

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEODINÁMICAS EN RELACIÓN AL SISMO DEL 23 DE JUNIO DE 2001

GEOLOGIC AND GEODYNAMIC CHARACTERISTICS IN RELATION TO THE EARTHQUAKE OF JUNE 23, 2001

Javier Jacay*, Ivan Santos*, Primo De la Cruz**

RESUMEN

Las manifestaciones de geodinámica externa que han acontecido en relación al sismo del 23 de junio de 2001 en las provincias alto-andinas de los departamentos de Tacna y Moquegua son presentadas aquí.

En el área del centro urbano de Moquegua y Tacna, es decir las provincias de Mariscal Sánchez Cerro (Puquina, La Capilla y Omate) así como en Locumba y Tarata, la infraestructura que ha sido afectada es más por deficiencias en la construcción y/o por características físicas locales del suelo-subsuelo. Se concluye que las manifestaciones de geodinámica externa de mayor envergadura se sitúan entre el borde oeste del Altiplano y el sistema de fallas Incapuquio, actuando esta franja como una probable zona de rebote a las ondas sísmicas.

Palabras claves: Sismo, Riesgo Geodinámico, Geomorfología, Neotectónica.

ABSTRACT

The manifestations of external geodynamics that have happened in relation to the earthquake of June 23, 2001, in the Andean high provinces of the departments of Tacna and Moquegua are presented here.

In the Moquegua and Tacna urban center areas, provinces of Mariscal Sánchez Cerro (Puquina, La Capilla and Omate) as well as in Locumba and Tarata, the infrastructure that has been affected, is due more to deficiencies in construction and/or because of local physical characteristics of the ground and underground. It is concluded that the manifestations of external geodynamics of a wider span are located between the Highlands West border and the Incapuquio Faults system, having this strip acted like a probable resilience zone to the seismic waves.

Key words: Earthquake, Geodynamic Risk, Geomorphology, Neotectonics.

I. INTRODUCCIÓN

El terremoto del 23 de junio de 2001, ocurrido en la región sur del Perú, tuvo una intensidad de VIII en la escala modificada de Mercalli y produjo gran destrucción en la región sur del Perú (departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna), incluyendo a las ciudades de Arica e Iquique en Chile (Tavera *et al*, 2001), con un tsunami dado

por efecto del mismo sismo (Ocola y Huaco, 2002). Este terremoto se relaciona al proceso de la convergencia entre la placas de Nazca y Sudamérica, siendo localizado su epicentro en la región sur y cerca de la línea de costa; a 82 km al NO de la localidad de Ocoña, en el departamento de Arequipa (Fig. 1). Durante los días siguientes al terremoto (del 23 al 30 de junio) se produjeron 305 réplicas de diferente magnitud. La sismicidad

* Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mails: j_jacay@yahoo.com, eter_k@hotmail.com

** Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: pdelacruz@unmsm.edu.pe.

histórica ocurrida en la zona de estudio es significativa comparada varios eventos de intensidad VII (Silgado, 1978).

Las observaciones geológicas y geodinámicas que han acontecido en relación al sismo del 23 de junio, que son expuestas en el presente trabajo, han sido realizadas en las áreas del Piedemonte de los departamentos de Tacna y Moquegua, comprendiendo las provincias de General Sánchez Cerro, (distrito de Puquina, distrito de la Capilla y alrededores) (Fig. 2), entre otras encontramos:

- Ruta de la trocha carrosable entre el pueblo de Puquina y el poblado de Sahuanay. Más al sur las rutas carrosables al interior de Locumba y entre Tacna-Tarata.
- Así mismo, se realizan observaciones sobre el estado de la autopista Panamericana Sur, entre El fiscal (área de río Tambo) y la ciudad de Tacna.
- Observaciones sobre el estado del suelo sobre el cual se asientan las partes más afectadas de las ciudades de Moquegua, Locumba, Tacna y Tarata.

En este trabajo se presenta una interpretación geodinámica del mismo, para lo que se ha utilizado la cartografía geológica de la zona, así como la información sismológica previa.

Marco tectónico

Morfoestructuralmente, el sur del Perú es caracterizado por cuatro zonas morfoestructurales paralelas a la fosa oceánica (Bellido, 1979 y Huamán, 1985), éstas son: la cadena litoral de la Costa, la que es recortada transversalmente por los valles de Tambo, Osmore, Locumba, Sama y Caplina; el Piedemonte del Pacífico que comprende altitudes entre 1000 y 2500 msnm como promedio, su morfología corresponde al dominio de las grandes pampas (La Joya, Clemesí, Pedregal, La Yarada, etc.); también está conformada por la Cordillera Occidental, formada por elevaciones paralelas a la línea de costa, sobre todo es de cobertura volcánica cenozoica y el Altiplano, cuya altitud promedio sobrepasa los 4000 msnm.

