

ASPECTOS GEOLÓGICOS DE PALEOSISMICIDAD Y ARQUEOSISMOLOGÍA EN EL VALLE FLUVIO-ALUVIAL DEL RÍMAC

Javier Jacay^a

Resumen

El relleno sedimentario de la llanura fluvio-aluvial del río Rímac (Mioceno Superior-Cuaternario) está compuesto por una gruesa secuencia de material inconsolidado que corresponde a depósitos de origen fluvial. Es en los niveles sedimentarios de facies finas, donde la actividad sismotectónica está presente mediante manifestaciones de numerosas estructuras de paleosismicidad, como capas contorneadas, pseudonódulos, figuras de carga e inyecciones de material. Asimismo, en las edificaciones prehispánicas localizadas sobre esta llanura fluvio-aluvial se observa inclinaciones y colapso de paredes, desplazamiento de bloques de los muros, fractura parcial de los muros, deformación de pavimentos, etc. Son estas observaciones sedimentológicas y arquitectónicas las que nos manifiestan la periodicidad de eventos sísmicos en la gran llanura fluvio-aluvial del Rímac.

Keywords: Neógeno, Cuaternario, paleosismología, arqueosismología

Abstract

GEOLOGICAL ASPECTS OF PALEOSEISMICITY AND ARCHAEOSEISMOLOGY IN THE FLUVIAL-ALLUVIAL RIMAC VALLEY

The sedimentary fill of the Rimac River fluvial-alluvial plain (Upper Miocene-Quaternary) consists of a thick sequence of unconsolidated material that corresponds to fluvial deposits. A record of seismotectonic activity is presented in the sedimentary levels of fine facie within numerous paleoseismic structures such as contoured layers, pseudonodules, load figures, and material injections. Additionally, wall inclination and collapse, as well as displacement and partial fracturing, and pavement deformation, etc. are observed in the pre-Hispanic buildings located on the fluvial-alluvial plain. These sedimentological and architectural observations illustrate the periodicity of seismic events in the large fluvial-alluvial plain of the Rimac River.

Keywords: Neogene, Quaternary, paleoseismology, archaeoseismology

1. Introducción

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

Estas condiciones climáticas y paleoclimáticas han sido objeto de numerosos estudios, lo cual resulta lógico al ser la costa pacífica por ejemplo, una zona de influencia del fenómeno El Niño

^a Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Dirección postal: Av. Venezuela cuadra 34 s/n, Ciudad Universitaria, Lima-Perú.
Correo electrónico: jjacayh@unmsm.edu.pe

(ENSO), que en diferentes épocas de lluvias intensas, ha causado modificaciones morfológicas locales producto del desborde de los ríos, inundaciones, deslizamientos de tierras, entre otros (Ortlieb y Macharé 1990).

Asimismo, la margen peruana por ser una margen activa frente a una zona de subducción, está afecta a una alta sismicidad. Para hacer estudios de paleosismicidad se 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, lo cual debe estar asentado en el registro estratigráfico y estructural. El registro histórico e instrumental de sismos se complementa caracterizando y datando los grandes terremotos prehistóricos.

En este trabajo se identificaron y caracterizaron las estructuras sedimentarias generadas por efectos sísmicos. La presencia de sismitas en sedimentos inconsolidados del Mioceno superior al Cuaternario de la región de Lima (Fig. 1), evidencian una actividad sísmica reciente 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 central del Perú, 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.

Existe abundante evidencia de actividad sísmica en los depósitos inconsolidados¹, especialmente en algunos niveles sedimentarios de facies finas, a pesar de la importante tectónica reciente que caracteriza a este relleno sedimentario. Sin embargo los estudios sobre paleosismicidad son muy escasos y recientes. Se han publicado resultados preliminares (Jacay *et al.* 2008, 2012) en los que se realizan ensayos de caracterización paleosismológica.

En este trabajo vamos a contribuir al conocimiento y valoración de la actividad paleosísmica con evidencias obtenidas en el campo, a partir de la observación de una serie de estructuras de deformación en depósitos no consolidados. Estas han sido interpretadas, en la mayoría de los casos, como producto de licuefacción del suelo, en el que pasan de un estado sólido a un estado líquido, es decir que se producen durante el evento sísmico (evento cosísmico²), han sido observadas y analizadas en afloramientos de varias localidades distintas: en depósitos eólicos del ¿Plioceno?-Cuaternario en el sector norte de Lima (Pasamayo), La Herradura, Catalina Huanca, Cerro Cortado y en depósitos de arroyada de Esquina de Asia (Coayllo), entre otros.

