

Informe sobre las alturas de “run-up” alcanzadas por el tsunami asociado al sismo Mw=8.0 del 15 de Agosto de 2007 en la zona de Pisco, Perú

Sergio E. Barrientos
Depto. de Geofísica, Universidad de Chile
Miembro de la Misión CERESIS/UNESCO

Resumen. Este reporte contiene dieciocho observaciones de “run-ups” efectuadas a lo largo de la costa de Perú -entre San Pedro de Turín, ubicado a unos 30 km al sur de Lima, y San Juan de Marcona, ubicado a unos 500 km al sur de Lima- alrededor de 10 días después de haber ocurrido el terremoto del 15 de Agosto del 2007. Se aumentó a 22 el número de observaciones con cuatro mediciones publicadas por el Instituto Geofísico del Perú. Las observaciones muestran una media de un metro de “run-up” a distancias superiores a 100 km, fuera del área de mayor liberación de momento o desplazamiento en la falla (dos núcleos separados por cerca de 100 km, con más de 4 m de deslizamiento frente a Pisco y más de 8 m, frente a Paracas). El tsunami alcanza localizadamente alturas superiores a los 5 m y hasta 10 m en algunos casos, en la Reserva Nacional de Paracas, el lugar más cercano de la costa a la zona de mayor liberación de momento sísmico. A distancias lejanas, el tsunami se dejó sentir instrumentalmente, como es el caso de Nueva Zelanda. En Acapulco, México, y en Crescent City, California, alcanzó una amplitud de 20 y 14 cm. En el centro-sur de Chile alcanzó una amplitud de 33 cm.

Observaciones. Durante el período comprendido entre la tarde del día jueves 23 de Agosto y el domingo 26 de Agosto de 2007 se visitaron 18 localidades al lo largo de la costa de Perú con el objeto de estimar las alturas de “run-ups” asociadas al tsunami causado por el sismo del 15 de Agosto. Estas localidades se ubican desde unos 30 km al sur de Lima, en San Pedro de Turín, hasta San Juan de Marcona, un poco más de 500 km al sur de Lima.

Estas observaciones se encuentran complementadas con aquellas realizadas por el

Dr. Ronald Woodman y publicadas en la página web del Instituto Geofísico del Perú (www.igp.gob.pe).

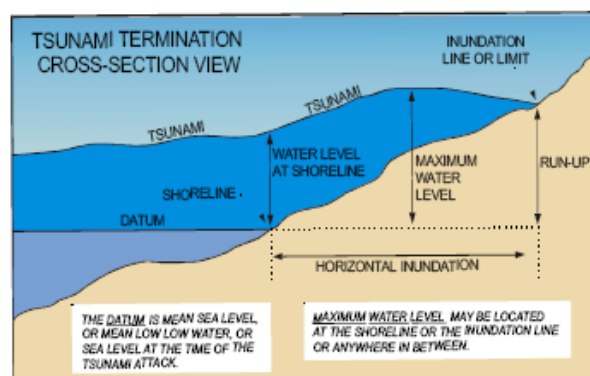


Fig. 1. Nomenclatura de tsunamis en la costa. Tomado de Tsunami Glossary, del Centro Internacional sobre Información de Tsunamis de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental.

El “run-up” (Fig. 1) se define como la diferencia entre la altura que alcanza la máxima penetración del agua (máxima inundación) y el nivel del mar que existe en el momento de producirse el tsunami. La manera de efectuar las observaciones y reducciones para determinar la altura máxima que el tsunami alcanza en un lugar determinado se muestra en la Fig. 2. En esta figura se aprecia el nivel del mar en el presente (a), el nivel de la marea máxima anterior (b) y la línea que demarca la inundación máxima (c). El dato que se adquiere en terreno es la diferencia de altura entre el nivel (c) y el nivel (b) utilizando un instrumento como un nivel convencional (geodésico) o un nivel de mano. Posteriormente, se corrige con respecto al nivel del mar en el momento que el tsunami alcanza la costa, utilizando tablas de mareas. Esto corresponde a un valor del “run-up” para un sitio determinado.