El área de influencia del terremoto de Ocoña de 2001 se localiza sobre terrenos de edad variable que van desde el Neoproterozoico al Cuaternario. Sobre este sustrato se ubican varias cuencas neógenas y cuaternarias (Moquegua, Pisco, etc.), y el Piedemonte del Pacífico.

La estructura más importante la constituye el sistema de falla Incapuquio (Vicente *et al.*, 1979; Jacay *et al.*, 2002), cuya actividad tectónica probablemente controló el levantamiento del Altiplano durante el Cenozoico separándola del Piedemonte del Pacífico. Su traza superficial de N 40° O está bien definida aunque segmentada en varios tramos que se solapan entre sí, puede seguirse desde la frontera con Chile hasta las proximidades de Pausa (Ayacucho) presentando numerosas fallas secundarias que lo acompañan predominando las fallas paralelas a las subparalelas E-O. A lo largo de su traza se han identificado numerosos indicios de actividad neotectónica cuaternaria (Sebrier *et al.*, 1985), siendo su edad difícil de precisar. Asimismo el carácter volcánico de la franja sur, en contacto con una placa subductante, sugieren una zona con fuerte influencia sísmica durante todo el Cuaternario.

Respuesta de las estructuras

En las grandes áreas urbanas y en las rurales, la edificación de muchas casas son de adobe y quincha, motivo que aceleró una destrucción parcial.

Así tenemos:

Distrito de Puquina

Este poblado comprende tres zonas afectadas de distintas magnitudes, como puede resumirse: área sur (**Barrio Bellavista**) afectado en 100%, se presentan construcciones con una precaria cimentación.

La edificaciones se realizan sobre un terreno que corresponde a arenas volcánicas muy sueltas y removidas. Las casas han sido edificadas sobre un cementerio prehispánico (Fig. 2). El suelo presenta diversos fracturamientos de cizalla, las cuales se ordenan preferencialmente entre N150° y N210°.

El **Barrio Alto de Lima**, que corresponde a la parte norte, se encuentra afectado aproximadamente en un 50%. La mayoría de las casas son construidas sobre rellenos recientes de grandes fracturas de las tobas volcánicas. **La parte central del pueblo de Puquina**, actualmente afectado entre 25-40%, presenta casas agrietadas, colapso de paredes, desprendimiento del estucado, entre otros.

Distrito de la Capilla

Este poblado se encuentra sobre un antiguo cono o abanico coluvial que consta de materiales

suelos, éste se encuentra afectado aproximadamente en un 90%, donde el 20% del total presenta: agrietamientos de paredes de las casas de muros de terrenos, colapso de paredes, desprendimiento del estucado, entre otros.

Así mismo los poblados de Chacahuayo, Chuñuhuyo, Pochuayo, Sojomure, Hembruna, Sahuanay, entre otros poblados pequeños que se encuentran afectados en un 50% (Fig. 2).

Ciudad de Moquegua

Es aquí donde las casas de construcción de adobe han colapsado, muchas por estar construidas en tierra no consolidada y/o, no presentar cimentaciones y no tener mantenimiento adecuado.

En el área del centro urbano, el incremento de la humedad en los últimos 15-20 años (probablemente, debido al aumento de la napa freática) ayudó a la descomposición de las maderas de las cimentaciones de las casonas antiguas del casco urbano central de la ciudad (Fig. 2).

En el barrio de San Francisco colapsaron la mayoría de las casas, otras sufrieron resquebrajamiento de las paredes. Este barrio que en los últimos años había sido rellenado con desmonte, ha colapsado durante el sismo, mayormente las edificaciones que habían sido construidas en las laderas (del desmonte) que presentan un 30-50% de pendiente, colapsaron. En estas mismas áreas las casas que han sido construidas sobre plataformas excavadas en suelos con buenas características mecánicas no han sufrido daño alguno. En síntesis, las construcciones que han sido edificadas sobre materiales de relleno y al filo de los acantilados han colapsado.

En esta área del barrio de San Francisco y barrios aledaños que presentan diferentes tipos de suelos, se han presentado frecuentes fracturas de un sistema rotacional, las que son un potencial peligro de desprendimiento ante eventuales sismos futuros.

