



INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO



**Instituto Geofísico del Perú**  
Sector Educación



**CENTRO DE ESTUDIOS Y  
PREVENCIÓN DE DESASTRES**



Instituto Geofísico  
Universidad Nacional  
San Agustín  
Arequipa



**CISMID**

Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y  
Mitigación de Desastres

# **CRISIS SÍSMICA DE CALACOA (MOQUEGUA) OCTUBRE, 2005**

## **INFORME TÉCNICO MULTI-INSTITUCIONAL**

**EDITORES RESPONSABLES**

**Marco RIVERA, Hernando TAVERA, Victor AGUILAR,  
Juvenal MEDINA, Fernando LÁZARES**

**LIMA - Perú  
Febrero - 2006**

## **INSTITUCIONES PARTICIPANTES**

---

### **INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO**

Ing. Victor Lay Biancardi  
Presidente del Consejo Directivo del INGEMMET

Dr. José Macharé Ordoñez  
Director Ejecutivo:

### **INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ**

Dr. Ronald Woodman Pollit  
Presidente del Consejo Directivo del IGP

Hernán Montes Ugarte  
Director Técnico

### **INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTIN – AREQUIPA**

Dr. Rolando Cornejo Cuervo  
Rector de la Universidad Nacional San Agustín

Ing. Armando Minaya Lizarraga  
Director del Instituto Geofísico de la Universidad Nacional San Agustín

### **CENTRO DE ESTUDIOS Y PREVENCIÓN DE DESASTRES (PREDES)**

Ing. Gilberto Romero Zevallos  
Director

Ing. Juvenal Medina Rengifo  
Sub Director

### **CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES (CISMID)**

Dr. Roberto Morales Morales  
Rector de la Universidad Nacional de Ingeniería  
Dr. Francisco Coronado Del Aguila  
Decano Facultad de Ingeniería Civil  
Director del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación  
de Desastres  
Dr. Jorge Olarte Navarro

## CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Ubicación del área epicentral.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Entorno social .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4. Características geológicas – geomorfológicas del área de estudio .....</b>	<b>11</b>
1.4.1 Rocas sedimentarias del Jurásico superior a Cretáceo inferior.....	11
1.4.2 Rocas sedimentarias del Cretáceo medio .....	11
1.4.3 Rocas sedimentarias del Cretáceo superior a Terciario medio .....	11
1.4.4 Rocas lávicas del Cretáceo medio a superior.....	11
1.4.5 Rocas intrusivas del Cretáceo y Paleógeno .....	12
1.4.6 Rocas volcánicas del Oligoceno superior a Mioceno medio .....	12
1.4.7 Rocas volcánicas del Mioceno superior al Pleistoceno.....	12
1.4.8 Depósitos del volcán Ticsani .....	12
<b>II. CARACTERÍSTICAS SISMOTECTÓNICAS DEL SISMO DEL 1 DE OCTUBRE DE 2005 Y DE SU SERIE DE REPLICAS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Introducción.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Parámetros hipocentrales.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Intensidades .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Redes Sísmicas de Intervención.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Las replicas.....</b>	<b>21</b>
<b>2.6 Orientación de la Fuente Sísmica.....</b>	<b>21</b>
<b>2.7 Monitoreo Sísmico Temporal del Volcán Ticsani.....</b>	<b>22</b>
<b>2.8 Discusión y Conclusiones .....</b>	<b>24</b>
<b>III. EFECTOS GEOLÓGICOS PRODUCIDOS POR LOS SISMOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Introducción.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Sector de Trapiche: canal de agua del pueblo de Calacoa .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Sector de Trapiche: canal de agua de Bellavista .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4 Sector de Sajalaca – Saychaca: canal de agua de San Cristóbal .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5 Deslizamientos y derrumbes en los sectores de Calacoa y San Cristóbal .....</b>	<b>37</b>
3.5.1- Deslizamiento en el sector de Iztaña (322064E, 8150162N, 3745 msnm.).....	37
3.5.2- Deslizamiento y derrumbes en la parte baja de Calacoa:.....	39
<b>3.6 Derrumbes en la carretera Calacoa-San Cristóbal .....</b>	<b>39</b>
<b>3.7 Discusión y conclusiones.....</b>	<b>40</b>
<b>IV. EFECTOS EN LAS CONSTRUCCIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Daños en las viviendas .....</b>	<b>42</b>
4.1.1 Poblados de Calacoa - Bellavista .....	44
4.1.2 Poblado de San Cristóbal .....	46
4.1.3 Poblado de Cuchumbaya.....	47
4.1.4 Poblado de Sacuaya .....	47
<b>4.2. Condiciones locales: Tipos de suelo y Pendiente.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3 Análisis de Acelogramas.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3. Daños ocurridos en los sismos de 1999 - 2001 .....</b>	<b>52</b>

4.4 Discusión y conclusiones.....	52
<b>V. ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL TICSANI.....</b>	<b>54</b>
5.1 Actividad eruptiva reciente.....	54
5.2 Evaluación de las fuentes termales localizadas en áreas aledañas del Ticsani.....	57
5.2.1 Introducción a la evaluación geoquímica .....	57
5.2.2 Metodología .....	59
5.2.3 Resultados y Discusiones .....	61
5.2.4 Conclusiones .....	70
<b>VI. PROBLEMAS SOCIALES.....</b>	<b>72</b>
6.1 El manejo de información y sus efectos derivados .....	72
6.2 La evaluación de daños y análisis de las necesidades.....	72
6.3 La atención de las necesidades de la población afectada.....	73
6.4 La rehabilitación y reconstrucción.....	73
<b>VII. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>75</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
AGRADECIMIENTOS .....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
<b>ANEXOS .....</b>	<b>83</b>

## RESUMEN

El 1 de Octubre de 2005, ocurrió un sismo de magnitud moderada (5.4 ML) en la región Sur de Perú afectando a un área que involucra diversas localidades situadas alrededor del volcán Ticsani. El epicentro del sismo fue ubicado a 8 km al Este de la localidad de Calacoa y 62 km al NE de la ciudad de Moquegua. El sismo produjo daños en la mayoría de viviendas de adobe de las localidades de Calacoa, San Cristóbal, Cuchumbaya, Solajo, Carumas, Soquesane y otros. Los daños ocasionados son principalmente agrietamientos de las paredes y caídas de sus fachadas. Muchos de los agrietamientos se produjeron durante los sismos de mayo de 1999, y junio del 2001, y se han reactivado a raíz de los movimientos sísmicos de octubre último. Después de ocurrido el sismo y durante un periodo aproximado de 30 días, se ha producido un gran número de replicas (sismos menores asociados) que causaron pánico y alarma en los pobladores de las localidades antes indicadas. Inicialmente, la alarma se incrementó en razón que los pobladores asociaban la ocurrencia de los sismos con una posible reactivación del volcán Ticsani, hecho que no ocurrió así y por el contrario con el pasar de los días, la sismicidad cesó completamente.

A raíz de la ocurrencia de los movimientos sísmicos instituciones como el Instituto Geofísico del Perú (IGP), Instituto Geofísico de la Universidad Nacional de San Agustín (IG-UNSA), Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Centro de Investigación Sísmica y Mitigación de Desastres (CISMID), y Centro de Estudios y Prevención de desastres (PREDES), se han hecho presente en la zona de mayor desastre (Distrito de San Cristóbal) para efectuar estudios geológicos, sísmicos, y orientar las labores de evaluación de los daños y determinar las necesidades de las poblaciones afectadas por los sismos.

Los resultados preliminares indican que el sismo principal y su serie de replicas, tendrían un origen tectónico en razón que los registros muestran claramente los tiempos de llegada de las ondas P y S; sin embargo, es posible que la deformación tectónica haya sido causada por la presión que ejercía el magma en su movimiento en el interior del volcán, lo cual explicaría la distribución de las replicas sobre el volcán Ticsani. Si se considera dicha hipótesis, la cámara magmática podría estar por debajo de los 4 km de profundidad. La importante deformación producida no ha sido suficiente para que el volcán Ticsani pueda pasar a una etapa de erupción.

En cuanto a la vigilancia geoquímica, las mediciones de temperatura en las fuentes termales muestran un ligero incremento respecto a las obtenidas el año 1999. Este ligero incremento puede deberse a un menor ingreso de aguas frescas a través de las fracturas por donde circulan las aguas termales. Probablemente los movimientos sísmicos han producido derrumbes internos que cerraron fracturas o puede deberse a la ausencia de lluvias en esta estación del año, no existiendo dilución en las fuentes termales. El parámetro de pH de las fuentes termales muestra una ligera variación que sumado a la relativa estabilidad de la temperatura indica que el sistema hidrotermal del volcán Ticsani aparentemente en la actualidad no presenta ninguna anomalía

La evaluación del estado de las viviendas muestran que los agrietamientos obedecen a tres factores: primero, debido a que los muros han sido construidos a base de unidades de adobe unidos con mortero de barro sin ningún tipo de elemento estructural (columna o viga collar) que les proporcione un adecuado confinamiento y rigidez, y sobre cimientos de piedra y barro; segundo, los pueblos en mención se hallan asentados sobre un suelo de limo, arena y grava poco competente (depósitos de avalanchas de escombros), y tercero las viviendas están

construidas sobre pendientes moderadas del terreno obligando a que los muros no tengan una altura uniforme variando en su rigidez.

El análisis de los acelerogramas obtenidos por la estación temporal acelerográfica instalada en Calacoa indica que la respuesta del terreno tiene una tendencia a presentar las mayores aceleraciones espectrales alrededor de un periodo de 0.1 segundo, valor que corresponde en forma aproximada a las viviendas de adobe. Esto es producto de las condiciones locales de sitio. Lo cual permite afirmar que ante los sismos de mayor magnitud que han ocurrido en esta zona y próximos que sucedan, las viviendas de adobe han sufrido y sufrirán directamente los efectos de estos movimientos.

En general, los estudios muestran que Calacoa y sus alrededores están propensos a los efectos sísmicos asociados y a la ocurrencia de determinados peligros geológicos de movimientos en masa, principalmente derrumbes. En efecto, los movimientos en masa generados a raíz del sismo del 1 de octubre consistieron principalmente en caídas de roca, derrumbes, ligera reactivación de deslizamientos, y agrietamientos de terreno. Estos fenómenos han tenido lugar en zonas de mediana a fuerte pendiente ( $40^\circ$  a  $85^\circ$ ), cuyo macizo rocoso está constituido principalmente por depósitos de avalanchas de escombros poco cohesivos, cubiertos por depósitos coluviales.

La gran mayoría de caídas de roca, derrumbes, agrietamientos y deslizamientos, se localizan en áreas donde las laderas fueron cortadas para la construcción de la carretera afirmada Calacoa-San Cristóbal, y para la construcción de canales de agua que abastecen a los pueblos de Calacoa, Bellavista y San Cristóbal.

Importantes canales de agua de consumo humano y regadío de los poblados de Calacoa, Bellavista y San Cristóbal fueron afectados por derrumbes y desprendimientos de rocas ocurridos durante los movimientos sísmicos de octubre. A raíz de los movimientos sísmicos la pared Noreste del reservorio de agua de Vichupampa fue dañado por grietas que miden entre 1-4 cm de ancho y de 1.5 - 2.5 m de longitud.

## I. ANTECEDENTES

### 1.1 Introducción

A raíz de la ocurrencia de movimientos sísmicos durante el mes de octubre del 2005 en las Provincias de Mariscal Nieto y Sánchez Cerro (Departamento de Moquegua), que causaron innumerables daños en las viviendas y obras de infraestructura (Fig. 1.1), instituciones como el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Instituto Geofísico del Perú (IGP), Centro de Investigación Sísmica y Mitigación de Desastres (CISMID), Instituto Geofísico de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa (IG-UNSA) y Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES), se han hecho presente en la zona de mayor desastre (Distrito de San Cristóbal) para efectuar estudios geológicos, sísmicos, y orientar las labores de evaluación de los daños y determinar las necesidades de las poblaciones afectadas por los sismos.

Debido a los sucesos ocurridos en el área de Calacoa, el día 08 de Octubre en la ciudad de Moquegua fue activada la Comisión de Ciencia y Tecnología del Comité Regional de Defensa Civil de Moquegua, y que en primera instancia está integrado por el IG-UNSA, IGP, INGEMMET y PREDES. Esta comisión está encargada de efectuar estudios técnicos y científicos orientados a identificar y evaluar los peligros, vulnerabilidades y estimar el riesgo de la seguridad de las poblaciones; en este caso frente a los eventos sísmicos, evolución de los mismos, sus efectos y emitir recomendaciones pertinentes para la prevención y mitigación de desastres.

Después de haberse producido el sismo principal y ante la ocurrencia de un gran número de replicas (sismos menores asociados), el IG-UNSA y el IGP coordinaron sobre la instalación de redes sísmicas locales temporales para el registro de dichas replicas y así poder conocer las características y causas de la actividad sísmica. Inicialmente, el IG-UNSA instaló 3 estaciones sísmicas de registro analógico y sensores de periodo corto tipo SP-2 en las localidades de Quinistacas, Torata y Pasto Grande, todas operaron entre los días del 6 al 13 de octubre llegando a registrar un importante número de replicas.

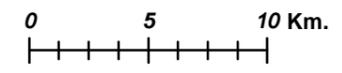
Posteriormente, el IGP comisiona al Ing. David Portugal para que instale 4 estaciones digitales de banda ancha de tipo reftek en las localidades de Carumas, Pallatea, Humajalso y otra en el volcán Ticsani. Esta última para evaluar el registro de eventos que pudieran tener relación con la posible reactivación del volcán. Estas estaciones temporales funcionaron entre los días 14 y 20 de octubre. Además, a fin de realizar una evaluación in situ de los efectos y daños producidos por el sismo, el IGP envió a los Ings. Yolanda Zamudio y Rocio Parillo por un periodo de cinco días para visitar las localidades de Carumas, Cambrune, Cuchumbaya, Sacuaya, Quebaya, Calacoa, Bellavista, Ichupampa y Quinistaquillas. Para la evaluación de intensidades en estas localidades, se ha realizado encuestas a los pobladores a fin de conocer el comportamiento de las personas, construcciones y suelos ante la ocurrencia del sismo, para luego ser interpretada con la escala de intensidades MSK-64 modificada para su uso en el Perú por Ocola (1979).

# MAPA DE UBICACIÓN

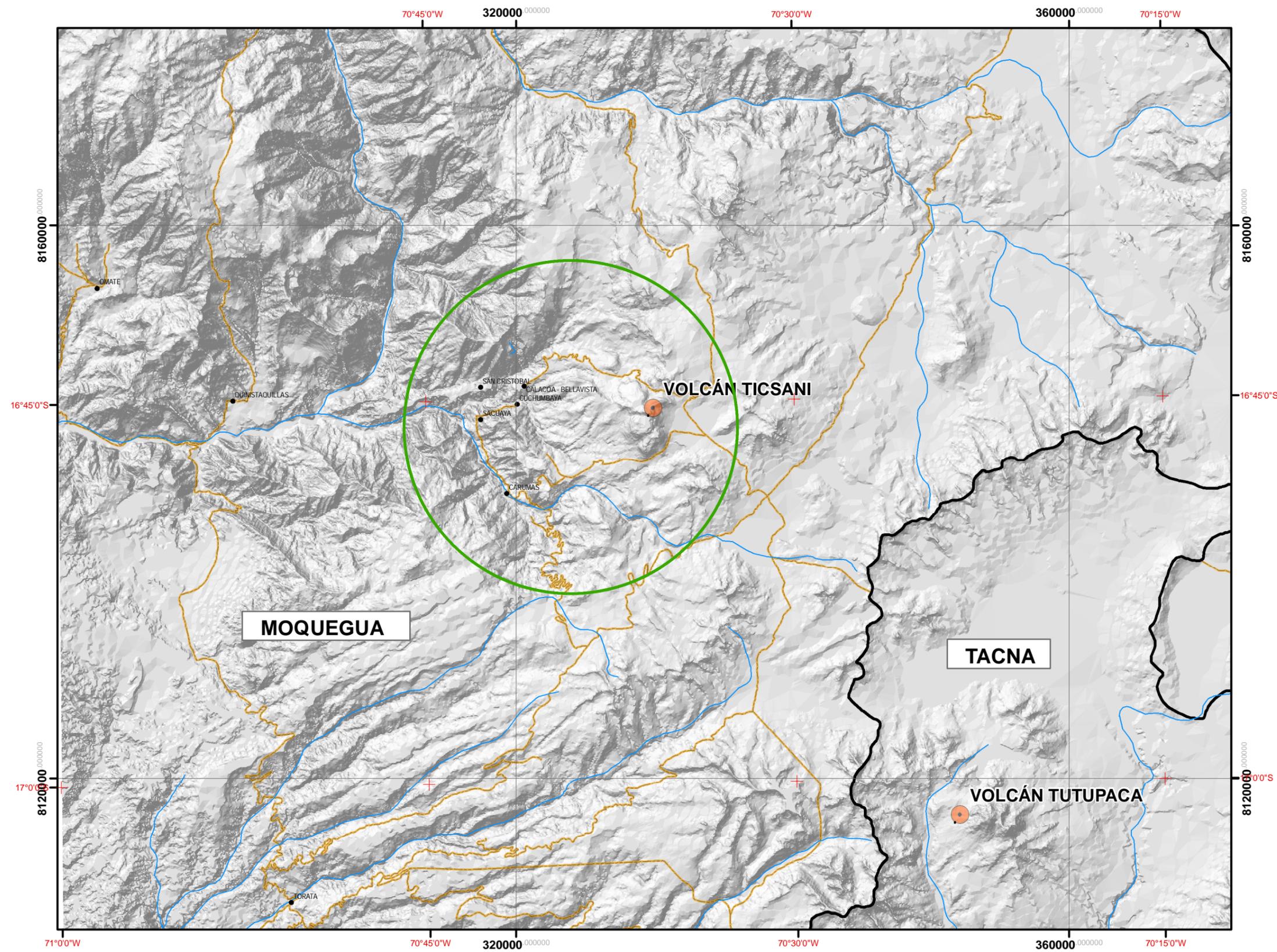
Figura. 1.1

## LEYENDA

- Poblado
- Ríos
- Vías
- Volcán
- Límite departamental
- Zona más afectada por sismos



PROYECCION TRANSVERSAL MERCATOR  
WGS 84 - Zona 19S



Por su parte, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) designó a los geólogos volcanólogos Jersy Mariño y Marco Rivera, y a la Lic. Quim. Vicentina Cruz, de la Dirección de Geología Ambiental, para que los días 07 y 08 de Octubre efectúen una evaluación de los daños y efectos geológicos causados en el medio ambiente debido a la ocurrencia de sismos registrados desde el 1 al 08 de octubre del 2005. Así como para que realicen un muestreo geoquímico de fuentes termales y descartar la posibilidad de una reactivación del volcán Ticsani.

PREDES con el apoyo de LWR (Lutheran World Relief, institución integrante de la Red ACT - Action Church Together), se hizo presente en la zona del desastre para orientar las labores de evaluación de daños y determinar las necesidades de las poblaciones afectadas por los sismos. Así como para la recuperación y rehabilitación de los servicios vitales y al mismo tiempo determinar las necesidades de apoyo en las acciones de rehabilitación y reconstrucción.

Por su parte, el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, a solicitud del Ing. Martín Vizcarra Cornejo, Decano del Colegio Departamental de Moquegua del Colegio de Ingenieros del Perú, habilitó en forma temporal una estación acelerográfica en la Localidad de Calacoa con la finalidad de registrar los movimientos sísmicos. Una delegación del CISMID viajó a esta localidad con el apoyo del Ing. Vizcarra y se instaló en el Centro de Salud un acelerógrafo digital modelo ETNA, marca Kinematics, con antena GPS. Este equipo operó desde el 20 de Octubre de 2005 al 13 de Febrero del 2006, habiendo registrado durante ese tiempo un total de 48 eventos sísmicos de diferentes intensidades.

Finalmente, hay que indicar que en la zona del desastre los pobladores fueron sorprendidos por los eventos sísmicos continuos que los obligó a salir de sus viviendas y refugiarse en las plazas y calles donde se improvisaron albergues temporales. La ocurrencia continua de los movimientos sísmicos causó alarma y preocupación, y dada la cercanía del volcán Ticsani hizo pensar a la población, a sus autoridades, a los medios de comunicación, etc., que los sismos estaban relacionados a una reactivación del volcán Ticsani y que una eminente erupción estaba próxima.

Geólogos y profesionales no especialistas en el tema relacionaban esta actividad sísmica a una eventual erupción del volcán Ticsani. Por lo que, INGGEMMET tomó la iniciativa de convocar al grupo de especialistas de las instituciones geocientíficas que asistieron a la zona del desastre para analizar los datos y resultados de estudios realizados, y elaborar en forma conjunta un solo informe que será versión oficial. Este documento alcanza los resultados y recomendaciones que servirá en primer lugar para informar sobre el origen de los fenómenos geológicos y sísmicos, y en segundo lugar orientar a las autoridades Regionales, Municipales y de Defensa Civil para formular planes de reconstrucción y rehabilitación.

## **1.2 Ubicación del área epicentral**

El sismo del 1 de octubre de 2005 y sus réplicas ocurrieron en la región Sur de Perú afectando a un área relativamente pequeña que considera diversas localidades distribuidas alrededor del volcán Ticsani. El epicentro del sismo del 1 de octubre fue ubicado a 8 km al Este de Calacoa (Provincia de Mariscal Nieto - Departamento de Moquegua), y 62 km al NE de la ciudad de Moquegua (Fig. 1.1).

Este sismo fue sentido en las localidades de Carumas, Solajo, Sijuaya, Quinastaquillas, Soquesane y Calacoa, en donde produjo daños importantes en las viviendas de adobe, más no en viviendas de material noble. En las localidades de Omate, Ubinas, Lloque, Torata y Chojota, el sismo produjo daños parciales en las viviendas de adobe y pánico en la población. En la ciudad de Moquegua y localidades de Puquina, Yanque y Yunga: el sismo no produjo daños en las viviendas, pero fue sentido fuertemente por la población. Finalmente en las ciudades de Arequipa y Tacna: No produjo daños en las viviendas y fue sentido levemente por personas que se encontraban en reposo.

Nuestro estudio se centra más en el área epicentral que fue la más afectada y donde ocurrieron las réplicas. Esta área comprende zonas aledañas al volcán Ticsani donde están localizados los poblados de Calacoa, San Cristóbal, Cuchumbaya, Sacuaya, Carumas y otros poblados menores.

### 1.3 Entorno social

Los centros poblados comprendidos en el área de influencia de los sismos y donde hubo mayores daños corresponden a los distritos de Calacoa, San Cristóbal, Cuchumbaya y Carumas, y sus centros poblados menores que se indican en el cuadro adjunto (Fig. 1.1).

**Tabla 1. Poblados más afectados por los movimientos sísmicos**

DISTRITO	CENTRO POBLADO	NÚMERO DE VIVIENDAS	POBLACIÓN
<b>Carumas</b>	Carumas	361	622
	Cambrune	388	972
	Sailapa	129	318
	Somoa		
	La Cascade		
	Solajo		
	Ataspaya		
<b>Cuchumbaya</b>	Cuchumbaya	306	482
	Sacuaya	247	509
	Soquesane	66	175
	Quebaya	60	131
<b>San Cristóbal</b>	Calacoa-Bellavista	680	1170
	San Cristóbal	388	578
	Yojo	58	180

La principal actividad económica de las poblaciones es la agricultura y la ganadería, desarrollada por debajo de los 3600 msnm., en las partes altas la agricultura se limita a la siembra de papa, y a la crianza de camélidos sudamericanos.

La población estimada entre los tres distritos afectados es de 8044 habitantes, lo que representa una densidad relativa de 11.6 Hab/Km<sup>2</sup>, lo que corresponde más a una aproximación general de la cantidad de población que ejerce cierta presión sobre el área total y no refleja la mayor concentración real que se da en áreas urbanas.

#### **1.4. Características geológicas – geomorfológicas del área de estudio**

En la zona se distinguen valles juveniles (valles del río Putina, Carumas, etc), de flancos agrestes con pendientes que varían entre 50° a 80° de inclinación, con suelos poco o no cohesivos, por ende inestables, que contrastan con la altiplanicie o superficie puna, localizada al Este del área. El drenaje detrítico está determinado por la litología y tipo de estructuras tectónicas existentes (fracturas y fallas).

En cuanto a la litología, en el área de trabajo afloran rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicas emplazadas desde el Jurásico Superior hasta el Holoceno (ver mapa geológico). Gran parte del área se halla cubierta por secuencias volcánicas del Pleistoceno, entre ellos depósitos del volcán Ticsani. A continuación se hace una breve descripción de estas rocas, desde las más antiguas hasta las más recientes:

##### **1.4.1 Rocas sedimentarias del Jurásico superior a Cretáceo inferior**

Corresponden a areniscas y lutitas, localizadas en la parte inferior de la secuencia, y hacia el tope calizas intercaladas con cuarcitas. Afloran a lo largo de una franja en dirección SE-NO y E-O, en la intersección de los ríos Tambo y Carumas. La secuencia ha sido correlacionada con el Grupo Yura, descrito por Jenks (1948) en el sector de Arequipa.

##### **1.4.2 Rocas sedimentarias del Cretáceo medio**

Corresponden a una secuencia que en la base presenta lutitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas, en el nivel medio bancos de calizas, y hacia el tope dos bancos de lavas y cuarcitas rosadas. Afloran en inmediaciones de los poblados de Quinistaquillas y Omate. Esta unidad ha sido denominada Formación Omate por García (1978). Sobreyace en forma discordante a rocas del Grupo Yura.

##### **1.4.3 Rocas sedimentarias del Cretáceo superior a Terciario medio**

Se agrupan en dos franjas de 2 a 4 km de ancho, de dirección SE-NO. El primer afloramiento está localizado cerca a los poblados de Cambrune, Carumas y Yojo. Su base está conformado por niveles de areniscas, conglomerados y brechas. Hacia el medio y tope está constituida por areniscas con intercalaciones de yeso, areniscas conglomerádicas y conglomerados. García (1978), los denominó Formación Jahuay. El segundo afloramiento, se ubica al Oeste del volcán Ticsani, cerca a los poblados de Soquezane y Quebaya. Está conformado por una secuencia de conglomerados y brechas, intercalados con rocas volcanoclásticas. Ha sido correlacionado con la Formación Pichu, descrita por Marocco y Del Pino (1966). Las formaciones Jahuay y Pichu, conforman el Grupo Puno (Newell, 1949).

##### **1.4.4 Rocas lávicas del Cretáceo medio a superior**

Corresponden a dos secuencias, la primera consiste de lavas y sedimentos arenosos abigarrados que afloran a lo largo del río Tambo, cerca a los poblados de Yojo, Sacuaya y Carumas. Según Mendívil (1966) pertenecen al Volcánico Matalaque. La segunda secuencia aflora en forma restringida al NO del volcán Ticsani (Cerro Punta Aguado), y está conformada por lavas andesíticas y riolíticas. Ha sido correlacionada con rocas del Grupo Toquepala.

#### **1.4.5 Rocas intrusivas del Cretáceo y Paleógeno**

Se distinguen dos afloramientos de poca extensión. El primero yace a 10 km al noroeste del volcán Ticsani y el segundo, cerca a la confluencia de los ríos Tambo y Carumas. Las rocas intrusivas son de composición granodiorítica a tonalítica. Según García (1978), forman parte del Batolito La Caldera.

