

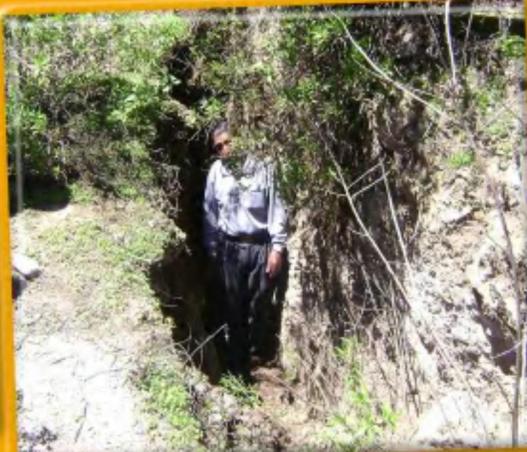
Informe Técnico N° A6447

# Reactivación del deslizamiento de Amata

Distrito de Coalaque - Región Moquegua

POR:  
CARLOS BENAVENTE ESCÓBAR  
MALENA ROSADO SEMINARIO

MARZO 2011



## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	ANTECEDENTES	3
3.	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	4
4.	GEOMORFOLOGÍA	5
4.1	UNIDAD DE DEPÓSITOS DE PIEDEMONTE Y MOVIMIENTOS EN MASA	6
4.2	UNIDAD DE LADERAS DE MONTAÑAS RAMIFICADAS EN ROCAS SEDIMENTARIAS	6
5.	GEOLOGÍA LOCAL	6
6.	MOVIMIENTOS EN MASA	9
6.1	GENERALIDADES	9
6.2	DESLIZAMIENTOS EN AMATA	9
7.	PELIGRO SÍSMICO	15
7.1	FALLA PURGATORIO	16
7.2	FALLA SAMA CALIENTES	17
7.3	FALLA INCAPUQUIO	18
7.4	CORREDOR ESTRUCTURAL ACTIVO DEL ARCO VOLCÁNICO ACTUAL	19
	CONCLUSIONES	23
	RECOMENDACIONES	24
	REFERENCIAS	25

# **REACTIVACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE AMATA**

## **Distrito de Coalaque, provincia de Omate, región Moquegua**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El Ingeniero Martín A. Vizcarra Cornejo, presidente del Gobierno Regional de Moquegua, solicitó al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), mediante oficio N° 153-2011-P/G. R. MOQUEGUA, el apoyo técnico de la institución con la designación de dos profesionales para realizar la Estimación de Riesgo en la localidad de Amata, distrito de Coalaque, provincia de Sánchez Cerro.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGENMET, según el marco de la actividad "Apoyo Técnico a las Comunidades" designo a los profesionales Carlos Benavente Escóbar y Malena Rosado Seminario para prestar apoyo técnico en la evaluación de la zona en cuestión.

Se realizaron las coordinaciones con el Ing. Agapito Mamami Gerente de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Región de Moquegua, efectuándose el trabajo entre 01 al 04 de marzo. En la Municipalidad Distrital de Coalaque, nos reunimos con el alcalde, Sr. Ruben Yucra Callata, el Ing. Luis Romero Gonzales jefe de obras públicas del distrito de Coalaque, Sr. Cecilio Apaza presidente de la comunidad de Amata y el Tec. José Costa Martínez, Secretario Técnico de Defensa Civil de la provincia Sánchez Cerro, quienes nos informaron de los hechos que venían aconteciendo en el poblado de Amata.

Este informe se pone en consideración de la Oficina Regional de Defensa Nacional y Defensa Civil del Gobierno Regional de Moquegua y de la Municipalidad Distrital de Coalaque. Se basa en las observaciones de campo realizadas durante la inspección, interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales, versiones de los lugareños, así como de la información disponible de trabajos realizados anteriormente en el área de estudio.

### **2. ANTECEDENTES**

El 15 de mayo del 2001 se produjo un terremoto de 8.4 Mw frente a las costas de Arequipa, el cual afectó a muchas localidades del sur del Perú. Como consecuencia del sismo, Amata sufrió rajaduras y daños en algunas viviendas (información verbal) así como se presentaron las primeras grietas en el terreno de aproximadamente 5 cm de longitud, las cuales fueron rellenadas por los pobladores y no le dieron la importancia debida.

