

## Efectos Geológicos Asociados al Sismo del 23 de Junio del 2001 en el Sur del Perú

Juan Carlos Gómez<sup>1</sup>, Frank Audemard<sup>2</sup> y José Quijano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geofísico del Perú, Lima-Perú

<sup>2</sup>Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas – FUNVISIS, Venezuela

### Resumen

El día sábado 23 de junio del 2001, un terremoto de magnitud 6.9 mb, afectó toda la región Sur de Perú, incluyendo las ciudades de Arica, Iquique en Chile y La Paz en Bolivia. El epicentro del terremoto fue localizado en la región sur y cerca de la línea de costa; esto es, a 82 km al NW de la localidad de Ocoña, Departamento de Arequipa (Tavera et al., 2001). El Instituto Geofísico del Perú (IGP) dentro de sus actividades de investigación sobre las causas del sismo en mención, comisionó a los autores para la evaluación de los efectos geológicos causados por el movimiento sísmico del 23.06.01 y sus réplicas. El trabajo de campo se llevó a cabo entre el 4 y el 20 de julio del 2001. La evaluación geológica permitió determinar que no hubo evidencias superficiales de reactivación de algún sistema de fallamiento geológico y/o fracturamiento en las proximidades del área epicentral, considerando que el hipocentro estuvo muy cercano al litoral y a poca profundidad.

Los principales efectos geológicos asociados al sismo estuvieron ligados a fenómenos de remoción de masas y licuación de suelos. La atenuación de la propagación de la energía en función de los volúmenes de masas removidas por efectos del sismo del 23.06.01, tiene una tendencia decreciente notoria en dirección SE con relación al epicentro. La vulnerabilidad física de los poblados e infraestructura afectada por el sismo, está ligada a deficiencias constructivas y ocasionalmente a características físicas locales del suelo-subsuelo.

### Abstract

On Saturday June 23 on 2001, an earthquake of magnitude 6,9 ML, affection all the South region of Peru, including the cities of Arica and Iquique in Chile and La Paz in Bolivia. The epicenter of the earthquake was located in the South region and near the coastline; this is, to 82 km to the NW of the Ocoña locality, Arequipa Department (Tavera et al., 2001). The Geophysical Institute of Peru (IGP) within its activities of investigation on the causes of the earthquake in mention, sended to the authors for the evaluation of the geologic effects caused by the seismic movement of 23.06.01 and his you talk back. The fieldwork I am carried out between the 4 and the 20 of July of the 2001. The geologic evaluation permitted to determine that there weren't surface evidences of reactivation of any fault geologic system in the proximity of the epicentral area, considering that the hypocenter was very near the coast and little depth. The main associated geologic effects to the earthquake were bound to phenomena's of removal of masses and ground liquefaction. The attenuation of the energy propagation in function of masses volumenenes removed by effect of the earthquake of the 23.06.01 has a well-known decreasing tendency in direction in relation of the epicenter. The physic vulnerability of the towns and infrastructure affected by the earthquake, is bound to constructive deficiencias and occasionally to local physics characteristics of the be accustomed to-subsoil.

### Introducción

A raíz de la ocurrencia del sismo del 23.06.01 que afectó severamente el sur del país, el IGP envió a la zona afectada una misión técnica-científica para evaluar las causas y efectos del evento sísmico en mención. El objetivo de la inspección fue identificar los factores geológicos causantes del sismo y sus réplicas, y de aquellos que

influyen en los efectos de sitio, con fines de prevención de desastres. Para tal efecto, se realizaron los siguientes trabajos:

- Inspección en el área epicentral con el objeto de verificar el reactivamiento de fallas y/o efectos superficiales causados por el sismo y sus réplicas.
- Estimación de los volúmenes de masas desprendidas a causa del sismo y su distancia al área epicentral.
- Condiciones geológicas del suelo-subsuelo de las localidades afectadas por el sismo.

### **Estudios Anteriores**

Por la gran extensión de la zona inspeccionada, se cuenta con una amplia bibliografía de trabajos geológicos regionales, que forman parte de la Carta Geológica Nacional, así como estudios especializados de geodinámica de algunas cuencas y estudios locales. También se cuenta con información de reportes de sismos históricos, como ejemplo se puede mencionar el último sismo severo que afectó la región de Nazca en 1996 (Monge, 1997).

### **Ubicación del área**

El área de estudio abarcó parte de los departamentos de Ica, Ayacucho, Huancavelica, Arequipa, Moquegua y Tacna, con una extensión aproximada de 10,000 km<sup>2</sup>, enmarcados en las siguientes coordenadas geográficas (Figura 1):

Latitud Sur	15°30' a 18°30'
Longitud Oeste	70°30' a 75°30'

El acceso al área inspeccionada es por la vía asfaltada conocida como Panamericana Sur, la misma que recorre longitudinalmente, de norte a sur, toda la costa peruana y las vías troncales transversales a ésta, asfaltadas en algunos tramos y en otros afirmados solamente.