#### **1.4.6 Rocas volcánicas del Oligoceno superior a Mioceno medio**

Las rocas volcánicas están ampliamente distribuidas en la región de estudio. Se trata de ignimbritas poco cohesivas de composición riolítica a dacítica. Estas rocas han sido correlacionadas con las fácies tufáceas del Grupo Tacaza.

#### **1.4.7 Rocas volcánicas del Mioceno superior al Pleistoceno**

Secuencia volcánica conformada por una alternancia de flujos de lava andesíticas y dacíticas, con tufos, conglomerados y brechas, estas dos últimas con matriz tufácea de color rojizo. Estos materiales constituyen estratovolcanes parcialmente destruidos, por efecto de las glaciaciones Pleistocénicas. Se han identificado tres estratovolcanes, además de Ticsani: Humajalso, Chiñilaca y Janchata. Estas rocas han sido correlacionadas con rocas volcánicas de la Formación Barroso.

#### **1.4.8 Depósitos del volcán Ticsani**

En la cabecera del valle del río Putina se localiza el volcán Ticsani, volcán activo (ver mapa geológico). Según Mariño, (2002) entre el Pleistoceno y Holoceno el Ticsani ha emplazado varios flujos de lavas, depósitos de avalancha de escombros, 03 domos de lavas y ha presentado erupciones explosivas con emplazamiento de flujos piroclásticos (hace 11 mil años), y caídas de pómez (hace menos de 400 años). Todos estos depósitos yacen en inmediaciones del volcán.

A lo largo del río Putina, en ambas márgenes, yacen depósitos de avalanchas de escombros, que fueron emplazados debido al colapso de una parte del edificio volcánico "Ticsani Antiguo", ocurrido en el Pleistoceno superior a medio (Mariño, 2002). Estos depósitos son poco o no cohesivos. Están constituidos por fragmentos de rocas angulosas a sub-angulosas, de composición heterogénea, con tamaños que varían desde algunos milímetros a más de 9 m de diámetro. Muchos bloques presentan alto grado de fracturamiento. En el sector de Calacoa, los depósitos de avalanchas de escombros poseen espesores que varían entre 200 a 500 m. Tienen una coloración rojiza, amarillo ocre y blanquecina. Estos depósitos forman lomadas cuyos extremos presentan fuertes pendientes, lo cual contribuye en la ocurrencia de derrumbes, desprendimientos de rocas, deslizamientos, etc.

A 25 km al Noroeste de Calacoa se localiza el volcán Huaynaputina, volcán activo que presentó una gran erupción explosiva el año de 1600 D.C., sin signos significativos de actividad en la actualidad. Asociados a los volcanes Ticsani y Huaynaputina, se distinguen lineamientos, fallas y fracturas de dirección NO-SE, ONO-ESE, NNE-SSO y NE-SO (ver mapa geológico).

## II. CARACTERÍSTICAS SISMOTECTÓNICAS DEL SISMO DEL 1 DE OCTUBRE DE 2005 Y DE SU SERIE DE REPLICAS

**Autores:** Hernando Tavera <sup>(1)</sup>, Victor Aguilar <sup>(2)</sup>, Armando Minaya <sup>(2)</sup>, Yolanda Zamudio<sup>(1)</sup>, Luis Vilcapoma <sup>(1)</sup>, Javier Ticona <sup>(2)</sup>, Henry Salas <sup>(1)</sup>, Rocio Parillo <sup>(1)</sup>, Simeón Rodríguez <sup>(1)</sup>, Ivonne Perez-Pacheco <sup>(1)</sup>.

(1). CNDG-Sismología, Instituto Geofísico del Perú

(2). Instituto de Geofísica, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa

### 2.1 Introducción

La importante actividad sísmica presente en el Perú es debida al proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el mismo que se produce con una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). Este proceso es responsable de la ocurrencia de los sismos de mayor magnitud que se hayan producido frente a la línea de costa (Dorbath et al, 1990; Tavera y Buforn, 2001), todos asociados al contacto sismogénico interplaca. Estos sismos son muy frecuentes en el tiempo y en un año es posible registrar la ocurrencia de hasta 60 sismos con magnitudes  $m_b \geq 4.5$ , y en general, todos son sentidos en las localidades cercanas a la línea de costa y al epicentro con intensidades mínimas de IV-V (MM). Los sismos de mayor magnitud ( $M > 7.0$ ) han producido importantes daños en áreas relativamente muy grandes como el ocurrido en la región sur de Perú el 23 de Junio de 2001 ( $M_w = 8.2$ ) que afectó un área de 70 x 370 km, ubicada entre las localidades de Atico (Arequipa) e Ilo (Moquegua). Este sismo produjo un número moderado de fallecidos (74 personas), heridos (2,689 personas) y destrucción en los departamentos de Moquegua y Tacna (35, 601 viviendas afectadas y 17584 destruidas), siendo sentido con intensidades del orden de VII-VIII en la escala de Mercalli Modificada entre las localidades de Chala y Arica en Chile.

Estudios realizados por el Instituto Geofísico del Perú sugieren que el sismo del 23 de Junio de 2001 presentó un proceso complejo de ruptura que se propagó en dirección SE, a lo largo de 370 km desde el epicentro del sismo ubicado cerca de la localidad de Ocoña (CNDG, 2002). Como parte de todo este proceso, la energía sísmica liberada por el sismo se ha acumulado en la región sur de Perú y norte de Chile en donde de manera aleatoria se han venido produciendo sismos de magnitud moderada seguidos o no por enjambres de sismicidad que han tenido duraciones de horas o días, tal es el caso del enjambre de sismicidad que se produjo en los alrededores del volcán Ticsani (Departamento de Moquegua) durante el mes de octubre de 2005.

El día 1 de Octubre de 2005, ocurre un sismo de magnitud moderada (5.4 ML) en la región sur de Perú afectando a un área relativamente pequeña que considera diversas localidades distribuidas alrededor del volcán Ticsani. El epicentro del sismo del 1 de octubre fue ubicado a 8 km al Este de la localidad de Calacoa y 62 km al NE de la ciudad de Moquegua. El sismo produjo daños en un gran número de viviendas de adobe de las localidades de San Cristóbal, Calacoa, Cuchumbaya, Solajo, Carumas, Soquesane y otras aledañas. Después de ocurrido el sismo y durante un periodo de 30 días aproximadamente, se ha producido un gran número de replicas de diversos tamaños que causaron pánico y alarma en los pobladores de las localidades antes indicadas. Inicialmente, la alarma se incremento en razón que los pobladores

asociaban la ocurrencia de los sismos con una posible erupción del volcán Ticsani, hecho que no ocurrió así y por el contrario con el pasar de los días, la sismicidad ceso completamente. En el presente capítulo se describe las características principales del sismo ocurrido el 1 de octubre y de su serie de réplicas, además de los daños que ellos causaron en las localidades aledañas al volcán Ticsani.

## 2.2 Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales del sismo del 1 de Octubre de 2005 fueron obtenidos utilizando información de las estaciones sísmicas de la RSN-IGP distribuidas en la región sur de Perú (Tavera & Buforn):

Tiempo Origen: 22h 19m 46.9 seg. (Hora Universal)  
17h 19m 46.9 seg. (Hora Local)

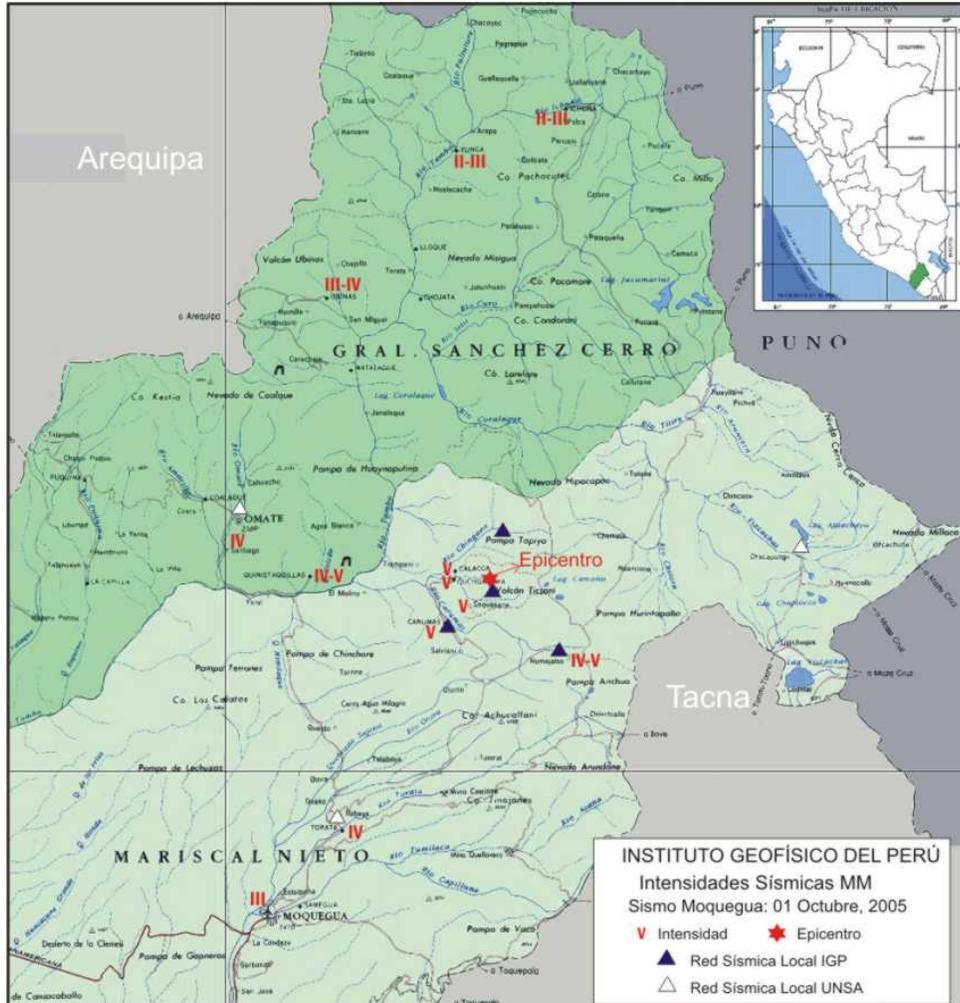
Latitud Sur: -16.748°

Longitud Oeste: -70.609°

Profundidad: 8.5 km

Magnitud: 5.4 ML

Después del sismo, se produjo un número importante de réplicas llegándose a contabilizar para los primeros 7 días un total de 254 réplicas registradas en la estación de Toquepala (TOQ), la más cercana a la zona epicentral (60 km), y 180 registradas por la estación de Arequipa (ARE) ubicada a 120 km del área epicentral. De estas réplicas, inicialmente se logró localizar 39, todas con magnitudes entre 2.0 y 5.2 ML, y de estas un total de 7 fueron sentidas en las localidades de Calacoa y Carumas con intensidades máximas de IV (escala Mercalli Modificada, MM), produciendo pánico en la población de ambas localidades.



**Fig. 2.1.** Ubicación epicentral del sismo del 1 de octubre de 2005, 5.4ML (estrella) y valores de intensidad en las localidades aledañas al área epicentral. Los triángulos indican la ubicación de las estaciones sísmicas temporales instaladas para el monitoreo de las réplicas.

Como se puede apreciar en la Fig. 2.1, el epicentro del sismo principal se ubica a 8 km en dirección Este de la localidad de Calacoa; es decir, en el extremo norte del volcán Ticsani. La profundidad del sismo ha sido estimada en 8.5 km, lo cual sugiere el desarrollo de una deformación superficial y por su cercanía al volcán, podría estar asociada a los procesos internos propios del volcán Ticsani.

### 2.3 Intensidades

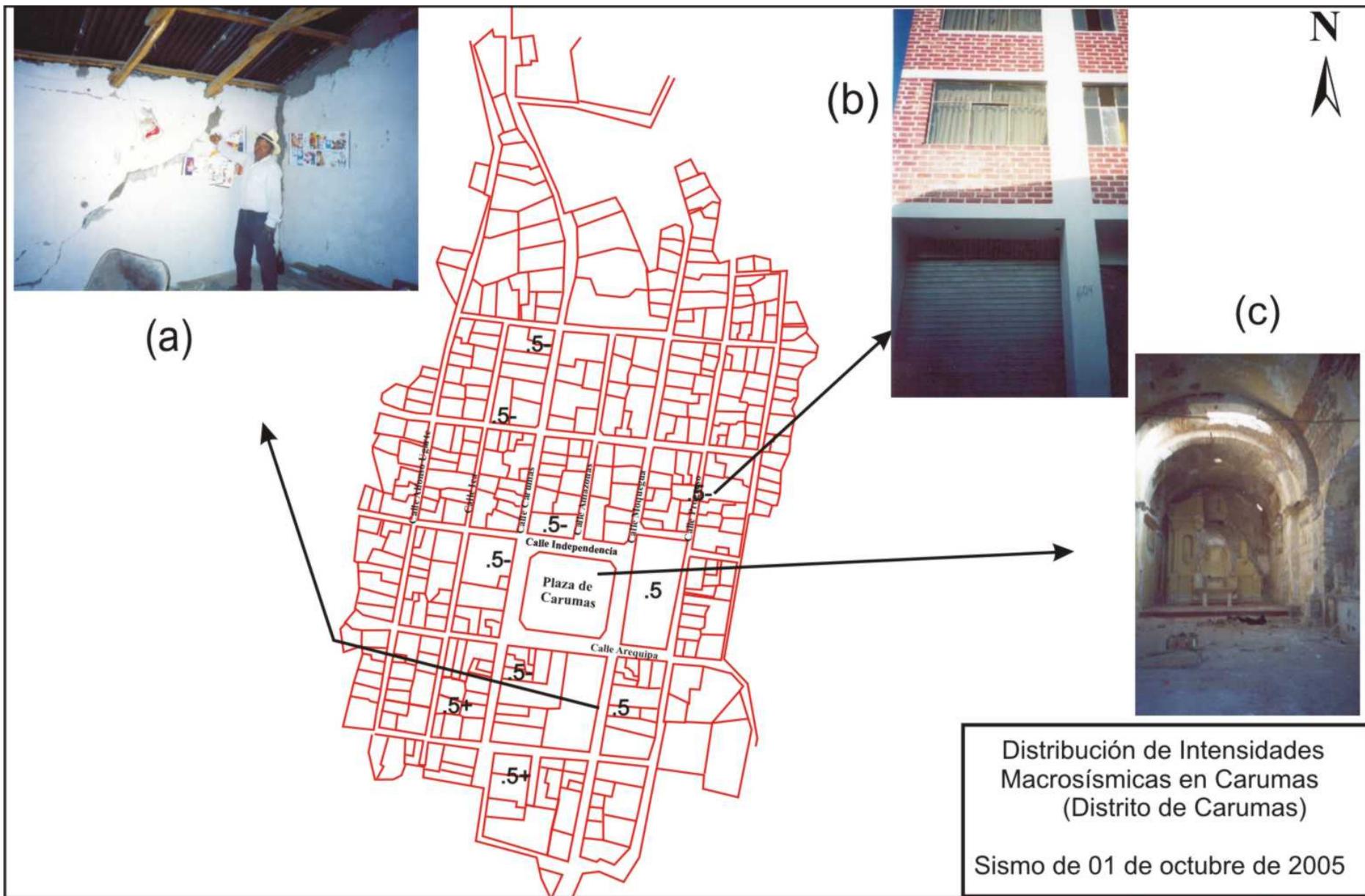
Inmediatamente después de ocurrido el sismo del 1 de Octubre de 2005, el IGP procedió a realizar las evaluaciones de los efectos y daños causados por el sismo en las diversas localidades ubicadas en los alrededores del volcán Ticsani. Estas evaluaciones se realizaron mediante encuestas vía línea telefónica a dos o tres personas de cada localidad y la información obtenida fue interpretada utilizando la escala de Mercalli Modificada (Fig. 2.1). La descripción más resaltante de los daños y efectos se describe a continuación:

- *Localidades de Carumas, Solajo, Sijuaya, Quinastaquillas, Soquesane y Calacoa:* El sismo produjo daños importantes en las viviendas de adobe más no, en viviendas de material noble. El sismo causó pánico y desesperación en la población.
- *Localidades de Omate, Ubinas, Lloque, Torata y Chojota:* El sismo produjo daños parciales en las viviendas de adobe y pánico en la población.
- *Ciudad de Moquegua y localidades de Puquina, Yanque y Yunga:* El sismo no produjo daños en las viviendas, pero fue sentido fuerte por la población.
- *Ciudades de Arequipa y Tacna:* No produjo daños en las viviendas y fue sentido levemente por personas que se encontraban en reposo.

Como se puede ver en la Fig. 2.1, el área afectada por el sismo es pequeña al igual que su radio de percepción, siendo esto típico de los sismos con magnitud moderada y con hipocentros cerca de la superficie. Los mayores daños ocasionados por el sismo se han concentrado en las localidades aledañas al volcán Ticsani.

A fin de realizar una evaluación in situ de los efectos y daños producidos por el sismo, el IGP envió una misión de campo por cinco días para visitar las localidades de Carumas, Cambrune, Cuchumbaya, Sacuaya, Quebaya, Calacoa, Bellavista, Ichupampa y Quinistaquillas. Para la evaluación de intensidades en estas localidades, se ha realizado encuestas personales a fin de conocer el comportamiento de las personas, construcciones y suelos ante la ocurrencia del sismo, para luego ser interpretada con la escala de intensidades MSK-64 modificada para su uso en el Perú por Ocola (1979). Esta escala, a diferencia de la Mercalli Modificada (MM), permite considerar las características de las viviendas, sea material de construcción, antigüedad y tipo de daño; sin embargo, ambas escalas son complementarias.

En general, el trabajo de recolección de información no ha sido uniforme en razón que en muchos de los poblados sus habitantes prácticamente permanecen todo el día dedicados a sus tareas agrícolas, no disponiendo en los poblados de personas a quienes encuestar. Las localidades con mayor número de entrevistas fueron Carumas y Calacoa; y por lo tanto, fue posible elaborar sus mapas de intensidades macrosísmicas y ellas son presentadas en las Figs. 2.2 y 2.3. En general, en todas las localidades visitadas, los mayores daños se presentaron en las viviendas de tipo A (construcciones de adobe, tapial, bloques de piedra, etc.) mal preservadas, más aún si se considera que dichas viviendas tienen muchos años de antigüedad (más de 30 años) y que fueron previamente afectadas por el gran sismo del 23 de Junio de 2001.



**Fig. 2.2.** Distribución de intensidades macrosísmicas en la localidad de Carumas, asociados al sismo del 1 de octubre, 2005. a). Vivienda de tipo A con grietas profundas en sus paredes. b). Vivienda del tipo B sin daños. c). Iglesia de Carumas considerablemente afectada debido a su antigüedad.

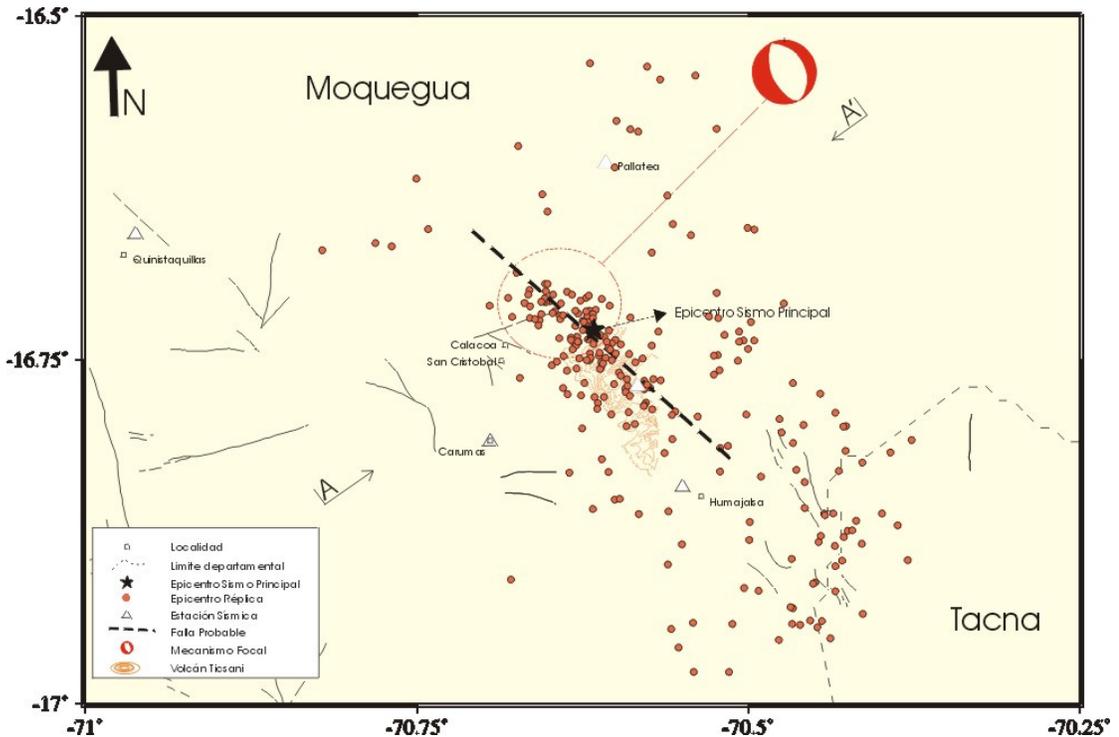


## 2.4 Redes Sísmicas de Intervención

Después de haberse producido el sismo principal y ante la ocurrencia de un gran número de replicas, la Universidad Nacional San Agustín y el Instituto Geofísico del Perú coordinaron sobre la instalación de redes sísmicas locales temporales para el registro de dichas replicas y así poder conocer las características de los procesos de ruptura que se producían como producto de la crisis sísmica. Inicialmente, la UNSA procedió a instalar 3 estaciones sísmicas de registro analógico y sensores de periodo corto tipo SP-2 en las localidades de Quinistacas, Torata y Pasto Grande, todas operaron entre los días del 6 al 13 de octubre llegando a registrar un importante número de replicas.

Posteriormente, el IGP instala 4 estaciones digitales de banda ancha de tipo reftek en las localidades de Carumas, Pallateo, Humajalso y otra en el volcán Ticsani. Esta última para evaluar el registro de eventos que pudieran tener relación con la posible reactivación del volcán. Estas estaciones temporales funcionaron entre los días 14 y 20 de octubre. La distribución de las estaciones sísmicas se muestra en la Fig. 2.1.

Durante ambos periodos de monitoreo (entre el 6 y 9; 14 y 20 de octubre), algunas estaciones llegaron a registrar hasta 800 replicas; sin embargo, durante la etapa de correlación de registros entre cada una de las estaciones, se rescató para el primer periodo un total de 122 replicas y de 147 para el segundo. Esta información fue utilizada para el procesamiento sísmico preliminar.

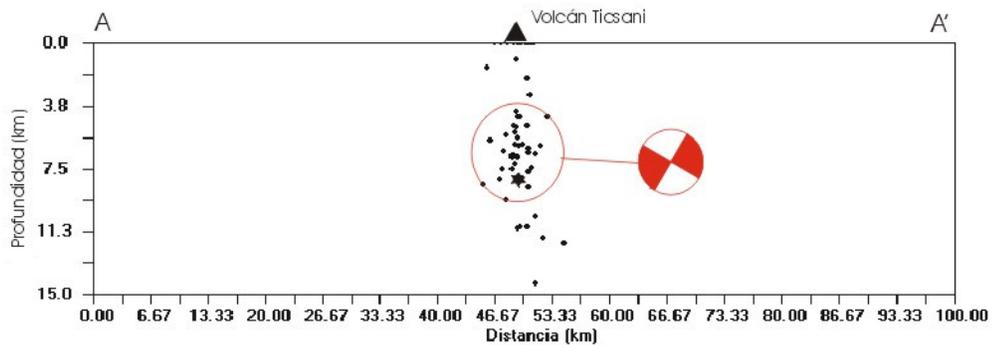


**Fig. 2.4.** Distribución epicentral de algunas de las replicas del sismo del 1 de octubre de 2005 (5.4 ML) registrados por las redes sísmicas temporales que funcionaron en el área entre el 6 y 20 de octubre (ver Fig. 2.1). El mecanismo focal de tipo normal es representado en el hemisferio inferior de la esfera focal.

## 2.5 Las replicas

En la Fig. 2.4 se presenta un mapa con la distribución espacial de un total de 269 replicas registradas por las redes sísmicas antes indicadas. Según esta figura, sobre el extremo oriental del cono del volcán Ticsani, las replicas se distribuyen siguiendo un aparente alineamiento con una orientación NO-SE con el mayor número de sismos distribuidos en su extremo NO, lo cual podría sugerir que en esta área se habría producido la mayor deformación durante la crisis sísmica. Contrariamente, en el extremo SE, los sismos se distribuyen de manera más dispersa siendo difícil identificar algún patrón; sin embargo, se debe considerar que en esta área existe un gran número de fallas de pequeña longitud que podrían haber producido los sismos.

El total de la sismicidad presenta magnitudes ML menores a 3.0 y alcanzan niveles de profundidad del orden de 12 km (Fig. 2.5), lo cual explicaría porque no fueron sentidos en superficie o causaron daños en las localidades aledañas al área epicentral.



**Fig. 2.5.** Sección vertical de sismicidad en la dirección A-A' indicada en la Fig. 2.4. Se considera únicamente las replicas utilizadas en la elaboración del mecanismo focal compuesto, el mismo que es representado en su proyección vertical siguiendo la dirección A-A'. La estrella indica la ubicación del epicentro del sismo principal.

## 2.6 Orientación de la Fuente Sísmica

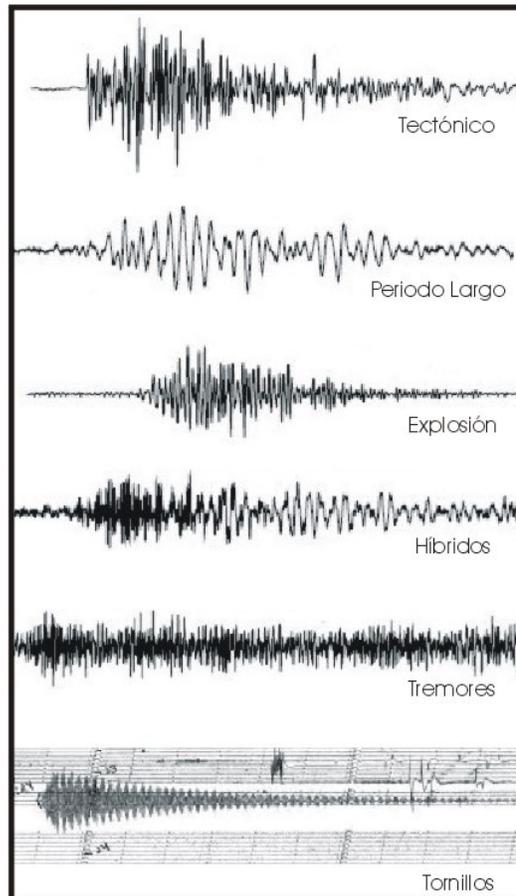
A fin de conocer la orientación de la fuente que dió origen al sismo del 1 de Octubre y a su serie de replicas, se procedió a elaborar el mecanismo focal utilizando la información de los primeros impulsos del registro de la onda P en las diversas estaciones sísmicas de las redes temporales. Para el sismo principal no ha sido posible obtener su mecanismo focal en razón al poco número de datos disponibles.