En el 2011, entre el 28 de enero y el 05 de febrero fuertes precipitaciones excepcionales, afectaron el sur del país; siendo una de las zonas más afectadas el centro poblado de Amata. Donde el terreno se agrieto, llegándose a deslizar y a afectar varias viviendas, campos de cultivo y canales de riego.

El 15 de febrero, el Ingeniero Geólogo Rosendo Soncco Landio, realizó una visita técnica al poblado y elaboró un pequeño informe del deslizamiento, al que denominó inapropiadamente “falla geológica”, en el cual sugiere lo siguiente:

- Como medida inmediata se debe reubicar a la población por encontrarse en una zona de PELIGRO MUY ALTO.
- A la Unidad de Defensa Civil tanto Distrital, Provincial y Regional recomienda asistir, con implementos básicos, capacitación y sensibilizar a la población afectada por el peligro durante y después de la reubicación.

### **3. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

El poblado de Amata pertenece al distrito de Coalaque, provincia de Sánchez Cerro, departamento de Moquegua (Figura 1), a 2990 msnm en la margen derecha del Río Amarillo, cuyas coordenadas UTM (WGS 84) son: Norte: 8162020 y Este: 277822

El acceso a la zona de estudio se puede realizar de dos maneras:

- Desde Arequipa se toma la carretera asfaltada hasta Characato, luego se continúa por la carretera afirmada hasta Coalaque, pasando por Pocsi, Polobaya y Puquina. A unos 20 Km antes de llegar a Coalaque, se toma un desvío en trocha de 7 Km hacia el poblado de Amata.
- También se puede llegar, desde Moquegua por la carretera asfaltada hasta Torata, luego se coge la carretera afirmada que pasa por Quinistaquillas, Omate hasta Coalaque, de ahí 12 km por trocha hasta Amata.



Figura 1: Mapa de ubicación

#### 4. GEOMORFOLOGÍA

Geomorfológicamente, el área se ubica en la **Zona de Relieve montañoso fluvio-erosional**, modelada por erosión hídrica pluvial – fluvial, en combinación con diferentes movimientos en masa (deslizamientos, flujos), que actúan en rocas sedimentarias poco competentes. Montañas de diferente elevación, cimas estrechas, laderas empinadas y valles en “V”, con drenaje subparalelo moderadamente denso.

Se han logrado diferenciar las siguiente sub unidades:

#### 4.1 UNIDAD DE DEPÓSITOS DE PIEDEMONTE Y MOVIMIENTOS EN MASA

ABANICOS PROLUVIALES: acumulaciones asociadas al material depositado en el valle por flujos o cárcavas, en este caso tienen pendientes mayores a 40°.

ABANICOS COLUVIO – DILUVIALES: depósitos de laderas procedentes de caídas y desprendimientos de rocas, flujos no canalizados, mezclados con ceniza, y que carecen de forma externa característica. Se localizan en forma continua al pie de las laderas.

DESLIZAMIENTOS: acumulación de materiales asociados a los deslizamientos. Se caracterizan por su topografía algo irregular, cóncava en sentido longitudinal, con pendientes moderadamente empinadas (35°) y un patrón de disección distributivo de baja densidad. Internamente estos materiales aparecen mezclados irregularmente. A menudo con grandes bloques de roca dispersos en la masa, característica que hace que estos materiales se comporten irregularmente en sismos. Sobre estas geoformas se encuentra asentado la localidad de Amata. Es importante mencionar, que se pueden diferenciar deslizamientos antiguos y los reactivados sobre ellos.

QUEBRADAS O CANALES FLUVIALES DE ESTIAJE: incisiones fluvio - erosionales (cárcavas) en “V”, subparalelas, donde discurre el agua solo en épocas de precipitaciones (en algunos, pueden discurrir agua producto de las filtraciones aguas arriba).

