

Evidencias de paleosismicidad en la Región de Lima (Costa del Perú Central)

PALEOSEISMICITY EVIDENCE IN THE REGION OF LIMA (PERU CENTRAL COAST)

Javier Jacay¹

RECIBIDO: 14/10/2013 – APROBADO: 20/12/2013

RESUMEN

Los datos sobre los desastres naturales en esta parte de la margen andina solo son conocidos desde los primeros registros de las crónicas descritas por los españoles desde la etapa de la conquista, datos que han servido para las catalogaciones de los principales sismos y de relaciones ENSO.

El estudio de la paleosismicidad requiere como base aplicar conceptos de la geología clásica a la última fase de deformación, los rasgos morfotectónicos o las deformaciones generadas por movimientos sísmicos fuertes o por deformación tectónica gradual ocurrida en este caso particular durante el Plio-Cuaternario. Para el área de Lima se tiene la identificación y caracterización de las estructuras sedimentarias generadas por el efecto sísmico "sismitas", son estos depósitos inconsolidados que corresponden a depósitos fluvio-terrestres, lacustres, entre otros, los que presentan una relativa abundancia de figuras ligadas a eventos sísmicos, siendo las estructuras más comunes capas contorneadas (laminaciones onduladas) o invaginaciones, figuras de carga e inyecciones de material de arenas y/o arcillas.

Con los datos obtenidos se hace un esbozo de la cronología relativa para estos eventos ocurridos en el valle fluvio aluvial del río Rímac.

Palabras clave: Neotectónica, Sismita, Paleosismo, Cuaternario.

ABSTRACT

Data on natural disasters of this part of the Andean margin, is only known since the earliest records of the chronicles written by the Spaniards in the conquest stage, this data has served to cataloging the major earthquakes and ENSO relationships.

The study of paleoseismicity require the application of classical geology concepts to the last deformation phase, the morphotectonic features or deformation generated by strong earthquakes or gradual tectonic deformation occurred in this particular case during the Pliocene-Quaternary. For the Lima area there is the identification and characterization of sedimentary structures generated by the seismic effect known as "seismites", which correspond to unconsolidated fluvio torrential deposits, lacustrine deposits, amongst others; these deposits have a relative abundance of sedimentary structures linked to seismic events, the most common structures are the contoured layers (wavy lamination) or invaginations, load structures and injections of sand and/or clay.

With the data collected we can make an outline of the relative chronology for events happened in the fluvial-alluvial valley of Rímac River.

Key words: Neotectonic, Seismites, Palaeoseismicity, Quaternary.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica. Correo electrónico: jjacayh@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Los datos sobre los desastres naturales, entre estos los sismos de esta parte de la margen andina, solo se conocen desde los primeros registros de las crónicas descritas por los españoles desde la etapa de la conquista, datos que han servido para las catalogaciones de los principales sismos (Silgado 1978), de relaciones ENSO (Quin *et al.* 1987, Hocquenghem y Ortlieb 1992).

Son las condiciones climáticas y paleoclimáticas donde numerosos estudios se realizaron, lo que es evidente por ser la costa pacífica, una zona de influencia del fenómeno “El Niño” (ENSO), que en diferentes épocas han ocasionado modificaciones morfológicas locales ocasionado sea por desborde de los ríos, lluvias intensas, deslizamientos de tierras, entre otros (Ortlieb *et al.* 1989 a y b; Ortlieb & Machare 1990); formación de cordones litorales en la región norte de la costa peruana de la zona litoral del Santa, Guadalupe, Colán, Chira en relación al fenómeno “El Niño”.

Atención especial es la formación de terrazas costeras levantadas que se presentan al sur de la dorsal de Nazca (Broggi 1946, Ortlieb y Machare 1990, Machare & Ortlieb 1992, Saillard *et al.*, 2011), y en el sector norte, región de Bayovar a la península de Santa Elena (DeVries 1988; Pedoja 2003, Pedoja *et al.* 2003 y 2006) lo que ya es testigo de una actividad neotectónica actual en esta parte de la región costanera de la margen peruana.

Este trabajo se llevó a cabo con la identificación y caracterización de las estructuras sedimentarias generadas por el efecto sísmico, la presencia de sismitas en sedimentos inconsolidados del Mioceno superior al Cuaternario de la región de Lima (Figura N.º 1), evidencian una actividad sísmica ligada principalmente a la actividad sísmica de subducción que no queda reflejada en el registro de la actividad actual (registro histórico e instrumental). Estos estudios basados en el registro geológico son fundamentales para caracterizar la actividad sísmica de las regiones de subducción, como es el caso de la zona costera del Perú central, donde los periodos de recurrencia de los grandes terremotos (de varios cientos de años) superan con creces el lapso temporal que abarcan los registros instrumental e histórico.