Se pone de manifiesto también, evidencia de actividad sísmica que ha afectado a las estructuras arquitectónicas de diferentes sitios arqueológicos en diferentes épocas, como por ejemplo el Complejo Maranga, Catalina Huanca, Cajamarquilla, entre otros.

2. El relleno del Neógeno-Cuaternario de la región costera del Perú central

El sector costanero pertenece a una de las principales estructuras extensionales con una directriz general noroeste-sureste desarrolladas durante el Neógeno-Cuaternario, en el sector occidental de la cordillera Occidental, de la margen occidental sudamericana (Macharé 1981 y Machare *et al.* 1986). En este sector, la región de Lima está comprendida entre los valles de Huaura por el norte y Omas por el sur (Fig. 1), presenta una gruesa cobertura sedimentaria de depósitos inconsolidados pertenecientes a Periodos Mioceno Superior al Cuaternario.

Los rellenos sedimentarios de los diferentes valles como el de Huaura, Chancay, Chillón, Rímac, Lurín y Mala, están compuestos por una gruesa secuencia de material inconsolidado, a los que se asocian sedimentos coluviales³, eólicos y marismas⁴ (Lecarpentier y Motti 1968; Cobbing 1973; Sebrier y Macharé 1980; Macharé 1981; Palacios *et al.* 1992; Le-Roux *et al.* 2000).

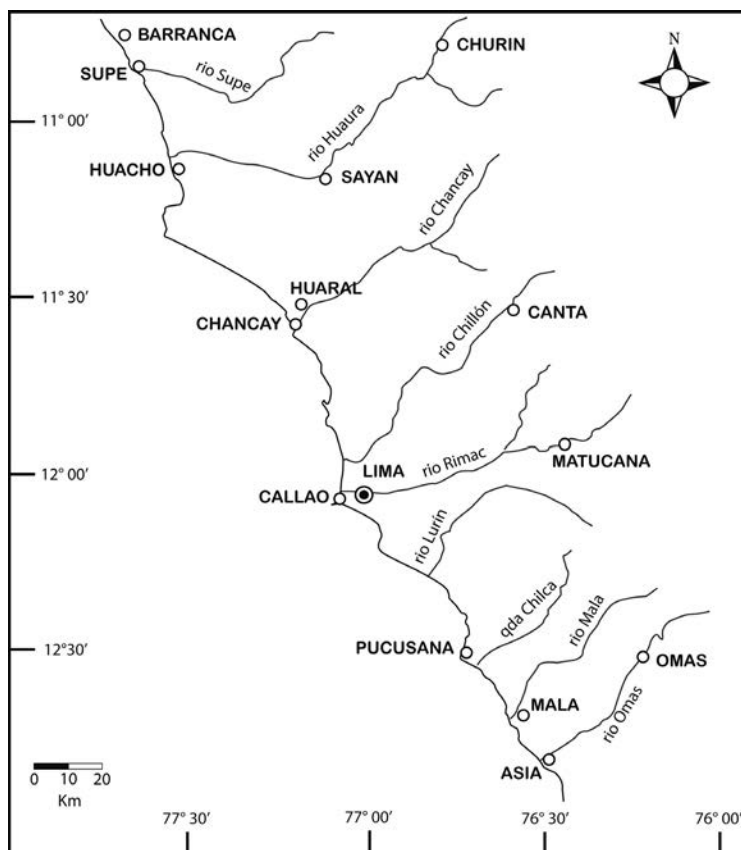


Figura 1. Mapa de la región costanera de Lima donde se muestra los principales valles, área de influencia de los depósitos cuaternarios de los principales valles de la costa del Perú central.