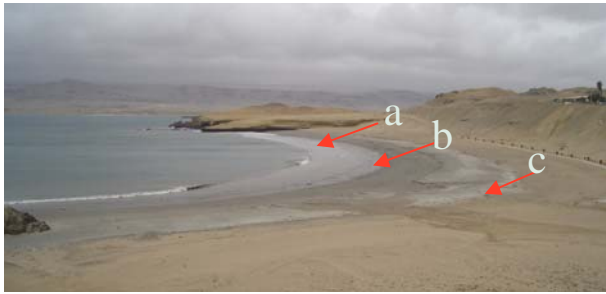


Fig.2. Conceptos básicos en observación de run-up de tsunamis

- a: nivel del mar durante la observación
- b: nivel del mar máximo dado por marea alta anterior a la medición
- c: indicación de la máxima penetración del agua (inundación)

Correcciones a las observaciones. Luego de efectuar las observaciones es necesario corregir las alturas debido a los diferentes tiempos en los cuales fueron realizadas las observaciones. Como no se tuvo acceso a los registros de una estación local, es necesario recurrir a dos estaciones mareográficas que no se encuentren muy alejadas de los lugares visitados. La Fig. 3 muestra el nivel del mar esperado de acuerdo a las tablas de mareas para la estaciones mareográficas ubicadas en Callao (12.0333° S, 77.1500° W) y en Matarani (17.0° S, 72.1167° W). Como se puede apreciar, el nivel del mar en el momento en el que el tsunami llegó a la costa en las cercanías de Callao era de 59 cm, lo que se muestra como una línea segmentada de color azul. Análogamente, el nivel de mareas en las cercanías de Matarani, del orden de 40 cm, es equivalentemente representado por la línea segmentada de color rojo en la misma figura.

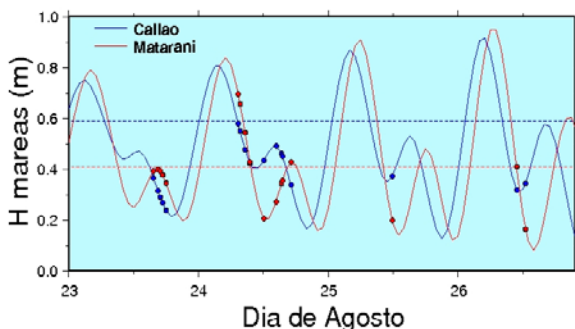


Fig. 3. Nivel de mar de acuerdo a las tablas de mareas en la estación mareográfica de Callao tanto durante el tsunami como durante los días de observaciones (línea azul). Las líneas rojas (segmentada y continua) muestran los niveles equivalentes para la estación ubicada en Matarani.

Adicionalmente, la Fig. 3 se puede utilizar para calcular las correcciones debido a la variación de las mareas.

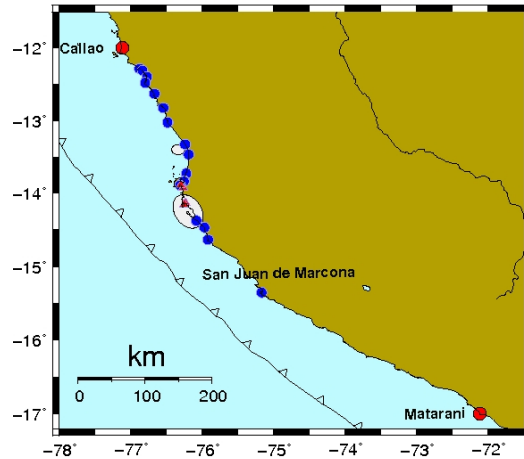


Fig. 4. Sitios donde se realizaron observaciones (círculos azules) a lo largo de la costa del Perú. Los círculos rojos muestran las ubicaciones de las estaciones en Callao y Matarani así como las dos elipses blancas representan los lugares de máximo desplazamiento en la falla.

La Fig. 4 muestra los sitios en los cuales se realizaron observaciones de “run-up”, desde unos 30 km al sur de Lima hasta San Juan de Marcona, más de 500 km al sur de Lima. Se pueden observar además las ubicaciones de las dos estaciones mareográficas que permiten interpolar las correcciones tanto espacial como temporalmente y también las elipses blancas que representan el máximo desplazamiento en la falla o contacto entre la Placa de Nazca y la Placa Sud-Americana (más de 4 m en la elipse del norte, frente a Pisco y más de 8 m, frente a la Reserva Nacional e Paracas, ubicada hacia el sur).

