

# SEDIMENTOLOGÍA Y DATACIONES POR LUMINISCENCIA ESTIMULADA ÓPTICAMENTE (OSL) DE DEPÓSITOS DE PALEOTSUNAMIS A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA

*Benavente, C<sup>1</sup>., Spiske, M<sup>2</sup>., Piepenbreier, J<sup>2</sup>., Kunz, A<sup>3,4</sup>., Bahlburg, H<sup>2</sup>. & Steffahn, J<sup>5</sup>.*

<sup>1</sup>*Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, Av. Canadá 1470, Lima, Peru; [cbenavente@ingemmet.gob.pe](mailto:cbenavente@ingemmet.gob.pe)*

<sup>2</sup>*Westfälische Wilhelms-Universität, Institut für Geologie und Paläontologie, Corrensstrasse 24, 48149 Münster, Germany*

<sup>3</sup>*Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik - LIAG, Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany*

<sup>4</sup>*Department of Geosciences, Luminescence Dating Laboratory, National Taiwan University, Roosevelt Rd., Taipei 106, Taiwan*

<sup>5</sup>*GeoDienste GmbH, Leinestraße 33, 30827 Garbsen, Germany*

## INTRODUCCIÓN

La costa del Pacífico fue testigo de innumerables tsunamis desde la formación de la margen y seguirán ocurriendo por millones de años más, es así que se reportan olas de hasta 20 m (Kulikov et al., 2005), generando extensa destrucción y pérdidas de vidas. Lockrige (1985), determina según estadísticas que entre Perú y Chile son los países que sufren más terremotos y erupciones volcánicas por kilómetro cuadrado en todo el planeta. Sólo si se considera el siglo XX, uno de cada tres tsunamis del Océano Pacífico se originaron en las costas peruanas y/o chilenas.

A fines de los ochenta, la aparición de dos publicaciones generó un importante cambio en la forma de evaluar el riesgo de tsunami. Atwater (1987) observó capas de sedimentos arenosos anómalas en la estratigrafía palustre, interpretándolos como depósitos prehistóricos de tsunamis. Posteriormente, Dawson et al. (1988) describió un inusual depósito contenido en la estratigrafía de la costa de Escocia, explicándolo como el resultado de un mega-tsunami producido por la avalancha submarina Storegga ocurrida hace 8 100 años en el norte de Europa. Tanto Atwater (1987) como Dawson et al. (1988) enfrentaron dificultades en sus interpretaciones, debido a que no fue posible, en aquel tiempo demostrar que aquellos estratos fueran similares a los depósitos dejados por tsunamis modernos, pues nunca antes habían sido estudiados. Así, Atwater (1987) utilizó información sismológica de un gran terremoto (1700 DC), para sustentar que un tsunami, inducido por aquel sismo, había depositado dichos sedimentos.

A pesar de la importancia de los sismos y tsunamis en Perú, existen muy pocos estudios científicos relacionados a los registros sedimentarios y geomorfológicos dejados por estos eventos en el litoral de nuestro país. En el presente trabajo presentamos resultados sobre la sedimentología y dataciones de los depósitos de tsunami a lo largo de la margen peruana utilizando OSL como técnica de datación.

## MÉTODOS DE ESTUDIO

La costa peruana, a excepción del norte, tiene condiciones climáticas hiper áridas, donde las precipitaciones anuales son bajas, en consecuencia las inundaciones marinas a lo largo de la costa peruana se deben muy probablemente sólo a tsunamis. La morfología de la costa peruana muestra morfológicamente acantilados costeros, playas arenosas, amplias llanuras de ríos y pantanos; morfologías que poseen posibilidades para la preservación de tsunamis (Spiske et al., in review; Benavente et al., 2008), todo lo contrario a las costas escarpadas y regiones con alta tasa de sedimentación eólica o mayor erosión. Los ambientes pantanosos son favorables para la preservación de depósitos de tsunamis, siempre y cuando este no se encuentre afectado por la inundación de ríos en eventos asociados al Fenómeno del Niño o lluvias extraordinarias. Los depósitos de tsunamis generan ciertos tipos de estructuras sedimentarias que hacen de su identificación una herramienta; entre ellas tenemos, bases erosivas (rip up clast), laminaciones cruzadas, en flama, entre otros; el estudio de estos depósitos es mejor cuando se encuentra interestratificado con depósitos palustres, ya que conservan sus características estratigráficas y