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 Sarapampa y Conglomerados Huarmey. Todas estas unidades son asignadas al Cuaternario o al Mioceno Superior (Petersen 1954; Myers 1980; Macharé 1981; Noble *et al.* 2009), siendo esta sucesión sedimentaria recortada por numerosos valles de corto recorrido, cuya historia de incisión queda registrada en los rellenos aluviales presentes en las desembocaduras y en las numerosas terrazas fluviales y fluvio-aluviales presentes en ambas 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 conglomerática⁵, con un espesor promedio de 4 a 6 metros, 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 areno-pelíticas⁶, 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 rizaduras⁷ con una intensa bioturbación⁸, especialmente por paleoraíces, 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. Evidencias paleosísmicas

¿Qué es paleosismología? Según Michetti *et al.* (2005) y Grützner *et al.* (2013), es la disciplina de la geología sísmica que incorpora estudios de geología clásica con técnicas arqueológicas convencionales —excavación de trincheras—, en aquellas regiones donde la actividad sísmica es moderada en magnitud y frecuencia y donde los estudios de corte histórico-sísmico son limitados por corta tradición escrita en el tiempo. Su fin esencial es la evaluación de los grandes sismos del pasado, desconocidos por la sismología histórica e igualmente, anteriores al periodo instrumental, con miras a establecer su frecuencia (periodo de retorno o recurrencia) y tamaño (magnitud).

La arqueosismología (Rodríguez-Pascua *et al.* 2011) es el estudio de los antiguos terremotos por medio de los indicadores que permanecen en el registro arqueológico. Se trata de una disciplina que se puede utilizar con confianza para identificar terremotos en el pasado usando por ejemplo, las capas de destrucción, elementos patrimoniales afectados (las construcciones desplazadas por la ruptura en la superficie, por ejemplo, los viaductos), los daños estructurales sufridos por los edificios, las señales de reparaciones, las narraciones históricas y los mitos.

A pesar de que la región costera del Perú central es una región ligada a una zona tectónicamente activa, los estudios paleosismológicos son escasos. Se cuenta con algunos estudios de neotectónica (Macharé 1981, Macharé *et al.* 1986), mientras que los estudios sobre paleosismología están siendo recientemente reportados (Jacay *et al.* 2008, 2012).

En los depósitos inconsolidados presentes en las grandes llanuras aluviales, muchas son las estructuras sedimentarias de deformación que se han formado durante una actividad sísmica, entre estas estructuras las más comunes observadas en la región de Lima a causa de este fenómeno son: capas contorneadas con pseudonódulos⁹, figuras de carga e inyecciones de material.

3.1. Capas contorneadas con pseudonódulos

Estas estructuras son las más comunes en la región de Lima (Figs. 2c y 2d), son figuras parecidas a las de carga, pero se diferencian porque ocurren en materiales de flujo similar. Son semejantes a pliegues con vergencia variables, lo que facilita establecer distinciones respecto a un deslizamiento en algunos casos estos plegamientos se aíslan formando los pseudonódulos. Numerosos ejemplos son reportados en los sedimentos lacustres de la ciudad de Quito, por ejemplo (Pérez *et al.* 1994; Hibsich *et al.* 1996 y 1997).

3.2. Figuras de carga

Son del mismo tipo al anteriormente mencionado, pero generalmente se observan asociadas a las otras figuras como a capas contorneadas y a niveles ondulados. 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 (Figs. 2a y 2c).

3.3. 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 sifonamiento¹⁰, generando hundimientos, desenterramientos, inundaciones. Ocurren cuando la presión hidráulica del sedimento

