

## **Efectos Geológicos Asociados al Sismo de Arequipa del 23 de Junio del 2001, Departamento de Arequipa, Perú Meridional**

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

<sup>1</sup>Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas – FUNVISIS, Venezuela

<sup>2</sup>Procesos Internos de la Tierra, Instituto Geofísico del Perú

### **Informe de Misión**

A solicitud del Ministerio de Ciencia y Tecnología –MCT- de Venezuela, en colaboración técnica para el Gobierno del Perú, y en particular con el Instituto Geofísico del Perú, un representante de Funvisis, en la persona del Dr. Franck Audemard, realizó una misión al Perú entre los días 02 y 08 de julio del 2001 para evaluar los efectos geológicos inducidos por el sismo de Arequipa del 23 de junio del 2001 y su secuencia de “réplicas”, que afectó una vasta región del sur del Perú. El presente informe resume las observaciones de campo realizadas entre el 04 y 07 de julio del 2001.

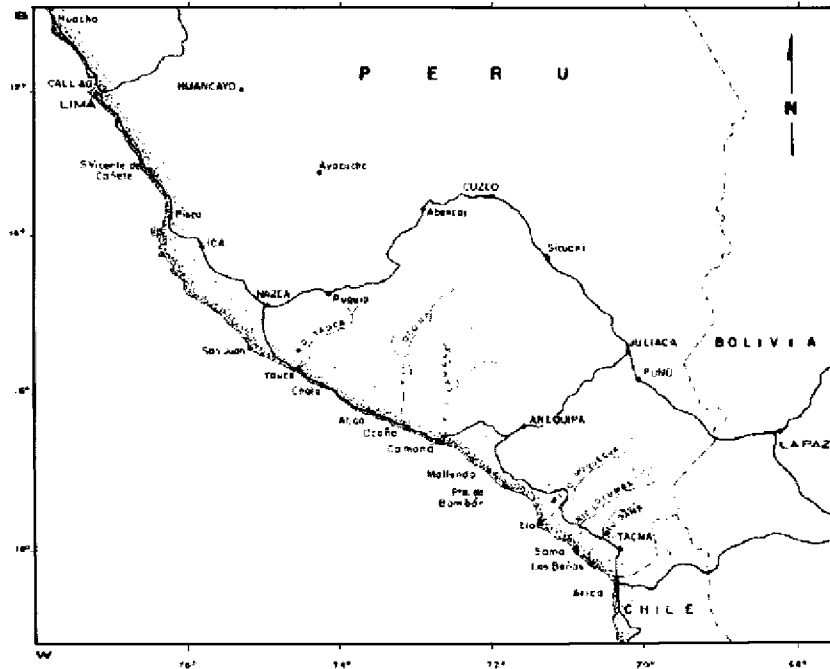
### **Observaciones Geológicas de Campo**

En función de su tipología, las observaciones geológicas de campo van a ser agrupadas en dos grandes entidades: inestabilidades gravitatorias y licuación de suelos; ambos siendo efectos inducidos por la solicitud dinámica introducida por el sismo de Arequipa del 23 de junio del 2001 y de sus “réplicas” más importantes.

#### ***Inestabilidades gravitatorias***

En la región inspeccionada por esta comisión, esencialmente a lo largo de la costa pacífica peruana, entre Pisco al norte y La Yarada al sur (cerca de Tacna, en proximidad a la frontera con Chile; Figura 1), los problemas de inestabilidad observados están esencialmente asociados a modificaciones antrópicas; a excepción de caída o desprendimiento de bloques en acantilados costeros de unos 15 a 20 m de alto, en las localidades de Matarani (Puerto mercantil ubicado en Islay, próximo a Mollendo) y acantilados marinos fósiles entre Mollendo y Mejía. En ocasiones, los bloques desprendidos son de varios metros de diámetro y están

compuestos de secuencias aluviales conglomeráticas cuaternarias. El desprendimiento de estos bloques está controlado por grietas subparalelas a la pared del acantilado, ocurriendo repteo.