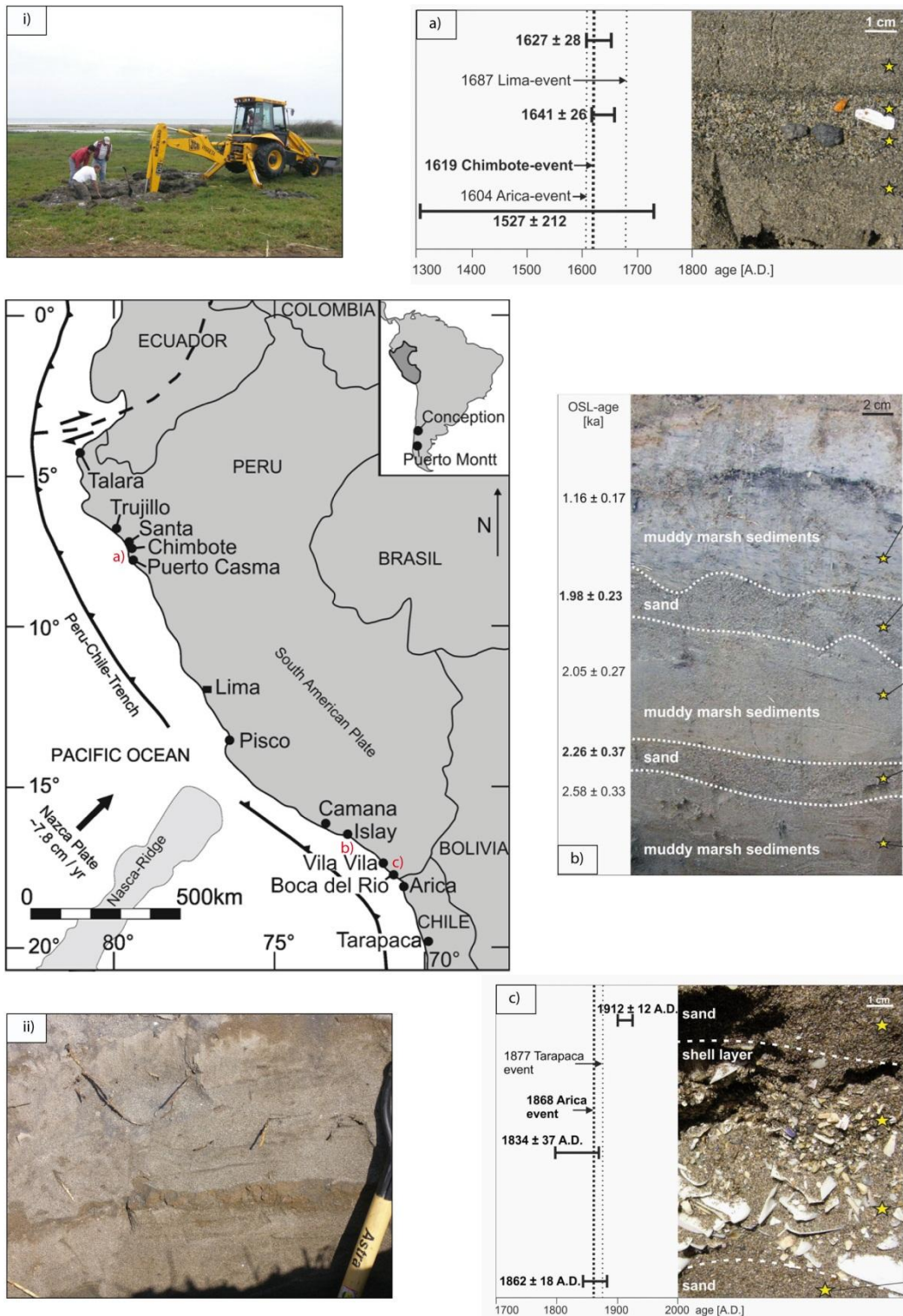


Fig. 1: La fotografía i) muestra una de las formas como se hicieron las zanjas o trincheras; en ii) observamos un paleosuelo erosionado por arenas de tsunamis (sur de Islay). Las figuras a), b) y c) muestran los depósitos de tsunamis y sus respectivas dataciones utilizando el método OSL (Luminiscencia Estimulada Ópticamente). a) Puerto Casma; b) Vila Vila y c) Boca de Río.

sedimentológicas; asimismo los análisis estratigráficos son acompañado con estudios de micropaleontología con la finalidad de identificar foraminíferos de ambiente profundo.