#### 4.2 UNIDAD LADERA DE MONTAÑAS RAMIFICADAS EN ROCAS SEDIMENTARIAS

Modelado de tipo fluvio – erosional, debido a la baja resistencia a la meteorización y a la erosión pluvial – fluvial de las rocas sedimentarias (lutitas muy deleznales, areniscas calcáreas con nódulos calcáreos) que conforman el sustrato de esta unidad. Relieve con diferente elevación y pendientes de las laderas mayores a 35°, cimas estrechas e incisiones lineales en “V” (canales fluviales o quebradas de estiaje). Destacando cicatrices de deslizamientos antiguos, flujos de detritos y desprendimientos de rocas.

### 5. GEOLOGÍA LOCAL

Las principales rocas que afloran en el área de Amata son **lutitas muy deleznales y areniscas calcáreas con nódulos calcáreos** de la Formación Cachjos (Jm-ca), perteneciente al Grupo Yura del Jurásico medio. Es característica en la zona la presencia de una gruesa capa de cenizas volcánicas de la erupción del volcán Huaynaputina en el año 1600, como se muestra en la Figura 2. El mapa geológico generalizado del área de presenta en la Figura 3 (García W., 1978).

Estos materiales, localmente están cubiertos por **depósitos coluviales** compuestos por gravas envueltas en una matriz limoarcillosa; con clastos de calizas, granodiorita y areniscas, subredondeados y diámetros de hasta 0.50 m en la zona evaluada. Son producto de los movimientos en masa (deslizamientos, caídas de rocas, derrumbes); material considerado muy susceptible a la incentivación sísmica (asentamientos diferenciales y agrietamientos en el suelo y viviendas). **Depósitos proluviales** compuestos por gravas subredondeadas, producto de las acumulaciones de los flujos de detritos (huaycos); y **depósitos de tefras** compuestos por cenizas producto de la última erupción del volcán Huaynaputina.

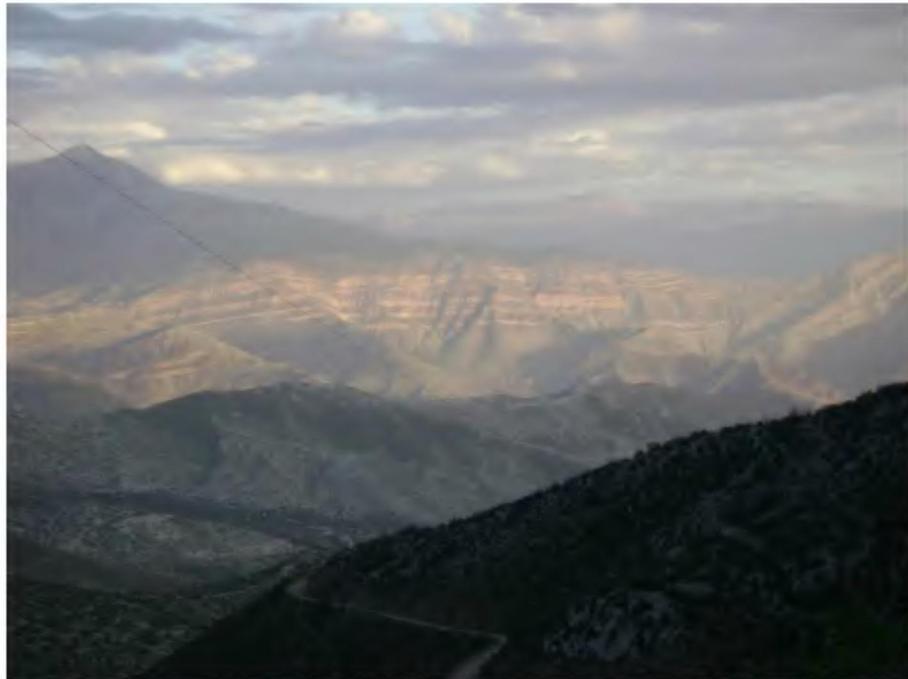


Figura 2: Formación Cachios.