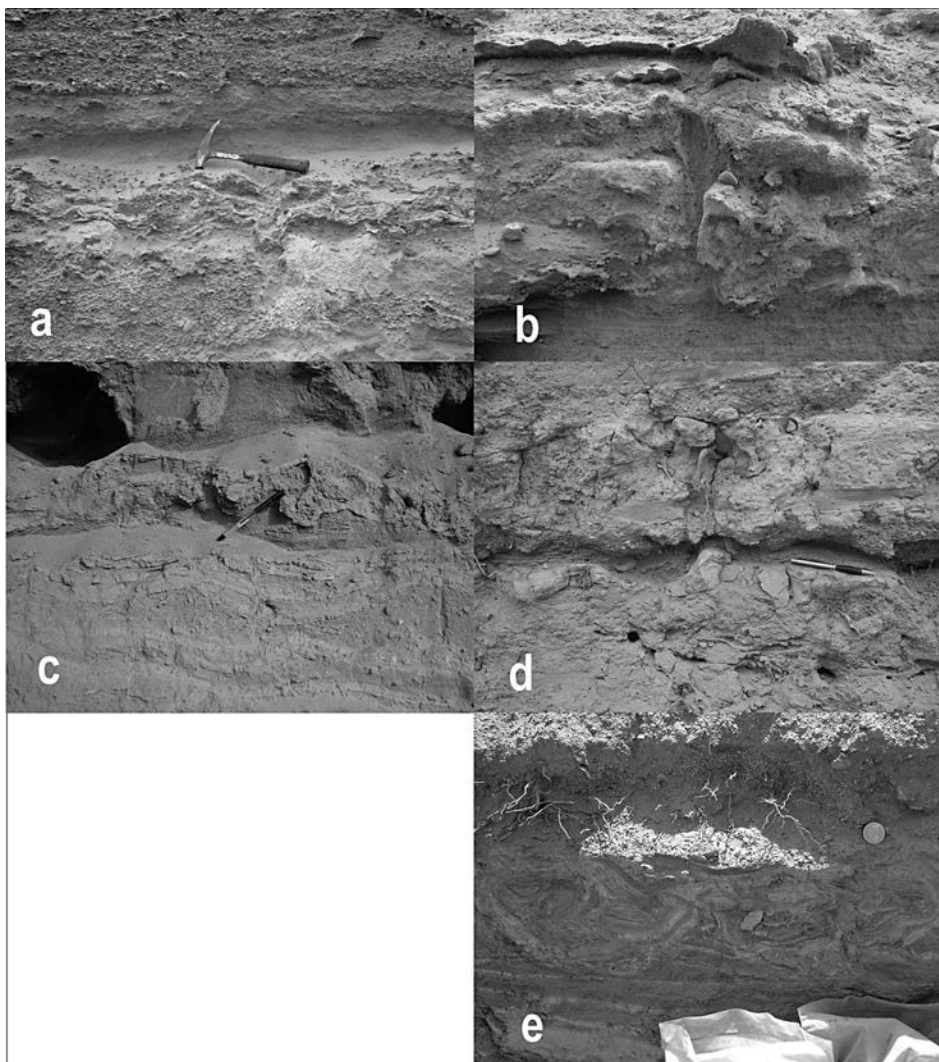


Figura 2. Diversas estructuras de deformación sísmica observados en la región de Lima: a) Laminaciones convolutas, inyecciones de arena, en nivel de limos en la parte media superior del abanico de La Herradura; b) Inyecciones de arena en limos formando diques clásticos en niveles finos de la parte superior de la Formación Cañete, en corte de Cerro Aislado; c) Deformaciones sinsedimentarias en el corte del intercambio Panamericana Norte; d) Laminaciones convolutas en sedimentos de avulsión de la esquina de Asia; e) Deformaciones y mezclas de arenas y limos en depósitos lacustres en Catalina Huanca.

es lo suficientemente fuerte como para producir un empuje sobre las capas sobreyacientes, que se caracterizan por ser poco competentes lo que ayuda a la expulsión (Figs. 2b, 2c y 2e).

También en muchas áreas se observan algunos depósitos con niveles de escape de fluido asimétricas, correspondientes a estructuras en champiñón con doble inclinación, observándose en algunos casos vergencia opuestas¹¹. Las intrusiones y deformaciones de arenas son muy raras, cuando se las observa generalmente están ligadas a pequeños desplazamientos como fallas normales, asociadas siempre a un nivel (esto se observa 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.



Figura 3. Desplazamiento de bloques de tapiales que afectan a las paredes del sector meridional del Conjunto Tello (Cajamarquilla), aquí se puede observar que el desplazamiento en algunos lugares llega hasta el medio metro.



Figura 4. Colapsamiento de paredes que están rellenando parcialmente uno de los pasadizos en el lado oriental del Conjunto Tello (Cajamarquilla). 1) Pared colapsada; 2) Bloques de tapias colapsados post sismo; 3) Materiales de erosión que rellenan las estructuras colapsadas.

4. Registro arqueosismológico

El registro de terremotos obtenido con sismógrafos es demasiado breve y el registro histórico es demasiado incompleto, los catálogos históricos solo registran un porcentaje minúsculo de las sacudidas de fuerza considerable que han golpeado a una región a lo largo de siglos y milenios. Esos datos faltantes en los registros de los terremotos, atenúan el valor de las evaluaciones fiables de los riesgos sísmicos. Sin embargo, el registro arqueológico puede reforzar y acrecentar ese archivo histórico. Más aún, al ampliar el registro de los terremotos más allá de las fuentes escritas, la arqueosismología hace de puente entre la sismología basada en instrumentos y la sismología histórica, por un lado, y la paleosismología y la geología de los terremotos, por el otro.