En un contexto sedimentario el método OSL es útil, ya que data el entierro más reciente de granos de cuarzo y/o feldespato. Esto lo hace útil para fechar acontecimientos geológicos, por que indica la edad de la depositación de sedimentos en lugar de la fuente del material en sí. Asimismo, el OSL tiene una gama más amplia (temporal) abarcando desde décadas hasta un millón de años, en comparación con el radiocarbono que abarca de 200 a 65 000 años (Aitken, 1998; Burbank & Anderson, 2001). Por consiguiente el OSL es ya un método bien establecido para la datación de largo plazo; sin embargo, los sedimentos que han sido depositados por eventos de tiempo muy corto, son un reto adicional, uno de los casos son los depósitos de tsunamis, donde los sedimentos al depositarse de forma rápida tiene poco tiempo para la exposición a la radiación cósmica, aún más si el tsunami se produce en la noche (Huntley & Clague, 1996).

A pesar del riesgo de la insuficiencia a la exposición cósmica, los análisis de depósitos de tsunamis con OSL se han traducido en éxito realizando profundas investigaciones y llegando a calibrar los parámetros. Es así, que estudios recientes indican que la data de los estudios de los depósitos de tsunamis son posibles utilizando el método de OSL (Brill et al., 2012; Kunz et al., 2010; Cunha et al., 2009; Huntley & Clague, 1996; entre otros).

La altitud y la velocidad de tsunamis en la costa están calculadas con un modelo de inversión (TsuSedMod, Jaffe and Gelfenbaum (2007), donde se utiliza la granulometría y el espesor de la unidad tsunamigénica.

## **RESULTADOS**

Con la finalidad de identificar depósitos y/o huellas de tsunamis históricos, realizamos 90 excavaciones y perforaciones a lo largo de la costa peruana, aproximadamente 2 400 km de longitud.

Identificamos depósitos de tsunamis en Puerto Casma (norte de Perú), Vila Vila y Boca del Río (sur del Perú); además de los sedimentos dejados por los tsunamis de Chimbote (1996), Camaná (2001) y Pisco (2007) (Fig. 1).

La playa de Puerto Casma se ubica a 45 km al sur de Chimbote, en esta bahía de aproximadamente 3 km de ancho, se identificó a 0.60 m por debajo de la superficie un nivel de arena (3-6 cm de espesor) diferente a los sedimentos de playa. Este nivel es anómalo, tanto por su composición como por la coloración (grano más grueso con alto contenido de minerales pesados, plagioclasa y granos de cuarzo), respecto a los sedimentos de playa; además dicho nivel contiene fragmentos de conchas, rocas y presenta un contacto ondulado debido a la erosión del nivel infrayacente. La datación por OSL revela una edad de  $1641 \pm 26$  años D.C.

En Boca del Río, identificamos a 0.50 m de profundidad, dos depósitos de tsunamis con espesores aproximado de 4 cm. Éstos están constituidos por arenas de granos gruesos e intercalados con depósitos finos de ambiente palustre. Ambos depósitos muestran fragmentos de conchas y hacia la base presentan contacto ondulado por erosión. El depósito inferior se encuentra a 0.40 m por debajo de la superficie actual, mientras que la superior se ubica a 0.30 m por debajo de la superficie. Ambos depósitos los interpretamos como resultado de dos tsunamis históricos que inundaron la planicie costera. Las fechas de la depositación de los dos niveles por el método OSL sugieren una edad de  $2.26 \pm 0.37$  ka para el nivel inferior y  $1.98 \pm 0.23$  ka para el superior.