En este trabajo vamos a contribuir al conocimiento y valoración de la actividad paleosísmica en esta zona con nuevas evidencias obtenidas en el campo a partir de la observación de una serie de estructuras de deformación en depósitos no consolidados. Éstas han sido interpretadas, en la mayoría de los casos, como producto de licuefacción cósmica (sismitas; Seilacher 1969).

II. CONCEPTOS DE PALEOSISMOLOGÍA Y ANTECEDENTES

El estudio de la paleosismicidad requiere como base aplicar conceptos de la geología clásica a la última fase de deformación, los rasgos morfotectónicos o las deformaciones generadas por movimientos sísmicos fuertes o por deformación tectónica gradual ocurrida durante el Plio?-Cuaternario, se deben registrar en el registro estratigráfico y estructural. El registro histórico e instrumental de sismos se complementa así caracterizando y datando los grandes terremotos prehistóricos

En ambientes de intraplaca se considera que contar solo con el registro sísmico histórico e instrumental es insuficiente para comprender la sismicidad de una zona, ya que los intervalos de recurrencia de terremotos moderados-fuertes exceden este periodo de registro; es por ello que las investigaciones paleosismológicas se consideran como una herramienta para reconocer e interpretar las deformaciones producidas durante fuertes terremotos ($M > 6,5$) que generan deformaciones en superficie (Bonilla, 1988, Mc Calpin, 1996).

Las investigaciones paleosismológicas permiten extender hacia atrás en el tiempo, el límite de observación e interpretación y posibilitan reconstruir la sismicidad prehistórica de una región, aportando información sobre el número de paleosismos, paleomagnitudes, tasas de desplazamiento e intervalos de recurrencia de fuertes sismos en regiones donde se dispone de escasa información sísmológica y las fallas no presentan evidencias claras de deformaciones recientes en superficie (Mc Calpin, 1996).

Estos estudios se basan en la búsqueda de evidencias en el registro geológico, por medio de la excavación y descripción e interpretación de las deformaciones y trazas fósiles generadas por fuertes paleosismos, expuestas en los perfiles de las trincheras. El tamaño y distribución de las deformaciones depende de la energía liberada, la profundidad hipocentral, la duración del movimiento y los materiales afectados (De Polo y Slemmons, 1990; Pantosti y Yeats, 1993; Meghraoui y Doumaz, 1996; Crone *et al.*, 1997; Audemard *et al.*, 1999; Philip *et al.*, 2001; Sagripanti y Villalba, 2009).

Es significativo destacar que en la actualidad los estudios neotectónicos y morfotectónicos, complementados con investigaciones paleosismológicas, guardan un gran interés ya que proveen información valiosa para la evaluación más precisa del peligro sísmico en regiones pobladas, bajo amenaza, donde se proyecten importantes obras de ingeniería.

Uno de los parámetros fundamentales que describe la paleosismicidad de una región es el intervalo de recurrencia de fuertes paleosismos (Mc Calpin, 1996). Si bien los intervalos de recurrencia de este tipo de eventos son prolongados, del orden de cientos o miles de años, en algunos casos la ocurrencia de estos tiende a agruparse temporalmente, indicando periodos de quietud y de alta actividad.

Las investigaciones que se han llevado a cabo en la región de Lima y región costanera del Perú central, han permitido avanzar en el conocimiento neotectónico de la región. Entre los antecedentes de estudios sísmológicos, neotectónicos y paleosismológicos desarrollados en la región costanera de Lima, se pueden citar las contribuciones de Machare (1981), Machare *et al.* (1986), Machare & Ortlieb (1992), Sebrier M. y Macharé J. (1980), Jacay *et al.* (2012) y Jacay (2012) quienes han hecho un aporte importante al conocimiento de la neotectónica y el peligro sísmico en la región.

III. METODOLOGÍA

Las tareas de campo se desarrollaron en un área con excelentes afloramientos de depósitos inconsolidados ubicados entre los 11°30' y 12°30'S comprendiendo entre las lomas de Pasamayo al norte de Lima y el valle de Omas por el