Para las replicas, por el número de estaciones sísmicas utilizadas en el monitoreo de la sismicidad, se ha elaborado un mecanismo focal compuesto utilizando un total de 65 replicas, todas ubicadas en el extremo norte del cono volcánico. La solución obtenida corresponde a un mecanismo de tipo normal con planos nodales orientados en dirección NNO-SSE (Fig. 2.4), ambos buzando con ángulos del orden de 38 y 52 grados en dirección Este y Oeste. Este mecanismo para las replicas corresponde a un proceso de deformación por extensión con ejes principales de esfuerzo T (Tensión) orientados en dirección ENE-OSO.

## 2.7 Monitoreo Sísmico Temporal del Volcán Ticsani

Como parte del monitoreo sísmico en la zona afectada por el sismo del 1 de octubre de 2005, se llegó a instalar una estación sísmica de banda ancha (TIC), cerca del cono volcánico para evaluar si la actividad sísmica presente en el área tiene relación con una posible reactivación del volcán Ticsani. La estación TIC registro la actividad sísmica durante un periodo inicial de 24 horas del día 14 de octubre de 2005 y posteriormente, durante 4 días a partir del 18 de octubre.

A manera de comparación en la Fig. 2.6, se muestra algunos ejemplos de los registros típicos obtenidos de estaciones sísmicas que funcionaron en volcanes italianos y colombianos, y que estuvieron en proceso de reactivación hasta llegar a su etapa eruptiva. Para distinguir cada tipo de registro es necesario analizar con atención su forma, periodo o frecuencia de la señal y para ello, algunos autores recurren a elaborar espectros como la herramienta más útil para tener detalle de los procesos que teóricamente se producen en el interior de un volcán previo a su erupción.



**Fig. 2.6.** Registros característicos de señales correspondientes a volcanes italianos y colombianos en etapas de crisis y/o etapa eruptiva.

Según la Fig. 2.6, se pueden identificar hasta seis tipos de señales volcánicas, siendo sus principales características las siguientes:

.- *Eventos Volcano-tectónicos*: señales correspondientes a fracturamientos de rocas debido a la intrusión o migración de magma o roca fundida hacia la superficie. También es generado por la expansión de fluidos volcánicos sometidos a grandes presiones.

.- *Eventos de Periodo Largo*: señales producidas por la influencia directa de los fluidos volcánicos dentro del volcán, los mismos que producen efectos de resonancia o inestabilidad del magma.

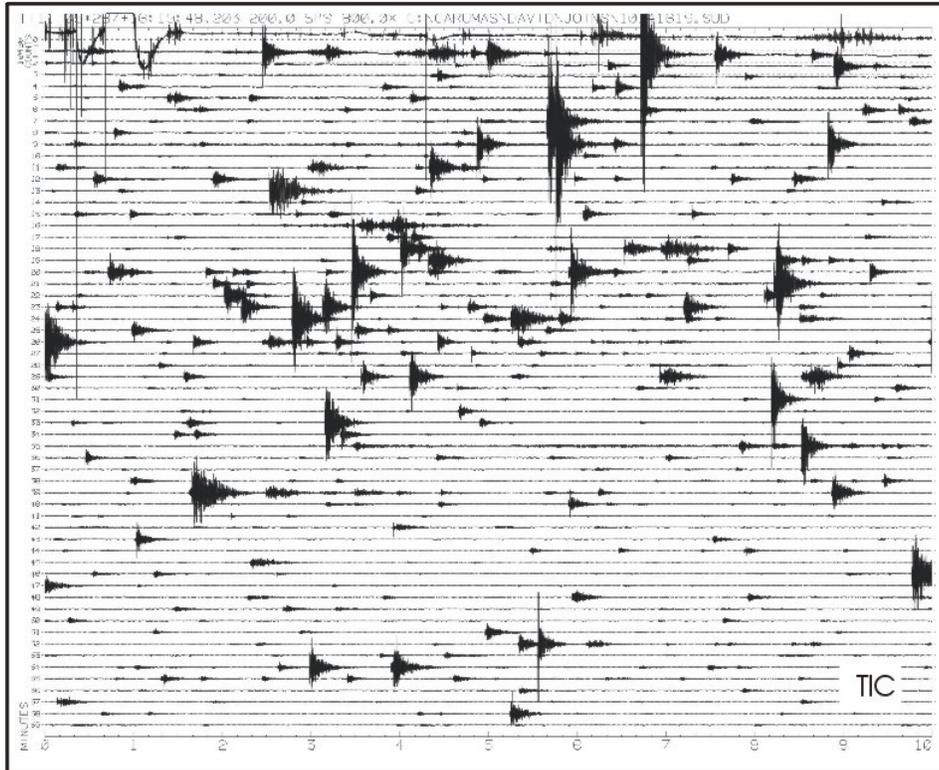
.- *Eventos Híbridos*: señales que se producen por la ocurrencia simultánea de sismos y eventos de periodo largo. Se originan en zonas o áreas sometidas a presión por los fluidos volcánicos que llevan a la ruptura.

.- *Eventos Explosivos*: señales que presentan las explosiones volcánicas que se producen durante la actividad eruptiva del volcán y/o liberación de vapor de agua o gases contenidos en las capas superficiales del volcán.

.- *Eventos Tremores*: señales propios de volcanes activos que muestran el registro continuo de vibraciones que pueden durar horas, días y semanas. En general, proporcionan información de todo el proceso eruptivo del volcán.

.- *Eventos Tornillo*: señales que frecuentemente preceden a las explosiones o emisiones de magma del cono volcánico. Eventos que resultan de la combinación de la excitación impulsiva y resonancia dentro del volcán por la dinámica de los fluidos en el sistema magma-gas o hidrotermal.

En la Fig. 2.7 se muestra un sismograma con 1 hora de registro para el día 14 de octubre correspondiente a la estación TIC, instalada cerca del cráter principal del volcán Ticsani (Fig. 2.1). En dicho sismograma se observa el registro de un gran número de eventos con diversos tamaños y contenidos de frecuencias. El análisis detallado de los registros, ha permitido considerar que todos corresponden a sismos de tipo tectónico debido a que se puede distinguir para cada sismo la llegada de las ondas P y S. En general, durante todo el periodo de monitoreo no se ha registrado eventos característicos de crisis volcánicas pre-eruptivas o eruptivas como las mostradas en la Fig. 2.6, lo cual lleva a considerar que no existió relación entre la sismicidad y una reactivación del volcán Ticsani. Sin embargo, la sismicidad registrada puede deberse a deformaciones corticales producto de la presión que ejerce el magma dentro de la cámara magmática, de ahí que el total de la sismicidad presenta sus epicentros sobre el volcán Ticsani. La presión generada y la deformación producida probablemente no habrían sido suficientes como para producir la erupción del volcán Ticsani.



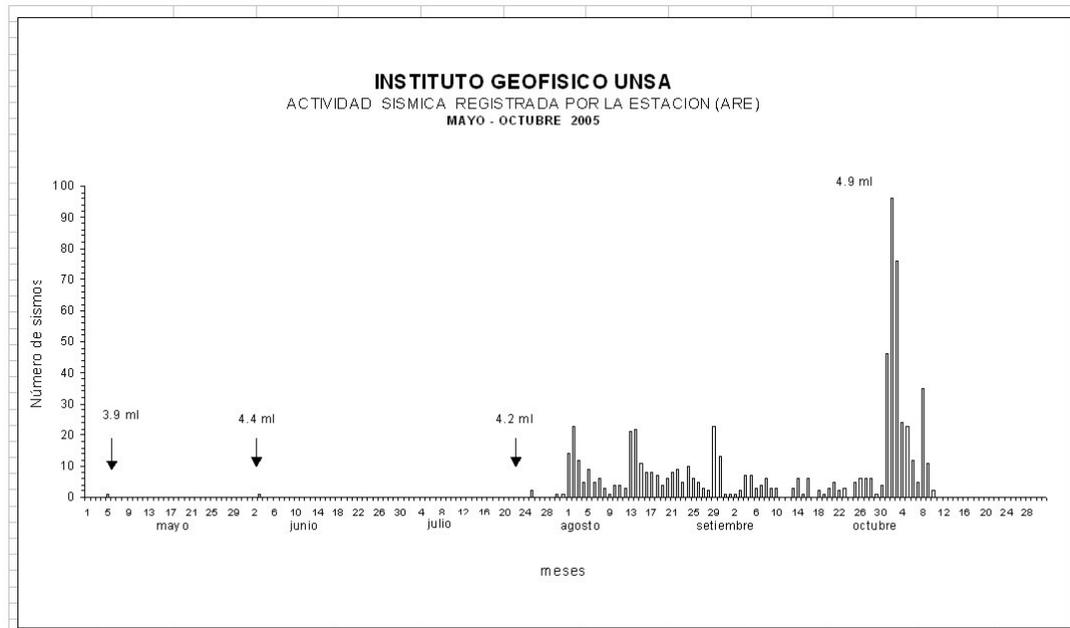
**Fig. 2.7.** Sismograma correspondiente a la estación TIC instalada en el cono del volcán Ticsani. El registro es para una (1) hora de registro del día 14 de octubre de 2005. Cada línea corresponde a un minuto de registro. Obsérvese el gran número de registros de eventos tectónicos. Comparar con los registros de la Fig. 2.6.

## 2.8 Discusión y Conclusiones

El sismo del 1 de octubre de 2005 presentó una magnitud moderada (5.4 ML) y su epicentro fue localizado a 8 km al Este de la localidad de Calacoa en Moquegua. Los mayores daños y efectos producidos por el sismo se han concentrado en un área que considera a las localidades de Calacoa, Carumas, San Cristóbal, Cuchumbaya, Soquesane, Sijuaya, etc. y en donde se ha evaluado una intensidad máxima de V en la escala de Mercalli Modificada. Según la evaluación hecha con la escala de intensidades MSK, los mayores daños se produjeron en viviendas de tipo A (adobe, tapial, piedras, etc.), además muchas de ellas fueron previamente dañadas por el gran sismo ocurrido en la región sur de Perú en el año 2001.

Una vez ocurrido el sismo principal, fue seguido por un gran número de réplicas por un periodo de aproximadamente 30 días, tiempo durante el cual la continua sismicidad generó pánico en la población y que se incrementó ante la posibilidad de que la sismicidad estuviese asociada a una posible reactivación del volcán Ticsani. En informe preliminar, la UNSA (UNSA, 2005), indica que en la zona afectada, la sismicidad local se hizo presente desde el mes de mayo con la ocurrencia de un sismo de magnitud 3.9 que se repitió en los meses de junio (4.0ML) y julio (4.2ML), para luego producirse un incremento en la sismicidad durante el mes de agosto hasta la ocurrencia del sismo de magnitud 5.4ML el día 1 de octubre de 2005 (Fig. 2.8). Del mismo modo, en dicho informe se indica que durante los meses de agosto y septiembre, la

sismicidad local se producía al sur del volcán Ticsani alineada en dirección NS; mientras que, en el mes de octubre se habría desplazado al norte del volcán y de las localidades de Calacoa y Carumas; sin embargo, esta posible migración de sismicidad es necesario cuantificarla y analizarla con más detalle en razón que la UNSA ha localizado dichos sismos utilizando registros de una estación de 3 componentes ubicada a 120 km de distancia de la zona afectada. La relocalización de los sismos utilizando información de otras estaciones sísmicas de la región permitirá tener mejor idea de las posibles migraciones de sismicidad.



**Fig. 2.8.** Histograma de sismos ocurridos en el área del volcán Ticsani entre mayo y octubre de 2005. Se identifica la ocurrencia de 3 sismos de magnitud moderada y un enjambre de sismicidad previos al sismo del 1 de octubre de 2005 (5.4ML, IGP; 4.9 ML, UNSA).

La instalación de dos redes sísmicas locales en la zona afectada ha permitido registrar un gran número de réplicas entre los días 6 y 20 de Octubre. De estas réplicas, ha sido posible localizar un total de 269, todas con magnitudes menores a 3.0ML y de las cuales algunas fueron sentidas en las localidades de Carumas y Calacoa con intensidades de hasta III (MM) sin producir daños mayores en las viviendas, pero sí mucho pánico en la población.

La puesta en operatividad de una estación sísmica en el cono volcánico por un periodo de tiempo inicial de 5 horas (día 14 de Octubre) y durante 3 días después del 16 de octubre, ha permitido registrar un gran número de eventos, tal como se ha mostrado en la Fig. 2.7. El análisis detallado de los registros y de su contenido de frecuencias, ha permitido considerar que todos los sismos sugieren un origen tectónico. Durante el periodo de monitoreo no se ha registrado sismos con características típicas de eventos volcánicos como los mostrados en la Fig. 2.6.

De acuerdo los resultados obtenidos en este estudio, el sismo del 1 de octubre (5.4ML) y su serie de réplicas habrían sido producidos por procesos de deformación del tipo extensional con ejes de tensión (T) orientados en dirección ENE-OSO. Especialmente, las réplicas se ubican en mayor número en el extremo norte del volcán Ticsani, pero en conjunto muestran una

alineación de los sismos en dirección NO-SE (línea negra sobre la Fig. 2.4), sugiriendo la presencia de una estructura regional que estaría sometida a esfuerzos de tensión. De acuerdo a estos resultados es necesario plantear dos hipótesis:

1) La primera considera que en ambos extremos del volcán Ticsani existen dos estructuras geológicas regionales orientadas en dirección NO-SE, paralelas entre si y a la línea de costa, que producen un importante proceso de deformación por compresión en dirección NE-SO. Dentro de contexto, es posible que se desarrolle en su interior deformación por extensión, tal como se ha evidenciado con la serie de replicas del sismo del 1 de octubre y por tanto, este proceso podría haber sido la fuente de origen de la crisis sísmica de Calacoa (Carlotto, V., comunicación personal).

2) La segunda hipótesis considera que la sismicidad habría sido producida por el fisuramiento de rocas como resultado de la presión que podría haber ejercido el magma dentro de la cámara magmática del Ticsani. En estas condiciones, la ocurrencia del sismo del 1 de octubre y del mayor número de replicas en el extremo norte del volcán, se habrían producido por una posible intrusión del magma a causa de una mayor presión en dicho extremo. Sustentan esta hipótesis el hecho que el mayor numero de replicas se encuentran distribuidas sobre el volcán Ticsani, así como la ocurrencia de estas por un periodo de mas de 30 días (en sismos tectónicos, la frecuencia de replicas para un sismo de la misma magnitud, generalmente es de algunos días) y la posible migración de la sismicidad de SE a NO (L. Audin, comunicación personal).

En conclusión, de las dos hipótesis planteadas, la segunda puede ser aceptada y por lo tanto, se asume que la crisis sísmica de Calacoa (sismo principal y serie de replicas) del mes de octubre, habría tenido relación parcial con una eventual reactivación del volcán Ticsani. Sin embargo, la presión ejercida por el magma a niveles de profundidad de 4 a 12 km, que a la vez produjo deformación cortical, no fue suficiente para acelerar el desarrollo de una etapa pre-eruptiva del volcán Ticsani. A la fecha, la sismicidad local ha disminuido considerablemente lo cual indicaría que por el momento, no existe peligro de una crisis volcánica.

Por otro lado, debe considerarse que los volcanes, a diferencia de los sismos, pueden advertirnos si se encuentran en una etapa pre-eruptiva mediante el incremento en las emanaciones de fumarolas, ocurrencia de microsismos, cambios en la temperatura y composición de las aguas termales que brotan de sus alrededores, todo esto días hasta semanas antes de llegar a una erupción; por lo tanto, es necesario decidirse por una política de vigilancia continua de todos los volcanes presentes en la región sur de Perú.

### III. EFECTOS GEOLÓGICOS PRODUCIDOS POR LOS SISMOS

**Autores:** Jersy Mariño <sup>(1)</sup>, Marco Rivera <sup>(1)</sup>, Lourdes Cacya <sup>(1)</sup>

(1). INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental

#### 3.1 Introducción

El área de estudio está ubicada en el flanco occidental de los Andes y posee una fisiografía compleja distinguida por presentar valles juveniles con laderas empinadas (Fig. 3.1) y con suelos poco cohesivos que contribuyen a la ocurrencia de procesos de remoción en masa (Fig. 3.2)

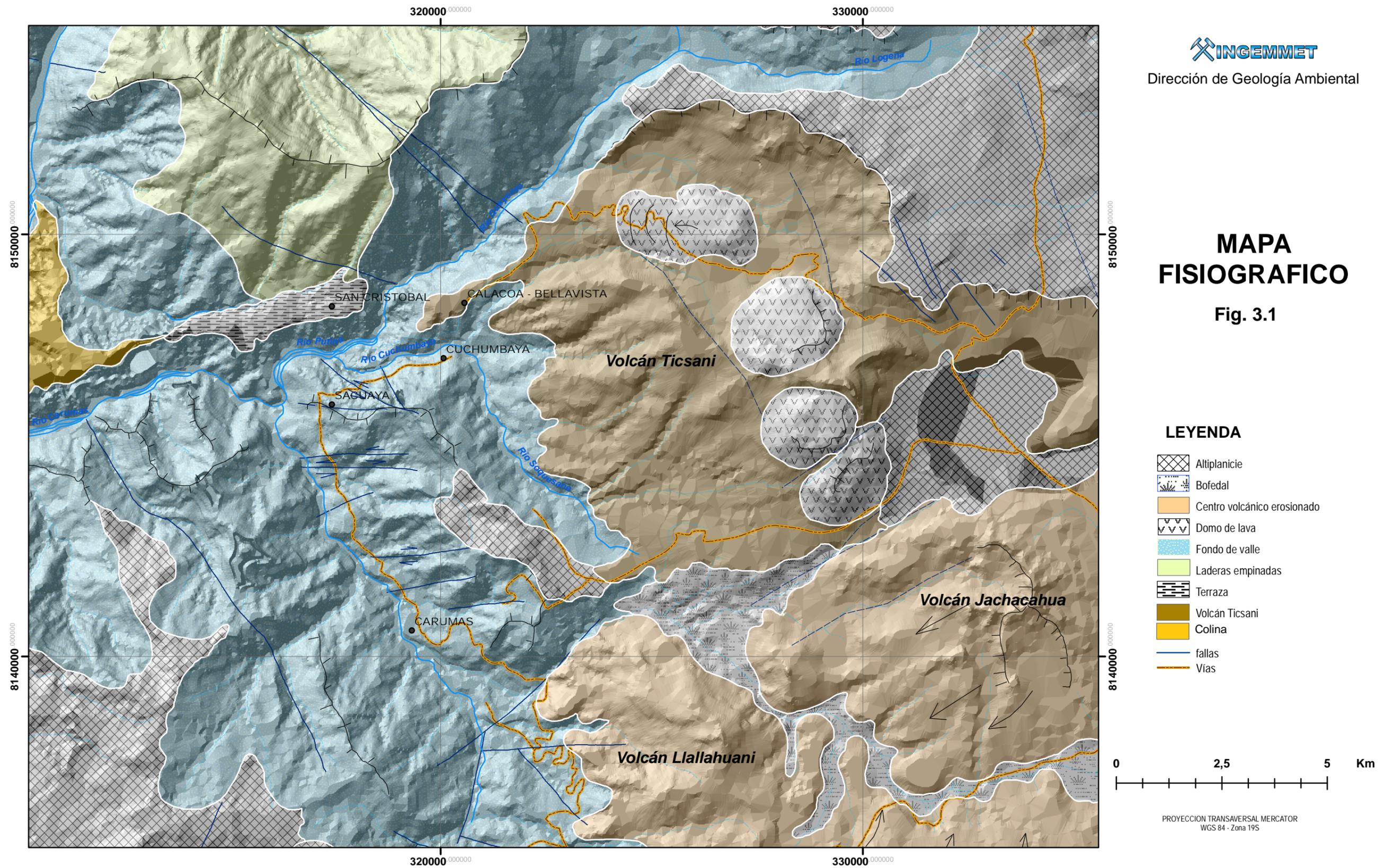
Los efectos geológicos principales debidos a la ocurrencia del sismo del 1 de octubre corresponden a derrumbes, desprendimientos de rocas y deslizamientos, la mayoría de ellos antiguos, que fueron reactivados por los movimientos sísmicos. Estos procesos han tenido lugar en laderas de valles y quebradas que poseen fuerte pendiente constituida principalmente por depósitos de avalanchas de escombros, depósitos coluviales y lavas bastante fracturadas. En dichas laderas se asientan terrenos de cultivo, y se han construido canales de agua y carreteras carrozables. A continuación una descripción de estos efectos:

#### 3.2 Sector de Trapiche: canal de agua del pueblo de Calacoa

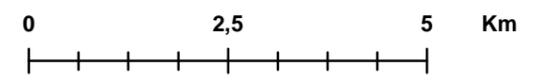
- Sector de Trapiche (323154 E, 8151257 N, 3830 msnm). En esta zona se distinguen caídas de rocas, derrumbes y agrietamientos (Figs. 3.3, 3.4 y 3.5) que afectan el canal de agua de Calacoa que posee 0.6 m de ancho x 0.20 - 0.40 m de alto. En esta parte el canal está sin revestir. Los sismos provocaron caídas de rocas de hasta 1 – 6 m de diámetro que rellenaron el canal y en algunos tramos lo hicieron colapsar. El tramo afectado es de aproximadamente 300 m. El canal se asienta sobre depósitos volcánicos de bloques y cenizas poco cohesivas o casi sueltas. Se distingue pobre presencia de suelo. La pendiente de la ladera tiene entre 50 - 60°. La ocurrencia de los fenómenos está ligada a la mala calidad del suelo y basamento rocoso, alto grado de fracturamiento del material, pendiente elevada del terreno, y movimientos sísmicos.

# MAPA FISIOGRAFICO

Fig. 3.1



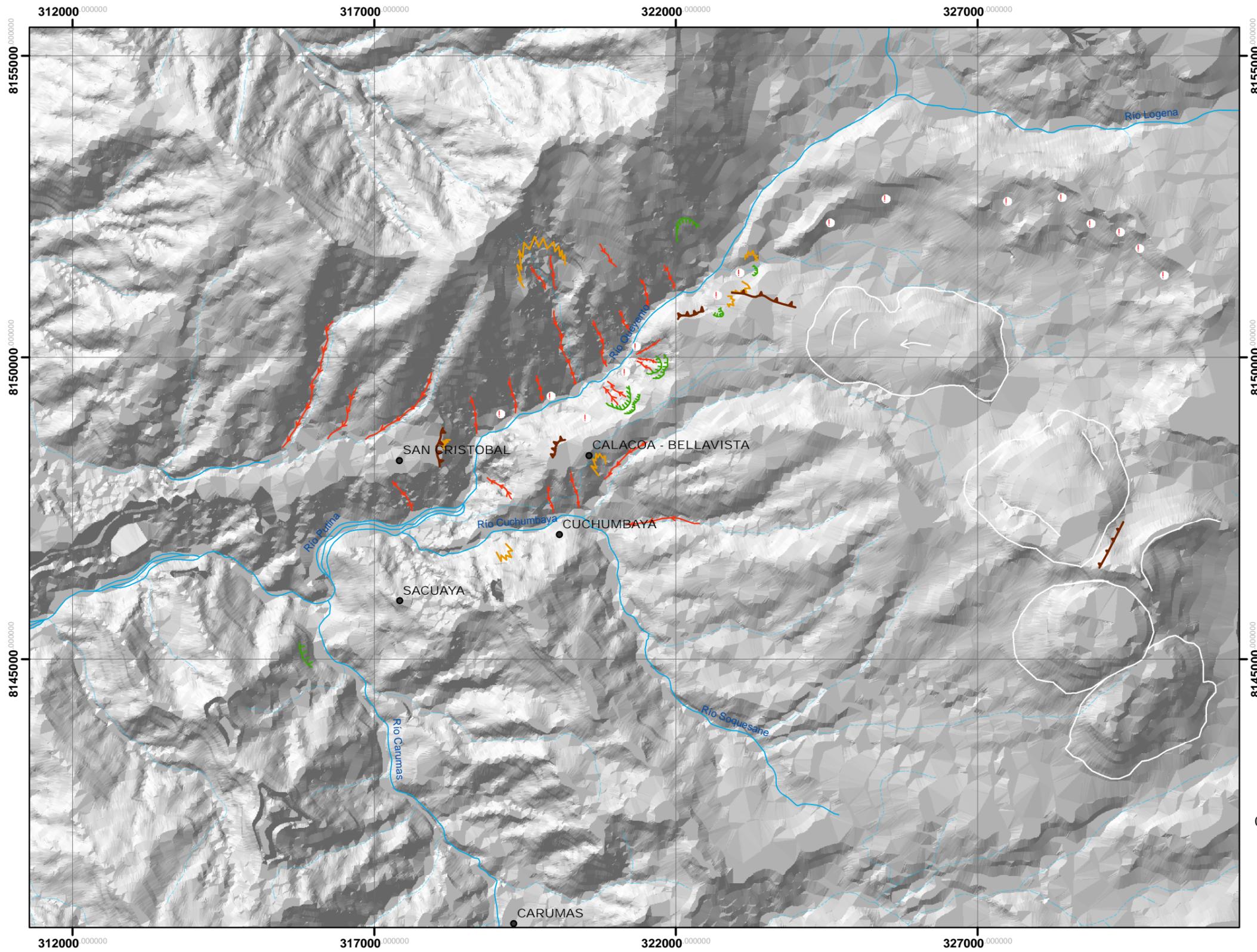
- LEYENDA**
- Alliplanicie
  - Bofedal
  - Centro volcánico erosionado
  - Domo de lava
  - Fondo de valle
  - Laderas empinadas
  - Terraza
  - Volcán Ticsani
  - Colina
  - fallas
  - Vías



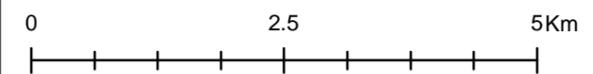
PROYECCION TRANSVERSAL MERCATOR  
WGS 84 - Zona 19S

# MAPA DE PROCESOS GEODINAMICOS

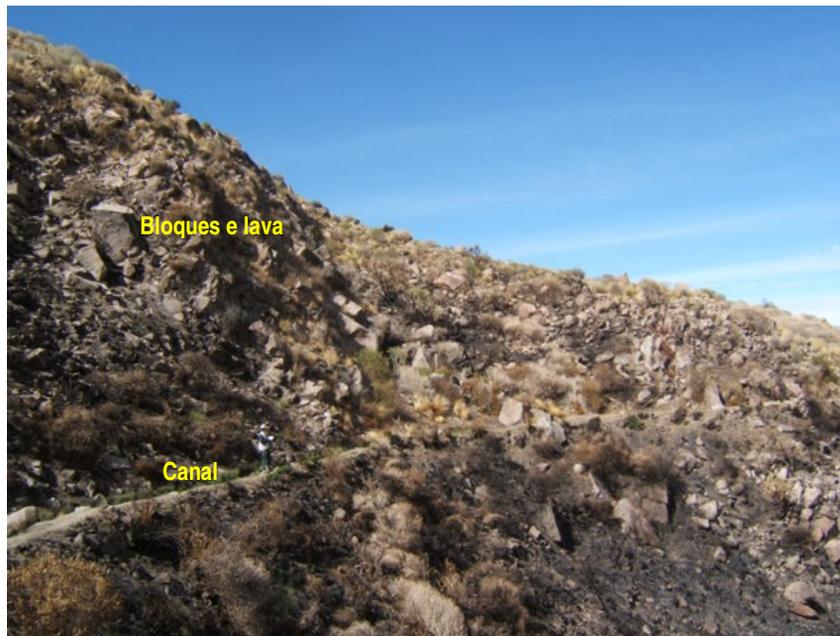
Fig. 3.2



- LEYENDA**
-  Caída de rocas
  -  Agrietamiento
  -  Derrumbe
  -  Erosión de laderas
  -  Escarpa de deslizamiento



PROYECCION TRANSVERSAL MERCATOR  
WGS 84 - Zona 19S



**Fig. 3.3:** Tramo de casi 300 m afectado por derrumbes. Nótese la fuerte pendiente de la ladera.

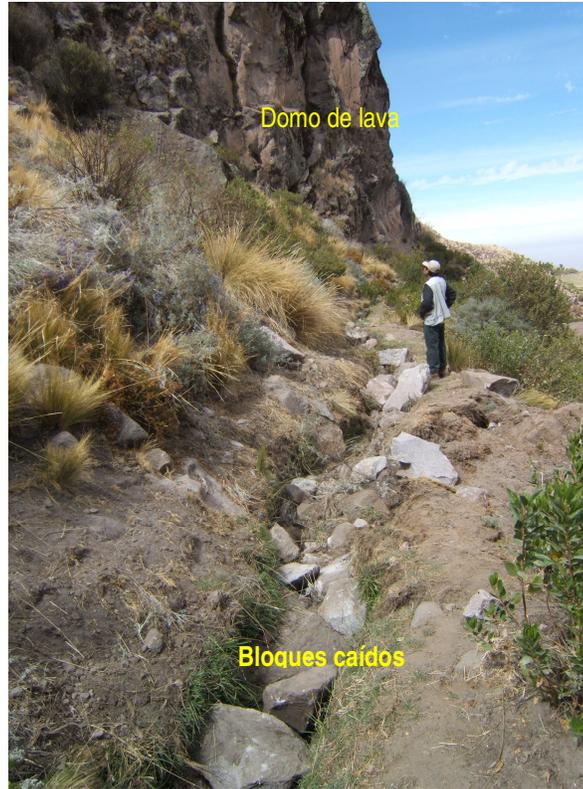


**Fig. 3.4:** Canal cubierto por bloques de rocas de hasta 6 m de diámetro.



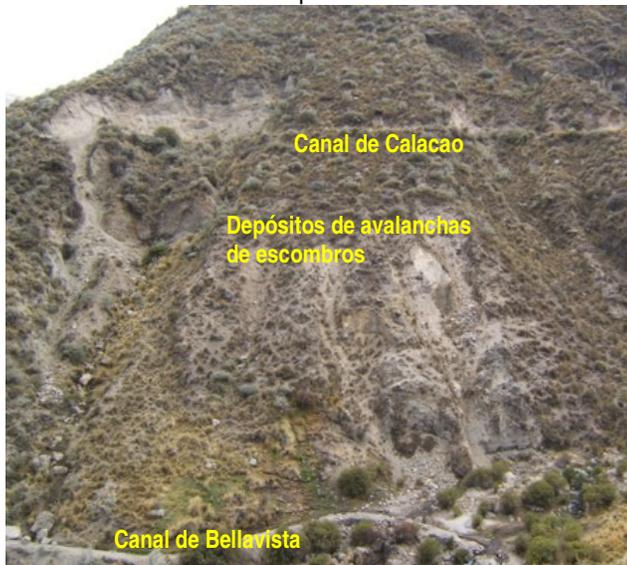
**Fig. 3.5:** Agrietamientos a lo largo del cauce del canal que poseen de 2 a 3 cm de abertura y más de 4 m de largo.