Figura 1. Ubicación del área de estudio

### **Efectos Geológicos**

Los movimientos sísmicos pueden activar fenómenos de remoción de masas (deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, entre otros) y ocasionar un triple efecto: aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación asociada a la onda sísmica propiamente. Estos efectos pueden llevar al material afectado a causar una falla al cortante y producir en algunos casos la licuación de suelos granulares saturados.

Los principales efectos geológicos asociados al sismo del 23.06.01 estuvieron ligados a fenómenos de remoción de masas y licuación de suelos. Se inventariaron un total de 246 eventos geológicos, los mismos que son descritos en la Tabla 1. A continuación se describe las características de los fenómenos de remoción de masas inventariadas:

#### **- Remoción de masas**

La ocurrencia de fenómenos de remoción de masas relacionados con un sismo depende de la severidad de sacudimiento del suelo y de otros factores, tales como el topográfico, geológico e hidrológico. El efecto de un evento sísmico conduce

frecuentemente a la desestabilización de un talud, cuya incidencia aumenta con la severidad del sismo y el hipocentro si se localiza a poca profundidad.

El sismo del 23.06.01 cuyo epicentro se localizó cercano al borde litoral peruano y relativamente a poca profundidad, ocasionó gran cantidad de fenómenos de remoción de masas, como deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas, principalmente en las inmediaciones de los tramos carreteros y zonas aledañas, decreciendo su número y volumen en dirección sur del área epicentral.

La inspección de campo permitió identificar los siguientes eventos de remoción de masas:

**- Deslizamientos**

Los deslizamientos pueden subdividirse en dos grupos:

*a). Deslizamientos cosísmicos:* Estos ocurrieron al momento del sismo y tuvieron lugar mayormente a lo largo de la carretera Panamericana Sur y en algunas vías afirmadas de penetración a las zonas andinas (Figura 2). Se inspeccionaron 32 ocurrencias de este tipo de deslizamiento, presentando volúmenes entre 40 a 8000 m<sup>3</sup> de material removido, mayormente de naturaleza arenosa, en los siguientes tramos carreteros:

- . Tramo Atico-Ocoña-Camaná: Sector Cerro de Arena, 20 ocurrencias.
- . Tramo La Curva-Cocachacra: 4 ocurrencias.
- . Tramo Pararca – Pausa: 8 ocurrencias.

*b). Deslizamientos reactivados:* En la región sur del país existe deslizamientos activos cuya dinámica se acelera al producirse un sismo, este fue el caso de 5 deslizamientos reactivados por el sismo del 23.06.01: Pallata (Moquegua), Llojo (Moquegua), Lari (Arequipa), Madrigal (Arequipa) y Maca (Arequipa), Figura 3.



Figura 2. Tramo Atico-Ocoña (secor cerro de Arena). Desplazamientos de aspersiones eolicas un tramo de la Panamericana Sur.



Figura 3. Deslizamientos en el Cerro Llojo – Carumas

#### - Derrumbes

Este tipo de remoción de masas fue muy frecuente e identificado en gran parte de la región afectada por el sismo, principalmente en los taludes adenaños a las vías terrestres como la Panamericana Sur y carreteras transversales de penetración a la sierra sur del país. La principal característica de las áreas afectadas por derrumbes cosísmicos fue que se produjeron en taludes con pendientes altas y material inconsolidado o rocoso

fracturado. Durante el trabajo de campo se llegó a inventariar 160 derrumbes con volúmenes entre 5 y 7300 m<sup>3</sup> de material removido (Figura 4) y los principales tramos de carreteras afectadas fueron:



Figura 4. Ubicación de los puntos en donde se han producido deslizamiento y derrumbes debidos al terremoto del 23 de Junio de 2001.

- . Panamericana Sur: Tramo Atico-Camaná, El Fiscal-Moquegua-Desvío Ilo e Ilo-La Yarada.
- . Carretera Corire-Aplao-Chuquibamba-Viraco-Pampacolca.
- . Carretera Arequipa-Puquina-Omate.
- . Carretera Binacional: Tramo Moquegua-Huatire.
- . Carretera Camiara-Toquepala.
- . Carretera Chivay-Pinchollo-Huambo.
- . Carretera Tacna-Tarata-Candarave.
- . Carretera Atico-Caravelí.
- . Carretera Tacna-Miculla-Pachía.