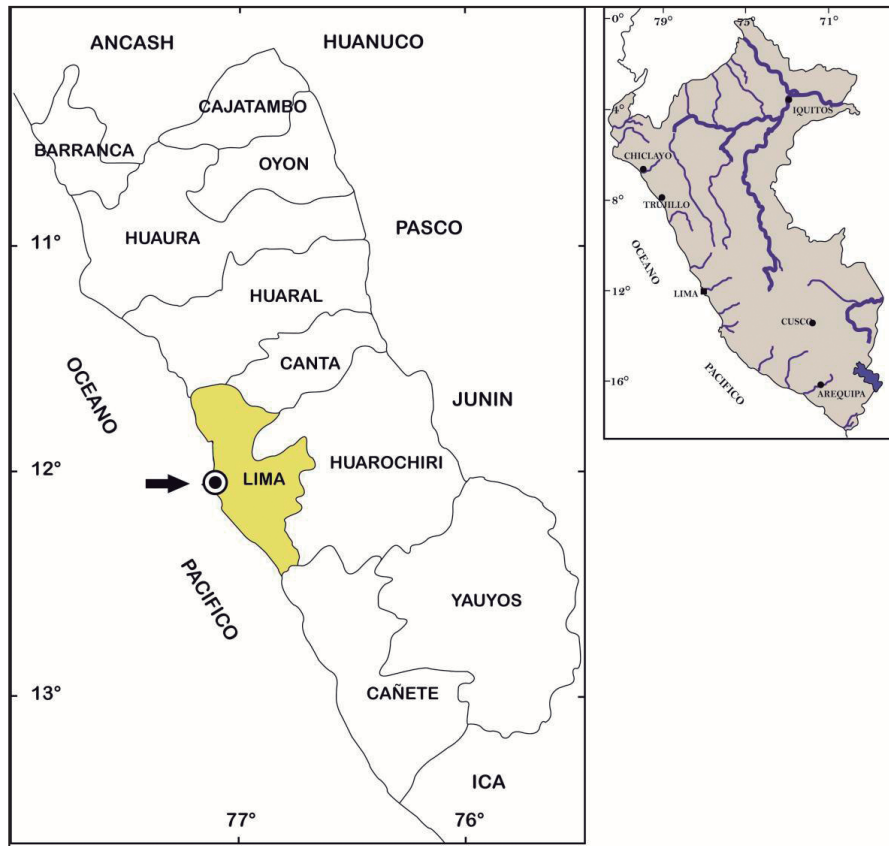


Figura N.º 1. Mapa de ubicación de la región estudiada.

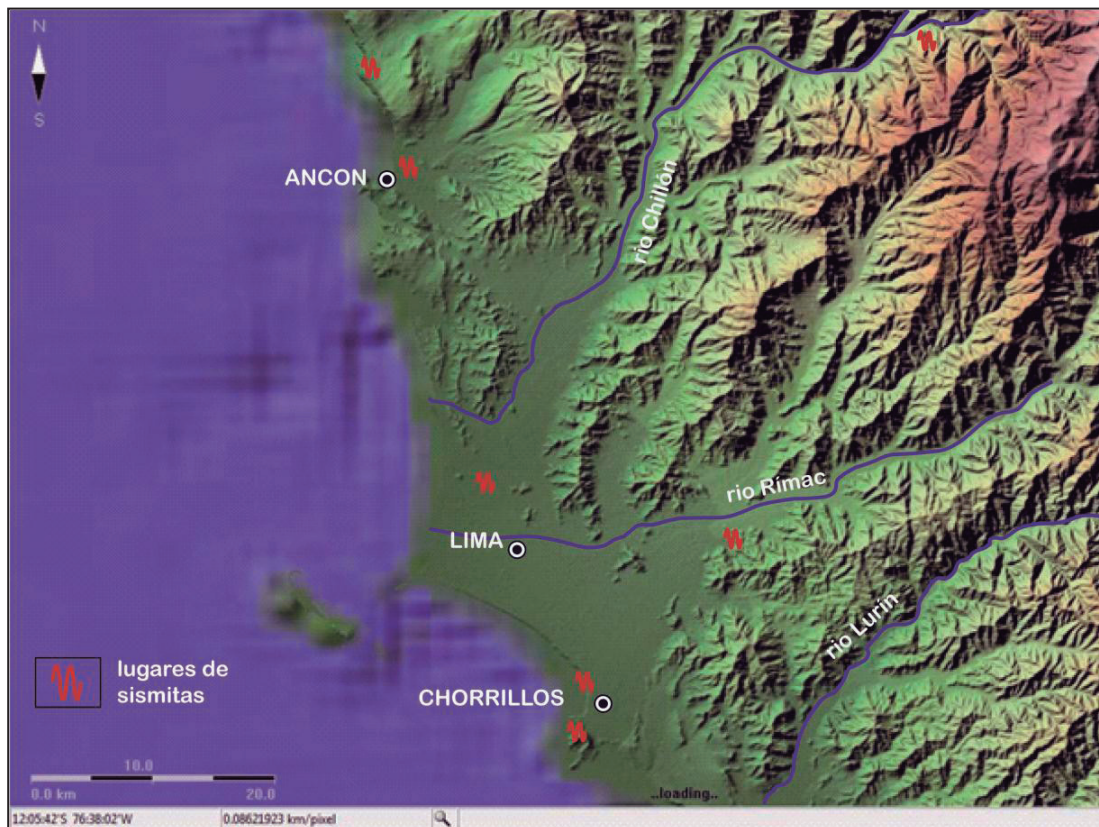


Figura N.º 2. Ubicación de localidades con presencia de estructuras de paleosismicidad en la región de Lima.

sur (Figura N.º 2). El estudio detallado de las estructuras de paleosismicidad se realizó a partir del relevamiento de los perfiles de detalle, los que permitieron definir las facies sedimentarias (Dicho estudio de paleosismicidad se realizó a partir de fotomosaicos de las excelentes exposiciones).