- A lo largo del mismo canal, aproximadamente 150 m al NE del sector anterior, se distinguen derrumbes que afectaron un tramo de 100 m del canal de agua de regadío (Fig. 3.6). Dicho canal no tiene revestimiento. La zona de derrumbe tiene un desnivel de 50 m de alto. Aquí la pendiente de la ladera es de 50°. La zona afectada está conformada por depósitos coluviales que contienen rocas de tamaños métricos y yacen al pie de un domo de lava.



**Fig. 3.6:** Derrumbes de bloques de lava que afectan canal de agua de regadío de Calacoa.

- A lo largo del mismo canal, en la margen derecha de la quebrada Cargache se distinguen caídas de rocas y derrumbes antiguos que fueron reactivados por la actividad sísmica (Figs. 3.7, 3.8). Estos procesos se producen en una ladera que tiene entre 50 - 60° de pendiente, y cubren un área de 200 m de largo x 120 m de altura. Esta ladera está conformada por depósitos de avalanchas de escombros poco cohesivos.



**Fig. 3.7:** Derrumbes que afectan el canal de Calacoa y terrenos de pastizales.



**Fig. 3.8:** Detalle de la vista anterior.

- Deslizamiento en la quebrada Trapiche (323764E, 8151595N, 3823 msnm.). Corresponde a un deslizamiento antiguo reactivado por los movimientos sísmicos (Figs. 3.9 y 3.10). El deslizamiento tiene 100 m de ancho x 60 m de alto. Este deslizamiento ocurre en depósitos coluviales ligeramente húmedos, en una ladera de 50° de inclinación. En el cuerpo se distingue un bofedal y saltos del terreno que miden 50 cm a 1.5 m de altura. En la corona del deslizamiento se distinguen grietas de 2 a 3 cm de ancho x 2 - 4 m de longitud (Fig. 3.10). En la parte alta del deslizamiento se localiza un tramo del canal de regadío de Calacoa y en la parte baja el canal de regadío de Bellavista. En un caso extremo, por ejemplo durante la ocurrencia de un gran sismo puede acelerarse y afectar los canales de regadío. En este sector los canales de agua están sin revestir.



**Fig. 3.9:** Deslizamiento en el Sector de Trapiche en cuyo cuerpo se distingue un bofedal.



**Fig. 3.10:** Grieta de 2 a 3 cm de ancho, ubicado en la cabecera del deslizamiento en el sector de Trapiche

### 3.3 Sector de Trapiche: canal de agua de Bellavista

- En la parte baja del sector de Trapiche (323648E, 8151590, 3800 msnm.) se observan caídas de rocas (Fig. 3.11) y derrumbes (Fig. 3.12) que afectan un tramo del canal de agua del canal de Bellavista, en laderas que tienen entre 40 – 50° de inclinación. Los bloques de rocas caídos tienen hasta 1 m de diámetro y han rellenado el canal de agua de regadío, en un tramo de 200 m. El canal tiene de 0.6 a 1 m de ancho por 0.30 - 0.40 m de alto, y está sin revestir. En varios tramos del canal se aprecia que los movimientos sísmicos ocasionaron el colapso del muro o borde del canal, seguidamente el agua drenó, erosionando la ladera y la base del canal, posteriormente haciéndolo colapsar en tramos.

La ocurrencia de estos fenómenos está ligada al suelo areno-limoso, la elevada pendiente del terreno, el intenso fracturamiento de las rocas, la actividad sísmica, entre otros factores.



**Fig. 3.11:** Derrumbes de bloques de lava que cubren el canal.



**Fig. 3.12:** Derrumbes de material coluvial y bloques de lava.



**Fig. 3.13:** Tramo de canal revestido que no ha sufrido daños, localizado al pie de lavas.

- Derrumbe en el sector de Piocco (322728E, 8150863, 3797 msnm.). Corresponde a un derrumbe que se ha producido en la escarpa de un deslizamiento antiguo (Fig. 3.14). El derrumbe tiene 60 m de altura, en cuya corona se distinguen agrietamientos. La litología lo constituyen depósitos de avalancha de escombros. El derrumbe afectó un tramo de 100 m del canal de agua de Bellavista. El canal está construido al pie de una ladera que tiene una pendiente aproximada de 80°. Dicho canal está parcialmente revestido. Los bloques caídos además afectaron terrenos de cultivo en un área aproximada de 1 hectárea. Se distinguen saltos en el cuerpo y pequeños bofedales.



**Fig. 3.14:** Derrumbes que han cubierto el canal y afectado también áreas de cultivo.

- Reservoir de Vichupampa (322528E, 8150515N, 3795 msnm.). El reservorio tiene 80 m de largo x 50 m de ancho x 2.5 m de alto. En su extremo NO posee un muro a modo de represa construido a base de rocas y cemento, con escaso revestimiento. En la cara interna del muro los sismos han producido al menos cinco rajaduras o agrietamientos que tienen entre 1 a 4 cm de ancho y de 1.5 a 2.5 m de longitud (Fig. 3.15).



**Fig. 3.15:** Agrietamientos en las paredes internas del reservorio.

### 3.4 Sector de Sajalaca – Saychaca: canal de agua de San Cristóbal

- En el sector sur de cerro Sajalaca se distinguen derrumbes que afectan el canal de agua de San Cristóbal (Fig. 3.16). El derrumbe tiene un área aproximada de 400 m de ancho x 150 m de alto. La pendiente del terreno es de 60 a 70°. En esta parte la litología está constituida de depósitos coluviales y avalancha de escombros poco cohesivos surcados por quebradas poco profundas de 20 a 60 m de ancho.



**Fig. 3.16:** Derrumbes reactivados que afectaron canal de agua, en una zona de fuerte pendiente.

- Sector de Saychaca (SO del cerro Sajalaca). En este sector se han producido procesos de erosión de laderas, y reactivación de derrumbes antiguos, que afectan terrenos de pastizales y un tramo del canal de agua del poblado de San Cristóbal (Fig. 3.17). Estos procesos se producen en laderas que tienen una pendiente de 60 - 70° de inclinación. Los procesos afectan un área de 1 km de ancho x 500 m de altura. Entre los factores desencadenantes se encuentran la mala calidad y baja cohesión del suelo, el intenso fracturamiento de las rocas, la fuerte pendiente del terreno, la actividad sísmica, construcción de canal sin revestimiento, etc.



*Fig. 3.17: Derrumbe y erosión de laderas.*

### **3.5 Deslizamientos y derrumbes en los sectores de Calacoa y San Cristóbal**

#### **3.5.1- Deslizamiento en el sector de Iztaña (322064E, 8150162N, 3745 msnm.)**

En la zona de Iztaña se distingue una zona de deslizamiento antiguo, donde además viene ocurriendo una intensa erosión de laderas. A consecuencia de los últimos movimientos sísmicos esta zona se reactivó en forma de derrumbes (Fig. 3.18). El deslizamiento antiguo tiene más de 300 m de altura x 1 km de ancho. Estos procesos ocurren sobre depósitos de avalanchas de escombros que poseen colores amarillentos y rojizos. En el cuerpo del deslizamiento se distinguen saltos que varían desde algunos metros a más de 50 m de altura. La pendiente del terreno varía entre 30 a 80° de inclinación. El cuerpo de deslizamiento está surcado por quebradas. Al costado de la corona del deslizamiento se distinguen varios agrietamientos de 2 cm de ancho y mayores de 8 m de longitud (Fig. 3.19).

En el cuerpo del deslizamiento se distinguen terrenos de cultivos que ocupan un área de aproximadamente 12 hectáreas y varios canales de agua de riego. En caso extremo, es decir

durante la ocurrencia de un sismo de gran intensidad el deslizamiento puede acelerarse y represar el río Putina. El pie del deslizamiento está siendo erosionado por el río Putina.



**Fig. 3.18:** Deslizamientos de Iztañas y al extremo NE del poblado de Calacoa. Nótese la fuerte pendiente del terreno y la intensa erosión.

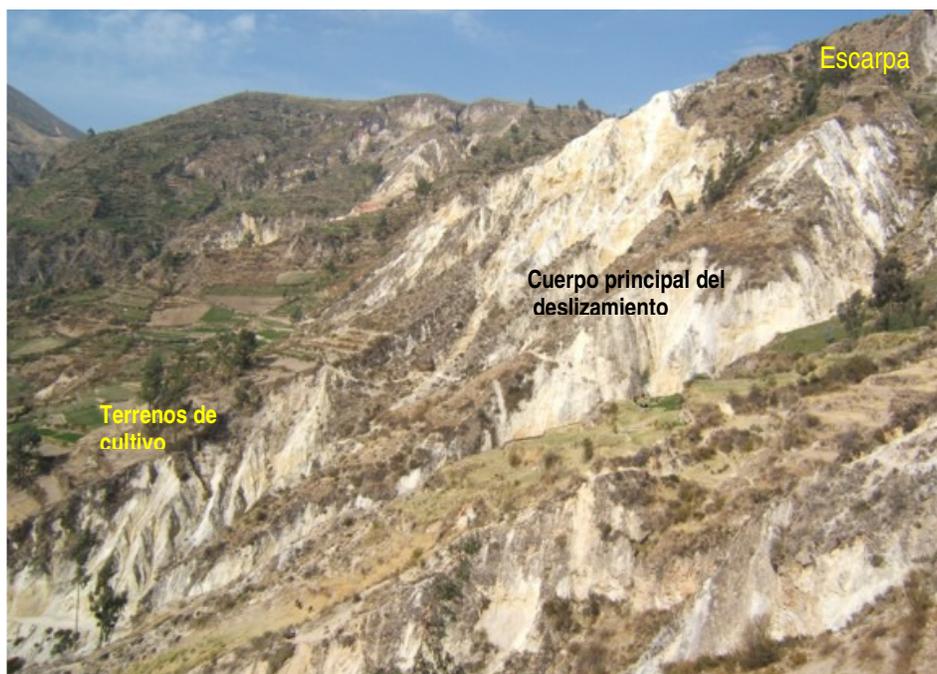


**Fig. 3.19:** Agrietamientos de 2 cm de ancho y más de 8 m de largo, localizados en la parte alta de la corona del deslizamiento.

### 3.5.2- Deslizamiento y derrumbes en la parte baja de Calacoa:

En esta zona se vienen produciendo movimientos en masa complejos, donde se observan derrumbes, erosión de laderas y deslizamientos, que se han reactivado debido a los últimos movimientos sísmicos que vienen ocurriendo en el zona. Su escarpa mide más de 2 km de longitud x 100 m de altura (Figs. 3.18 y 3.20). Dentro del cuerpo se distinguen saltos de 1 a más de 10 m de altura. El deslizamiento tiene aproximadamente 1 km de ancho y presenta una pendiente de 30 - 60°. El sustrato rocoso lo constituyen depósitos de avalancha de escombros poco cohesivos. En el cuerpo del deslizamiento existen terrenos de cultivos que cubren un área de 3 hectáreas. Además, por el cuerpo del deslizamiento pasa un tramo de la carretera Calacoa - San Cristóbal.

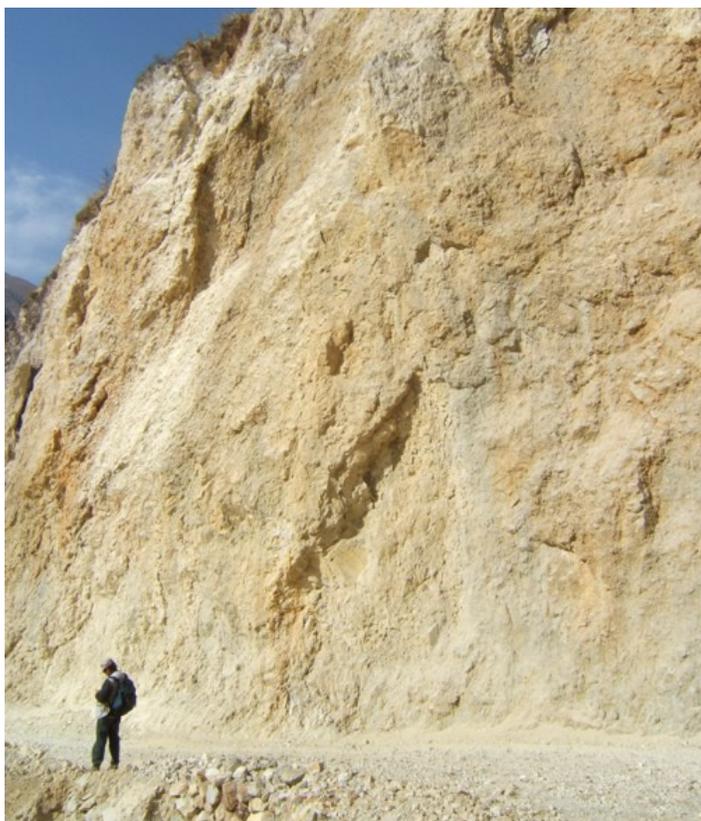
Entre los factores que intervinieron para la generación de los procesos mencionados anteriormente están el mal uso del agua de riego, la mala calidad del suelo (poco cohesivo), elevada pendiente del terreno, actividad sísmica, etc.



*Fig. 3.20: Derrumbes, deslizamientos y erosión de laderas, en la bajada Calacoa – San Cristóbal.*

### 3.6 Derrumbes en la carretera Calacoa-San Cristóbal

Al menos en cuatro tramos de 20 a 80 m, la carretera Calacoa – San Cristóbal fue afectada por derrumbes y caídas de rocas, que han sido limpiados en los siguientes días de lo ocurrido los eventos sísmicos (Fig. 3.21). Estos fenómenos se han producido debido al corte de carretera que ha incrementado la pendiente del talud a más de 60°, la mala calidad del suelo (presencia de depósitos de avalanchas de escombros poco cohesivos) y la actividad sísmica. Durante un sismo fuerte puede volver a reactivarse y afectar la vía dejando incomunicado los pueblos de San Cristóbal y otros anexos menores.



**Fig. 3.21:** Derrumbes y desprendimientos de rocas en la carretera Calacoa – San Cristóbal, cuyos restos fueron limpiados al día siguiente de ocurrido el sismo del 01 de octubre del 2005.

### 3.7 Discusión y conclusiones

Los movimientos en masa generados por el sismo del 01 de octubre de 2005, y sus respectivas replicas consistieron principalmente en caídas de rocas, derrumbes, ligera reactivación de deslizamientos, y formación de agrietamientos cuyos anchos son de tamaños centimétricos. Estos fenómenos han tenido lugar en zonas de mediana a fuerte pendiente ( $40^\circ$  a  $85^\circ$ ), cuyo macizo rocoso está constituido principalmente por depósitos de avalanchas de escombros poco cohesivos (mezcla de fragmentos de rocas heterogéneas dentro de una matriz limo-arenoso), cubiertos por depósitos coluviales.

La gran mayoría de caídas de roca, derrumbes, agrietamientos y deslizamientos, se localizan en áreas donde las laderas fueron cortadas para la construcción de la carretera afirmada Calacoa - San Cristóbal, y para la construcción de canales de agua que abastecen a los pueblos de Calacoa, Bellavista y San Cristóbal.

Los deslizamientos antiguos reactivados a consecuencias de los movimientos sísmicos se encuentran al extremo Noreste de Calacoa, y cuya base viene siendo erosionada por el río Putina. Los deslizamientos afectan varios terrenos de cultivos, pastizales y canales de agua.

A raíz de los movimientos sísmicos importantes canales de agua de consumo humano y regadío de los poblados de Calacoa, Bellavista y San Cristóbal fueron afectados por derrumbes y desprendimientos de rocas ocurridos durante los movimientos sísmicos. Además, la pared Noreste del reservorio de agua de Vichupampa (Calacoa) fue afectado mediante la formación de grietas que miden entre 1-4 cm de ancho y de 1.5 - 2.5 m de longitud.

Por otro lado, es necesario resaltar que la zona de Calacoa y sus alrededores están localizados en la cabecera de un valle juvenil de la Cordillera Occidental de los Andes, asentados sobre productos volcánicos poco cohesivos y propensos a los efectos sísmicos y a la ocurrencia de determinados peligros geológicos como: derrumbes, deslizamientos y otros.

## IV. EFECTOS EN LAS CONSTRUCCIONES

**Autores:** Fernando Lázares <sup>(1)</sup>, Jersy Mariño <sup>(2)</sup>, Marco Rivera <sup>(2)</sup>, Juvenal Medina <sup>(3)</sup>, Zenón Aguilar <sup>(1)</sup>, Ramiro Piedra <sup>(1)</sup>, Yesenia Cantoral <sup>(1)</sup>, Juan Almora <sup>(1)</sup>

(1). CISMID, Integrantes de la Red Acelerográfica

(2). INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental

(3). PREDES, Centros de Estudios y Prevención de Desastres

### 4.1 Daños en las viviendas

Los mayores daños y efectos producidos por el sismo y sus replicas se han concentrado en un área que involucra las localidades de Calacoa, Carumas, San Cristóbal, Cuchumbaya, Sacuaya, y otras, donde se ha evaluado una intensidad máxima de V en la escala de Mercalli Modificada.

Más del 90% de viviendas de los poblados de Calacoa, San Cristóbal, Cuchumbaya, Sacuaya y Carumas (Figs. 4.1; 4.2; 4.3) son construcciones de adobe sin reforzamiento estructural, de uno y dos pisos, autoconstruidas, con cimientos de piedra y barro. Los techos son livianos, contruidos en base a armaduras de madera y cobertura de calamina, eternit e ichu. Sus muros tienen un espesor entre 0.40 a 0.60 m de ancho. La mayoría de las viviendas tienen más de 30 años de antigüedad, y algunos superan los 40 años.

Los daños que se observan son principalmente agrietamientos de diversa magnitud en las paredes y en los encuentros de muros (esquinas), caída de revestimientos de muros tanto internos como externos. Este tipo de daños afecta seriamente al estado estructural de las viviendas haciendo en algunos casos inhabitables.

Es necesario resaltar que varias de las viviendas de adobe que sufrieron daños durante los sismos ocurridos en Mayo de 1999 y junio de 2001, y que no fueron adecuadamente reparadas y reforzadas, han sufrido aumento en la magnitud de las grietas existentes a raíz de los sismos ocurridos en Octubre del 2005. No se han producido derrumbes de viviendas, a excepción de una construida a base de piedras y barro ubicado en el sector Chayapatca.



**Fig. 4.1:** Poblado de Calacoa-Bellavista.



**Fig. 4.2:** Poblado de San Cristóbal.



*Fig. 4.3: Poblado de Cuchumbaya localizado al pie de una ladera.*

#### **4.1.1 Poblados de Calacoa - Bellavista**

Los distritos de Calacoa-Bellavista tienen una población total de 1170 habitantes y 680 viviendas asentadas sobre una colina, de pendiente suave, alargada de E-O cuya altitud es de 3450 msnm., y está circunscrita entre los ríos Putina y Cuchumbaya (Fig. 4.1).

El terreno sobre el cual se asientan está conformado por depósitos de avalanchas de escombros del volcán Ticsani que consisten en una mezcla de bloques de rocas de tamaños variados, gravas dentro de una matriz areno – limosa, poco cohesiva.

La mayoría de viviendas de adobe presentan caídas de los revestimientos de muros y agrietamientos, principalmente en los encuentros de muros de adobe. Los anchos de las grietas tienen entre 1 - 4 cm. Estos tipos de daños son típicos en estas clases de viviendas debido a que no existe un elemento estructural que ayude a confinar los muros y a la vez colabore con una adecuada unión entre los muros de esquina. Debe observarse también que la altura de los muros no es uniforme y varía por que se adapta a la pendiente del terreno, esto origina un cambio en la rigidez de los muros. (Figs. 4.4; 4.5; 4.6 y 4.7). También fueron afectados los muros donde descansan las vigas de madera de los techos.



**Fig. 4.4:** Caída del revestimiento de la fachada de una vivienda en el poblado de Bellavista.



**Fig. 4.5:** Agrietamiento en la esquina. La base es de piedra y barro.



**Fig. 4.6:** Caída del revestimiento de un muro interno de una vivienda del poblado de Calacoa



**Fig. 4.7:** Agrietamiento en la esquina de una vivienda (Poblado de Calacoa)

#### 4.1.2 Poblado de San Cristóbal

San Cristóbal tiene una población de 578 habitantes y 388 viviendas (Fig. 4.2). Estas últimas están asentadas sobre una superficie plana a 3130 msnm., circunscrita entre la falla Putina por el norte, el río Putina, y la quebrada Estagacache por el sur, cuyo único acceso es la carretera que viene de Calacoa. El terreno está conformado por depósitos de avalanchas de escombros poco cohesivos.

También en este poblado se distinguen antiguas casas de adobe y techo de calaminas a dos aguas. Los efectos son principalmente agrietamiento y algunos derrumbes de las paredes (Figs. 4.8, 4.9 y 4.10). Al menos cinco viviendas y la escuela del pueblo se hallan asentados justo al borde de una escarpa de derrumbe (Fig. 4.11). En esta zona es necesario que se restrinja la construcción de viviendas por estar ubicados al borde de la escarpa, ya que estas pueden colapsar durante un sismo fuerte.



**Fig. 4.8:** Derrumbe de pared de una vivienda antigua.



**Fig. 4.9:** Agrietamiento de paredes en una vivienda recientemente construida



*Fig. 4.10* Agrietamiento en las paredes de varios centímetros de ancho.



*Fig. 4.11* Escuela situada al borde de una escarpa vertical.

#### **4.1.3 Poblado de Cuchumbaya**

El distrito tiene una población de 482 habitantes, 306 casas, posta médica, colegios y edificios públicos que se asientan sobre una ladera circundada por los ríos Cuchumbaya y la quebrada Soquezane (Fig. 4.3).

El terreno sobre el cual se asientan las viviendas está conformado por depósitos de avalancha de escombros y coluviales. En este sector se distinguen antiguas casas de adobe y techos de calamina a dos aguas. Las viviendas yacen en una ladera que tiene entre 10 a 15° de inclinación. En este poblado más del 80% de las viviendas son de adobe y algunas de estas tiene más de 30 años de antigüedad. De los cuales más del 40% de viviendas han sufrido rajaduras de sus paredes. En el extremo SE del pueblo se distingue una grieta de 2 a 3 cm de ancho y de 10 a 15 m de longitud, formada durante los últimos eventos sísmicos. Aproximadamente cinco viviendas se hallan localizadas sobre una escarpa de derrumbe y durante un sismo fuerte pueden colapsar.

#### **4.1.4 Poblado de Sacuaya**

El pueblo de Sacuaya tiene una población de 509 habitantes y 247 viviendas, cuenta con posta médica, edificio municipal, colegio, y otras edificaciones públicas, se asienta al pie de una ladera, sobre una superficie subhorizontal limitado por escarpas verticales. Esta zona corresponde al interfluvio de los ríos Cuchumbaya-Putina y el río Carumas.

El terreno está constituido de rocas volcánicas y avalanchas de escombros del volcán Ticsani. En la Fig. 4.12 se puede apreciar la extrema magnitud de inminente peligro al que esta expuesta toda una población, por un lado esta el avance regresivo del talud inferior y por otro el derrumbe de rocas del talud superior. En este poblado se vieron afectados más del 20% de viviendas.



*Fig. 4.12 Poblado de Sacuaya localizado al pie de una ladera.*

## **4.2. Condiciones locales: Tipos de suelo y Pendiente**

Es necesario resaltar que la zona de Calacoa y sus alrededores dado su localización dentro del denominado Circulo de Fuego del Pacífico y en la cabecera de un valle juvenil de la Cordillera Occidental de los Andes siempre estuvieron propensos a los efectos de procesos sísmicos, volcánicos y a la ocurrencia de determinados peligros geológicos: derrumbes, deslizamientos y otros. Es así, que relatos orales dan cuenta que dos poblados localizados a inmediaciones de Calacoa fueron afectados por derrumbes durante los últimos 200 años, motivo por el cual fueron reubicados. El primer poblado denominado Putina, estuvo situado a menos de 1 km al NE de Calacoa, en las laderas de la margen izquierda del río Putina y fue reubicado en la zona que ocupa el distrito de Bellavista. El segundo pueblo, denominado Calacoa Antiguo, que estuvo ubicado en la margen izquierda del río Putina (Fig. 2), fue reubicado en el actual pueblo de Calacoa.

