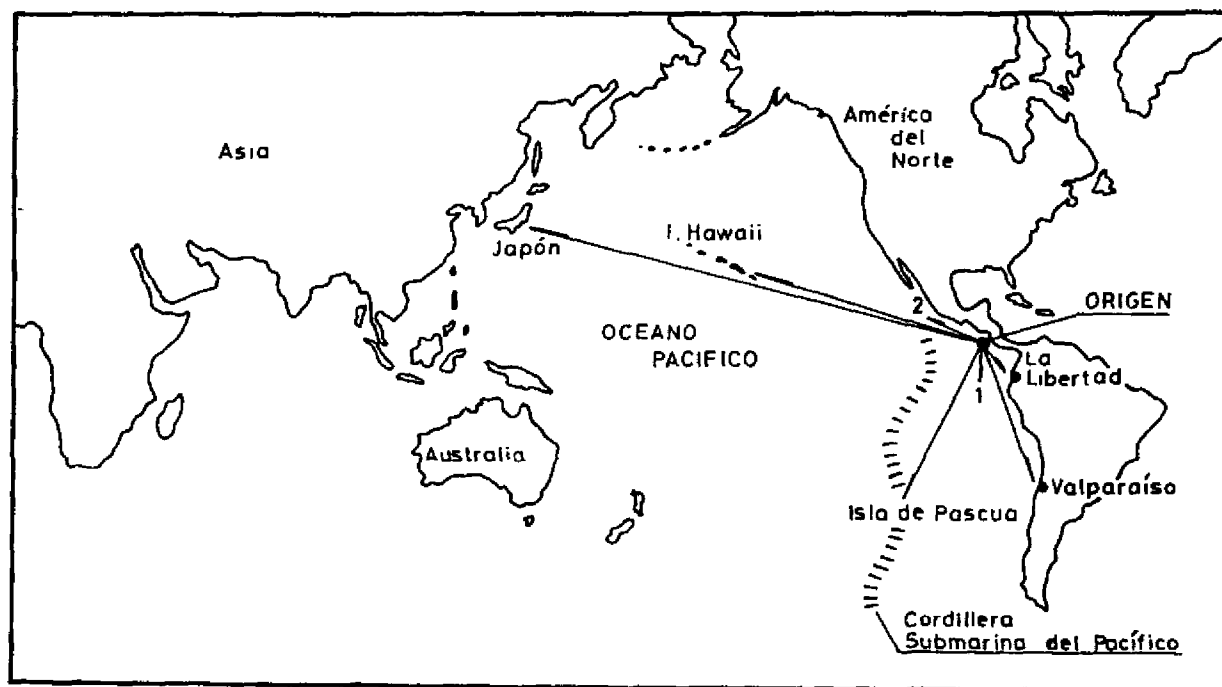


FIGURA 3. Puntos de observación del tsunami de Nicaragua (1 de setiembre, 1992).



Revillagigedo (referidas en la misma figura con el número 2), Isla Baltra (Galápagos), Hilo y Kawaihoe (Hawái) y Miyagi (Japón).

La Isla Baltra y el Puerto de la Libertad en Ecuador son puntos casi equidistantes por lo cual se esperaría que el tiempo de arribo a esos puntos y la velocidad a lo largo de esas trayectorias fueran muy similares, pero tardó 54 minutos más en llegar al Puerto La Libertad. Esto se explica porque hacia las Galápagos el tsunami viaja en mar abierto y profundo mientras que hacia Puerto La Libertad la trayectoria es más cercana a la costa y por tanto se retarda el movimiento de la onda de agua por existir mayor fricción entre el agua y el piso oceánico.

Entre la Isla de Pascua y Valparaíso se da una situación similar. En este caso el maremoto no llegó primero a la Isla de Pascua como se esperaría, debido a que entre el punto de origen del maremoto y la mencionada isla está el Archipiélago de Colón (Galápagos) el cual obviamente disminuyó la velocidad del tsunami.