Solo la integración de todas las posibles pruebas de terremotos del pasado nos permite hacer progresar nuestra comprensión de la compleja historia de los terremotos de una región. Hay entonces, una clara necesidad, cada día mayor, de comprender cómo reaccionan los edificios y monumentos prehistóricos ante un evento sísmico. La arqueosismología también contribuye a nuestra comprensión de la historia antigua, a dilucidar por qué algunas ciudades fueron abandonadas, o por qué decayeron sociedades que habían alcanzado la madurez, y a afrontar la cuestión del perdurable atractivo de las líneas de falla que llevan a los pueblos, lo mismo antiguos que modernos, a asentarse a lo largo de zonas de peligró persistente, como lo es la margen activa del Pacífico.

Para la identificación de daños se utiliza la clasificación de efectos arqueológicos de terremotos (EAE), propuesta por Rodríguez-Pascua (2009, 2011), la cual diferencia entre efectos cosísmicos, que se producen como consecuencia directa del movimiento del terreno inducido por las ondas sísmicas (efectos geológicos y efectos en la fábrica de las construcciones), y efectos postsísmicos, que serían todos aquellos que muestra efectos posteriores a la ocurrencia del sismo.

Las observaciones se efectuaron especialmente en la arquitectura de los yacimientos de Catalina Huanca, Cajamarquilla, Huaca 20, y parcialmente en los conjuntos arquitectónicos del Complejo Maranga.

4.1. Bloques de tapias desplazados

Se trata de una deformación producida instantáneamente a la vibración de la onda sísmica, se consideran que la orientación del desplazamiento de los bloques indica la dirección de llegada de la onda sísmica, es decir que el sentido del desplazamiento de los bloques de tapias es perpendicular al de llegada de la onda sísmica, muchos ejemplos asociados al colapsamiento y/o basculamiento¹² de los muros, pueden observarse en sitios como Catalina Huanca o en Cajamarquilla (Fig. 3).

4.2. Caída orientada de las paredes

Este tipo de colapso total o parcial se puede observar en todo el Complejo de Cajamarquilla y también en el conjunto arquitectónico de Catalina Huanca. Se dan por deformaciones instantáneas a la vibración por la onda sísmica. Numerosos autores consideran que la orientación de la caída de las columnas indica la dirección de llegada de la onda sísmica, es decir que el sentido de caída de la columna es opuesto al de llegada de la onda sísmica (Fig. 4) (Nur y Ron 1996).

4.3. Pisos desplazados verticalmente por ruptura en la superficie

Hundimiento parcial del piso, se da por efecto estructuras generadas por deformación del substrato, en el que se puede observar el desacoplamiento parcial en el contacto de la pared con el piso, este fenómeno es observable en el sitio Catalina Huanca (Fig. 5). Se genera como consecuencia de la caída de un bloque del tapial que conforma la pared de la estructura, es decir forma una estructura de impacto, a la cual están asociadas fracturas conjugadas¹³ en el enlazado de arcilla que conforman el piso de los recintos. Este tipo de efectos deben analizarse en los enlosados de arcilla de varios recintos, para considerarlos estadísticamente representativos en el análisis de la deformación de un yacimiento arqueológico.



Figura 5. Hundimiento parcial del piso, en el que se puede observar el desacoplamiento parcial en el contacto de la pared con el piso, sitio arqueológico Catalina Huanca.



Figura 6. Fracturamiento de las paredes en bandas de cizallamiento, según el desplazamiento de la onda sísmica, sitio arqueológico Catalina Huanca.



Figura 7. Pliegues en los enlosados de adoquines de adobes que conforman el piso en un sector del Complejo Maranga (Parque de las Leyendas).



Figura 8. a) Ondulaciones de las paredes en el Sector Oeste del Conjunto Villar-Córdova (Cajamarquilla). b) Deformación de la parte superior del pórtico en el sector Villar Córdova (Cajamarquilla).

4.4. Fracturamiento de las paredes en bandas de cizallamiento según el desplazamiento de la onda sísmica

Los sitios Catalina Huanca y Cajamarquilla (Figs. 5 y 6) tienen esta evidencia. Se trata de deformaciones instantáneas a la vibración. En las paredes se observan fracturas penetrativas¹⁴ en los bloques de tapiales, o como fracturas conjugadas en muros de estuco o tapiales.