Como la mayoría de los sitios de observación se encuentran más cercanos a Callao, se utiliza esta última estación como base para efectuar las correcciones de mareas. Cada observación se realizó a partir de la línea de marea anterior más alta, por lo tanto, se debe agregar de 15 a 34 cm – correspondientes a la diferencia entre la marea más alta y la línea segmentada- dependiendo del día en que se efectuó la observación.

Para la observación en San Juan de Marcona, que se localiza en forma equidistante de Callao y Matarani, hay que considerar una interpolación espacial de las correcciones. Un valor de 35 cm es apropiado incrementar la observación efectuada el día 25 de Agosto en esta localidad.

En la Tabla Resumen anexa, se establece el lugar, el día y la hora en que se efectuó la observación, así como la corrección efectuada. En esta tabla se anexan 4 observaciones que aparecen publicadas en la página web del Instituto Geofísico del Perú. Estas observaciones adicionales corresponden en parte a aquellas realizadas en la Reserva Nacional de Paracas y donde localmente se alcanzaron los valores más altos de “run-up” del tsunami. La mayoría de estas observaciones se describe como efectuada a partir de la línea de más alta marea anterior, de modo que se efectúa el mismo procedimiento empleado anteriormente para corregirlas. Sin embargo, una observación se refiere a la marea existente en ese momento (Chucho, 2:00 p.m. local), de manera que su corrección es distinta a aquellas realizadas a otras observaciones y se efectúa con respecto al nivel del mar actual y no con respecto al máximo de la marea anterior.

Una vez efectuadas las correcciones, las observaciones corregidas se muestran en la Fig. 5. Un error estimado en las observaciones alcanza a unos 10 cm.

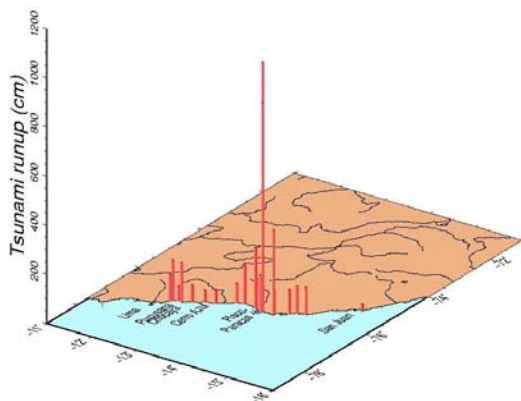


Fig. 5. Alturas alcanzadas por el run-up en diferentes localidades a lo largo de la costa del Perú. Máximas alturas del run-up, muy focalizadas, se encontraron en la zona de la Reserva Nacional de Paracas.

Discusión. Las observaciones realizadas a lo largo de la costa por cerca de 500 km, muestran una media del orden de un metro de “run-up” a distancias superiores a 100 km, fuera del área de la Reserva Nacional de Paracas y entre ésta y Pisco. En la región de la Reserva Nacional de Paracas, se observan localizadamente alturas de “run-up” superiores a los 5 m y hasta 10 m en algunos casos. Sin embargo, estas alturas son producidas por configuraciones locales de topografía/batimetría ya que en zonas muy cercanas también se observan “run-ups” de mucho menor magnitud (menores que 2 m). También es importante el tsunami en la zona comprendida entre Pisco y la Reserva Nacional de Paracas, con alturas de “run-ups” superiores a los 2 m. Estas observaciones son en principio consistentes con el modelo de desplazamiento en la falla publicado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (dos zonas de desplazamiento máximo en el contacto entre la Placa de Nazca y Sud Americana, ver elipses blancas en la Fig. 4).

Lamentablemente no en todos los lugares se pudo conversar con testigos, pero en el sector norte de las observaciones, la primera inundación (de tres) fue reconocida como la de mayor altura, en tanto que en la zona de Tambo de Mora y Pisco fue la segunda que invadió más el terreno y en Paracas se observaron hasta cuatro frentes de inundación..