La mayor velocidad registrada fue en la ruta hacia Chile y no hacia Hawái como se esperaría si se supone que en mar abierto la onda viaja a mayor velocidad. Esto probablemente es explicado por la presencia de la cordillera submarina del Pacífico. Esta cordillera tiene un tramo de dirección norte-sur que va desde un punto en el Océano Pacífico, frente a Cabo de Hornos, hasta el Golfo de California. En el recorrido hacia Hawái el tsunami tuvo que atravesar esta cordillera; en cambio, en la ruta hacia Chile; se propagó por el relieve relativamente plano existente entre la cordillera submarina del Pacífico y la costa sudamericana. La Figura 3, muestra las trayectorias para los diversos puntos reportados.

MEDIDAS DE SEGURIDAD CONTRA TSUNAMIS

Las siguientes medidas (Ferraras y Sanchez, s.f) son recomendables si usted

vive cerca de costas susceptibles al embate de los maremotos

- 1- Manténgase pendiente ante posibles avisos de emergencia por medio de la prensa escrita, la radio o la televisión sobre la eventual ocurrencia de un tsunami en sus costas.
- 2- Aunque la ocurrencia de fuertes temblores locales no es indicación de ocurrencia de maremotos, es conveniente, por prevención, no acercarse a zonas bajas de la costa después de ocurrir un sismo local.
- 3- Algunos maremotos se detectan inicialmente en la costa por una disminución considerable del nivel del mar, que deja grandes extensiones en seco. Ante este comportamiento del mar, aléjese inmediatamente de la costa. Nunca se acerque a la playa a mirar, recoger peces y mariscos, o a esperar el maremoto, si lo hace, cuando vea la ola será demasiado tarde para escapar, porque avanza a velocidades de cientos de kilómetros por hora.
- 4- Si usted vive o trabaja en una zona vulnerable a la inundación por maremotos, debe abandonarla a la brevedad posible cuando las autoridades se lo comuniquen y trasladarse al lugar más cercano que esté a suficiente altura sobre el nivel del mar, o subir a los pisos superiores si está en un edificio. Elabore con sus familiares o compañeros de trabajo un plan indicando lugares de refugio y rutas de evacuación, antes de que ocurra un evento, y determine lugares de reunión posterior. No transite con su vehículo por zonas vulnerables a inundación cuando se ha dado una señal de alarma a menos que sea con fines de evacuación.
- 5- Un tsunami puede tener 10 o más olas destructivas en un lapso de 12 horas, por lo tanto, no vuelva a los lugares vulnerables de inundación hasta que una autoridad responsable le indique que el peligro ha terminado.



- 6- Los maremotos pueden penetrar varios kilómetros tierra adentro por un río, estero o arroyo. Aléjese de esos cuerpos de agua al ocurrir un maremoto.
- 7- Los maremotos en el océano abierto son siempre pequeños (del orden de un metro). Si usted se encuentra en una embarcación y recibe el aviso de la ocurrencia de un posible maremoto, no se acerque a puerto, o salga a mar abierto si está en puerto, pues el maremoto es un proceso destructivo solamente en la costa
- 8- El Centro de Alarma contra Maremotos no emite falsas alarmas. Cuando se transmite un aviso es porque el maremoto existe. Tarde o temprano un tsunami puede alcanzar lugares muy distantes de su origen.
- 9- Durante una alerta de maremoto, se debe prestar completa ayuda al Servicio de Seguridad Civil, Comisión Nacional de Emergencia, a las organizaciones de socorro y a las autoridades navales.
- 10- Manténgase bien informado antes y durante estos eventos, muchas veces basta la buena información para mitigar los efectos de estos procesos naturales.

CONCLUSIONES

Se estima que el tsunami que afectó las costas de Nicaragua y Costa Rica tuvo una intensidad máxima de 3 para el litoral pacífico nicaragüense y entre 1 y 2 para algunas áreas de costa costarricense.