Distrito de Locumba

El poblado se asienta sobre una pendiente que ha sido cortada y rellenada. La mayoría de construcciones de adobe y algunas de material noble han colapsado a causa de que las zonas de rellenos han sido mal compactados y/o a la mala calidad de los materiales utilizados en las construcciones.

Distrito de Tacna

El poblado se encuentra sobre antiguos depósitos fluviales del río Caplina. Las casas construidas con adobe y quincha han sido las más perjudicadas, en algunos casos han colapsado totalmente. Algunas edificaciones de concreto con más de un piso han sufrido agrietamientos en las uniones de las vigas con las columnas. En el sector de La Yarada los pozos de agua subterránea y casas de adobe han colapsado de manera parcial o total.

Distrito de Ciudad Nueva

Las construcciones se encuentran sobre un suelo areno-limoso proveniente de la erosión de los afloramientos de la formación Huaylillas. Un 40% de las casas de material noble han sufrido daños tales como: colapso total de las construcciones y/o agrietamientos en paredes y columnas.

Distrito de Tarata

El poblado se encuentra sobre una plataforma formada por un depósito aluvial. En este poblado algunas viviendas construidas con adobe han sufrido agrietamientos en sus paredes.

Las mayores destrucciones ocurrieron en las zonas rurales de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. En algunos pueblos, como en Puquina y Locumba, algunos barrios fueron parcialmente destruidos. Aparte de la mala calidad de las construcciones, otro factor importante para el alto nivel de destrucción fue probablemente una considerable amplificación de las ondas sísmicas por capas de suelo suelto y por efectos topográficos. Los suelos sueltos de ceniza volcánica son suelos muy desfavorables en caso de sismos. Esto se observó por ejemplo, en áreas de influencia de las cenizas volcánicas del Huaynaputina, donde se presentan derrumbes y fisuras en el suelo. El efecto topográfico pudo haber influenciado porque algunos poblados se encuentran en la cima de colinas y en los lados hay profundos valles de erosión. Las casas destruidas eran de adobe, bloques de rocas y quincha.

Efectos secundarios

Mientras la destrucción física ocurrió en un área muy grande y muchas casas fueron destruidas por el propio efecto sísmico; fueron los efectos secundarios, como deslizamientos y derrumbes los que causaron grandes pérdidas a la economía rural de la región.

Deslizamientos

Se observa que en muchos lugares de la región, las urbanizaciones y asentamientos de ciudades como Arequipa, Moquegua, Tacna, entre otros, tienden a acercarse cada año más a las colinas, donde existen peligros por deslizamientos en la pendiente; así mismo numerosos deslizamientos antiguos como los de Pallata (Tacna), cerro Llojo (Carumas-Moquegua) y Maca (Arequipa) fueron reactivados por este terremoto (Gómez *et al*, 2002).

El área afectada por deslizamientos durante un terremoto depende de la magnitud del mismo. Además, otros factores influyen en las dimensiones del área afectada, como son las condiciones geológicas locales, la profundidad de los terremotos, las características específicas del movimiento del suelo del particular evento y la distancia del epicentro. Nuestras observaciones permitieron además identificar los materiales que fueron más susceptibles y que causaron inestabilidad durante el terremoto: rocas débilmente cementadas, meteorizadas, intensamente fracturadas y fisuradas; rocas mediamente duras con discontinuidades; arenas residuales o coluviales no saturadas y saturadas; suelos volcánicos y cementados; sedimentos granulares de abanicos coluviales; depósitos aluviales granulares y también, rellenos artificiales.

Autopista binacional (Sector Moquegua-Torata); presenta deslizamientos, desprendimientos de rocas en forma de bloques (Fig. 2).

Trocha carrosable entre Puquina y Sahuayan; se encuentra afectada en 50%, presentándose algunos tramos con desprendimiento de rocas de diversas dimensiones, desprendimiento de tierras, fracturamiento y/o agrietamiento de los taludes de la trocha.

Autopista Panamericana Sur entre: El Fiscal (área de Río Tambo) y la ciudad de Moquegua; donde la plataforma presenta diversas grietas y asentamientos, esencialmente en las zonas que corresponden a materiales de relleno (terraplén) que se realizan para el asentamiento de la autopista, como puede observarse a la altura de Cruz del Portillo los desprendimientos de rocas y tierras son constantes en áreas que presentan un talud bastante fracturado y/o que no ha encontrado un perfil de equilibrio (Figura N.º 2).