Existen abundantes evidencias de actividad sísmica en los depósitos inconsolidados, especialmente en algunos niveles sedimentarios de facies finas en depósitos eólicos del Mioceno superior? en el sector norte de Lima (Pasamayo), depósitos coluviales de Ancón, área de Santa Rosa de Quives, la Herradura, Catalina Huanca, Cerro Cortado y en depósitos de arroyada de Esquina de Asia (Coayllo) entre otros; a pesar de la importante tectónica reciente que caracteriza a este relleno sedimentario, los estudios sobre paleosismicidad son muy escasos y recientes. Se han publicado resultados preliminares (Jacay *et al.*, 2008, 2012 y Jacay 2012) en las que se realiza un ensayo de caracterización paleosismológica.

3.1 El relleno Neógeno-Cuaternario de la región costera del Perú Central

El sector costanero pertenece a una de las principales estructuras extensionales con una directriz general NW-SE desarrolladas durante el Neógeno-Cuaternario en el sector occidental de la Cordillera Occidental de la margen occidental sudamericana (Macharé 1981, Macharé *et al.* 1986), en este sector, la región de Lima está comprendido entre los valles de Huaura por el norte y Omas por el sur presenta una gruesa cobertura sedimentaria de depósitos inconsolidados pertenecientes a periodos Mioceno superior al Cuaternario.

El relleno sedimentario de los diferentes valles como el Huaura, Chancay, Chillón, Rímac, Lurín, Mala, entre otros, es compuesto por una gruesa secuencia de material inconsolidados a los que se asocian sedimentos coluviales, eólicos y marismas (Lecarpentier & Motti, 1968; Cobbing, 1973; Sebrier & Macharé, 1980; Macharé, 1981; Palacios *et al.*, 1992; Le-Roux *et al.*, 2000).

En el pie del flanco pacífico de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú Central se tiene una gruesa sucesión sedimentaria compuesta de conglomerados los que según los lugares toma diferentes nombres como Formación Cañete, Formación Pócolo, “conglomerados Huarney”, todas estas unidades son asignadas sea al Cuaternario y o al Mioceno superior (Petersen, 1954; Myers, 1980; Macharé, 1981; Noble *et al.*, 2009), siendo esta sucesión sedimentaria recortado por numerosos valles de corto recorrido, cuya historia de incisión queda registrado en los rellenos aluviales presentes en las desembocaduras y en las numerosas terrazas fluviales y fluvioaluviales presentes en ambos márgenes a lo largo de su recorrido. Además se tiene depósitos de los cortos abanicos coluviales y depósitos eólicos correspondientes al Cuaternario y/o al Mioceno superior.

Las secuencias sedimentarias observadas en los principales cortes corresponden de manera general a una secuencia estrato decreciente, con un dominio de facies conglomerática, con un espesor promedio de 4 a 6 m, los que se presentan conformando gruesos estratos generados por

la migración lateral de estas barras de conglomerados (Giles *et al.*, 2002).

Estas facies de barras conglomeráticas, se intercalan con facies arenopelíticas, como son los depósitos arenosos de estratificación cruzada, que son facies de desborde los que marcan la brusca desaceleración de la corriente al entrar en las llanuras de inundación, en donde podemos distinguir finas laminaciones horizontales y rizaduras con una intensa bioturbación, especialmente por paleorraíces que marcan el desarrollo de vegetación a causa de una mayor humedad.

El desarrollo de esta planicie aluvial ha sido realizado por los procesos hidrodinámicos del río Rímac a lo largo de su historia, en respuesta a los cambios del sistema fluvial como control a los cambios climáticos, cambios de nivel del mar y a la actividad tectónica en el área fuente desde el Mioceno superior a la actualidad

3.2 Evidencias de estructuras paleosismicas

Siendo la región costanera una zona ligada a una tectónica activa, los estudios paleosismológicos son escasos en la región, se cuenta con estudios de neotectónica (Macharé, 1981 y Macharé *et al.*, 1986), mientras que los estudios sobre paleosismología son recientemente reportados (Jacay *et al.*, 2008 y 2012)

Las estructuras más comunes observadas en la región de Lima por este fenómeno son capas contorneadas con pseudonódulos, figuras de carga e inyecciones de material.