En Vila Vila, se identificó a 1.1 m por debajo de la superficie actual un nivel anómalo compuesto por una aglomeración de conchas en matriz de arena gruesa, grano anómalo en el perfil estratigráfico, dichas

conchas muestran imbricación hacia el continente con ángulos de 30° a 45°, dando evidencia de la depositación durante su transporte hacia la tierra. Además, este nivel contiene fragmentos de rocas redondeados de hasta 12 x 11x 15 cm de tamaño. Vila Vila es el único lugar donde se identificaron foraminíferos de especie *Anomalinoidea* sp. y *Cribrorotalia* sp. a lo largo de todo el perfil estratigráfico; las especies son típicas para las regiones de plataforma interna con profundidades de agua menor a 100 m. La presencia de foraminíferos no es argumento para indicar el origen de este depósito, ya que se encuentran en toda la columna estratigráfica, es probable que estas especies fueran arrastradas por oleajes anómalos o por erosión de acantilados pleistocénicos. La datación de este nivel por OSL da una edad de 1834±37 años.

En Punta Bombón, se identificó a 10 cm de profundidad un depósito de tsunami suprayaciendo a un nivel de fino con evidencias de erosión constituido por arcillas, este depósito podría estar posiblemente relacionado al sismo del 23 de junio del 2001. A 40 cm de profundidad se observó otro depósito de tsunami constituido por arenas de grano grueso suprayaciendo a otro horizonte fino erosionado, resencia de rip-up-clast (clastos rasgados) producto de la erosión y raíces de plantas. El espesor del depósito es aproximadamente de 7 cm. Este nivel podría estar relacionado al tsunami de 1868.

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que la fosa Perú–Chile es una de las más activas del mundo, con alta frecuencia de terremotos de gran magnitud y con generación de tsunamis, es sorprendente encontrar depósitos un pequeño número de niveles, esto puede ser debido a: i) que una gran parte de la costa está cubierta por los acantilados, ii) a que los depósitos de la costa y los depósitos de tsunamis puedan tener las mismas fuentes y iii) el bajo potencial de preservación de los depósitos, determinado principalmente por el clima árido y una rápida erosión eólica de los sedimentos de tsunami en continente.

En Puerto Casma se encontró un depósito de tsunami fechada en 1641±26 años D.C; además se observó que este nivel tiene alto contenido de minerales pesados. La presencia de minerales pesados refleja que el tsunami tenía mayores condiciones de flujo energético en comparación a las olas normales, por tanto es capaz de transportar y erosionar. Alrededor de la edad con fecha 1641±26 años D.C (1615-1667 D.C.), se ubican 7 grandes sismos según la información compilada por Spiske et al. (in review), entre ellas eventos que sólo afectaron el sur del Perú (1615, 1647, 1664 y 1678); mientras que los sismos que se reportaron hasta el norte fueron los eventos de 1604, pero la altura de las olas fueron pequeñas y no están de acuerdo con la profundidad de flujo calculado por Spiske et al. (in review) de 6,2 m en Puerto Casma. Además este evento no se encuentra dentro del rango calculado, el mismo criterio se aplica para el sismo de 1687 con epicentro cercano a Lima. Por consiguiente, el evento de 1619 podría ser el desencadenante del tsunami.

Sobre el depósito de Vila Vila, tenemos según el catálogo de tsunamis (Berninghausen, 1962; Iida et al., 1967; Lomnitz, 1970; Lockridge, 1985; Dorbarth et al., 1990; Carpio y Tavera; 2002; Kulikov et al., 2005) una lista de siete grandes sismos que posiblemente generaron la depositación de sedimentos de tsunamis. El sismo de 1833 que no informó tsunami; los sismos de 1847, 1869 y 1871 donde los tsunamis fueron probablemente demasiados pequeños para depositar el nivel de Vila Vila. Los tsunamis de 1835, 1868 y 1877 causaron tsunamis en el Pacífico entero, el de 1835 se generó en Chile central, pero no se registraron severos daños en el sur del Perú, en consecuencia el sismo de 1868 permanece como posible detonante para la depositación del depósito de Vila Vila, además este es el más cercano a la edad obtenida (1834±37 D.C).

Las dos capas identificadas en Boca del Río están fechadas en 2.26±0.37 ka para el nivel inferior y 1.98±0.23ka para el superior. En consecuencia, sus edades están más allá del límite de los catálogos de tsunamis. El lapso de tiempo transcurrido entre los dos niveles es de aproximadamente de 272 años.