*Figura 1.- Mapa simplificado de la región sur peruana, indicando las localidades principales mencionadas en este informe.*

Las restantes inestabilidades gravitatorias observadas están todas ligadas a procesos de corte y/o relleno, a lo largo de la vialidad regional, siendo los sectores más afectados los que conectan Atico y Camaná (severamente afectado y con reincidencia de restricción de paso posterior a cada “réplica” importante) y El Fiscal-Montalvo (Moquegua; en tramos en pendiente a nivel del cruce de grandes valles)-bifurcación a Ilo, entre los kilómetros 1109 y 1177 de la Panamericana sur. De las diferentes expresiones de inestabilidad gravitatorias identificadas, sólo el lateral spreading requiere de agua, indicando que los procesos de inestabilidad están claramente condicionados por lo árido del clima costero sur peruano. Hemos agrupado las inestabilidades en cinco grandes grupos:

### ***Falla de borde en terraplenes de carretera a falda de relieve***

Es probablemente la evidencia de inestabilidad del terraplén de las vialidades revisadas más frecuentemente observada (ver Tabla 1). Son muchos los casos donde sólo el borde libre del terraplén de relleno –en sectores donde la carretera corre a flanco de montaña o vertiente- muestra grietas longitudinales de algunas decenas de metros y ocasionalmente pueden alcanzar el centenar de metros. La afectación de la carpeta asfáltica es variable, pero nunca supera más de la mitad de la vía. Los sectores con fallas de borde más pronunciados son entre Atico y Pescadores (km 727-734 de Panamericana sur), donde la carretera está construida sobre aspersiones eólicas no consolidadas adosadas a vertientes de unos 30° de pendiente (Foto 1). Los sitios afectados por este sismo y sus “réplicas” coinciden con curvas en entrantes del relieve, donde habían pequeñas obras/muros de contención, construidos para retener las zonas en relleno del terraplén de la Panamericana sur sobre dichos depósitos eólicos (arenas finas bien seleccionadas, no cementadas; Foto 2). En consecuencia, son sitios con historial de problemas de inestabilidad recurrente. Otro sector con problemas similares y afectación hasta de media calzada por tracción o deslizamiento del canal de circulación en relleno, corresponde a los tramos viales con pendiente sobre las vertientes de grandes valles



*Foto 1.- Caída de depósitos eólicos en cortes de la carretera Panamericana sur, entre Atico y Ocoña, en fase de remoción después de sismo secundario (05/07/2001). Obsérvese también falla del muro de contención.*

encajados (de profunda incisión) entre El Fiscal y Montalvo (km 1109-1130), siendo estas inestabilidades independientes de la sustrato geológico (rocas volcánicas del Grupo Toquepala del Cretáceo-Terciario inferior; Formación Moquegua superior del Terciario superior o depósitos aluviales conglomeráticos cuaternarios).



*Foto 2.- Colapso de la calzada por falla del terraplén de relleno de la carretera Panamericana sur, afectando muros de contención, en sectores de arenas eólicas no consolidadas.*

### ***Falla de terraplenes de relleno***

Es frecuente en ingeniería vial utilizar la construcción de rellenos de cierta potencia entre dos interfluvios para mantener la rasante. En este caso, no sólo fallan ambos bordes libres por agrietamiento longitudinal, sino que también la carpeta asfáltica se ve afectada transversalmente por asentamiento en ocurrencia de sismos de suficiente energía y duración; y ocasionalmente puede ocurrir desniveles importantes que conlleven a la obstrucción del libre tránsito. Aún no hay casos en la vialidad inspeccionada tan avanzados, pero no está ecenta de que ocurra en caso de nuevas “réplicas”. Las lluvias no serán un factor condicionante negativo que acelere el proceso debido a la aridez de la zona costera sur peruana.

Los sectores más afectados por este tipo de inestabilidad corresponden a la carretera que conecta Ilo con la Panamericana sur, entre los km 30 y 34 (medidos a partir de Ilo) y en la carretera costanera Ilo-Ite-La Yarada (kms 27-32, 46-48, 49-50 y 70-75; medidos igualmente desde Ilo).

### ***Desprendimiento de materiales no consolidados***

El desprendimiento de materiales no consolidados, tales como escombros (provenientes de conos coluviales de pie de ladera) o arenas no consolidadas (Foto 1), son poco frecuentes en comparación con las caídas de bloques controlados por planos de discontinuidades (diaclasas, fracturas o fallas; Tabla 1).