Capas contorneadas con pseudonódulos. Estas estructuras son las más comunes en la región de Lima (Figura N.º 3, c y d), son figuras parecidas a las de carga, pero se diferencian porque ocurren en materiales de reología similar; son semejantes a pliegues con vergencia variables, lo que facilita establecer distinciones respecto a un “slump”, en algunos casos estos plegamientos se aíslan formando los pseudonódulos. Numerosos ejemplos son reportados en los sedimentos lacustres de la ciudad de Quito (Pérez *et al.* 1994; Hibsich *et al.*, 1996 y 1997).

Capas contorneadas con destrucción parcial de los delgados niveles de depósitos lacustres, tiene una tendencia a ser un nivel de mezcla en el sitio prehispánico de Catalina Huanca (Figura N.º 3, f), este tipo de figuras de paleosismicidad muy común por ejemplo en la región del mar muerto reportado por Marco (1996), Alsop and Marco (2012).

Figuras de carga. Son del mismo tipo al anteriormente mencionado, pero generalmente se observan asociadas a las otras figuras. Generalmente se las observa cuando se tiene asociado niveles de arenas de diferente granulometría y niveles de limos, como por ejemplo en sectores de La Herradura y Los Olivos (Figura N.º 3, a y c).

Inyecciones de material. Estas son las figuras más comunes asociadas a un sismo, son los “volcanes de arena y lodo” descritos en varios sismos, en donde aparecieron cráteres de sifonamiento, generando hundimientos, desenterramientos, inundaciones. Ocurren cuando la presión hidráulica del sedimento es lo suficientemente fuerte como para producir un empuje sobre las capas sobreyacentes, que se caracterizan por ser poco competentes lo que ayuda a la expulsión (Figura N.º 3, b, c y e).