4.5. Pliegues en los enlosados

Se presentan en los adoquines de adobones que enlosan el piso del Complejo Maranga, estos son parcialmente despegados de su basamento (Fig. 7). Los adobes son parcialmente deformados donde sus ejes mayores se posicionan de manera irregular. Similares estructuras deformadas por un sismo en el siglo II, han sido documentadas por Silva *et al.* (2009), en la antigua ciudad romana de Baelo Claudia de la bahía de Cádiz (sur de España).

La presencia de ondulaciones de las paredes en el Sector Oeste del Conjunto Tello en Cajamarquilla, son por efectos cosísmicos en la fábrica de las construcciones, la cual es un efecto de la deformación permanente del sustrato (ejemplo de un muro plegado) (Fig. 8a). Aquí la deformación de las estructuras se produce como consecuencia directa de su acomodación al cambio de forma del sustrato. En las estructuras generadas por deformaciones en la fábrica de las construcciones, como arcos ligeramente desplazados en la vertical (Fig. 8b), se observan en la deformación de la parte superior del pórtico, en algunos sectores del Conjunto Tello en Cajamarquilla.

5. Conclusiones

La aplicación de metodologías clásicas de análisis estructural geológico (análisis de la deformación), en las diferentes áreas inventariadas, permite cuantificar la deformación que existe en el yacimiento, mientras que el análisis arqueosismológico de yacimientos y edificios prehistóricos puede aportar información indispensable para el cálculo de la peligrosidad sísmica.

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 fluviotorrenciales, 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).

Se pueden señalar 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)
- Depósitos lacustres y conjunto arquitectónico de Catalina Huanca
- Conjunto arquitectónico de Cajamarquilla
- 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 diferentes tipos de suelos, erosión por tratarse en su mayoría depósitos fluviales de alta energía, cambio lateral de facies de los cuerpos sedimentarios —lo cual es común por tratarse de depósitos fluviales en una llanura fluvio-aluvial—, etc., pero estimamos que el registro muestra los eventos más importantes y con intensidades altas.

Agradecimientos

Este trabajo se vio mejorado gracias a los consejos de Rafael Valdez y a las revisiones de Gabriel Prieto y Cecilia Mauricio, gracias también a los estudiantes de geología de la EAP de Ingeniería Geológica 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; gracias al personal de los conjuntos arqueológicos de Catalina Huanca, Cajamarquilla, Maranga entre otros por las observaciones llevadas a cabo en estas áreas.

Notas

¹ Depósitos inconsolidados: término usado en geociencias para designar agregados naturales no consolidados o poco consolidados. Ejemplos de materiales inconsolidados en geología son solo depósitos de arcillas, arenas de playa, arenas de desierto, depósitos de glaciares recientes, aluviales, entre otros.

² Evento cosísmico: cambios en el relieve terrestre generados como consecuencia de un terremoto, como pueden ser alzamientos y subsidencia de una zona litoral (playas), profundización de ríos, sumergencia de barras litorales e inundación de vegetación y su desecación.

³ Sedimentos coluviales: son materiales transportados por gravedad, la acción del hielo-deshielo y, principalmente, por el agua. Su origen es local, producto de la alteración in situ de las rocas y posterior transporte como derrubios de ladera o depósitos de solifluxión. Frecuentemente están asociados a masas inestables. Su composición depende de la roca de la que proceden, estando formados por fragmentos angulares y heterométricos, generalmente de tamaño grueso, englobados en una matriz limo arcillosa.

⁴ Marismas: en geografía, una marisma es un ecosistema húmedo con plantas herbáceas que crecen en el agua. El agua de una marisma puede ser solo de mar, aunque normalmente es una mezcla de agua marina y dulce, denominada salobre. Las marismas suelen estar asociadas a estuarios, estas se basan comúnmente en suelos con fondos arenosos.

⁵ Facies de barras conglomeráticas: se denomina facies al conjunto de rocas sedimentarias o metamórficas con características determinadas, ya sean paleontológicas (fósiles) o litológicas (composición mineral, estructuras sedimentarias, geometría, etc.) que ayudan a reconocer los ambientes sedimentarios o metamórficos, respectivamente, en los que se formó la roca. Barras conglomeráticas (de geometría lenticular compuesto de clasto redondeados a subredondeados), son asociaciones de facies que nos permiten caracterizar con bastante precisión el medio sedimentario en el que se formaron.

⁶ Facies areno-pelíticas: es un material compuesto de partículas de arenas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros y en que sus espacios vacíos es «rellenado» por un sedimento clástico (limo) con un diámetro de las partículas varía de 0,0039 y 0,0625 milímetros.