El maremoto no afectó en grandes proporciones la costa pacífica norte de nuestro país, al punto de no haber daños de consideración en infraestructura.

En algunos puntos de la costa pacífica norte costarricense el nivel del mar llegó

a sobrepasar aproximadamente más de 2,5 m sobre el nivel de marea más alta.

La zona más afectada fue la bahía Brasilito, en especial la localidad de Flamingo.

Es importante resaltar el hecho de que muchas áreas de costa costarricense quedaron sin daños apreciables y en algunas partes sin levantamiento excesivo del nivel del mar porque la geografía del litoral permitió que quedaran resguardadas al embate de las olas.

* No obstante, con este tsunami queda demostrado que el área centroamericana es susceptible a sufrir eventos o perturbaciones de esta naturaleza. En los textos que aluden al tema, no se menciona a América Central como una zona tsunamigénica. Ahora hay certeza de que a nuestras costas pueden llegar maremotos destructivos, y por lo tanto debe prestarse mayor atención a este tipo de desastre natural.

Es importante agregar que en este caso la naturaleza ha procedido contra pronóstico, y que si antes del evento del 1 de setiembre de 1992, se nos hubiese preguntado sobre las posibilidades de tsunamis en el área, quizá hubiéramos dicho que eran muy pocas o casi nulas, amparándonos en la escasa actividad tsunamigénica que se ha observado en el pasado.

Debemos aprender de la experiencia y prepararnos al máximo para mitigar los efectos de éste y cualquier otro evento natural de carácter destructivo.

Como medida preventiva sobre este particular, se recomienda que se analice la posibilidad de que el área centroamericana ingrese al Pacific Tsunami Warning Center, con sede en Hawaii. Este centro posee una red de monitoreo esparcida por el Pacífico e informa sobre posibles formaciones de tsunamis a los países que pertenecen a la red de observación.



LITERATURA CITADA

- Ferraras, S., Sánchez, A., s.f. **Qué hacer en caso de maremoto**. España: Secretaría de Marina, División de Oceanología Centro de Investigación Científico y Educación Superior de Ensenada (CICESE).
- Leeds, D.J., 1974: *Catalog of Nicaraguan earthquakes- Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol 64, No 4:1135-1158.
- Molnar, P. & Sykes, L.; 1969: *Tectonics of the Caribbean and Middle America region from local mechanism and seismicity- Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol 80:1639-1684.
- Morales, L.D.; 1985: *Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores- Rev. Geol. America Central*. no 3:69-102.
- Nishenko, C.P.; 1989: **Circum-Pacific Seismic Potential- U.S. Geol. Survey, Open File Report**.
- Plummer, CH., Mcgeary, D.; 1988: **Physical Geology- EUA: Wm C Brown Publisher**; p. 359, fig 16.18.
- Rojas, W.; 1992: **El evento sísmico del 01 de setiembre de 1992 en la costa pacífica central de Nicaragua- Informe preliminar. NORSAR-RSN**.
- Siebert, L.; 1974: *Large volcanic debris avalanches: characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions- Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 22:163-197.
- Soloviev, L.S.; *Tsunamis*. En UNESCO, 1980: **Terremotos: evaluación y mitigación de su peligrosidad**. Barcelona: Editorial Blume, p. 124-146.
- Stutch, P.; 1981: *Estimated intensities and probable tectonic sources of historic (pre-1898) Honduran earthquakes- Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol 71 no 3 p. 865-881.
- Viquez, V., Toral; 1988: *Sismicidad histórica sentida en el istmo de Panamá- Rev Geofísica IPGH*. 27:26-70.
- White, R., Cifuentes, L.; preliminar: *Seismic history of the middle America trench spanning the Guatemala triple junction and an earthquake forecast for western El Salvador*.