Los sectores afectados por la caída de arenas sueltas son raros, pero pueden ser fuertemente molestos por la facilidad con que colapsan y obstruyen la vialidad, aún durante la ocurrencia de “réplicas” (apreciado en ocurrencia de una réplica ocurrida el jueves 05/07/2001 en horas de la mañana; Foto 1). El sector más representativo de este proceso está localizado entre los km 727 y 734, entre Atico y el valle de la quebrada Pescadores. Este proceso coincide espacialmente con el colapso/la falla de los muros de contención del terraplén de la carretera, logrando bloquear totalmente el paso, porque el canal más cercano a la vertiente se vio bloqueado por la caída de las arenas sueltas mientras el externo falló por colapso del material de relleno del terraplén (Fotos 1 y 2). La caída de aspersiones eólicas también se observó, aunque sin afectar la vialidad, entre Tanaca y Chala; siendo esta la evidencia más septentrional de inestabilidad observada.

Entre Atico y quebrada de Pescadores, también ocurrió el colapso ladera abajo de escombros sobre la carpeta asfáltica, provenientes de conos coluviales en laderas de pendientes próximas a 30°, cortados por la vía Panamericana sur, entre los km 712-726. Estos fueron desestabilizados (estables en condiciones estáticas más no en condiciones dinámicas) hasta por las réplicas de mayor magnitud (generalmente superior a  $m_b$  5, según cálculo preliminar de magnitud del IGP). La fracción gruesa de estos depósitos coluviales está compuesta por fragmentos angulosos de hasta algunas decenas de centímetros de largo, cuyo

material parental es el Complejo Igneo-metamórfico de la Costa de edad precámbrico-paleozóico inferior.

Aunque mucho menos frecuentes, también se observó caídas de escombros a partir de formaciones aluviales conglomeráticas cuaternarias y de la Formación Moquegua (Terciario superior), entre Montalvo y la bifurcación a Ilo (km 1148-1177), siendo los materiales desprendidos cantos redondeados en el caso de los conglomerados cuaternarios.

#### ***Desprendimiento de bloques (deslizamientos en cuña) en sectores en corte***

Este proceso de inestabilidad en los sectores en corte de la carretera Panamericana sur es muy frecuente y generalmente ocurre en materiales muy competentes del Complejo Igneo-metamórfico de la Costa de edad precámbrico-paleozóico inferior; complejo de amplia distribución a lo largo de la costa sur del Perú (Tabla 1). Estos materiales geológicos se desprenden en bloques como consecuencia de una fracturación muy densa según varias orientaciones, que definen cuñas que deslizan o se desprenden. La detección de este proceso fue posible desde los km 692-694, entre Chala y Atico, hasta cerca de la bifurcación hacia Ilo (km 1177), donde abandonamos la carretera Panamericana sur definitivamente.

#### ***Falla en terraplenes de carretera en llanuras aluviales activas (lateral spreading)***

El traccionamiento perpendicular del terraplén de la vía, asentado sobre planicies aluviales activas, es casi característico y único del valle aluvial del Río Tambo (a lo largo de la vialidad costanera Mollendo-Mejía-La Curva y la carretera La Curva-Cocachacra-El Fiscal), donde pudieron ser observados sistemas de grietas longitudinales de varias decenas –y hasta de algunos centenares- de metros de longitud; siendo el grado de afectación de la carpeta asfáltica variable. Generalmente, este agrietamiento longitudinal no afecta la carpeta asfáltica y corre a lo largo de la interface asfalto-relleno o corta y deprime muy poco la calzada. Es frecuente que afecte no más de un canal de circulación, cuando el proceso de desparramamiento lateral (lateral spreading) es algo más marcado. Sin embargo, los daños más severos ocurren por largos tramos de vialidad, donde un canal de riego, en tierra y en uso, corre paralelo y al lado del terraplén de la carretera (sector El Boquerón, entre La Curva y El Arenal, entre Cocachacra y El Fiscal), debido al efecto de borde libre que imprime el