En el campo lejano, mareógrafos ubicados en Chile midieron hasta 37 cm (Arica) y 33 cm (Talcahuano) de amplitud. En Hilo, Hawaii, alcanzó 40 cm y en Nueva Zelanda se reporta haber registrado este evento en los instrumentos ubicados en la costa Este, incluyendo Chatham Is.

Agradecimientos. Al Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y UNESCO por haber hecho posible este estudio. Al Dr. D. Huaco, quien facilitó el trabajo en el terreno, al Dr. R. Woodman por haber entregado indicaciones de los lugares más afectados por el tsunami y por último al Sr. Carlos Velásquez por haber conducido el vehículo que nos permitió llegar a los puntos donde se efectuaron las observaciones.

Tabla Resumen

Día	Hora	Latitud	Longitud	Run up (m)	Corr. (m)	Run-up Corr.	Descripción
23/08/07	15:40	12° 17.227'	76° 52.869'	1.08	0.17	1.18	San Pedro de Turín
23/08/07	16:20	12° 18.818'	76° 50.299'	1.66	0.17	2.83	Playa El Silencio
23/08/07	16:55	12° 24.064'	76° 46.613'	0.60	0.17	0.77	Playa Santa María
23/08/07	17:20	12° 28.856'	76° 47.911'	1.20	0.17	1.37	Puerto de Pucusana
23/08/07	18:00	12° 37.894'	76° 49.263'	0.70	0.17	0.87	El León Dormido
24/08/07	07:20	13° 01.651'	76° 28.986'	0.55	0.20	0.75	Cerro Azul – Puerto Viejo
24/08/07	07:40	13° 01.695'	76° 29.180'	0.55	0.20	0.75	Puerto Viejo Oeste
24/08/07	08:35	12° 49.692'	76° 32.745'	0.50	0.20	0.70	Playa Sarapampa
24/08/07	09:40	13° 19.829'	76° 14.418'	0.80	0.20	1.00	Jahuay
24/08/07	12:05	13° 28.110'	76° 11.402'	1.60	0.20	1.80	Tambo de Mora
24/08/07	14:20	13° 43.747'	76° 13.382'	2.45	0.20	2.65	Pisco, Caleta de San Andrés
24/08/07	15:20	13° 49.938'	76° 14.944'	1.10	0.20	1.30	Paracas Chaco
24/08/07	15:30	13° 50.335'	76° 15.477'	1.25	0.20	1.45	Paracas, lado Oeste
24/08/07	17:05	13° 53.572'	76° 18.493'	1.50	0.20	1.70	Lagunillas, Res. Nac. de Paracas
25/08/07	11:30	15° 21.537'	75° 09.641'	0.25	0.35	0.60	San Juan de Marcona
26/08/07	10:50	14° 38.074'	75° 55.354'	1.10	0.34	1.44	Caleta la Hierba
26/08/07	12:30	14° 28.284'	75° 58.333'	1.10	0.34	1.44	Playa la Cueva
26/08/07	13:10	14° 22.529'	76° 05.037'	1.00	0.34	1.34	Playa Barlovento
26/08/07	14:00	14° 08.900'	76° 18.333'	3.40	-0.25	3.15	Chucho (* observación IGP)
26/08/07		13° 55.600'	76° 16.983'	10.15	0.34	10.49	Playa Yumaque (* obs. IGP)
26/08/07		13° 55.000'	76° 16.883'	8.50	0.34	8.84	LMK039 (* observación IGP)
25/08/07		13° 53.883'	76° 18.667'	5.60	0.24	5.84	Lagunillas (* obs. IGP)



Ejemplo de inundación de una casa en Pisco, específicamente en la Caleta de San Andrés. El Sr. Juan Gilberto Ibarra Delgado, dueño de la casa verde que se muestra en las fotos, indica la altura de “run-up” al interior de los cuartos. En la foto panorámica se aprecia la distancia y diferencia de altura entre el nivel del mar y la altura del ventanal (2.65 m) cuyos vidrios fueron quebrados por la presión del agua. Observación efectuada el día 24 de Agosto a las 14:20.