Los sismos más grandes del Perú fueron en 1604 y 1868, curiosamente el lapso de tiempo que pasa entre estos eventos principales es de 264 años; por otra parte está documentado que los sismos de 1604 y 1868 tuvieron parámetros similares (Dorbath et al., 1990). Esto también aplica para los dos niveles de Boca del Río, donde los parámetros de flujo son similares, tal como lo demuestra Spiske et al., (in review). Estas observaciones implican que los niveles identificados en Boca del Río se produjeron por sismos similares al de 1604 y 1868.

En conclusión, sismos de gran magnitud y consecuentes tsunamis se producen con frecuencia, es así que en el registro estratigráfico se deberían mostrar dichos eventos. Este estudio muestra, que la preservación de los depósitos de tsunamis es baja, además por primera vez se documenta la evidencia sedimentológica de tsunamis pasados, más allá del límite de los catálogos. Asimismo, el depósito del norte del Perú, podría ser la primera documentación de un tsunami en 1619 frente a las costas de Chimbote. En el sur (Vila Vila), una capa rica en conchas podría estar relacionado con el sismo de 1868, evento que fue uno de los más grandes de la costa pacífica. Las dos capas de eventos que se encuentran en Boca del Río y fechado en  $2.26 \pm 0.37$  ka para el nivel inferior y  $1.98 \pm 0.23$  ka para el superior, parecen asemejarse a los terremotos de 1604 y 1868.

## REFERENCIAS

- Atwater, B. (1987): "Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington State". EN: Science, Vol. 236: 942-944.
- Aitken, M.J., 1998. An introduction to optical dating – the dating of quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence. Oxford University Press, Oxford, 280 p.
- Benavente, C., Spiske, M., Piepenbreier, J., Bahlburg, H., Macharé, J. Observaciones preliminares acerca los depósitos de tsunami en el sur del Perú.
- Berninghausen, W. H., 1962. Tsunamis reported from the west coast of South America from 1562-1960. Bulletin of the Seismological Society of America 52 (4), 915–921.
- Brill, D., Klasen, N., Brückner, H., Jankaew, K., Scheffers, A., Kelletat, D., Scheffers, S., 2012. OSL dating of tsunami deposits from Phra Thong Island, Thailand. Quaternary Geochronology, doi: 10.1016/j.quageo.2012.02.016.
- Carpio, J., Tavera, H., 2002. Estructura de un catálogo de tsunamis para el Peru basado en el catálogo de Gusiakov. Boletín de la Sociedad Geológica del Peru 94, 45–59.
- Dawson, A.G., Shi, S., 2000. Tsunami deposits. Pure and Applied Geophysics, 157, 875–897.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C., 1990. Assessment of the size of large and great historical earthquakes of Peru. Bulletin of the Seismological Society of America 80 (3), 551–576.
- Huntely, D.J., Clague, J.J., 1996. Optical dating of tsunami-laid sands. Quaternary Research 46, 127–140.
- Iida, K., Cox, D.C., Pararas-Carayannis, G., 1967. Preliminary catalog of tsunamis occurring in the Pacific Ocean. University of Hawaii; Data Report 5, Honolulu. 274 pp. [http://www.soest.hawaii.edu/Library/Tsunami%20Reports/Iida\\_et\\_al.pdf](http://www.soest.hawaii.edu/Library/Tsunami%20Reports/Iida_et_al.pdf). [last accessed April 2012]
- Jaffe, B.E., Gelfenbaum, G., 2007. A simple model for calculating tsunami flow speed from tsunami deposits. Sedimentary Geology 200 (3–4), 347–361.
- Kulikov, E.A., Rabinovich, A.B., Thomson, R.E., 2005. Estimation of tsunami risk for the coasts of Peru and Northern Chile. Natural Hazards 35 (2), 185–209.
- Kunz, A., Frechen, M., Ramesh, R., Urban, B., 2010. Revealing the coastal event-history of the Andaman Islands (Bay of Bengal) during the Holocene using radiocarbon and OSL dating. International Journal of Earth Sciences 99 (8), 1741–1761.
- Lockridge, P.A., 1985. Tsunamis in Peru-Chile. <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/data/publications/Wdcse-39.pdf>, World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Report SE-39. [last accessed April 2012]
- Lomnitz, C., 1970. Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955. International Journal of Earth Sciences 59 (3), 938–960.
- Spiske, M., Piepenbreier, J., Benavente, C., Bahlburg, H., in review. The onshore preservation potential of siliciclastic tsunami deposits in arid climate regions. Earth-Science Reviews, in review.