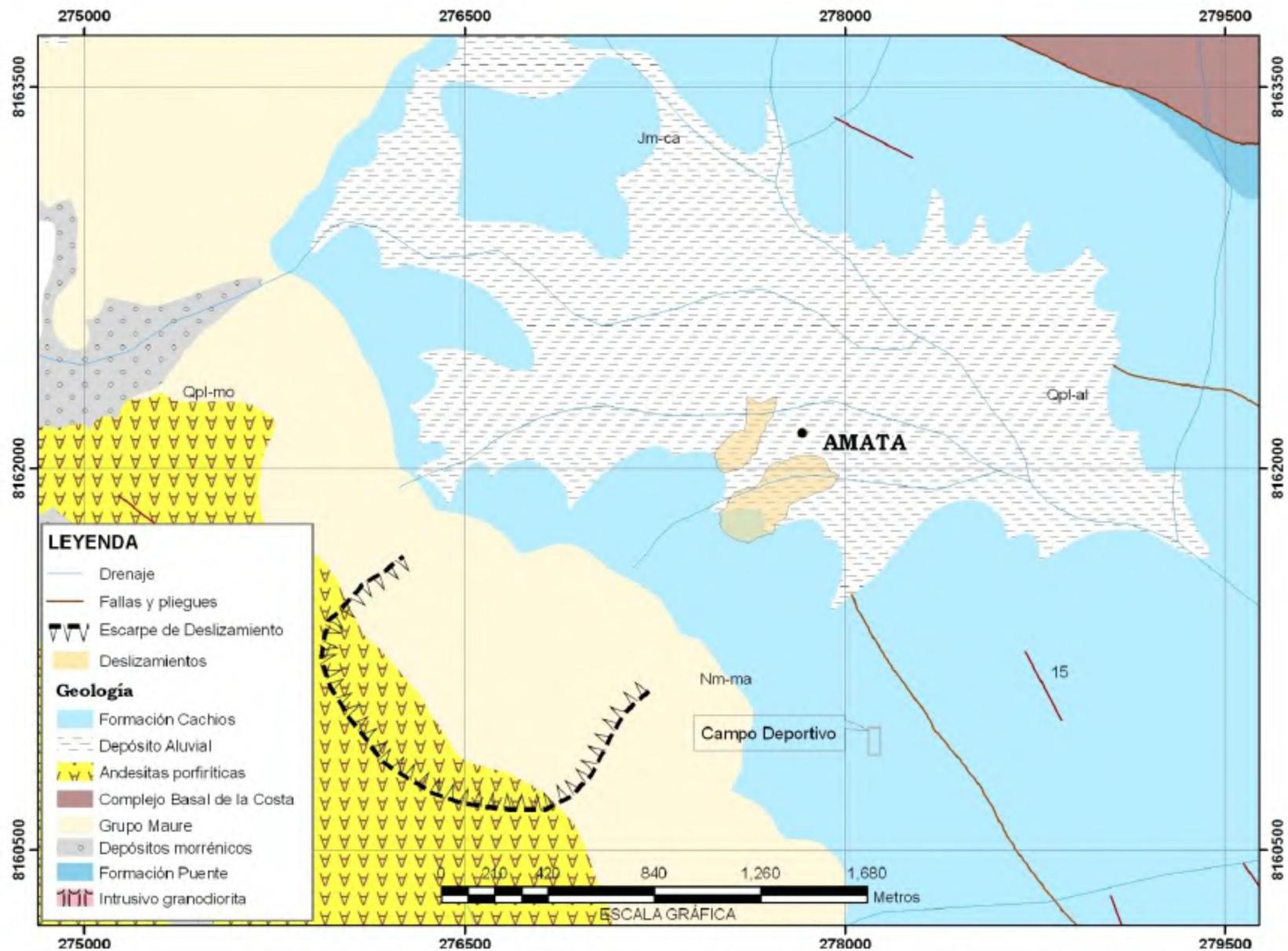


Figura 3: Mapa geológico. Base geológica tomada de la Carta Geológica Nacional – INGEMMET.