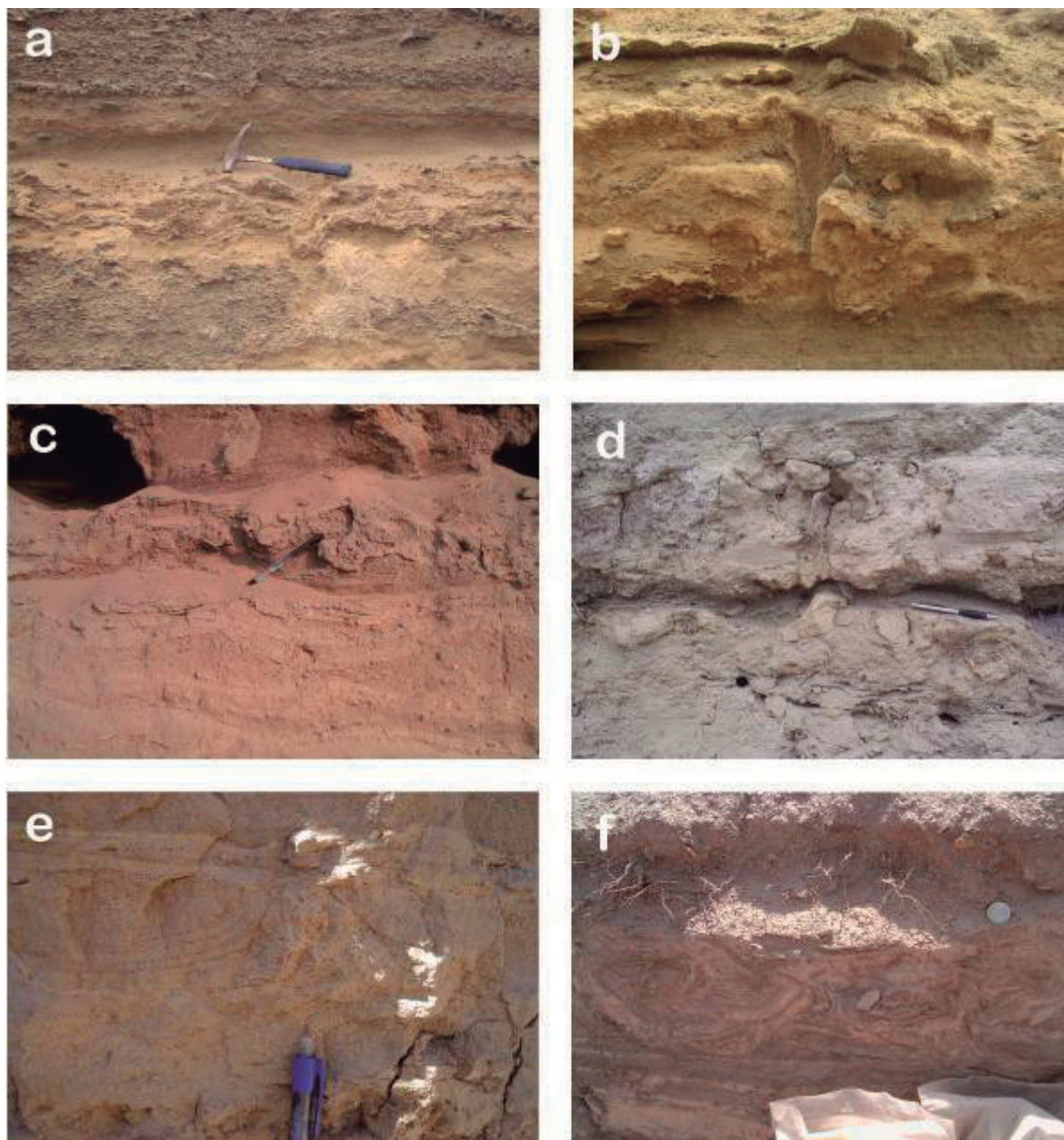


Figura N.º 3. Ejemplo de figuras por actividad sísmica el área de Lima: a) playa la Herradura (Chorrillos), b) inyección de arenas y limos en depósitos de arroyada del área de cerro cortado (al sur de Asia), c) estructuras de escape con morfología de champiñón con inyección de arenas (panamericana norte, los Olivos), d) capas de limos contorneados o pseudonodulos, esquina de Asia ruta a Coayllo, e) inyecciones de arena en depósitos limoarcillosos de terraza fluvio-torrencial (ruta Santa Rosa de Quives a Arahuy), f) capas contorneadas en un nivel de mezcla, en depósitos lacustres (Catalina Huanca).

También en muchas áreas se observan algunos depósitos con niveles de escape de fluido asimétricas correspondientes a estructuras en champiñón con doble vergencia, observándose en algunos casos vergencia opuestas; las intrusiones y deformaciones de arenas son muy raras cuando se las observa generalmente son ligadas a pequeños desplazamientos como fallas normales asociados siempre a un nivel (esto se observan en depósitos eólicos como los de Pasamayo). También se observan cuerpos de arenas y/o limos independizados dentro de las capas de limos a manera de pseudonódulos.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las facies finas que se intercalan en la vertical y como cambio de facies lateral, presentes en el relleno sedimentario inconsolidado del área de Lima, son niveles favorables para reaccionar de manera plástica para la deformación de sus figuras sedimentarias primarias, esto como respuesta a un movimiento sísmico, fenómeno muy común en una margen activa como lo es la margen andina de la costa del Perú central.

Los documentos escritos (crónicas y cartas) desde la llegada de los españoles en 1532 ayudaron a establecer una cronología sobre los importantes sismos ocurridos en la margen peruana como los del 20 de octubre de 1687, 28 de octubre de 1746, y otros más que nos llevan tener una buena catalogación de estas ocurrencias sísmicas.

Pero las ocurrencias sísmicas anteriores a la llegada de los españoles, solo podemos rescatarlo de las tradiciones orales, (narraciones y leyendas) y del registro de las deformaciones sinsedimentarias en los niveles de facies finas de las sucesiones sedimentarias, presentes en la gran planicie fluvio-aluvial de las pampas costaneras entre los que se encuentra la planicie del río Rímac.

Con las observaciones aquí reportadas se pueden esbozar una cronología relativa desde los más antiguos a los más modernos:

- Cerro cortado,
- Depósitos de la herradura,
- Secuencias inferiores lomas de Pasamayo,
- Planicie aluvial del abanico fluvio-aluvial del Rímac (parte superior),
- Huaca 20 PUCP,
- Depósitos lacustres de Catalina Huanca,
- Depósitos fluvio-torrenciales de Santa Rosa de Quives,
- Llanuras de inundación de la esquina de Asia,

En relación a la paleosismicidad se ha comprobado que las sismitas representan un método apropiado para ampliar el registro sísmico, siempre y cuando se pueda tener un buen control estratigráfico de los eventos. En el caso de la ciudad de Lima se espera obtener un control cronológico para afinar la escala de intensidades. Es importante indicar que muchos sismos no se han registrado debido a diferentes razones, como reología, erosión, cambio lateral de facies de los cuerpos sedimentarios, etc. pero estimamos que el registro muestra los eventos más importantes y con intensidades altas.

V. CONCLUSIONES

El área de Lima es compuesta de una sucesión de conglomerados y abanicos coluviales del Mioceno al Cuaternario, cuyas facies son clásticas y finas, siendo estas últimas las mejores facies que han grabado las ocurrencias de sismos.

Los depósitos inconsolidados del área de Lima, presentan una relativa abundancia de figuras ligadas a eventos sísmicos, observados en los depósitos finos que se asocian a los diferentes depósitos como fluvio-torrenciales, lacustres, a la fecha no se cuenta con dataciones para tener una idea de la antigüedad de los sismos que han dado lugar a estos niveles de sismitas (excepto Catalina Huanca).