Es así que actualmente en esta zona los dos distritos: Calacoa y Bellavista están ubicados en áreas aledañas, separados por una calle.

Los agrietamientos en las viviendas, obedecen a tres factores: primero, debido a que las paredes han sido construidas con base de adobe unidos con mortero de barro, sobre cimientos de piedra y barro, sin ningún elemento de tipo estructural (columna o viga collar) que les otorgue un adecuado confinamiento y mayor rigidez; segundo, los pueblos en mención se hallan asentados sobre un suelo de limo, arena y grava poco o no consolidado (depósitos de avalanchas de escombros), tipo de suelo que no atenúa adecuadamente el movimiento sísmico, y tercero la pendiente del terreno que obliga a que los muros de adobe no tengan una altura uniforme originando una variación de su rigidez .

En distritos como Cuchumbaya, Sacuaya, Bellavista las viviendas están construidas sobre terrenos ligeramente inclinados que tienen pendientes de 5 a 15°, constituidos por rocas lávicas fracturadas y depósitos de avalanchas de escombros poco o nada cohesivos, cubiertos

por depósitos coluviales. Estos factores favorecen a la ocurrencia de daños durante sismos moderados a fuertes.

También es importante considerar que los cortes realizados en los terrenos que presentan pendientes mayores de  $40^\circ$  para la construcción de las carreteras, canales, entre otras obras de infraestructuras contribuyen a una mayor susceptibilidad de daño.

### 4.3 Análisis de Acelogramas

El Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), a solicitud del Ing. Martín Vizcarra Cornejo, Decano del Colegio Departamental de Moquegua del Colegio de Ingenieros del Perú, habilitó en forma temporal una estación acelerográfica en la Localidad de Calacoa con la finalidad de registrar los movimientos sísmicos. Una delegación del CISMID viajó a esta localidad e instaló en el Centro de Salud una acelerógrafo digital modelo ETNA, marca Kinemetrics, con antena GPS (Figs. 4.13 y 4.14). Este equipo estuvo instalado desde el 20 de Octubre del 2005 y fue retirado el 13 de Febrero del 2006, habiendo registrado durante ese tiempo un total de 48 eventos sísmicos de diferente intensidad, la fecha de los registros obtenidos así como sus aceleraciones máximas son mostrados en la Tabla 2.



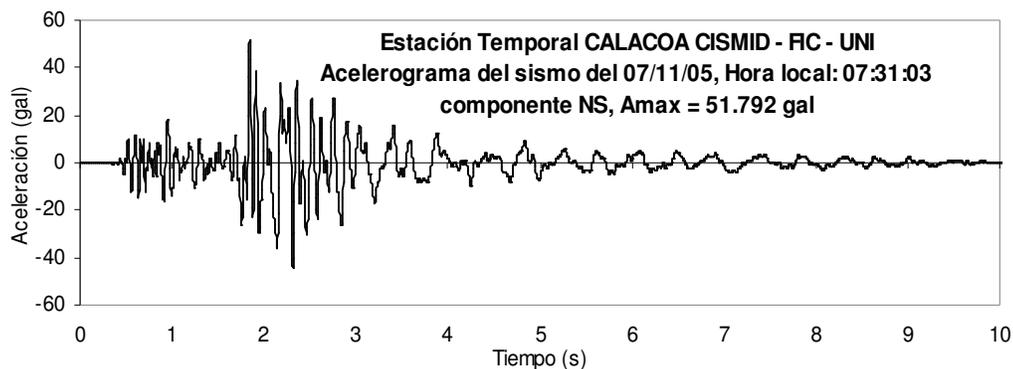
Fig. 4.13 Centro de Salud de Calacoa y ambiente donde se instaló el acelerógrafo



Fig. 4.14 Ubicación y orientación del acelerógrafo digital ETNA.

Observando los eventos sísmicos registrados por el acelerógrafo, en su mayoría son eventos pequeños, sin embargo en la Tabla 2 se pueden observar que dos eventos superaron en una de sus componentes horizontales los  $50 \text{ cm/s}^2$  de aceleración del terreno, valor que podríamos considerar como un sismo leve, que para estructuras construidas de acuerdo a la norma peruana sismorresistente no debería provocarle daños.

La Fig. 4.15 muestra los acelerogramas de las componentes N-S y E-O correspondientes a estos dos eventos. La Fig. 4.16 muestra el Espectro de Respuesta de Aceleraciones Absolutas, para una razón de amortiguamiento del 5%, de los registros sísmicos obtenidos en esta estación temporal que tienen como aceleración máxima del terreno mayor a  $10 \text{ cm/s}^2$ . Estos espectros en las direcciones E-O y N-S nos permiten identificar la tendencia de la respuesta del terreno en función de las aceleraciones máximas espectrales, las cuales claramente se presentan alrededor de un valor de periodo de 0.1 segundo, dicho valor corresponde en forma aproximada a las viviendas de adobe que se encuentran en esta zona. Valores de aceleración máxima espectral de  $200 \text{ cm/s}^2$  se presentan para este periodo. Se puede observar que la forma de estos espectros tiende a tener estos valores máximos alrededor de este periodo, lo que motiva a concluir que ante los sismos de mayor magnitud que han ocurrido en esta zona y próximos que sucedan, **las viviendas de adobe han sufrido y sufrirán directamente los efectos de estos movimientos**. Esto se debe a las condiciones locales de sitio. Los registros sísmicos se encuentran disponible en forma libre a través de la página web del CISMID en la sección de la Red Acelerográfica: [www.cismid-uni.org](http://www.cismid-uni.org).



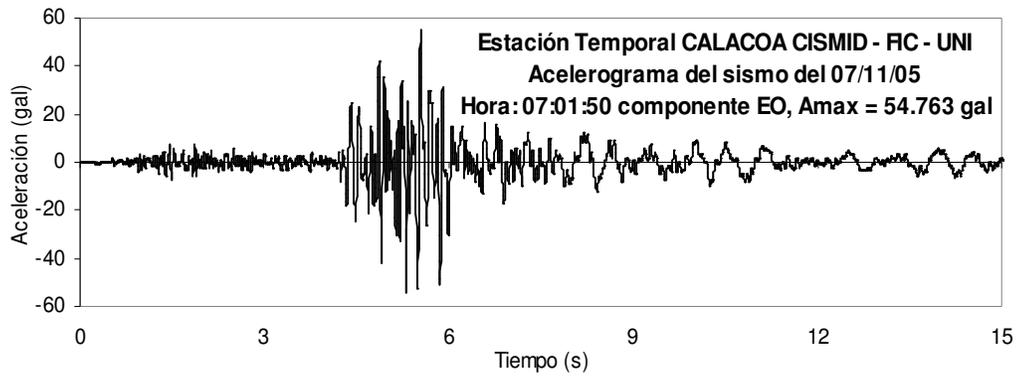


Fig. 4.15 Acelerogramas registrados en la Estación Temporal Calacoa

SISMOS REGISTRADOS POR LA ESTACIÓN ACELEROGRÁFICA DEL CISMID "CALACOA"											
Sismo	Fecha	Hora	Aceleración Máxima (cm/s <sup>2</sup> )			Sismo	Fecha	Hora	Aceleración Máxima (cm/s <sup>2</sup> )		
			EO	NS	Vertical				EO	NS	Vertical
1	23/10/2005	22:46:14	2.994	3.922	1.475	25	10/11/2005	03:31:16	8.024	6.026	-5.309
2	26/10/2005	03:12:14	-2.948	1.919	1.982	26	11/11/2005	14:53:18	6.356	-6.093	-4.855
3	26/10/2005	07:14:55	3.914	-3.256	3.373	27	13/11/2005	15:49:28	3.476	-3.213	-1.105
4	29/10/2005	14:40:10	2.938	2.415	1.965	28	17/11/2005	14:29:23	-2.174	1.953	0.790
5	30/10/2005	06:48:39	9.173	11.335	-6.579	29	23/11/2005	12:41:29	-5.414	-5.144	-3.089
6	30/10/2005	18:00:35	5.632	8.162	4.414	30	24/11/2005	02:55:00	-2.996	1.793	-1.083
7	31/10/2005	09:22:26	20.578	24.585	-13.395	31	24/11/2005	04:30:34	5.918	4.262	-3.601
8	31/10/2005	09:25:34	5.935	7.201	3.392	32	26/11/2005	13:32:57	16.885	25.272	14.519
9	31/10/2005	12:29:45	-8.826	-10.746	-8.922	33	01/12/2005	05:50:11	-8.587	9.626	-7.873
10	01/11/2005	02:31:40	-2.604	1.803	1.627	34	30/01/2006	01:22:31	-7.257	6.230	-4.438
11	01/11/2005	12:49:05	25.857	18.296	-13.398	35	01/02/2006	06:03:48	5.080	3.543	3.678
12	01/11/2005	19:00:14	-2.604	1.803	1.627	36	02/02/2006	07:01:50	54.763	51.727	-42.198
13	05/11/2005	15:27:57	-6.032	5.357	3.171	37	02/02/2006	07:06:52	-6.303	-5.670	-2.763
14	05/11/2005	16:43:29	2.616	-2.506	2.520	38	02/02/2006	07:17:26	-3.402	3.943	-1.805
15	07/11/2005	07:24:37	-4.082	3.704	-3.971	39	02/02/2006	07:19:48	-3.820	-3.607	2.286
16	07/11/2005	07:29:15	6.624	6.698	-4.677	40	02/02/2006	09:58:30	-3.204	2.513	1.682
17	07/11/2005	07:30:03	3.535	-2.914	3.822	41	02/02/2006	14:36:13	-3.749	2.150	2.684
18	07/11/2005	07:31:03	-38.819	51.792	-39.349	42	03/02/2006	06:18:54	6.986	5.975	3.795
19	07/11/2005	07:34:27	-3.034	-2.756	6.994	43	04/02/2006	03:32:52	-12.118	-9.967	6.478
20	07/11/2005	07:34:59	-18.035	13.199	-10.496	44	05/02/2006	21:07:12	-3.457	-1.666	-2.378
21	07/11/2005	07:45:17	-2.473	2.487	-1.510	45	08/02/2006	14:39:39	-13.633	11.741	7.143
22	07/11/2005	07:58:57	-5.688	4.911	4.423	46	08/02/2006	17:29:40	-5.160	-3.103	-2.262
23	07/11/2005	14:50:43	-3.485	4.452	-3.718	47	10/02/2006	15:28:29	-2.688	-1.622	-1.066
24	09/11/2005	07:48:31	-3.544	-3.024	-2.231	48	11/02/2006	12:35:36	5.998	4.785	4.342

Tabla 2: Sismos registrados en la Estación Temporal Calacoa CISMID-FIC-UNI

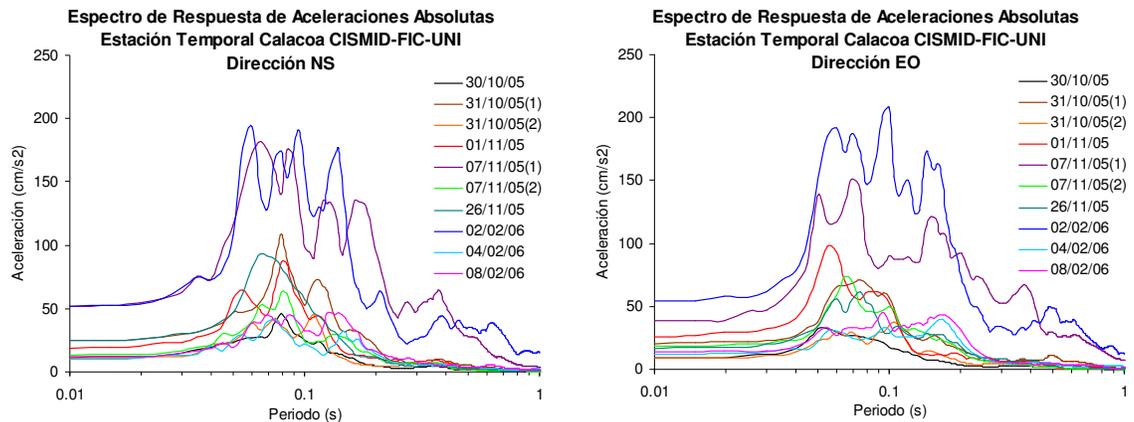


Fig. 4.16 Espectro de Respuesta de Aceleraciones Absolutas, estación temporal Calacoa.6

### 4.3. Daños ocurridos en los sismos de 1999 - 2001

El 06 de Mayo de 1999, en la zona de Calacoa y sus alrededores, se produjo un sismo de magnitud 4.0 (Mw), a lo que se sumaron numerosas replicas ocurridas durante los 08 días siguientes. El IGP luego de efectuar un monitoreo sísmico en la zona le denominó "Enjambre sísmico de Calacoa" (Aguilar et al., 2001). En aquel entonces se reportó que los sismos debieron su origen a procesos de deformación superficial de tipo extensivo, que son frecuentes en las zonas altas de la Cordillera Occidental de los Andes, y se descartó cualquier vinculación con una posible reactivación del volcán Ticsani. Como resultado de los movimientos sísmicos numerosas viviendas colapsaron y muchas otras quedaron seriamente afectadas

### 4.4 Discusión y conclusiones

Los pueblos inspeccionados (Calacoa-Bellavista, San Cristóbal, Sacuaya y Cuchumbaya), se hallan asentados sobre superficies poco inclinadas, depósitos de avalanchas de escombros constituidos de una matriz limo-arenosa poco cohesiva, lo cual incrementa la posibilidad de ocurrencia de daños ante eventos sísmicos.

En los pueblos inspeccionados, Calacoa-Bellavista, San Cristóbal, Sacuaya y Cuchumbaya, la mayoría de las viviendas son de adobe y los daños ocasionados por el sismo del 1 de octubre y sus replicas son principalmente agrietamientos de las paredes y caídas de sus fachadas. Algunas de ellas han colapsado. Además es necesario recalcar que muchos de estos agrietamientos se produjeron durante los sismos de mayo de 1999, y junio del 2001, y se han reactivado a raíz de los movimientos sísmicos de octubre último. Las viviendas de material noble no han sufrido daños considerables.

Los agrietamientos en las viviendas, obedecen a dos factores: primero, debido a que las paredes han sido construidas a base de adobe unidos con mortero de barro y sobre cimientos de piedra y barro; y segundo, los pueblos en mención se hallan asentados sobre un suelo de limo,

arena y grava poco competente (depósitos de avalanchas de escombros). Estos factores sumados a la ocurrencia de sismos las hacen muy vulnerables a las viviendas.

## V. ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL TICSANI

**Autor:** Jersy Mariño <sup>(1)</sup>

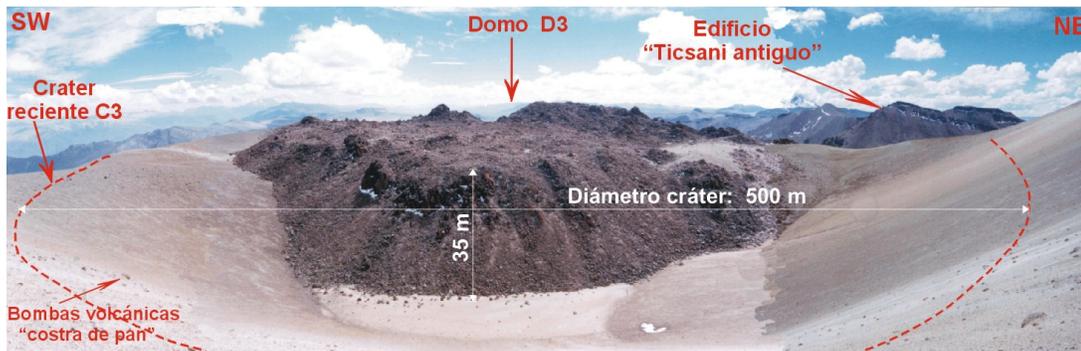
(1). INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental

### 5.1 Actividad eruptiva reciente

El volcán Ticsani es uno de los siete volcanes activos del sur peruano. Su origen está ligado al proceso de subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana.

El estudio volcanológico y estratigráfico efectuado por Mariño (2002) muestra que tres grupos de depósitos registran la historia eruptiva reciente del volcán Ticsani: crecimiento de domos, emisión de flujos piroclásticos y caídas de cenizas y pómez.

Durante el Pleistoceno tardío se inicia el emplazamiento de tres domos de lavas que se hallan alineados en dirección N35°O (ver mapa geológico), obedeciendo un control tectónico. El primer domo (D1) se halla en el extremo SE, mide 1,6 km y está elongado hacia el NE. El domo central (D2) es de forma circular, y tiene 2 km de diámetro, está relacionado a una erupción subpliniana de hace 10,600 años. El último domo-colada (D3), es elongado en dirección NO, mide 1,95 km por 1,5 km (Fig. 5.1), y está relacionado a la última erupción del volcán Ticsani ocurrido hace menos de 400 años. Asociados a los domos antes citados, se emplazaron flujos piroclásticos de bloques y cenizas, que se encuentran canalizados en quebradas situadas al SO y NO del cráter (Fig. 5.2), quebradas que drenan hacia Soquezane y Calacoa, respectivamente.



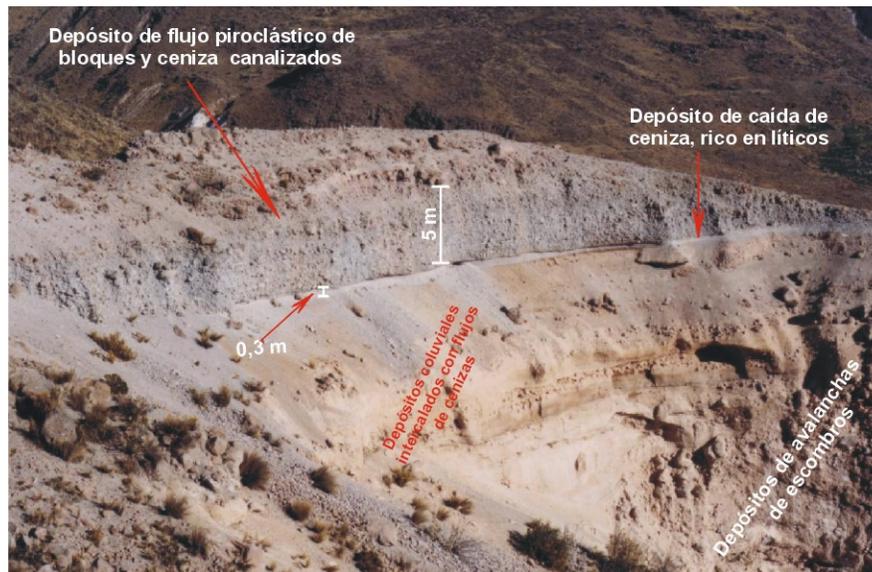
**Fig.5.1** Domo D3 emplazado en el cráter más reciente del volcán Ticsani.

Durante los últimos 14,000 años ha presentado hasta tres erupciones explosivas:

a) La más importante de ellas, fue de tipo sub-pliniano y ocurrió hace 10,600 +/- 80 años. Emplazó depósitos de caída de pómez denominado "Pómez Ticsani Gris", que cubrió un área elíptica, cuyo eje mayor tiene una orientación NEE. En áreas proximales, su espesor varía de 2 a más de 4 m y en áreas distales de 0.1 a 0.4 m. Las áreas donde actualmente se hallan los centros poblados de Calacoa, Cuchumbaya, Quebaya y Soquezane, fueron cubiertas por caídas de pómez de 0,1 a 0,4 m de espesor.

b) Entre 10,600 y 400 años, se produjo otra erupción de moderada magnitud, que emplazó cenizas denominada “Ceniza Ticsani Gris”. Dicho depósito se emplazó preferentemente hacia el SE, a 3 km al SE del cráter, y mide 10 cm de espesor (Fig. 5.3).

c) La última erupción del volcán Ticsani emplazó pómez de color pardusco (“Pómez Ticsani Pardusco”), que se hallan dispersos en la superficie sin conformar una capa continua. Los pómez se pueden observar en áreas cercanas al volcán, miden de algunos centímetros a 40 cm de diámetro (Fig. 5.4). Estos se hallan sobre las cenizas del volcán Huaynaputina del año 1600 D.C., por lo que pensamos que la última erupción del volcán Ticsani ocurrió hace menos de 400 años.



**Fig.5.2** Depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas del volcán Ticsani que yacen en el Sector SO del volcán.

Finalmente, en el volcán Ticsani se han podido reconocer 3 cráteres: El cráter más antiguo, está cubierto por depósitos de caída de pómez y ceniza; ha sido reconocido solo a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite. El segundo cráter está semi-destruido, ocupado por el domo D2, solo conserva su flanco NE y está asociado a la erupción de hace 10,600 años. El cráter más reciente, de 500 m de diámetro, tiene forma de media luna debido a que sus flancos N y NW están ocupados por el domo D3 y está asociado a la última erupción del volcán Ticsani.



**Fig. 5.3** Depósito de caída de pómez "Ticsani gris".



**Fig. 5.4** Depósito de caída de pómez "Ticsani pardusco".

## 5.2 Evaluación de las fuentes termales localizadas en áreas aledañas del Ticsani

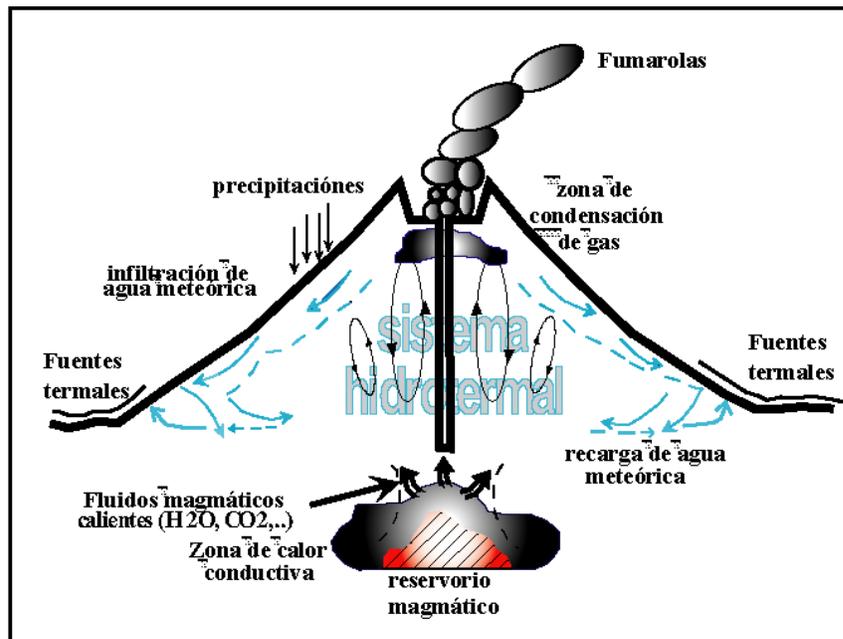
**Autores:** Vicentina Cruz <sup>(1)</sup>, Victor Aguilar <sup>(2)</sup>, Marco Rivera <sup>(1)</sup>

(1). INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental

(2). Instituto Geofísico, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa

### 5.2.1 Introducción a la evaluación geoquímica

El estudio geoquímico de aguas termales y gases emitidos por volcanes activos nos permite obtener información sobre el estado de la actividad de un volcán. Las fuentes termales, lagunas y riachuelos asociados a volcanes activos pueden presentar cambios físicos y químicos antes de la reactivación de un volcán. La vigilancia de los parámetros específicos del agua, tales como temperatura, pH, conductividad, turbidez, concentración de gases disueltos y cambios en el nivel de agua proporcionan información clave sobre los procesos que acompañan a una reactivación volcánica, especialmente cuando estos parámetros se correlacionan con observaciones sísmicas y otras observaciones geofísicas. La importancia de estos cambios depende de la envergadura con la cual el sistema hidrotermal se comunica con los manantiales subterráneos (Fig. 5.5).



*Fig. 5.5. Modelo de circulación de fluidos en el interior de un volcán activo y las manifestaciones del sistema hidrotermal asociados.*

A nivel global, numerosos estudios de geoquímica de fluidos se han realizado como parte de la investigación vulcanológica, por ejemplo el estudio geoquímico de los fluidos del volcán Guagua Pichincha en Ecuador (Marini et al., 1990), el estudio geoquímico de las fuentes termales y fumarolas del volcán Soufriere en Guadalupe (Brombach et al., 2000), entre otros,

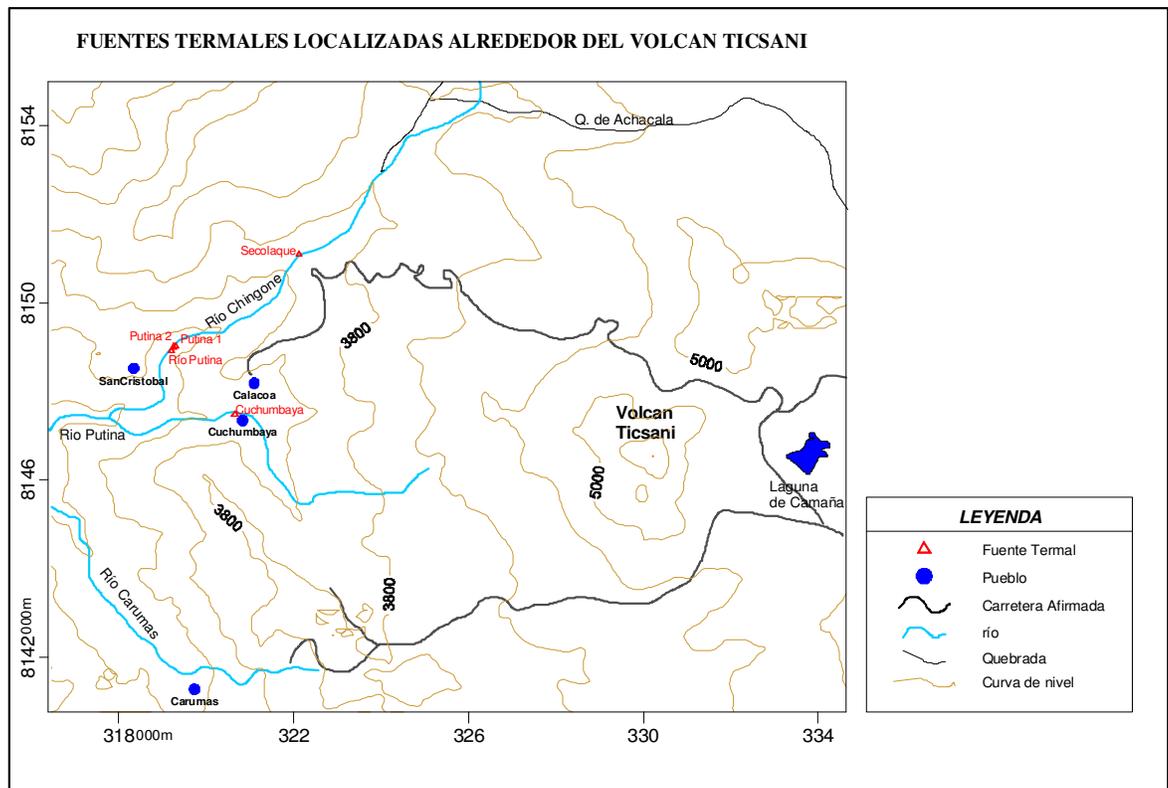
que han contribuido en la vigilancia y evaluación del grado de actividad que presentaban dichos volcanes.