⁷ Rizaduras: las ondulitas, rizaduras o *ripple-marks* (es muy común el uso del término en inglés) son estructuras sedimentarias que se forman por la acción de una corriente de agua o viento sobre un sustrato de arena suelta. Las de mayor tamaño se denominan dunas, especialmente las de origen eólico. La forma y laminación interna dependen de la velocidad de la corriente y de si esta es unidireccional u oscilatoria. Así, por el tipo de corriente, se dividen en rizaduras de corriente y rizaduras de oscilación.

⁸ Bioturbación: se denomina bioturbación a las alteraciones producidas en el sedimento por la actividad de los seres vivos. Un sedimento puede estar más o menos alterado por la acción de los seres vivos. En ocasiones es posible distinguir las galerías, pistas o rastros, etc. individualmente, pero a veces el grado de bioturbación es tan elevado que ello no es posible.

⁹ Pseudonódulos: falso nódulo que se forma por diferencia de densidad de dos capas sedimentarias, es muy común el pseudonódulo de arenas, que se da por la superposición vertical de arenas (mayor densidad) sobre una capa de arcilla (menor densidad).

¹⁰ Cráteres de sifonamiento: depresión más o menos circular formada por un fenómeno de expulsión del agua fuera del sello hidráulico por efecto de las variaciones de presión en los sistemas de evacuación y ventilación.

¹¹ Vergencia opuestas: dirección de desplazamiento o de inclinación de los estratos de un sistema de pliegues (anticlinal) o de un manto de la corteza terrestre en forma de lomo cuyos flancos se inclinan en sentidos opuestos

¹² Basculamiento (en inglés *tilting*): inclinación de un bloque geológico, a la manera del movimiento de una báscula o balanza. Junto con el plegamiento, es responsable de la inclinación de los estratos.

¹³ Fracturas conjugadas: sistema de fracturas (o diaclasas) que se cortan: las fracturas tienen distintas direcciones y buzamientos y, por lo tanto, se cortan en determinados puntos. El caso más común suele ser el de familias de diaclasas conjugadas, con dos o tres direcciones predominantes de fracturas producidas por el mismo fenómeno tectónico (distensión o compresión).

¹⁴ Fracturas penetrativas: es la separación bajo presión en dos o más piezas de un cuerpo sólido. La palabra se suele aplicar tanto a los cristales o materiales cristalinos como las gemas y el metal, como a la superficie tectónica de un terreno.

REFERENCIAS

Cobbing, J.

1973 Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta, *Boletín INGEMMET*, Serie A (26), Lima.

Giles, B., R. Marocco y J. Jacay

2002 Depósitos de ríos trenzados conglomeráticos del abanico del Río Rímac, ponencia presentada en el XI Congreso Peruano de Geología, Lima.

Giner-Robles J. L., R. Pérez López, P. Silva Barroso, M. Rodríguez-Pascua, T. Bardají Azcárate, J. Lario Gómez y V. Garduño Moroy

2012 La arqueosismología como ciencia emergente, *Seguridad y Medio Ambiente* 128, 20-34, Lima.

Grützner, C., S. Barba, I. Papanikolaou, R. Pérez-López

2013 Earthquake geology: science, society and critical facilities, *Annals of Geophysics* 56 (6), S0683, doi: 10.4401/ag-6503.

Hibsch Ch., A. Alvarado, H. Yepes, M. Sebrier y V. Pérez

1996 Falla activa de Quito y fuentes sismogénicas 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), 359-388.

Hibsch, Ch., A. Alvarado, H. Yepes, V. Pérez y M. Sebrier

1997 Holocene liquefaction and soft-sediment deformation in Quito (Ecuador): a paleoseismic history recorded in lacustrine sediments, *Journal of Geodynamics* 24 (1-4), 259-280.

Hocquenghem, A. M. y L. Ortlieb

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.

Jacay, J., A. Alván, J. Tuesta y W. Blas

2012 Sismitas en depósitos Mioceno Superior-Cuaternario de la región de Lima, ponencia presentada en el XVI Congreso Peruano de Geología, Lima.

Jacay, J., E. Maquera, A. Alván y J. Tuesta

2008 Sedimentología y aspectos de paleosismicidad del relleno sedimentario de la Quebrada Catalina Huanca (Ate-Vitarte), ponencia presentada en el XIII Congreso Latinoamericano de Geología y XIV Congreso Peruano de Geología, Lima.