VI. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se vio mejorado gracias a las revisiones de los revisores anónimos, gracias también a los estudiantes de geología de la EAP de Ingeniería Geológica, a Yuli Mamani por la revisión del abstract y al Consejo Superior de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San

Marcos por la ayuda sobre el terreno y la oportunidad para la presentación de este trabajo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Alsop G. I. and Marco Sh. (2012). A large-scale radial pattern of seismogenic slumping towards the Dead Sea Basin. *Journal of the Geological Society*; Vol. 169, pp. 99-110.
2. Audemard, F., Pantosti, D., Machette, M. N., Costa, C.H., Okumura, K., Cowan, H., Diederix, H. y Ferrer, C. (1999). Trench investigation along the Mérida section of the Boconó fault (central Venezuelan Andes), Venezuela. *Tectonophysics* 308: 1-21.
3. Bonilla, M.G. (1988) Minimum earthquake magnitude associated with coseismic surface faulting. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* 25: 17-29.
4. Broggi, J.A. (1946). Las terrazas marinas de la bahía de San Juan en Ica. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, tomo 19, pp. 21-33.
5. Cobbing J. (1973). Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. *INGEMMET, Bol. Serie A. N.º 26*. 171 pp. Lima, Perú.
6. Crone, A.J., Machette, M.N. y Bowman, J.R. (1997). Episodic nature of earthquake activity in stable continental regions revealed by paleoseismicity studies of Australian and North American Quaternary faults. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44: 203-214.
7. De Polo, C.M. y Slemmons, D.B. (1990). Estimation of earthquake size for seismic hazards. *Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology* 8: 1-22.
8. DeVries, T. J. (1988). The geology of Late Cenozoic marine terraces (Tablazos) in northwestern Peru, *Journal of South American Earth Sciences*, 1(2): 121-136.
9. Giles B., Marocco R. y Jacay J. (2002). Depósitos de ríos trenzados conglomeráticos del abanico del río Rímac. *XI Congreso Peruano de Geología* Vol. Resúmenes, p. 25
10. Hibsich Ch., Alvarado A., Yepes H., Sebrier M. y Perez V. (1996). Falla activa de Quito y fuentes sísmogenéticas regionales: un estudio del riesgo sísmico de Quito (Ecuador) con el análisis de los sedimentos cuaternarios. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*. 25 (3), pp. 359-388.
11. Hibsich, Alvarado A., Yepes H., Perez V y Sebrier M (1997). Holocene Licuefaction and soft-sediment deformation in Quito (Ecuador): A paleoseismic History Recorded in lacustrine sediments. *Journal of Geodynamics*. Vol 24, (1-4) pp. 259-280.
12. Hocquenghem, A.-M. & Ortlieb L. (1992) Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: Siglos XVI-XIX. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*. 21(1): 197-278.
13. Jacay J., Alván A., Tuesta J. y Blas W. (2012). Sismitas en depósitos Mioceno superior-Cuaternario de la región de Lima. En *XVI Congreso Peruano de*