El volcán Ticsani es un volcán activo (Mariño, 2002), que presenta un importante sistema hidrotermal, puesto de manifiesto por la presencia de pequeñas fumarolas en la cumbre, y fuentes termales alrededor del edificio volcánico, principalmente aquellas localizadas en el río Putina, entre 4 y 10 km al NO del volcán (Fig. 5.6).

A raíz de los constantes movimientos sísmicos y su posible relación con la reactivación del volcán Ticsani, se efectuó un muestreo de ocho fuentes termales que drenan por los alrededores del volcán Ticsani. La mayoría de las fuentes termales están localizadas en el río Putina (Fig. 5.6).

Asimismo se ha realizado el ascenso a la cima del volcán para realizar observaciones visuales de la actividad fumarólica y medición de temperatura de dichas fumarolas. Los resultados obtenidos fueron comparados con los datos de agosto de 1999, el cual nos permitirá en un primer termino obtener una idea sobre la actividad del volcán.

En agosto de 1999, se realizó una primera medición de los parámetros de temperatura y pH en las fuentes termales asociados al volcán Ticsani, donde notamos que las fuentes termales presentaron temperaturas por debajo de 90 °C y pH entre 6 y 8. En octubre del 2005, observamos que las fuentes presentan una temperatura poco elevada comprendida entre 80 y 94 °C. Los resultados serán presentados y discutidos más adelante.



**Fig. 5.6.** Mapa de localización de Fuentes Termales asociadas al volcán Ticsani

## 5.2.2 Metodología

Durante la evaluación geoquímica de fluidos hidrotermales se realizó el muestreo de ocho fuentes termales. Se utilizaron dos técnicas de muestreo, dependiendo del tipo de análisis. Nosotros tomamos dos muestras: Una para el análisis de cationes, para la cual se hizo el filtrado y se adicionó ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Una segunda muestra para la determinación de aniones. Además, la temperatura y pH fueron medidos en campo. Los análisis de las muestras se han realizado en los laboratorios de Química del INGEMMET.

También se han tomado muestras de agua del río Putina (Río Putina I): una muestra antes de mezclarse con las fuentes termales y otra en la parte final de la localización de las fuentes (Río Putina II). Además se ha tomado muestras de aguas de la laguna Camaña localizada 3 km al Este del volcán, y laguna Toro Bravo, localizada 5 km al SE del volcán Ticsani. En las siguientes fotos podemos observar las fuentes muestreadas.



*Fig. 5.7 Fuente termal Putina I*



*Fig. 5.8 Fuente termal Putina II*



*Fig. 5.9 Fuente termal en la margen derecha del río Putina en dirección del pueblo de San Cristóbal*



*Fig. 5.10 Fuente termal de Cuchumbaya*



*Fig. 5.11 Fuente termal de Secolaque*



*Fig. 5.12 Laguna Toro Bravo, ubicado 5 km al SE del Ticsani*



*Fig. 5.13 Laguna Camaña localizado a 3 km al Este del Ticsani*

### **5.2.3 Resultados y Discusiones**

En Agosto de 1999, se ha realizado la medición de la temperatura y pH de las fuentes termales asociados al volcán Ticsani en colaboración con el Dr. Nicolas Fournier de la Universidad West Indies–Trinidad, donde notamos que las fuentes termales presentaron temperaturas por debajo de 90 °C y pH entre 6 y 8.

La temperatura y pH han sido medidas nuevamente el 7 de octubre del 2005. Según los resultados obtenidos, la temperatura y pH han sufrido pulsaciones poco considerables. La temperatura ha incrementado hasta 94.5 °C. Respecto a los valores de pH, estos han sufrido variaciones poco significativas (variación de pH entre 0.2 y 0.5) (Tabla 3).

En la cima del volcán Ticsani (5400 msnm.), no se ha observado ningún cambio de la actividad fumarólica con relación a lo observado en 1999. Las emisiones de pequeñas fumarolas solo se observan en dos puntos muy locales. Estas fumarolas son muy diluidas de color blanquecino con un ligero olor a azufre, con una temperatura aproximada de 76°C (Fig. 5.14; 5.15 y 5.16).



*Fig. 5.14. Presencia de fumarolas tenues en el volcán Ticsani (5300 msnm.)*



*Fig. 5.15. Medición de temperatura de la fumarola del volcán Ticsani*



*Fig. 5.16. Muestreo de gas del suelo CO<sub>2</sub> en la cima del volcán Ticsani*

Por otra parte, durante el ascenso al volcán Ticsani, en el camino se ha observado pequeñas grietas (Fig. 5.17 y 5.18), posiblemente asociados a los efectos producidos por los continuos movimientos sísmicos que ocurren en la zona.



*Fig. 5.17 Grietas observadas durante el ascenso al volcán Ticsani*



Fig. 5.18. Grietas observadas durante el ascenso al volcán Ticsani

Tabla 3. Resultados de la medición de Temperatura y pH.

FUENTE	LONG. (km)	LAT. (km)	ALTURA (msnm.)	pH 20/08/99	TEMP. (°C) 20/08/99	pH 07/10/05	TEMP. (°C) 07/10/05
Putina I	319.312	8149.019	2924	8	88.8	8.6	93.4
Putina II	319.255	8148.999	2921	8.25	89	7.75	94.5
Secolaque	No se realizaron medidas					7.15	67.4
Río Putina I	322.218	8151.093	3718	8.21	13.3	7	11.9
Río Putina II	319.202	8148.921	2915			7.4	32.1
Cuchumbaya	320.654	8147.476	3197	6.3	52.1	6.5	51.6
Laguna Toro Bravo	334.754	8144.431	4715	10.54	9.6	10.03	9.2
Laguna Camaña	332.855	8146.376	4709	9.62	8.1	10	11.6
Cumbre del volcán Ticsani (Fumarola)	329.153	8146.511	5311				76.7

Tabla 4. Resultados de la composición catiónica.

Fuentes	FECHA	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Al µg/l	Sr mg/l	Li mg/l	Ba µg/l
Putina I	07/10/2005	60	6.3	590	60	12	2,1	4.16	93.0
Putina II	07/10/2005	38	3.2	620	60	44	1,2	4.15	99.0
Secolaque	07/10/2005	50	5.5	340	36	52,1	0,92	2.03	57.0
Río Putina I	07/10/2005	15	5.4	29	5.3	87,0	0,18	0.057	18.5
Río Putina II	07/10/2005	39	6.3	280	32	211	0.84	1.64	28.0
Cuchumbaya	08/10/2005	140	24	640	54	29	2.9	4.16	55.0
Laguna Toro Bravo	17/10/2005	16	11.3	140	57	42	0,24	< 0,02	

Laguna Camaña	17/10/2005	24	4	235	138	161	0,29	< 0,02	
---------------	------------	----	---	-----	-----	-----	------	--------	--

Tabla 5. Resultados de la composición aniónica.

Fuentes	Fecha	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mg/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L
Putina I	07/10/2005	0	106.9	688.1	385.2	5.11
Putina II	07/10/2005	0	41.59	689.5	396.8	7.26
Secolaque	07/10/2005	0	92.68	438.3	129.6	5.04
Río Putina I	07/10/2005	0	36.84	26.52	28.4	5.96
Río Putina II	07/10/2005	0	67.73	346.1	157.64	6.03
Cuchumbaya	08/10/2005	0	218.6	745.3	482.4	3.74
Laguna Toro Bravo	17/10/2005	40.91	136.7	159.1	129.3	129.3
Laguna Camaña	17/10/2005	86.49	242.4	283.3	1320.7	1320.7

Tabla 6. Resultados de la composición de metales pesados

Fuentes	Fecha	Cu mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Co mg/L	Cd mg/L	Ni mg/L	Cr mg/L	As mg/L	Hg µg/L
Putina I	07/10/2005	<0,005	0,058	0,040	0,06	0,154	<0,005	<0,0002	<0,005	<0,005	2,5	<0,2
Putina II	07/10/2005	<0,005	0,005	0,072	0,07	0,039	<0,005	<0,0002	<0,005	<0,005	2,6	<0,2
Secolaque	07/10/2005	<0,005	<0,002	0,027	0,12	0,128	<0,005	<0,0002	<0,005	<0,005	1,5	<0,2
Río Putina I	07/10/2005	<0,005	<0,002	0,013	0,07	0,005	<0,005	<0,0002	<0,005	<0,005	0,01	<0,2
Río Putina II	07/10/2005	0,005	<0,002	0,064	0,28	0,073	<0,005	<0,002	<0,005	<0,005	1,2	<0,2
Cuchumbaya	08/10/2005	<0,005	<0,002	0,066	1,87	0,328	<0,005	<0,002	<0,005	<0,005	3,3	<0,2

Los primeros resultados geoquímicos de aguas obtenidos, muestran que las fuentes termales asociados al volcán Ticsani son aguas **sulfato cloruro alcalinas**, para esta clasificación se ha hecho uso del diagrama de Langelier (Fyticas et al, 1989), Fig 5.19, donde se observa que las aguas muestreadas se ubican dentro del cuadrante de las proporciones químicas Cl<sup>-</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>.

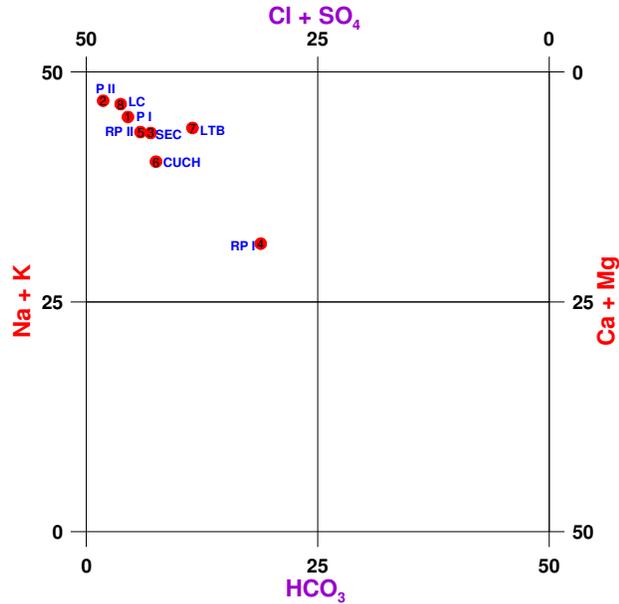


Fig. 5.19 Diagrama de Langelier

El diagrama binario Na-Cl muestran una relación lineal entre todas estas aguas (ver Fig.5.20). Este gráfico sobre la base del contenido de sodio  $\text{Na}^+$  y cloro  $\text{Cl}^-$  divide a las aguas en dos grupos. Las aguas del grupo **A** son aguas con alto contenido de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , característico de aguas que presentan temperaturas altas. Las fuentes de este grupo presentan temperaturas entre 50 a 94 °C. Por otro lado, las aguas del grupo **B** presentan bajos contenidos de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , debido que son aguas frías. También se puede mencionar que la fuente de Secolaque sufre una mezcla con el agua del “Río Putina I” (muestra recolectada antes de mezclarse con las fuentes termales), debido que esta fuente se localiza en el cauce del río sufriendo una dilución, por el cual se ubica dentro del grupo B.

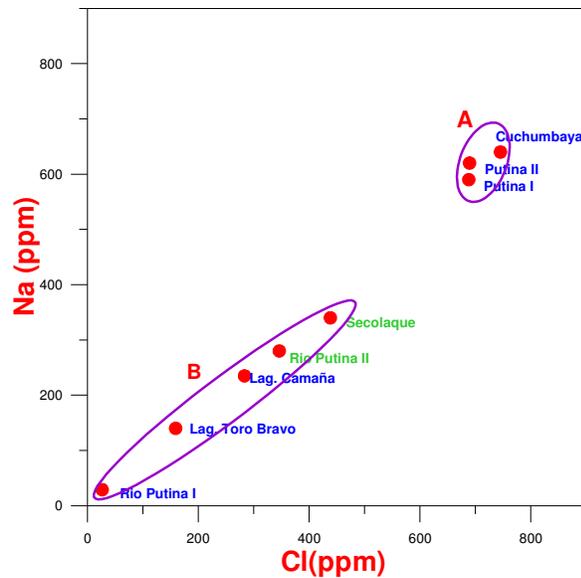


Fig. 5.20 Diagrama binario  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$

Por otra parte, el agua del “Río Putina II” (muestra recolectada al final de la localización de las fuentes termales) (ver Fig. 5.8) es contaminada con las aguas termales localizadas a lo largo del cauce del río Putina, permitiendo el incremento de la concentración de los elementos químicos y su temperatura, esto se observa al correlacionar los resultados químicos del “Río Putina I” y “Río Putina II” aguas recolectadas en el mismo río, pero en diferentes puntos.

El diagrama binario Na/K (monovalente) – Ca/Mg (bivalente) muestra otros tipos de relaciones de las aguas muestreadas (Fig.5.21). Las aguas localizadas a lo largo del río Putina todas están sobre una misma línea (línea roja). Esto también puede significar que las aguas del río Putina pueden ser una fuente de contaminación de las aguas termales. Por otro lado, las aguas de las lagunas Toro Bravo y Camaña presenta una distribución de elementos monovalentes y bivalentes completamente diferentes (línea azul) a las aguas localizadas en el río Putina.

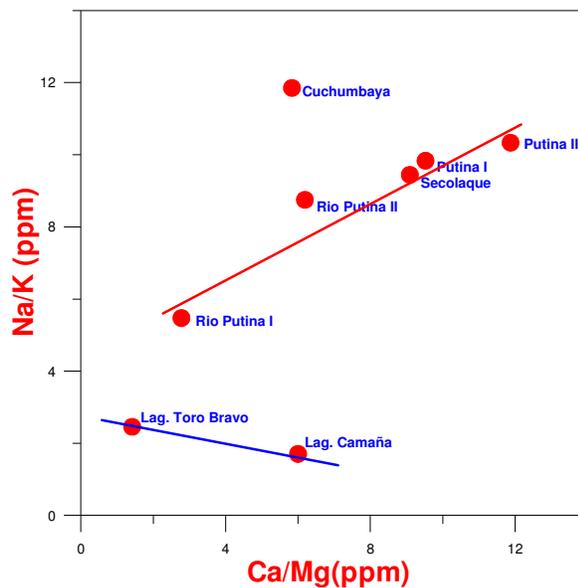


Fig. 5.21 Diagrama monovalente Na/K- bivalente Ca/Mg

Para precisar esta diferenciación se ha hecho uso del diagrama binario K-Cl (Fig.5.22), donde se muestra también la repartición de las fuentes en dos grupos diferentes, apoyando la hipótesis que presentan una distribución diferente de los elementos químicos entre las aguas de las lagunas (Laguna Toro Bravo, Laguna Camaña) y las aguas localizadas a lo largo del río Putina.

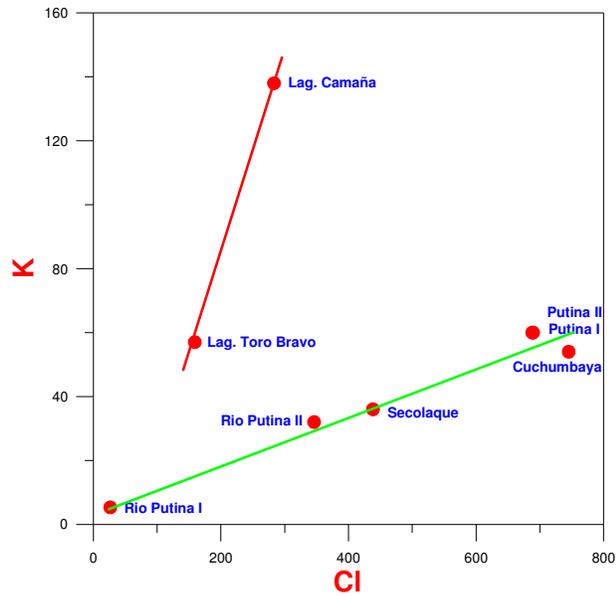


Fig.5.22. Diagrama binario  $K^+ - Cl^-$

Según el diagrama ternario (Giggenbach, 1988), las aguas termales pueden ser divididos dentro de los siguientes tipos hidroquímicos: concentraciones relativas de Na, Ca y Mg, y concentraciones relativas de  $Cl^-$ ,  $SO_4$  y  $HCO_3^-$ .

El diagrama ternario de Na-Ca-Mg se distinguen que las aguas muestreadas se agrupan dentro de aguas alcalinas (Fig. 5.23), caracterizados generalmente por presentar altas temperaturas y posiblemente alto contenido de minerales. Las fuentes termales con altas temperaturas son las que localizan en el cauce del río Putina y la quebrada Quebaya. Las fuentes frías corresponden a la Laguna Toro Bravo y Camaña, y las aguas del río Putina.

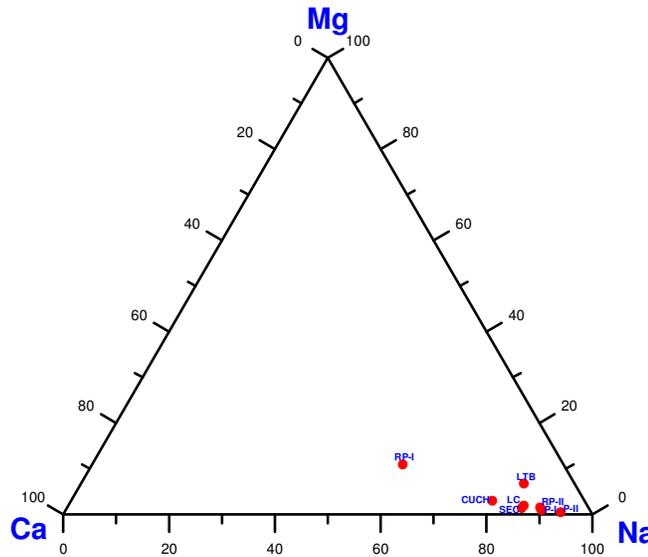


Fig. 5.23. Diagrama ternario Na-Ca-Mg

El diagrama ternario  $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$  (Fig. 5.24, 5.25) ilustra que las fuentes termales se agrupan dentro de las aguas cloruro-sulfatadas. Adoptan esta característica probablemente debido a que a profundidades variables se han mezclado con condensados volcánicos.

Por otro lado se observa que las aguas frías (laguna Toro Bravo y laguna Camaña) presentan mayor contenido de sulfatos, esto podría deberse a la interacción de condensados de gases volcánicos con aguas meteóricas cerca de la superficie. Estas aguas pudieron ser inusualmente ácidos, sin embargo debido a las reacciones de roca – agua influenciada por el pH ácido aparecen nuevos elementos como el sodio (Na), potasio (K) y otros cationes que contribuyen al cambio de su pH en aguas básicas o alcalinas (Fig. 5.23).

El agua del río Putina I se encuentra dentro del grupo de aguas neutras (pH 7), que puede ser modificada con la mezcla con aguas meteóricas, termales, etc.

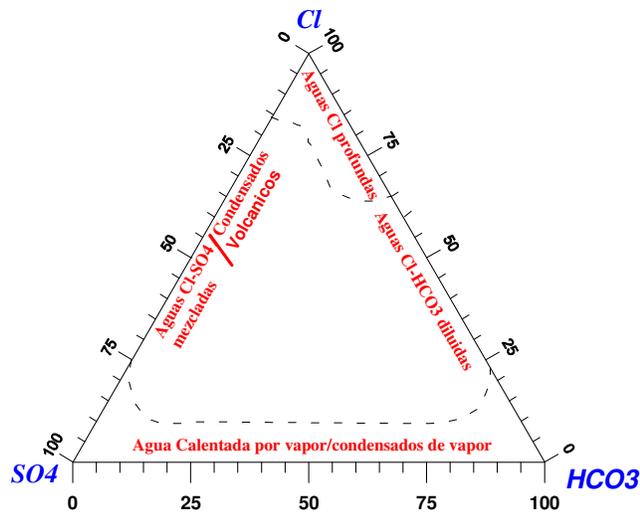


Fig. 5.24. Diagrama Ternario (Giggenbach, 1998)

Los diagramas ternarios ( $\text{Na-Ca-Mg}$  y  $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ ) confirma la interpretación dada por el diagrama de Langelier, que **las fuentes termales asociadas al volcán Ticsani son aguas sulfato cloruro alcalinas.**

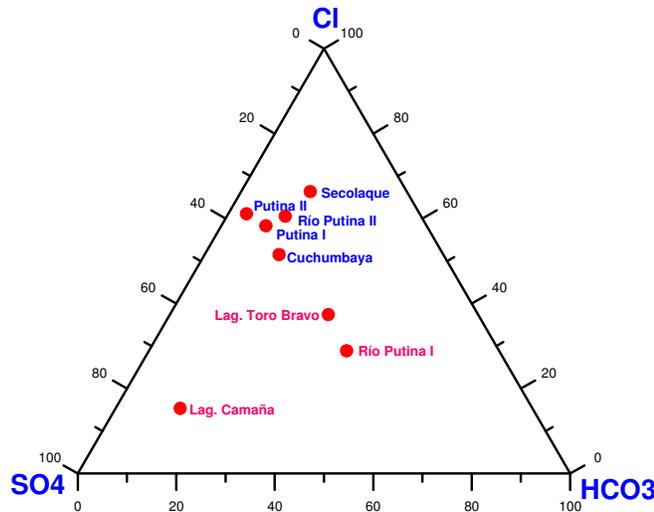


Fig. 5.25. Diagrama ternario Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>

#### 5.2.4 Conclusiones

Los análisis efectuados sobre las aguas termales asociadas al volcán Ticsani muestran que son sulfatos cloruro alcalinos. Las leves variaciones de los parámetros de temperatura y pH encontrados podrían estar relacionadas a los efectos producidos por los eventos sísmicos localizados en un radio de 50 km del volcán Ticsani.

Es posible que los movimientos sísmicos asociados al sistema de fallas o fracturas localizadas en la zona (ver Parte II de este informe), pudieron haber influenciado en la estructura por donde circulan las aguas termales, produciendo: 1) el cierre o el aumento del conducto por donde brotan las aguas termales, 2) fracturamiento de rocas que permiten la aparición de nuevas fuentes termales, 3) un menor o mayor ingreso de aguas frescas a través de las fracturas o fallas donde se localizan las fuente termales permitiendo el incremento o disminución de la temperatura.

A lo largo del río Putina se ha podido observar la presencia de nuevas fuentes termales, así como, la desaparición de fuentes termales. También se distingue que en algunas fuentes ha disminuido la presión de salida del agua a la superficie, como es el caso de la fuente denominada "Geiser de Secolaque". En 1999 esta fuente tenía una altura de aproximada de 9 m, actualmente alcanza a los 4 m. En los alrededores de este geiser observamos la aparición de nuevas fuentes termales.

Por otra parte, las fuentes termales no están relacionadas a la dilución con las aguas meteóricas locales, debido a la ausencia de lluvias. Lo que indicaría que la temperatura de las fuentes puede sufrir un ligero incremento.

Durante la evaluación de las fuentes notamos que los valores de pH no han variado significativamente, lo que indica que las proporciones de los elementos químicos no han sido

modificados. Asimismo en la cima del volcán no se observó ninguna anomalía con respecto al año 1999. Las fumarolas observadas son muy diluidas y blanquecinas que alcanzaban alturas de hasta 1.5 m sobre la superficie. Por el color que presentan las fumarolas pueden contener principalmente vapor de agua.

Por lo tanto, esto puede indicar que el **sistema hidrotermal del volcán Ticsani en la actualidad aparentemente no presenta ninguna anomalía.**

## VI. PROBLEMAS SOCIALES

**Autores:** Juvenal Medina <sup>(1)</sup>, Marco Rivera <sup>(2)</sup>

(1). PREDES, Centros de Estudios y Prevención de Desastres

(2). INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental

### 6.1 El manejo de información y sus efectos derivados

Por lo general ante la ocurrencia de desastres debido a movimientos sísmicos, actividad volcánica, inundaciones, deslizamientos, etc., se dan comportamientos que se caracterizan por el caos, el desorden, el pánico y la desesperación principalmente en las personas de las poblaciones afectadas y sus autoridades, como en las organizaciones e instituciones encargadas de la gestión del desastre. Este comportamiento se debe principalmente a la débil o nula preparación de las personas y autoridades para afrontar emergencias y desastres. Estas carencias están relacionadas con la falta de conocimientos sobre el origen y causas de la ocurrencia de desastres, así como del entorno en el cual se habita.

En la zona del desastre los pobladores fueron sorprendidos por la ocurrencia continua de eventos sísmicos, hecho que los obligó a salir de sus viviendas y refugiarse en las plazas y calles donde se improvisaron albergues temporales a base a carpas, plásticos y otros materiales, algunos proporcionados por el Comité Regional de Defensa Civil, INDECI y otras entidades de apoyo que de han hecho presente en la zona.

En afán de entender el origen de los movimientos sísmicos y dada la cercanía del volcán Ticsani hizo pensar a la población, autoridades, la prensa, etc., que los movimientos sísmicos estaban relacionados a una reactivación del volcán Ticsani y una eminente erupción estaba próxima, lo que hizo temer y crear un desconcierto en la población. Por su parte la prensa de manera alarmante, en todo momento de forma errada relacionaba este evento con una eventual erupción del volcán Ticsani. El problema crecía debido a que se consultaban y recibían opiniones de científicos y técnicos relacionados a este campo, pero que no realizaron trabajos geológicos o geofísicos en la zona.

En tal sentido, es necesario entender que existen instituciones tanto científicas y técnicas nacionales encargadas oficialmente de efectuar estudios de prevención y/o mitigación de desastres. Estas instituciones están obligados a efectuar dicho estudios y difundir sus resultados y recomendaciones los cuales deben ser tomadas muy en cuenta por las autoridades al momento de efectuar planes de desarrollo urbano, reconstrucción, etc..

### 6.2 La evaluación de daños y análisis de las necesidades

La crisis generada por los sismos, ha dejado en las poblaciones afectadas diferentes tipos y niveles de daños en las viviendas, infraestructura productiva, vías de comunicación, instituciones educativas, etc., que era necesario evaluarse de manera objetiva y oportuna, con la finalidad de tener clara la dimensión de los daños y las necesidades que de esta se derivan. Sin embargo, esto ha tenido dificultades en su desarrollo. Los sectores e instituciones involucradas en esta tarea han actuado bajo criterios diferentes, aplicando formatos y lógicas diferentes que recogían datos diferentes, duplicándose así los esfuerzos y en consecuencia retrasando la integración de los mismos.

Determinar las necesidades generadas en un desastre sin una adecuada evaluación de daños es una tarea muy difícil y no permite una intervención adecuada con la ayuda humanitaria. Es importante entender que cada tipo de evento tiene causas diferentes y por lo tanto sus efectos y consecuencias también serán diferentes en función de las condiciones climáticas y ambientales donde ocurren así como las condiciones socio-económicas de las poblaciones afectadas. Así las necesidades que genera un terremoto son diferentes a las generadas por una inundación, por heladas o sequías, según el lugar y las condiciones sobre las que ocurren. En este caso particular los sismos de Calacoa que afectaron las comunidades altoandinas han generado necesidades de techo, necesidades de abastecimiento de agua para consumo humano, para riego de cultivos y la producción pecuaria, por la destrucción de los canales que abastecían a las poblaciones. Necesidades de alimentación para aquellas que perdieron sus enseres domésticos y sus cultivos para falta de riego.

En conclusión, los sismos han generado necesidades persistentes y de larga duración que requieren atención permanente y de cambios en las formas de ocupación del territorio y de aprovechamiento de los recursos.