Lecarpentier, C. y R. Motti

1968 Note sur les accumulations Quaternaires des vallées du Chillón, Lurín et de Chilca (Désert côtier Péruvien), *Revue de Géomorphologie Dynamique* XVIII (2), 73-82, Paris.

Le-Roux, J., C. Tavares y F. Alayza

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.

Macharé, J.

1981 Geología del cuaternario de la costa del Perú central, tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Macharé, J., M. Sebrier, D. Huaman y J. Mercier

1986 Tectónica cenozoica de la margen continental peruana, *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 76, 45-77, Lima.

Myers, J. S.

1980 Geología de los cuadrángulos de Huarney y Huayllapampa, *Boletín INGEMMET, Serie A* (33), Lima.

Michetti, A. M., F. A. Audemard y S. Marco

2005 Future trends in paleoseismology: Integrated study of the seismic landscape as a vital tool in seismic hazard analyses, *Tectonophysics* 408 (1), 3-21.

Noble D. C., J. Wiese, K. Zanetti, C. Vidal y E. McKee

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, en: *Volumen Especial N° 7, Víctor Benavides Cáceres*, Sociedad Geológica del Perú Lima, 89-105, Lima.

Nur, A. y H. Ron

1996 And the walls came tumbling down: earthquake history in the Holyland, *Archaeoseismology, Fitch Laboratory Occasional Paper* 7, 75-86, British School at Athens.

Ortlieb, L., J. Macharé

1990 Geocronológica y morfoestratigrafía de terrazas marinas del Pleistoceno superior: el caso de San Juan-Marcona, Perú, *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 81, 87-106, Lima.

Palacios O., J. Caldas J. y Ch. Vela

1992 Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica, *Boletín INGEMMET, Serie A* (43), Lima.

Pérez, V., C. Hibsich, A. Alvarado y H. Yepes

1994 Paleosismicidad de la ciudad de Quito (Ecuador) a través del análisis de la paleolicuación cuaternaria, *Estudios de Geografía* 6, 31-46.

Petersen, G.

1954 Informe preliminar sobre la geología de la faja costanera del departamento de Ica, *Boletín Técnico de la Empresa Petrolera Fiscal* 1, 33-76, Ica.

Ortlieb L. y J. Macharé

1990 Evolución climática al final del Cuaternario en las regiones costeras del norte peruano, breve reseña, *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines* 18(2), 143-160.

Quinn, W., V. Neal y S. Antúnez de Mayolo

1987 El Niño occurrences over the past four and a half centuries, *Journal Geophysics Research* 92 (13), 14449-14462.

- Rodríguez-Pascua, M., R. Pérez-López, J. Giner-Robles, P. Silva, V. Garduño-Monroy y K. Reicherter**
2009 A comprehensive classification of earthquake archaeological effects (EAE) for structural strain analysis in archaeoseismology, en: R. Pérez-López, C. Grützner, J. Lario, K. Reicherter y P. Silva (eds.), *Archaeoseismology and Palaeoseismology in the Alpine-Himalayan Collisional Zone*, abstracts volume of the 1st INQUA-IGCP 567 International Workshop on Earthquake Archaeology and Palaeoseismology, 110-112, Sevilla.
- Rodríguez-Pascua, M., R. Pérez-López, J. Giner-Robles, P. Silva, V. Garduño-Monroy y K. Reicherter**
2011 Comprehensive classification of earthquake archaeological effects (EAE) in archaeoseismology: application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures, *Quaternary International* 242, 20-30.
- Sebrier, M. y J. Macharé**
1980 Observaciones acerca del Cuaternario de la costa del Perú central, *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines* 9(1-2), 5-22.
- Seilacher, A.**
1969 Fault-graded beds interpreted as seismites, *Sedimentology* 13, 155-159.
- Silgado, E.**
1978 Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974), *Boletín 3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica*, Instituto de Geología y Minería, Lima.
- Silva, P., K. Reicherter, Ch. Grützner, T. Bardají, J. Lario, J. L. Goy, C. Zazo, y P. Becker-Heidmann**
2009 Surface and subsurface palaeoseismic records at the ancient Roman city of Baelo Claudia and the Bolonia Bay area, Cádiz (South Spain), *Geological Society of London, Special Publication 316*, 93-121, Londres.