Autopista Panamericana Sur entre el valle de Locumba y la ciudad de Tacna; esta vía presenta agrietamientos, principalmente, en los bor-

des de los terraplenes. En zonas de relleno, la carpeta asfáltica ha colapsado totalmente. En el valle de Locumba, el puente ha sufrido serios daños en su estructura.

En todos los sitios visitados, y especialmente en la ciudad de Moquegua, se observó claramente que casas o edificios grandes, hechos de concreto o cemento, sobrevivieron a este sismo.

Carretera Tacna-Palca; esta vía está asfaltada en 40 kilómetros y 11 kilómetros se encuentra como trocha carrozable. La parte asfaltada presenta agrietamientos que en algunas secciones afectan la mitad del relleno del terraplén. En toda la vía el evento sísmico generó desprendimientos de rocas que llegaron a bloquear parcialmente la vía.

II. CONCLUSIÓN

En el área del centro urbano de la ciudad de Moquegua y barrios aledaños la infraestructura que ha sido afectada, es más por deficiencias en la construcción y/o por características físicas locales del suelo-subsuelo.

De estas observaciones se puede concluir que a raíz del terremoto las manifestaciones de geodinámica externa de mayor envergadura como los deslizamientos, derrumbes y caída de rocas, se sitúan entre el borde oeste del Altiplano y el sistema de fallas de Incapuquio. Esta franja ha actuado como una probable zona de rebote o atenuación a las ondas sísmicas del 23 de junio de 2001. Al observar el mapa de intensidades regionales (Fig. 1), pasando el eje del límite occidental del altiplano, los intervalos decrecen rápidamente hacia el Este (región de Puno-La Paz).

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación del CSI-UNMSM, los autores agradecen a la Municipalidad Distrital de Puquina y a la EAP de Ingeniería Geológica de la UNMSM por las facilidades otorgadas a los autores, para llevar a cabo el presente estudio.

III. BIBLIOGRAFÍA

1. Bellido E. *Geología del Cuadrángulo de Moquegua*. Boletín Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A Carta Geológica Nacional N.º 15, 1979, 78 pp.

2. Gómez J. G., Ocola L. y Audemard F. *Efectos geológicos asociados al sismo del 23 de junio de 2001 en el sur del Perú*. XI Congreso Peruano de Geol. Vol. Resúmenes, 2002, p. 252.
3. Huamán D. *Evolution Tectonique Cenozoique et Neotectonique du Piemont Pacifique dans la Region d'Arequipa (Andes du Sud du Perou)*. These Doc. 3^e cycle. Universite de Paris Sud Centre d'Orsay, 1985, 220 pp.
4. Jacay J., Sempere T., Husson L. y Pino A. *Características estructurales del sistema de fallas Incapuquio*. XI Congreso Peruano de Geol. Vol. Resúmenes, p. 29.
5. Ocola L. y Huaco P. *El maremoto de Camaná del 23 de junio de 2001: flujo reflujo y efectos geológicos*. XI Congreso Peruano de Geol. Vol. Resúmenes, 2002, p. 254.
6. Sebrier M., Mercier J. L., Megard F., Laubacher G. & Carey-Gailhardis E. *Quaternary Normal and Reverse Faulting and the State of Stress in the Central Andes of South Peru*. Tectonics, Vol. 4 (7), 1985, pp. 739-780.
7. Silgado E. *Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1978)*. Boletín INGEMMET, Serie C, N.º 3, Geodinámica e Ingeniería Geológica, 1978, 129 pp.
8. Tavera H., Buforn E., Bernal I., Antayhua Y. and Vilcapoma L. *The Arequipa (Peru) Earthquake of June 23, 2001*. Journal of Seismology (in press), 2001.
9. Vicente J. C., Sequeiros F., Valdivia M. y Zavala J. *El cabalgamiento de cincha lluta: elemento del accidente mayor andino al nw de Arequipa*. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. T. 61, 1979, pp. 67-99.



Figura N.º I. Mapa de intensidades del sismo del 23 de junio de 2001 (tomado de Tavera et al. 2001).



Figura N.º 2. Mapa del sur del Perú, con ubicación de las principales áreas afectadas en el sismo del 23 de junio de 2001; a) Puquina, b) La Capilla, c) autopista Panamericana (puente Camaná), d) autopista Panamericana (quebrada El Toro), e) ciudad de Moquegua.