### **6.3 La atención de las necesidades de la población afectada**

Las dificultades descritas en la labores de evaluación de los daños, ha tenido una repercusión directa en la determinación precisa de las necesidades y en consecuencia de la atención de estas en la población afectada. La falta de datos claros de las necesidades generadas por los sismos, ha hecho que la atención de estas se torne en una actividad impulsada y desarrollada mas por la solidaridad, la intuición y las experiencias previas.

La ayuda humanitaria que fue promovida en un primer momento por el Comité Regional de Defensa Civil con el apoyo de la Dirección Regional de Defensa Civil de Moquegua, si ha sido rápida, ha tenido dificultades para llegar a todas las zonas afectadas, debido a las interrupciones en las vías de acceso, como por la falta de una adecuada evaluación de daños que permitiera conocer la dimensión real, el tipo y la distribución espacial de las necesidades. Los insumos distribuidos en los primeros momentos si bien fueron bien recibidos por las poblaciones beneficiarias afectadas, estos no correspondían directamente a las necesidades prioritarias generadas por los sismos. En muchos casos la solidaridad de las poblaciones e instituciones hacen que se acopien bienes e insumos de diferentes tipos, cantidades y calidades que no se corresponden con las reales necesidades generadas por el evento. Algunas necesidades reales no atendidas. Por ejemplo, en este caso determinadas poblaciones cuyas viviendas tan solo han sufrido rajaduras o agrietamientos en las paredes, han recibido ropa y abrigo sin haberlos perdido. Bajo estas condiciones, muchas necesidades prioritarias quedan sin ser atendidas en la variedad, cantidades y calidad reales.

### **6.4 La rehabilitación y reconstrucción**

La rehabilitación implica el restablecimiento de las condiciones de vida y la reactivación de las dinámicas económicas y sociales en las zonas afectadas, esta requiere ser abordada de manera inmediata para facilitar el retorno a la normalidad y evitar complicaciones que podrían derivar de la no atención oportuna de las necesidades.

Tanto la rehabilitación de los servicios básicos como la reconstrucción de las viviendas e infraestructuras sociales son acciones muy importantes en el proceso post desastre que demandan de decisiones oportunas sustentadas en una evaluación técnica rápida y seria que permite superar las vulnerabilidades que condujeron al desastre.

En este caso particular la rehabilitación de los servicios vitales de los pueblos afectados ha tenido dificultades debido a la interrupción de las vías de acceso. El retraso se ha acrecentado debido a la falta de una adecuada evaluación de daños y los estudios técnicos científicos que permitan definir las alternativas tecnológicas mas factibles y adecuadas ante las condiciones locales adversas y la incidencia de los peligros, así como a las condiciones económicas y sociales y de este modo cumplir con las exigencias establecidas para elaborar sus respectivas fichas técnicas sustentadas y disponer.

## VII. CONCLUSIONES GENERALES

- La instalación de dos redes sísmicas en la zona afectada ha permitido registrar un gran número de replicas entre los días 6 y 20 de Octubre. De estas replicas, ha sido posible localizar un total de 269, todas con magnitudes menores a 3.0 ML y de las cuales algunas fueron sentidas en las localidades de Carumas y Calacoa con intensidades de hasta III (MM) produciendo daños leves a moderados en viviendas de adobe autoconstruidas sin reforzamiento estructural, y mucho pánico en la población.
- La puesta en operatividad de una estación sísmica en el volcán Ticsani por un periodo de 4 días (16 al 19 de octubre), ha registrado un gran número de eventos. El análisis detallado de los registros y de su contenido de frecuencias, ha permitido considerar que todos los sismos tienen un origen probablemente tectónico. Durante el periodo de monitoreo no se han registrado sismos con características típicas de eventos volcánicos.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, el sismo del 1 de octubre (5.4ML) y su serie de replicas habrían sido producidas por procesos de deformación del tipo extensional con ejes de tensión (T) orientados en dirección ENE-OSO. Espacialmente, las replicas se ubican en mayor número en el extremo norte del volcán Ticsani, pero en conjunto muestran una alineación de los sismos en dirección NO-SE, sugiriendo la presencia de una estructura regional que estaría sometida a esfuerzos de tensión. De acuerdo a estos resultados se plantea dos hipótesis:
  - 1) La primera considera que en ambos extremos del volcán Ticsani existen dos estructuras geológicas regionales orientadas en dirección NO-SE, paralelas entre si, que producen un importante proceso de deformación por compresión en dirección NE-SO. Dentro de contexto, es posible que se desarrolle en su interior deformación por extensión, tal como se ha evidenciado con la serie de replicas del sismo del 1 de octubre y por tanto, este proceso podría haber sido la fuente de origen de la crisis sísmica de Calacoa;
  - 2) La segunda hipótesis considera que la sismicidad habría sido producida por el fracturamiento de rocas como resultado de la presión que podría haber ejercido el magma dentro de la cámara magmática del Ticsani. En estas condiciones, la ocurrencia del sismo del 1 de octubre y del mayor número de replicas se habrían producido por una posible ascenso del magma hasta cerca de la superficie. Sustentan esta hipótesis el hecho que el mayor número de replicas se encuentran distribuidas sobre el volcán Ticsani, así como la ocurrencia de estas por un periodo de más de 30 días (en sismos tectónicos, la frecuencia de replicas para un sismo de la misma magnitud, generalmente es de pocos días). La vigilancia volcánica permitirá afirmar o descartar estas hipótesis.
- En los pueblos inspeccionados, Calacoa-Bellavista, San Cristóbal, Sacuaya y Cuchumbaya, la mayoría de las viviendas son de adobe y los daños ocasionados son principalmente agrietamientos de las paredes y caídas de sus fachadas. Muchos de los agrietamientos se produjeron durante los sismos de mayo de 1999, y junio del 2001, y se han reactivado a raíz de los movimientos sísmicos de octubre último.
- Los agrietamientos en las viviendas, obedecen a tres factores: primero, debido a que los muros han sido construidas a base de unidades de adobe unidos con mortero de barro

- sin ningún tipo de elemento estructural que les proporcione un adecuado confinamiento y rigidez, y sobre cimientos de piedra y barro; segundo, los pueblos en mención se hallan asentados sobre un suelo de limo, arena y grava poco competente (depósitos de avalanchas de escombros), y tercero las viviendas están construidas sobre pendientes moderadas del terreno obligando a que los muros no tengan una altura uniforme variando en su rigidez.
- El análisis de los acelerogramas obtenidos por la estación temporal acelerográfica instalada en Calacoa indica que la respuesta del terreno tiene una tendencia a presentar las mayores aceleraciones espectrales alrededor de un periodo de 0.1 segundo, valor que corresponde en forma aproximada a las viviendas de adobe. Esto es producto de las condiciones locales de sitio. Lo cual permite afirmar que ante los sismos de mayor magnitud que han ocurrido en esta zona y próximos que sucedan, las viviendas de adobe han sufrido y sufrirán directamente los efectos de estos movimientos.
  - Los movimientos en masa detonados por el sismo del 01 de octubre de 2005, y sus respectivas replicas consistieron principalmente en caídas de rocas, derrumbes, ligera reactivación de deslizamientos, y agrietamientos de tamaños centimétricos. Estos fenómenos han tenido lugar en zonas de mediana a fuerte pendiente ( $40^\circ$  a  $85^\circ$ ), cuyo macizo rocoso está constituido principalmente por depósitos de avalanchas de escombros poco cohesivos, que tienen entre 200 a 500 m de espesor, cubiertos por depósitos coluviales.
  - La gran mayoría de zonas de derrumbes, caídas de roca, agrietamientos y deslizamientos, se localizan en áreas donde las laderas fueron cortadas para la construcción de la carretera afirmada Calacoa-San Cristóbal, y los canales de agua que abastecen a los pueblos de Calacoa, Bellavista y San Cristóbal.
  - Los deslizamientos antiguos reactivados a consecuencias de los movimientos sísmicos se encuentran sobre depósitos de avalanchas de escombros que forman lomadas que tienen laderas de más de  $60^\circ$  de pendiente. Se hallan al extremo Noreste de Calacoa, y cuya base viene siendo erosionada por el río Putina. Los deslizamientos afectan terrenos de cultivos, pastizales y canales de agua.
  - A raíz de los movimientos sísmicos, importantes canales de agua de consumo humano y regadío de los poblados de Calacoa, Bellavista y San Cristóbal fueron afectados por derrumbes y desprendimientos de rocas. Además, la pared Noreste del reservorio de agua de Vichupampa (Calacoa) fue afectado mediante la formación de grietas que miden entre 1-4 cm de ancho y de 1.5 - 2.5 m de longitud.
  - Las mediciones de temperatura de las fuentes termales muestran un ligero incremento respecto a las obtenidas el año 1999. Este ligero incremento puede deberse a un menor ingreso de aguas frescas a través de las fracturas por donde circulan las aguas termales. Esto debido a que los movimientos sísmicos produjeron derrumbes internos que cerraron fracturas. Por otro lado, el ligero incremento de temperatura también puede deberse a la ausencia de lluvias en esta estación del año no existiendo dilución de las fuentes termales.

- Las fuentes termales alrededor del volcán Ticsani son aguas de tipo sulfato cloruro alcalinas que resultan de la mezcla de aguas de lluvias con condensados de gases volcánicos. Es decir existe una interacción de fluidos volcánicos y aguas superficiales.
- La actividad fumarólica observada en el cráter del volcán Ticsani, y el parámetro de pH de las fuentes termales no muestra variación lo que aparentemente indica que el sistema hidrotermal del volcán Ticsani en la actualidad no presenta ninguna anomalía.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Dada la inestabilidad de los terrenos en laderas de fuerte pendiente es necesario que se estudien alternativas técnicas para la reubicación, diseño y replanteo de canales de agua, antes de proceder a su rehabilitación y/o reconstrucción.
- Limpieza y revestimiento de los canales de agua de regadío y de consumo humano bajo dirección técnica empleando cementos o tubos de PVC.
- Implementar medidas de mitigación como la reforestación de laderas en zonas inestables donde vienen produciéndose fenómenos de erosión de laderas.
- Efectuar el revestimiento del muro del reservorio de agua de Vichupampa e impermeabilizar la base del reservorio.
- Declarar inhabitables todas aquellas viviendas de adobes que presentan agrietamientos moderados a severos, ya que pueden colapsar debido a posibles nuevos sismos que ocurran en la zona.
- Efectuar un estudio geológico estructural detallado del área, a fin de conocer las causas y naturaleza de los sismos, información que debe ser complementada con los resultados del monitoreo sísmico que vienen efectuando la UNSA y el IGP.
- Realizar una evaluación más detallada de los peligros geológicos en el área de Calacoa-Bellavista, Cuchumbaya, Carumas y San Cristóbal. Particularmente aquellos relacionados a movimientos de remoción en masa (deslizamientos, derrumbes, etc).
- Apoyar al CISMID para realizar un estudio de Microzonificación Sísmica en estas localidades afectadas por los sismos, así como una adecuada evaluación de daños en las diferentes viviendas, para caracterizar sísmicamente los suelos y evaluar el tipo de material y sistema estructural que debe emplearse en la construcción de viviendas en estas localidades con la finalidad que tengan un adecuado comportamiento estructural frente a la actividad sísmica futura en la zona. Asimismo instalar una red acelerográfica permanente en estas localidades cuya información ayudará en la microzonificación sísmica.
- Apoyo a INGEMMET por parte de las Autoridades locales y Gobierno Regional para la ejecución de la vigilancia geoquímica de las fuentes termales y gases asociados al volcán Ticsani. Esta vigilancia servirá para establecer una línea base, comparar los resultados y detectar posibles variaciones de los parámetros físicos y químicos de los fluidos asociados a un crisis volcánica. Estos resultados serán relacionados con datos provenientes de la vigilancia sísmica del volcán Ticsani.
- Coordinar con IGP, INGEMMET y CONIDA para realizar estudios de deformación del volcán Ticsani, con el objeto de realizar medidas periódicas que permitan detectar el grado de deformación de la estructura volcánica. Con esta técnica se podrá determinar el posible ascenso del magma o roca fundida hacia la superficie, que eventualmente puedan convertirse en amenaza por eventos mayores. Estos trabajos pueden realizarse por medio de técnicas de GPS o INTERFEROMETRÍA RADAR.

- Continuar con el control periódico de observaciones visuales de la cima del volcán y alrededores, para detectar variaciones en las emisiones de gases, agrietamientos del terreno, etc.
- Coordinar con el IGP, IG-UNSA e INGEMMET para efectuar una vigilancia sísmica permanente o periódica del volcán Ticsani a fin de detectar movimientos sísmicos asociados a una reactivación del volcán.
- Elaborar planes de emergencia local para orientar la actuación de la población, de organizaciones e instituciones involucradas para mitigar los efectos de los fenómenos peligrosos como una futura erupción volcánica. Estos planes deben hacerse en forma coordinada entre los comités de Defensa Civil de Moquegua, con el apoyo de Gobierno Regional, INGEMMET, IGP, ONGs, empresas y grupos de científicos y técnicos. La implementación de estos planes comprenderían campañas educativas a la población que den a conocer diferentes aspectos del volcán para que conozcan las medidas a seguir en caso de una eventual crisis volcánica. Estas medidas deberán incluir también los planes de evacuación.
- Educar a la población de la zona alto-andina de Moquegua a tomar conciencia de los peligros naturales que existen o se producen en su entorno, como la única manera de prever su ocurrencia o los daños que ellos podrían producir. Este trabajo se realizará en coordinación con el Comisión de Ciencia y Tecnología de INDECI – Moquegua, IGP, INGEMMET, PREDES.

## AGRADECIMIENTOS

Las instituciones participantes de este estudio integrado agradecen a las instituciones, autoridades y pobladores de Moquegua por haber brindado el apoyo y/o facilidades en el desplazamiento de los técnicos y diversos equipos a la zona, apoyo en las instalaciones y seguridad de los instrumentos geofísicos:

Nuestro especial reconocimiento al Gobierno Regional de Moquegua, en las personas de:

- Presidenta: Sra A. S. Cristala Constantinides Rosado
- Vicepresidente: Prof. Alberto Portugal Vélez
- Gerente del Proyecto Especial Pasto Grande: Ing. Agapito Mamani Ruiz
- Secretario Técnico del Comité Regional de Defensa Civil Moquegua: Sr. José Luis Peralta Rivera

A los Señores

- Alcalde de la Municipalidad Provincial de Mariscal Nieto, Moquegua: Dr. Vicente Antonio Zevallos Salinas
- Alcalde de la Municipalidad Distrital de San Cristobal: Sr. Marcial Condori Coayla
- Alcalde de la Municipalidad Provincial General Sánchez Cerro: Ing Jorge Farah Quintanilla

Al Director Regional de Defensa Civil INDECI - Región Moquegua, Ing. José Fuentes Flores

Particularmente, PREDES expresa su sincero agradecimiento a Lutheran World Relief, Oxfam GB, así como a las entidades públicas y privadas por las facilidades y apoyo recibido en el desarrollo de la misión. Un especial agradecimiento al Ing Carlos Kihien Collado por su valioso aporte en la investigación realizada, a las organizaciones de base, instituciones y población en general por su valiosa contribución con su información facilitada aún en las difíciles condiciones en las que se encontraban.

El CISMID agradece especialmente al Colegio Departamental de Moquegua del Colegio de Ingenieros del Perú: Ing. Martín Vizcarra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROMBACH, T., MARINI, L. & HUNZIKER, J.C. (2000).- Geochemistry of the thermal springs and fumaroles of Basse-Terre Island, Guadalupe, Lesse Antilles. Bull. Volcanol, 61, 477-490.
- CNDG (2002). El terremoto de la región Sur de Perú del 23 de Junio de 2001. H. Tavera (editor), Instituto Geofísico del Perú, 422 pag.
- CNDG (2005). El sismo de Carumas – Moquegua del 1 de octubre de 2005. [www.igp.gob.pe/cns/](http://www.igp.gob.pe/cns/).
- DeMets et al. (1990). Current plate motions. Geophys. J. Int., 101, 425-478.
- DORBATH ET AL. (1990). Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. Bull. Seism. Soc. Am., 80, 551-576.
- FYTICAS M., KAVOURIDIS T., LEONIS C., MARINI L. (1989) – Geochemical exploration of the three most significant geothermal areas of Lesbos Island, Greece. Geothermics 18, 465-475.
- GARCÍA MARQUÉZ W., (1978) - Geología de los cuadrángulos de Omate, Puquina, Huaitire, Mazo Cruz y Pizacoma. INGEMMET, Boletín N° 29, Lima.
- GIGGENBACH, W. F.,(1988) – Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg- Ca geoindicators. Geochim Cosmochin Acta 52: 2749-2765
- HOCHSTEIN, M.P. & BROWNE, P.R.. (2000).- Surface manifestations of geothermal systems. Encyclopedia of Volcanoes, Sigurdson H., Houghton B. & al. (eds) – Academic Press, p.1417.
- JENKS W.F. (1948) - Geología de la hoja de Arequipa. Boletín Servicio Geológico del Perú, N° 9, Lima.
- MARINI, L., AGOSTINI, A., CIONI, R., GUIDI, M., & LEON, O. (1991). Guagua Pichincha volcano, Ecuador: fluid geochemistry in volcanic surveillance. Journal of Volcanology and Geothermal Res., 46, 21-35.
- MARIÑO, J. (2002).- Estudio geológico vulcanológico y evaluación de peligros del volcán Ticsani (sur del Perú). Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. 160 p.
- MAROCCO R. Y DEL PINO M., (1966) - Geología del cuadrángulo de Ichuña, Bol. Serv. Geol. y Min. N° 14, Lima.
- MENDÍVIL S. (1966) - Geología de los cuadrángulos de Maure y Antavaje. Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín N° 10 - INGEMMET
- NORABUENA ET AL. (1999). Deceleration Nazca-South America and Nazca-Pacific plate motions., Geophys. Res. Lett., 26, 3405-3408.
- OCOLA, L. (1979) Escala MKS – Versión adaptada para el Instituto Geofísico del Perú, Informe Técnico, IGP.

TAVERA, H. Y E. BUFORN (2001). Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology*, 5, 519-539.

UNSA (2005). Análisis y evaluación preliminar de los sismos de Calacoa (Omate-Moquegua), agosto al 10 de octubre 2005. Informe Técnico, Instituto Geofísico de la UNAS. 15 pag.

## ANEXOS

## ANEXO I

### **LINEAMIENTOS Y ORIENTACIONES BASICAS PARA LA GESTION DE LA EMERGENCIA, LA REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DESPUES DE DESASTRES**

**Autores: Gilberto Romero y Juvenal Medina (1)**

1 PREDES, Centro de Estudios y Prevención de Desastres

#### **I. INTRODUCCIÓN**

El presente documento contiene un conjunto de orientaciones básicas y recomendaciones de carácter general que PREDES ofrece como propuesta al conjunto de actores locales y regionales, involucrados en el proceso para actuar con mayor eficacia en situaciones de desastres y en el proceso de gestión de la emergencia, la rehabilitación y reconstrucción.

Cuando ocurre un desastre, por lo general se crean situaciones de crisis que en la mayoría de los casos se torna un caos debido a que ésta rebasa la capacidad de gestión de las organizaciones locales responsables, debido a la falta de organización y orientación del conjunto de actores que intervienen motivados en algunos casos por una voluntad solidaria y en otros por intereses políticos, llevando a cabo una actuación poco coherente con las expectativas y necesidades reales de gestión de la Emergencia después del Desastre.

Las recomendaciones que se alcanzan forman parte de las cinco prioridades de acción comprendidas en el Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, desarrolladas en la Conferencia Mundial de Reducción de Desastres, llevada a cabo en Kobe, Japón en enero del presente año.

Si bien las recomendaciones que aquí se presentan son de carácter general, estas pueden aplicarse en diversas situaciones. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que cada problema específico requiere soluciones específicas, que deben ser adoptadas en el momento y lugar en que se presentan.

#### **II. LA GESTIÓN DE LA EMERGENCIA**

Por lo general la etapa de emergencia es el período en que las condiciones de vida de las poblaciones vulnerables han sido afectadas o están en riesgo por la ocurrencia de un evento peligroso (en este caso un “fenómeno natural”) que está en plena vigencia.

Durante este período hay actividades extraordinarias que prioritariamente deben realizarse empezando con la evaluación de daños de manera integral y con objetividad. Para ello se debe instalar el COE y la Sala Situacional donde todas las comisiones centralizan sus datos. Entre las acciones humanitarias prioritarias se señalan:

- a. Proteger y/o alejar a la población del peligro.
- b. Aprovisionar de alimentos, agua, menaje, etc.
- c. Proveer de abrigo y techo
- d. Atender la salud de las poblaciones:  
Afectada directamente: lesionados, heridos y enfermos  
Afectados Indirectamente: Epidemias o enfermedades generadas por falta de agua o falta de saneamiento ambiental.

Si bien la recuperación debe iniciarse apenas el evento peligroso desaparece, sin embargo, eso no significa que la emergencia termine. Por lo general esta última no tiene un límite preciso de finalización.

Hay determinado tipo de ayuda que debe otorgarse incluso durante la recuperación. Por ejemplo, la entrega de alimentos y el cuidado de la salud, deben continuar mientras se avanza en la reconstrucción, se reactiva la producción y cada persona reencuentra o restablece su vinculación con el aparato productivo como trabajador.

## **2.1 Criterios para asistir a la población durante la etapa de emergencia:**

Uno de los pasos previos y fundamentales para la atención de la emergencia es la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades, EDAN. Esta debe ser realizada por las organizaciones locales (comités locales de Defensa Civil y otros actores locales) tan pronto ha ocurrido el desastre, sin depender de que sean misiones regionales o nacionales quienes lleven a cabo esta labor que, en algunos casos puede tardar mucho tiempo, dependiendo de las condiciones de acceso a la zona del desastre.

Es a partir de la Evaluación de Daños que se puede determinar con objetividad las necesidades que genera la emergencia y que deben ser atendidas, sobretodo aquellas que son prioritarias por estar en riesgo la vida de las personas.

### **2.1.1 Las medidas que se adoptan en la emergencia deben permitir iniciar cuanto antes la recuperación y no retardarla ni obstaculizarla**

Se debe recordar que la ayuda de emergencia que se otorga es provisional y no definitiva o permanente. El tipo de aporte y el monto deben ser pensados en esos términos. No tenerlo en cuenta puede provocar daño a la población a la cual se pretende ayudar. Así tenemos por ejemplo:

#### **- Refugios o albergues temporales.-**

Al designar áreas de refugio temporal para la población que quedó sin casa a consecuencia del evento peligroso, debe considerarse lugares más o menos acondicionados temporalmente que respondan a las necesidades objetivas y subjetivas de la gente. A este respecto, las experiencias de otros desastres indican que apenas ocurrido el desastre la población adopta las siguientes actitudes:

- En primer lugar cada familia desea mantenerse sobre o muy cerca de los escombros de la vivienda devastada, con la esperanza de rescatar algo, cuidar las cosas que les queda o defender su posesión del terreno (sobretodo si no tienen título de propiedad) para iniciar la reconstrucción.

- En segundo lugar suelen ubicarse en las áreas libres contiguas o más cercanas a su vivienda.
- Acuden alojarse a casa de familiares o amigos por la confianza o seguridad que les representa.
- Finalmente, sólo cuando estas otras alternativas están cerradas, acuden a los lugares de refugio temporal designadas por autoridades, a veces en forma coactiva. Las razones de dicho comportamiento son obvias. Por lo general, las áreas de refugio temporal que las autoridades señalan son muy alejadas, inhabilitadas o se designan a destiempo cuando ya la población tomó su decisión.

La entrega de vivienda (como carpas, módulos, “iglos” y otros prefabricados) ha sido en todo caso contraproducente. El comportamiento de la población respecto a la ayuda que reciben está determinado por la situación en que se hallaba antes de producirse los desastres y por los efectos de éste. La población que anteriormente vivía en condiciones precarias, al recibir este tipo de viviendas puede considerarse beneficiada y no aspirar a más.

Algunas viviendas provisionales de larga duración, donadas a los damnificados en ciertos lugares, se han convertido en definitivas con el tiempo y han hecho olvidar a estas familias la necesidad de construir su nueva vivienda definitiva.

#### **- Dotación de alimentos**

Partiendo de la situación que el desastre afecta o interrumpe los medios de vida y la provisión de alimentos de hace imperativo ver la forma de resolver en el menor tiempo posible la dotación de alimentos a las poblaciones afectadas. En este tema es muy importante tener en cuenta lo siguiente un principio básico:

La consecución del alimento a través del trabajo es algo que caracteriza al hombre, lo dignifica y le impulsa a su desarrollo personal y comunal. Por eso el reparto de alimento debe contemplar este factor.

Lamentablemente hubo casos en otros desastres en que la entrega de una dosis (o sobredosis) de racionamiento por parte de los organismos de ayuda, contribuyó a sumir en la desidia a la población de la edad productiva, impidiendo que ésta se sume a las labores de reconstrucción (jóvenes y a veces familias enteras pasaron los días en carpas dedicadas a los juegos de azar)

A este respecto la organización y funcionamiento de las ollas comunes o “comedores populares” bien conducida constituye una buena alternativa.

Permite que la ayuda material en alimentos sea destinada a alimentar a los damnificados y no destinada a negociados, a la venta o permuta y especulación.

- Permite centralización de insumos o bienes alimenticios y una distribución planificada.
- Permite homogenización de la ración alimenticia
- Permite socialización de consumo.

Esta alternativa debe ser impulsada y asumida por la población misma de manera organizada. Permite fiscalización de los recursos.

### **2.1.2 Los recursos que se utilizan para atender la emergencia, en lo posible deben ser locales**

Las demandas de atención en alimentos y otras necesidades vitales que genera la atención de la emergencia post desastre, deben tratar de ser resueltas en la medida de lo posible mediante el uso de recursos o productos obtenidos local o regionalmente. Es necesario incentivar el uso de los recursos naturales, la producción y acumulación local existente, así como apoyar la generación de nuevas actividades económicas en la zona. Es una oportunidad para revalorar o darle valor agregado a la producción local. Esto es válido tanto para materiales que se usan en viviendas provisionales como en el caso de alimentos. También debemos considerar aquí los recursos o capacidades humanas locales (técnicos, profesionales, prestación de servicios, así como de mano de obra) que pueden y deben promocionarse de manera que se aproveche la oportunidad para generar empleo y mejorar los ingresos locales.

Algunas veces la llegada de enormes cantidades de productos foráneos deprime o desplaza completamente la producción local o nacional y a la vez distorsiona el consumo. Los recursos externos deben tan solo deben suplir la incapacidad de la producción, interna o la imposibilidad de movilizar o trasladar esos recursos.

### **2.1.3 El tipo de ayuda debe responder a las necesidades de la gente y no al de las agencias de ayuda.**

Las necesidades de la población, si bien son objetivas y en número bastante reducido, tratándose de una emergencia, sin embargo tiene también componentes de subjetividad y son variables en su forma de satisfacción.

El tipo de alimentos, vestido vivienda, que se otorga deben ser adecuados según el medio cultural. No se debe pretender estandarizar consumo ni imponer costumbres que se suponen son más desarrolladas.

## **III LA RECUPERACIÓN**

Se refiere al restablecimiento del hábitat, de las relaciones sociales y económicas de la población afectada y de la estructura física necesaria, en forma permanente. La recuperación supone al mismo tiempo la creación de nuevas condiciones de seguridad, para no volver a las condiciones anteriores de vulnerabilidad que condujeron al desastre.