- Geología*, Lima, 23-26 setiembre. Resumen Expandido SGPSEG-184, 5 p.
14. Jacay J., Maquera E., Alván A. y Tuesta J. (2008). Sedimentología y aspectos de paleosismicidad del relleno sedimentario de la Quebrada Catalina Huanca (Ate-Vitarte). Volumen de Resúmenes Extendidos del XIII Congreso Latinoamericano de Geología y XIV Congreso Peruano de Geología. 5p.
 15. Jacay J. (2012) Aspectos geológicos de paleosismicidad y arqueosismología en el Valle del Rímac. En *Arqueología y Patrimonio de la Cultura Lima*, 14, 15 y 16 de agosto 2012.
 16. Lecarpentier C. et Motti R. (1968) Note sur les Accumulations Quaternaires des Vallées du Chillón, Lurín et de Chilca (Désert côtier Péruvien). *Revue De Géomorphologie Dynamique* XVIII (2), p: 73-82.
 17. Le-Roux, J.P., Tavares, C. and Alayza, F. (2000) sedimentology of the Rimac-Chillón alluvial fan at Lima, Peru, as Related to Plio-Pleistocene sea-level changes, glacial cycles and tectonics. *Journal of South America Earth Sciences*. 13: 499-510.
 18. Macharé J. (1981) *Geología del Cuaternario de la Costa del Perú Central*. Tesis Ing. UNI, 197 p.
 19. Macharé, J., Sebrier, M., Huaman, D., & Mercier, J., (1986). Tectónica cenozoica de la margen continental peruana, *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* vol. 76: 45-77.
 20. Machare, J., Ortlieb, L. (1992) Plio-Quaternary vertical motions and the subduction of the Nazca Ridge, central coast of Peru. *Tectonophysics* 205, 97-108.
 21. Marco S., Stein M., Agnon A. & Ron H. (1996). Long-term earthquake clustering: A 50,000- year paleoseismic record in the Dead Sea Graben. *Journal of Geophysical Research* vol. 101, pp. 6179-6191.
 22. Meghraoui, M. y Doumaz, F. (1996). Earthquake induced flooding and paleoseismicity of the El Asnam, Algeria, fault-related fold. *Journal of Geophysical Research*, 101 (B7), p: 17.617- 17.644.
 23. Mc Calpin, J.P. (1996). *Paleoseismology*, Academic Press Inc., 587 p., California.
 24. Miall, A.D., (1978). Lithofacies types and vertical profile models in braided rivers: a summary. In A.D. Miall ed. *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoire 5: 597-604.
 25. Myers, J.S. (1980). Geología de los cuadrángulos de Huarmey y Huayllapampa. *Boletín INGEMMET*, 33. Lima, 145 p.
 26. Noble D.C., Wiese J., Zanetti K., Vidal C. & McKee E. (2009) *Late Miocene age of "Quaternary" conglomerate and gravel of the coastal plain of central Peru and other evidence bearing on the Neogene evolution of the pacific slope of the Peruvian Andes*. In Volumen Especial N.º 7, "Victor Benavides Cáceres", Sociedad Geológica del Perú Lima, pp. 89-105.
 27. Ortlieb, L., Machare, J. (1990). Geocronológica y morfoestratigrafía de terrazas marinas del Pleistoceno superior: El case de San Juan-Marcona, Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. 81, 87-106.
 28. Ortlieb L., Macharé J., Fournier M., Woodman R. (1989) La secuencia de cordones litorales de Colán (Piura): un registro del fenómeno "El Niño" en el Holoceno superior. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 80, p. 107-121.
 29. Pantosti, D. y Yeats, R.S. (1993) Paleoseismology of great earthquakes of the late Holocene. *Annali di Geofisica* 36: 237-257.
 30. Palacios O., Caldas J. y Vela Ch. (1992) Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. *Boletín INGEMMET Serie A N° 43*, 163p.
 31. Pedoja, K. (2003) *Les terrasses marines de la marge Nord Andine (Equateur et Nord Pérou): relations avec le contexte géodynamique*, Ph.D Thesis, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 350 p.
 32. Pedoja, K., Dumont, J.-F., Lamothe, M., and Auclair, M. (2003) Marine terraces on the north Peruvian and Ecuadorian active margin: tectonic segmentation, *Geophys. Res., Abstract* 5:12200,
 33. Pedoja, K., Ortlieb, L., Dumont, J.-F., Lamothe, M., Ghaleb, B., Auclair, M., and Labrousse, B. (2006) Quaternary coastal uplift along the Talara Arc (Ecuador, Northern Peru) from new marine terrace data, *Marine Geology*, 228, 73-91.
 34. Perez V.H., Hibsich C., Alvarado A., Yepes H. (1994). Paleosismicidad de la ciudad de Quito (Ecuador) a través del análisis de la paleolituación cuaternaria. *Estudios de Geografía*. 6: 31-46.
 35. Petersen G. (1954) Informe preliminar sobre la geología de la faja costanera del departamento de Ica. *Boletín Técnico de la Empresa Petrolera Fiscal*, N° 1, pp. 33-76.
 36. Philip, H., Avagyan, A., Karakhanian, A., Ritz, J.F. y Rebai, S. (2001) Estimating slip rates and recurrence intervals for strong earthquakes along an Intracontinental Fault: Example of the Pambak-Sevan-Sunik Fault (Armenia). *Tectonophysics* 343: 205-232.
 37. Quinn, W. H., Neal, V. T. & Antúnez De Mayolo, S. E. (1987). El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Journal Geophysics Research*. 92, C13. pp. 14449-14462.
 38. Rivera R., Petersen G. y Rivera M. (1975). Estratigrafía de la Costa de Lima. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. T. 45, p: 159-186.
 39. Sagripanti G. y Villalba D. (2009). Paleosismicidad y estimación del intervalo de recurrencia de fuertes terremotos asociados a fallas de intraplaca a la latitud 33°s, Falla Las Lagunas, Sampacho, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65 (3), p: 417-428.
 40. Saillard M., Hall S.R., Audin L., Farber D.L., Regard V., Héral G. (2011). Andean coastal uplift and active tectonics in southern Peru: 10 Be surface exposure dating of differentially uplifted marine terrace sequences (San Juan de Marcona, 15.4°S). *Geomorphology*, Volume 128, Issues 3-4, 15, p: 178-190

41. Sebrier M. y Macharé J. (1980). Observaciones Acerca del Cuaternario de la Costa del Perú Central. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines* T. IX (1-2), p: 5-22.
42. Seilacher, A. (1969). Fault-graded beds interpreted as seismites. *Sedimentology*, 13: 155-159.
42. Silgado, E. (1978) Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1974): Instituto de Geología y Minería, Boletín 3 (Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica) 129 p., Lima.