### **Criterios básicos**

Toda la experiencia nos muestra que la recuperación depende de tres elementos fundamentales.

1. La capacidad de la población para tomar decisiones e implementar acciones autónomamente. Esa capacidad depende del grado de organización que tiene, en el ámbito económico, social, cultural y político.
2. La posibilidad de acceso de las personas, las organizaciones y las comunidades locales a los recursos esenciales, tales como terreno, materiales, tecnología apropiada, etc.
3. Un marco normativo adecuado, que permita y no impida los 2 elementos anteriores.

#### **IV. LINEAMIENTOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN**

La reconstrucción debe entenderse como un proceso mediante el cual se vuelve a construir aquellas infraestructuras y condiciones físicas y sociales que fueron destruidas o afectadas seriamente por el evento, añadiéndoles los factores de seguridad que permita superar las deficiencias o defectos que marcaron la vulnerabilidad que condujo al desastre vivido. Cuan importante resulta que este proceso de reconstrucción sea al mismo tiempo la oportunidad de crear mejores condiciones de seguridad partiendo del desarrollo de capacidades locales como base.

El proceso de reconstrucción debe seguir los siguientes lineamientos:

##### **4.1 Proceso participativo, concertado y cooperativo**

Debe ser un proceso en el cual participen todos los actores locales involucrados (población de base, damnificada, organizaciones sociales que los representa, instituciones locales, además debe crear condiciones de una intervención concertada de actores y agentes externos que tienen la voluntad y los recursos para apoyar el proceso, entre las entidades sectoriales, financieras como el Banco de Materiales, ONGs, etc. Esto es de suma importancia para coordinar los esfuerzos y capacidades institucionales y evitar la duplicidad, posconflictos de superposición de acciones que van en desmedro de las poblaciones necesitadas distantes o poco accesibles que suelen quedar al margen por la concentración de acciones en localidades de fácil acceso.

Otro aspecto que debe ser tomado en cuenta es que este proceso de promover la autoconstrucción como un mecanismo para desarrollar las capacidades técnicas de las poblaciones, con una adecuada asesoría y supervisión técnica de profesionales o entidades especializadas. Esto permitirá a la vez abaratar los costos de las construcciones y haga posible la replica masiva de técnicas constructivas sismorresistentes, superando así esta variable de vulnerabilidad ante eventos futuros.

##### **4.2 Hacer de la reconstrucción una experiencia piloto exitosa.**

Se debe tomar en cuenta que existen muchos lugares en situaciones de vulnerabilidad y riesgo similares que demandan de una intervención

- La reconstrucción, debe considerarse como obra de la misma población a través de la construcción autoadministrada de vivienda (llamada también autoconstrucción). Las acciones del gobierno central y sus dependencias deben limitarse al restablecimiento de

elementos como infraestructura básica y redes de transporte, las cuales están fuera del ámbito de acción de la población.

La industria de la construcción debe participar en obras públicas (de responsabilidad pública) de uso colectivo para los cuales las maquinarias como la tecnología avanzada son imprescindibles.

La recuperación no se inicia por lo general cuando alguien lo decide oficialmente. La misma población suele iniciar de manera espontánea y a veces equivocada las primeras acciones de reconstrucción.

#### **4.3 Oportunidad para corregir vulnerabilidades y reducir nuevos riesgos**

La reconstrucción es una oportunidad única para mejorar la estructura urbana, incrementando la seguridad y reduciendo la vulnerabilidad frente a desastres futuros. Hay que aprovecharla, para introducir innovaciones, como por ejemplo nuevas técnicas de construcción. Si pasa la oportunidad, nuevamente se producirán las condiciones de vulnerabilidad.

Para ello es fundamental que la reconstrucción se apoye en estudios de riesgos, tomando en cuenta los peligros y vulnerabilidades detectadas previamente, de manera que se oriente la distribución espacial de las nuevas estructuras hacia los lugares con adecuadas condiciones de suelos y que califiquen para el uso requerido (sea urbano, de vivienda, servicios, industrial, etc.)

Los planes de reconstrucción tienen que respetar las necesidades de la población damnificada y sus relaciones sociales y económicas. De lo contrario se puede provocar un desastre por salvar otro.

#### **4.4 Responsabilidades de los Organismos:**

En este proceso es necesario que se distribuyan las responsabilidades de acuerdo a las capacidades y competencias de los actores involucrados así tenemos por ejemplo:

1. El restablecimiento de las actividades productivas, la rehabilitación de las redes de transporte, la rehabilitación de redes primarias de servicios básicos, son tareas que corresponden a las dependencias públicas que operan en la zona afectada.
2. La planificación y planeamientos de las áreas afectadas, la habilitación y saneamiento físico legal de terreno corresponde a los gobiernos municipales.
3. La reparación rehabilitación y construcción de viviendas y equipamiento local corresponde a la población misma y sus organizaciones.
4. La intervención de las ONGs y agentes externos que implementen proyectos de reconstrucción y/o rehabilitación deben ser coordinados plenamente con los órganos de gobierno regional y locales participantes de modo que se otorguen las facilidades y apoyo necesarios para una adecuada ejecución de las acciones.

#### **4.5 Recomendaciones para la reconstrucción**

Hay un conjunto de acciones previas necesarias que deben ser tomadas en cuenta para ser planificadas y llevadas a cabo como parte del proceso, con el fin de darle integridad y sostenibilidad al mismo. Aquí se presenta de manera esquemática las siguientes acciones:

#### **4.5.1 Diagnóstico de la Situación Actual de las localidades afectadas donde se proyecta las acciones de reconstrucción.** Tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Áreas afectadas
- Viviendas destruidas en general (colapsadas)
- Viviendas con daños serios que habría que demoler
- Viviendas con daños leves que se podría rehabilitar
- Censo de damnificados
- Ubicación y situación actual de los damnificados.

#### **4.5.2 Estudio de peligros y de la vulnerabilidad existente**

- Calificación de los terrenos en función de las condiciones geodinámicas y geotécnicas
- Tipos de Peligros recurrentes (aquellos que ocurrieron en el pasado y que podrían recurrir en el futuro)
- Identificación y calificación de las vulnerabilidades de la población local (por ubicación inadecuada, calidad de viviendas, infraestructuras, etc. Nivel de conocimiento o aspectos socioculturales y económicos)

#### **4.5.3 Diagnóstico de las capacidades locales para la reconstrucción**

- Identificación de todos los terrenos con calidad apropiada para fines urbanos que podrían ser utilizados para la reconstrucción.
- Estudio socio-económico de la población y sus actividades existentes y potenciales
- Análisis y selección de terreno en base a los siguientes criterios.
  - a. Calidad geotécnica y potencial de uso urbano constructivo
  - b. Ubicación con respecto a las actividades económicas
  - c. Factibilidad de habilidad y saneamiento físico del terreno.
- Identificación de materiales locales disponibles caña, adobe, material rescatable, láminas, etc.
- Identificación de tecnologías de construcción existentes y posibles innovaciones.
- Identificación de la disponibilidad de herramientas, equipos, etc.
- Identificación de recursos humanos con experiencia y capacidad para el proceso de reconstrucción.

#### **4.5.4 Énfasis en el uso de los recursos y capacidades locales**

En el proceso de rehabilitación y reconstrucción post desastre es necesario incentivar el uso de los recursos naturales, la producción y acumulación local existente, así como apoyar la generación de nuevas actividades económicas en la zona. Tal como se dijo en una de las secciones anteriores, puede verse la emergencia como una oportunidad para revalorar o darle valor agregado a la producción local. Esto es válido tanto para materiales que se usan en viviendas provisionales como en el caso de alimentos. También debemos considerar aquí los recursos o capacidades humanas locales (técnicos, profesionales, prestación de servicios, así como de mano de obra) que pueden y deben promocionarse de manera que se aproveche la oportunidad para generar empleo y mejorar los ingresos locales.

#### **4.5.5 Sistemas constructivos y materiales de construcción apropiados**

La reconstrucción es una oportunidad de adecuar y apropiar tecnologías constructivas que respondan a las necesidades generadas por el desastre, así como a las exigencias de lograr una mayor seguridad que supere las deficiencias y vulnerabilidades que condujeron al desastre y determinaron el nivel de impacto.

Es importante que las poblaciones tengan acceso a la información sobre las diferentes opciones tecnológicas constructivas sismorresistentes que existen, conocer sus bondades y/o ventajas así como sus limitaciones y/o desventajas, de manera que las poblaciones puedan optar de acuerdo a sus posibilidades económicas y expectativas de seguridad y confort.

Las propuestas en este campo deben ser consideradas son las siguientes.

- Albañilería.- que hace uso de ladrillos, hierro y cemento cuyo uso está normado en los reglamentos y códigos de construcción sismorresistente.
- Adobe reforzado: Consiste en tecnología que hace uso de la tierra como material de base y que es un recurso accesible a la mayoría de las familias de menores recursos económicos. Hoy en día existen diseños y procesos constructivos aplicados y validados en procesos constructivos después del sismo del 2001.
- Quincha: Es una tecnología sismorresistente que hace uso una estructura de madera y tabiques de caña trenzada revestida con una torta de barro. Esta tecnología ha sido aplicada en poblaciones ribereñas de Moquegua, Arequipa, Tacna y en la selva peruana.
- Madera: es otra de las tecnologías que si bien tienen una adecuada sismo resistencia, su construcción demanda importante cantidad de maderas lo que hace difícil su replica.

#### **4.5.6 Difusión y capacitación en tecnologías constructivas**

La difusión y capacitación sobre alternativas tecnológicas constructivas puede hacerse a través de construcción de locales demostrativos que pueden ser aulas, postas medicas, entre otros locales de interés comunal, haciendo del proceso constructivo un medio de capacitación, enseñanza y transferencia tecnológica a la población beneficiaria. Se debe priorizar la capacitación de maestros constructores y albañiles locales creando así capacidades para replicar las tecnologías y masificar su uso local. A la vez que se crean mas puestos de trabajo a las poblaciones locales.

#### **4.5.7 Asesoría en el proceso constructivo**

Paralelamente a la construcción de locales demostrativos se deben iniciar labores de asesoría permanente a la población que va a construir sus viviendas. Para el desarrollo de estas actividades deben tomarse en cuenta las organizaciones locales para insertar esta propuesta en la dinámica de la población.

#### **4.5.8 Financiamiento de la vivienda**

Este es uno de los aspectos mas delicados y críticos para la reconstrucción de las viviendas. Considerando la poca capacidad económica de la población damnificada, hay varios aspectos que deben ser tomados en cuenta para establecer las condiciones de financiamiento de la reconstrucción de viviendas, entre estos:

- El monto del financiamiento o costo del crédito
- Las exigencias que deben afrontar los prestatarios
- Las condiciones del préstamo o crédito.

Es importante que los módulos básicos a considerar para el financiamiento deban ser variados y flexibles entre los de albañilería, adobe reforzado y quincha mejorada que son tecnologías sismorresistente que se adecuan a las exigencias de la zona.

## ANEXO II

### EDUCACIÓN Y PREVENCIÓN

*Isabel Bernal*  
*Centro Nacional de Datos Geofísicos*  
*INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ*

#### Introducción

*Desastre y tragedia en el sur de Perú.*

***¡...TERREMOTO...!***

*Cuarenta muertos en Arequipa, Moquegua y Tacna*  
*Mas de 300 heridos en emergencia de hospitales*  
*Número de víctimas puede ser mayor por destrucción de poblados enteros*  
*Cuarenta replicas del sismo mantienen a la población en zozobra*  
*Fueron 90 interminables segundos de terror y pesadilla*

*Diario La Razón (Domingo 24 de Junio de 2001)*

Noticias como la descrita anteriormente, nos llena de asombro e impotencia al no poder hacer nada ante la ocurrencia de este tipo de desastres. El avance de la ciencia, en términos de predicción, no ha dado los frutos que se esperaba debido principalmente a la complejidad del problema; sin embargo, en la actualidad se conoce mucho más de terremotos que años anteriores. Asimismo, el desarrollo de nuevos métodos y el avance en la sismometría a ayudado a comprender mejor a este tipo de fenómeno, pero aún la información con la que se cuenta es poca y requiere de mayores esfuerzos.

De todos los métodos utilizados en predicción, el que proporciona información confiable se le conoce como "Predicción Tectónica" y aunque no permite conocer la fecha de ocurrencia de un terremoto, si indica el lugar donde ocurrirá y su posible tamaño. Esta información es mas que suficiente para tomar conciencia y desarrollar campañas de prevención y mitigación del peligro en todo el sentido de la palabra. Es importante considerar que cuando ocurre un desastre, las personas que sobreviven al mismo no serán las más inteligentes, ni las más fuertes o las más jóvenes, sino que solo se salvaran aquellas que han sido preparadas para enfrentar a este peligro y a los desastres que ellos ocasionan.

La tragedia que causó el terremoto del 23 de Junio de 2001 en la región Sur de Perú, debe ser punto de partida para una profunda reflexión a fin de desplegar en el ámbito nacional, un apropiado programa que conduzca a la población a prepararse para reducir su vulnerabilidad y la del medio que la rodea ante peligros como los terremotos. Al momento de tratar los temas de educación, prevención y mitigación ante un desastre no se trata de alarmar, sino de ir generando un hábito de previsión, una conducta de defensa ante un fenómeno natural que en emergencia, permita reaccionar racional e inteligentemente para protegerse y salvar vidas. En general, las personas están desprotegidas ante este fenómeno porque no existe una adecuada preparación

para las emergencias. Casi siempre, pasado el susto generado por un terremoto, se sigue en la rutina y cuando éste se transforma en desgracia, el lamento y heroísmo van de la mano porque faltó la educación necesaria para poder prevenir y mitigar los efectos del desastre.

### Conceptos Básicos

Desde el punto de vista sísmico, el educar a la población involucra responder algunas preguntas frecuentes usando un lenguaje claro y simple.

- *Qué es un terremoto...?*
- *Donde se producen los terremotos...?*
- *Que significa peligro sísmico...?*
- *Que significa prevención...?*

Se debe tener en claro que todo movimiento del suelo generado por ondas elásticas (ondas sísmicas) grande o pequeño se conoce como terremoto y su tamaño esta en función de la cantidad de energía que estos liberan. En el lenguaje popular, el sismo que frecuentemente genera movimientos suaves en las viviendas y susto en la población se llama *temblor*, mientras que, si el movimiento es fuerte y produce destrucción y muerte es conocido como *terremoto*. Sin embargo, es importante señalar que el grado de destrucción que puede generar un sismo en superficie dependerá de la profundidad del foco que emite la energía, de la distancia a la cual se encuentra ubicado el epicentro (lugar donde se genero el sismo o terremoto) y del grado de vulnerabilidad de la ciudad que es afectada por el sismo.

Para cuantificar o estimar el tamaño de un terremoto se utilizan las escalas de magnitud e intensidad. La escala de *Magnitud* cuantifica la cantidad de energía que libera el terremoto y para medirla se utiliza la escala de Richter. Otro parámetro que también proporciona información sobre el tamaño del sismo es la *Intensidad* y en este caso mide el nivel de daño observado en un determinado punto o lugar; es decir, está en función de los daños o efectos causados por el sismo sobre el hombre y las construcciones. La escala frecuentemente utilizada es la de Mercalli Modificada (MM).

En Perú, los terremotos son producidos o tienen su origen en dos fuentes. La más importante considera a la sismicidad asociada a la fricción de las placas de Nazca y Sudamérica dentro del proceso conocido como subducción. Esta sismicidad se distribuye de Norte a Sur, entre la fosa y la línea de costa, siendo responsable de los terremotos más grandes y destructivos que hayan ocurrido en Perú. La segunda fuente considera los sismos que se producen en el interior del continente, estando estos asociados a la presencia de fallas tectónicamente activas. Esta sismicidad es menor en número y frecuencia en relación con los sismos generados por la primera fuente.

El análisis de la distribución espacial de los sismos de diversa magnitud en el Perú, muestra que el peligro sísmico es inminente y más aún si se considera que el Perú se ubica en una de las regiones más sísmicas del mundo, debido a que forma parte del llamado Cinturón de Fuego del Océano Pacífico y en donde se libera el 80-85% de la energía almacenada en el interior de la Tierra en forma de sismos y erupciones volcánicas. Identificado el peligro sísmico, es necesario contrarrestar sus efectos y para tal fin se debe realizar un programa planificado de *prevención y mitigación* que permita proteger a la población y disminuir eficazmente el impacto del desastre.

## ***Peligro sísmico***

En general, el *Peligro Sísmico* identifica la fuente del elemento que va a evaluar el grado de vulnerabilidad de una determinada localidad, ciudad o emplazamiento. En general, el término peligro está relacionado con los terremotos y es competencia directa de la sismología; mientras que, la vulnerabilidad debe ser evaluada por el ingeniero a quien le interesa el efecto combinado de la ocurrencia de diferentes sismos y las diversas respuestas de una estructura en particular. Identificado el peligro sísmico, su relación con un determinado emplazamiento ó región es definida como la probabilidad de que el parámetro que mide el movimiento del suelo, debido a la ocurrencia de un sismo, sobrepase un nivel de umbral dado para un determinado periodo de tiempo. Es decir, se busca conocer algún valor representativo de la intensidad del movimiento del suelo a fin de ser utilizado en la planificación urbanística y en el diseño antisísmico de las construcciones.

En estas condiciones, el peligro sísmico ha permitido cuantificar la importancia de las dos fuentes sismogénicas presentes en el Perú. Se debe tener en cuenta, que los terremotos producen distintos efectos en las personas y en las construcciones, pero al margen del tamaño del sismo, los efectos también tienen relación con el grado de vulnerabilidad de la zona afectada. Los mayores terremotos ocurridos durante los últimos 65 años, no se encuentran entre los más trágicos ya que las construcciones mejoradas disminuyeron la cantidad de muertes. Suelen ser especialmente catastróficos los terremotos que provocan efectos secundarios como deslizamientos de tierra, licuación de suelos o tsunamis. El terremoto de Mayo de 1970, toma relevancia a escala mundial debido al importante deslizamiento de masas de tierra que prácticamente sepultó a toda la localidad de Yungay en el Departamento de Ancash (50,000 muertos, 20,000 desaparecidos y 150,000 heridos).

En general, para que el peligro sísmico, representado por un terremoto, sea destructivo debe tener un determinado tamaño (magnitud), una cierta profundidad (foco superficial, intermedio o profundo) y distancia con relación a la ciudad más próxima que pueda ser afectada, y el grado de vulnerabilidad de dicha ciudad.

Por otro lado, es evidente que el mayor peligro sísmico debe ser atribuido a los terremotos de magnitud elevada ( $m_b > 7.0$ ); por lo tanto, es importante conocer la distribución espacial y la frecuencia de estos terremotos a fin de intentar prevenir la ocurrencia de los mismos o mitigar sus efectos. Es importante comprender que, sí en una determinada región ha ocurrido grandes terremotos en el pasado, estos volverán a ocurrir en el futuro. De ahí que los terremotos que ocurrieron frente a la costa de Perú como los de 1940, 1966, 1970, 1974, 1996 y 2001 deben volver a producirse en los próximos años; por lo tanto, todas las ciudades y localidades ubicadas a lo largo de la costa y/o próximas a las fallas activas, siempre estarán propensas a ser afectadas por este tipo de peligro.

## **Prevención**

### ***Educación***

Para lograr prevenir y disminuir los efectos que pudiera causar en una determinada región la ocurrencia de un sismo, es necesario educar a su población usando un lenguaje claro y simple, con lo cual debe pretenderse crear un hábito de previsión ante un fenómeno de esta

naturaleza. Con educación la ciudadanía comprenderá, que mientras se viva en un país como el Perú se tendrá que aprender a convivir con los sismos y reaccionar ante ellos de forma racional e inteligente para protegerse y salvar vidas. Es importante que la educación empiece en las familias a fin de preparar a las futuras generaciones.

A la pregunta *¿... Cómo educar a la población...?*

Lo primero que se debe comprender es que todas las personas que habitan en este mundo, siempre están propensas a soportar y sufrir algún tipo de desastre natural (sismos, inundaciones, sequías, incendios, tornados, huracanes, etc.). El Perú no es ajeno a esta realidad y en el caso de los sismos, en los últimos 65 años muchas de las ciudades han sido afectadas por uno de los 18 sismos ocurridos durante este periodo.

Es evidente que el término educación es primordial al momento de asumir con responsabilidad las medidas preventivas ante la ocurrencia de un sismo. La respuesta a la pregunta anterior considera educar a un individuo por medio de charlas, programas de radio o televisivos y simulacros. La efectividad y el éxito de estas medidas dependerá de la continuidad con la que se realicen y de la metodología utilizada para que sean comprendidas y asimiladas por personas de diferentes grados de instrucción educativa. Asimismo, a nivel escolar (inicial, primaria y secundaria) y universitario es conveniente adicionar un curso curricular que considere los temas de prevención y mitigación de fenómenos naturales. La finalidad es buscar se tome conciencia desde muy jóvenes, del peligro al que están sujetos constantemente por vivir en una zona altamente sísmica.

### **Vulnerabilidad**

Una vez identificado los peligros potenciales, desde el punto de vista de la sismología, es necesario evaluar el grado de vulnerabilidad de las grandes estructuras, localidades y ciudades. Sin embargo, para el Perú son pocos o muy puntuales los trabajos que se han realizado a fin de evaluar o cuantificar aquellos parámetros que de alguna manera permiten tener una idea clara del factor vulnerabilidad. A fin de ayudar a tomar conciencia, de que tan preparados están los individuos en el Perú ante la ocurrencia de un sismo, es necesario considerar las siguientes definiciones y conceptos:

#### ***Tipo de suelo***

Muchas de las localidades y ciudades en el Perú se han levantado sobre cuencas, riberas de ríos, laderas de montañas y quebradas. Típicamente, estos suelos son sedimentarios o están formados por conglomerados poco o nada consolidados, de ahí que permitan fácilmente la amplificación de las ondas y por ende produzcan mayor daño en superficie. *De acuerdo al tipo de composición de los suelos se deben dictar las normas antisísmicas convenientes para el control en la construcción de las viviendas, principalmente en las nuevas áreas que se han integrado a las ciudades como producto de la expansión urbana.*

#### ***Tipo de construcción***

Durante la ocurrencia de un sismo, aproximadamente el 60% de las muertes se deben al desplome de viviendas debido a la mala calidad de su construcción. Resultan ser más peligrosas las viviendas de barro y bloquetas, con o sin ninguna estructura de cemento o madera.

Asimismo, los grandes edificios, colegios y complejos habitacionales mal diseñados se convierten en trampas mortales. *Mejorar los métodos de construcción y respetar las normas de construcción antisísmicas resulta ser eficaz para reducir la vulnerabilidad de las ciudades.*

### ***Normas de expansión urbana***

Se producirá un mayor número de muertes y grandes desastres si la población se encuentra concentrada en viviendas pequeñas y áreas limitadas. La densidad o turgurización de la población en las grandes ciudades como Lima es muy alta y mucho mas en las áreas con construcciones antiguas o en los nuevos asentamientos humanos, constituyéndose un peligro potencial. *Para solucionar este problema es necesario contar con normas de urbanización y control de la expansión urbana.*

### ***Edad de las construcciones.***

Las ciudades más importantes del mundo, como es el caso de Lima, Arequipa y otras, tienen muchos años de fundadas y por lo tanto, cuentan con viviendas y/o edificaciones de siglos anteriores aun en funcionamiento. Este tipo de construcciones, dañadas por el paso del tiempo, no resultan ser recomendables para vivir debido a la alta probabilidad de que sufran colapsos e incendios. *Para contrarrestar esta situación debe realizarse evaluaciones del estado actual de las construcciones y sus respectivas reparaciones cada cierto periodo de tiempo.*

### ***Señalización de seguridad en las viviendas y edificaciones.***

Es frecuente observar que durante el desastre prevalece la confusión y el caos a fin de escapar de los edificios o lugares cerrados y muchas veces se toman rutas de mayor peligro causando la muerte de muchas personas. *A fin de evitar este tipo de accidentes toda edificación debe contar con una buena señalización antisísmica.*

## **Medidas Preventivas**

Es frecuente oír a las personas decir ante la posible ocurrencia de un desastre,

*¡ debemos estar siempre preparados...!*

y para tal efecto poco o nada se hace a fin de pretender que la población este realmente preparada. En tal sentido, a continuación se indica algunas recomendaciones para contrarrestar los efectos que pudieran causar los sismos.

- La Construcción o Reparación de Viviendas deben ampararse en códigos de construcción previamente establecidos o ser realizados por especialistas en la materia.
- Realizar estudios técnicos a fin de evaluar la resistencia de las edificaciones para determinar posibles áreas a reforzar o reconstruir, así como los lugares más seguros o más susceptible de daños
- Planificar y Organizar junto a sus familiares y vecinos la evacuación de las viviendas. Es necesario extender este plan hacia su lugar de trabajo y la escuela.

- Mantener a mano los teléfonos de emergencia (Defensa Civil, Bomberos, Cruz Roja, Policía, Médicos), una lámpara de mano, extinguidor de incendios, agua embotellada y comida enlatada para unos tres días, destapador de latas y botellas. Asimismo, tener a mano un silbato como sistema de alerta y para pedir ayuda, además de llevar siempre sus documentos de identidad.
- Aprender primeros auxilios
- Identificar los lugares mas seguros dentro de cada vivienda, revisar que las salidas principales y alternas estén libres de obstáculos
- Fijar bien los muebles en la pared o en el piso
- Aleje la cama de lugares peligrosos como roperos y muebles donde se colocan Televisores, Equipos de Sonidos, VHS, Computadoras, etc.
- Coloque los objetos grandes y pesados en lugares bajos o en el suelo.
- Mantenga en un lugar visible y accesible previamente establecido, copia de la llave de su casa u oficina y no la cambie de lugar
- Reúnase con sus vecinos y evalúe los recursos disponibles de la comunidad (médicos, constructores, ingenieros, equipos de comunicación, provisiones etc.)
- Durante un terremoto, tratar de mantener la calma y ponerse a salvo y después del terremoto, prestar auxilio a los que lo necesitan

### **Conclusiones**

El grado de destrucción que cause un sismo, *no depende de su magnitud*, mas bien depende del grado de vulnerabilidad de las personas, ciudades y construcciones ante el peligro que viene a ser el sismo en sí.

La vulnerabilidad de los habitantes de Perú, debe ser evaluada a partir del grado de conocimiento o educación que cada individuo ha recibido y asimilado sobre los desastres a los cuales esta expuesto, su potencial y como se ha preparado para afrontarlos. La ocurrencia del terremoto del 23/06/2001 ha demostrado, que esta tarea esta incompleta.

Es importante realizar campañas de prevención orientadas básicamente a la educación de los individuos, tratando de que este no sea un privilegio. Deben dictarse cursos y charlas sobre prevención de desastres en colegios, universidades, institutos y centros de trabajo. El objetivo es reducir el nivel de vulnerabilidad de los individuos.

Como punto principal se debe crear consciencia de los peligros a los que se está expuesto y valorar su propia existencia para cumplir a cabalidad con estos objetivos.

La experiencia vivida por lo pobladores ante la ocurrencia de sismos, ha permitido considerar de manera general, que los problemas principales que llevan a las personas a ser víctimas fáciles a estos fenómenos son: 1). Los problemas económicos que conlleva a familias

enteras a buscar medios infrahumanos para subsistir y 2) la existencia de un total desinterés y apatía de las personas ante la educación preventiva. En estas condiciones es evidente que poco importa los peligros naturales a los cuales se está expuesto y que pueden repetirse en un futuro muy cercano.