## 6. MOVIMIENTOS EN MASA

### 6.1 GENERALIDADES

Para la descripción y evaluación del Deslizamiento de Amata, se ha tomando como base la Clasificación de Varnes (1978, 1996) y Hungr et,al. (2001), y la terminología sobre Movimientos en Masa en la Región Andina preparado por el Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007).

El cartografiado geomorfológico y geodinámico ha permitido diferenciar en el área de Amata, procesos de movimientos en masa, que a continuación describiremos.

- a) **DESLIZAMIENTOS:** Son movimientos de ladera debajo de una masa de suelo y roca, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Los deslizamientos cartografiados en el área son del tipo rotacional; las reactivaciones se ubican en el cuerpo (parte media) de un deslizamiento antiguo, así como también en la parte inferior de éste, presentando escarpas activas semicirculares a rectas.
- b) **CAIDAS (DERRUMBES):** Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consiste en el desprendimiento y caída repentina de una masa de suelo o rocas o ambos, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical con ayuda de la gravedad. Son producidos o reactivados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o áreas costeras o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes), y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas. En la zona de estudio estos fenómenos se dan sobre la masa desprendida, se asocian generalmente a erosión en surcos, cárcavas, así como material de flujos recientes. Un evento de estos se puede apreciar en el flanco izquierdo ubicado en la base del deslizamiento.
- c) **FLUJOS DE DETRITOS:** Se trata de flujos de material detrítico y fino, que se activan con precipitaciones estacionales, debido a la escorrentía superficial, estos depósitos transcurren principalmente a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada, en Amata las cárcavas constituyen los medios de transporte del material.

### 6.2 DESLIZAMIENTOS EN AMATA

En la ladera noreste del cerro Amata, margen derecha del río Amarillo, las características topográficas y morfológicas sugieren la existencia de un antiguo deslizamiento, entre la cota 3925 (superior) y 2950 (inferior) cuya

cabecera está limitada por roca (Figura 4). Los deslizamientos de Amata se ubican en el cuerpo de la masa desplazada de este gran deslizamiento. Se tratan de deslizamientos de tipo rotacional ya que la masa se movió a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava.

Los deslizamientos antiguo tienen forma semicircular y hacia la parte media se localiza el cuerpo del mismo, donde se acumula gran parte del material deslizado. En este sector se reactivaron, “detonados” por las intensas precipitaciones pluviales de inicios del presente año, deslizamientos. Generando grietas tensionales de hasta 3.20 m de escarpe, 1.20 m de abertura y 70 m de longitud (Figuras 4 y 5).

De igual forma, en el cuerpo del deslizamiento se han identificado procesos de erosión en cárcavas, debido a la filtración de aguas subterráneas y a las fuertes precipitaciones pluviales.

A continuación pasamos a describir los movimientos en masa del sector evaluado.



Figura 4: Abertura de la grieta principal del deslizamiento de Amata.



Figura 5: Grieta tensional del deslizamiento de Amata.

- a) **DESLIZAMIENTO AMATA 1:** Es de tipo rotacional y se ubica al SE del área (Figura 6), con una longitud de 160 m de corona, un ancho promedio de 180 m y una longitud de 480 m entre la corona y la punta del material depositado. El material involucrado en el deslizamiento es del tipo gravas con clastos subangulosos de hasta 0.50 m de diámetro mayor y matriz limo arcillosa de color rojo; correspondiente a un depósito de tipo coluvial, producto de los materiales del antiguo deslizamiento. Además este material evidencia procesos de erosión superficial (cárcavas) debido a la escorrentía superficial producto de las intensas precipitaciones pluviales.

Las lluvias acontecidas en los meses de enero y febrero del presente año, reactivó la parte intermedia del deslizamiento Amata 1, generándose un proceso de remoción complejo, con escarpas rectas e irregulares, desplazamientos verticales importantes y empuje de material hacia el río.

Dentro de toda esta masa reactivada se generaron grietas tensionales semicirculares de diferentes escalas, teniendo la más importante las siguientes dimensiones (Figura 7):

- Longitud : 95 m.
- Desnivel de la superficie : 3.20 m
- Apertura : 1.60 m
- Dirección del desplazamiento : 82°NE

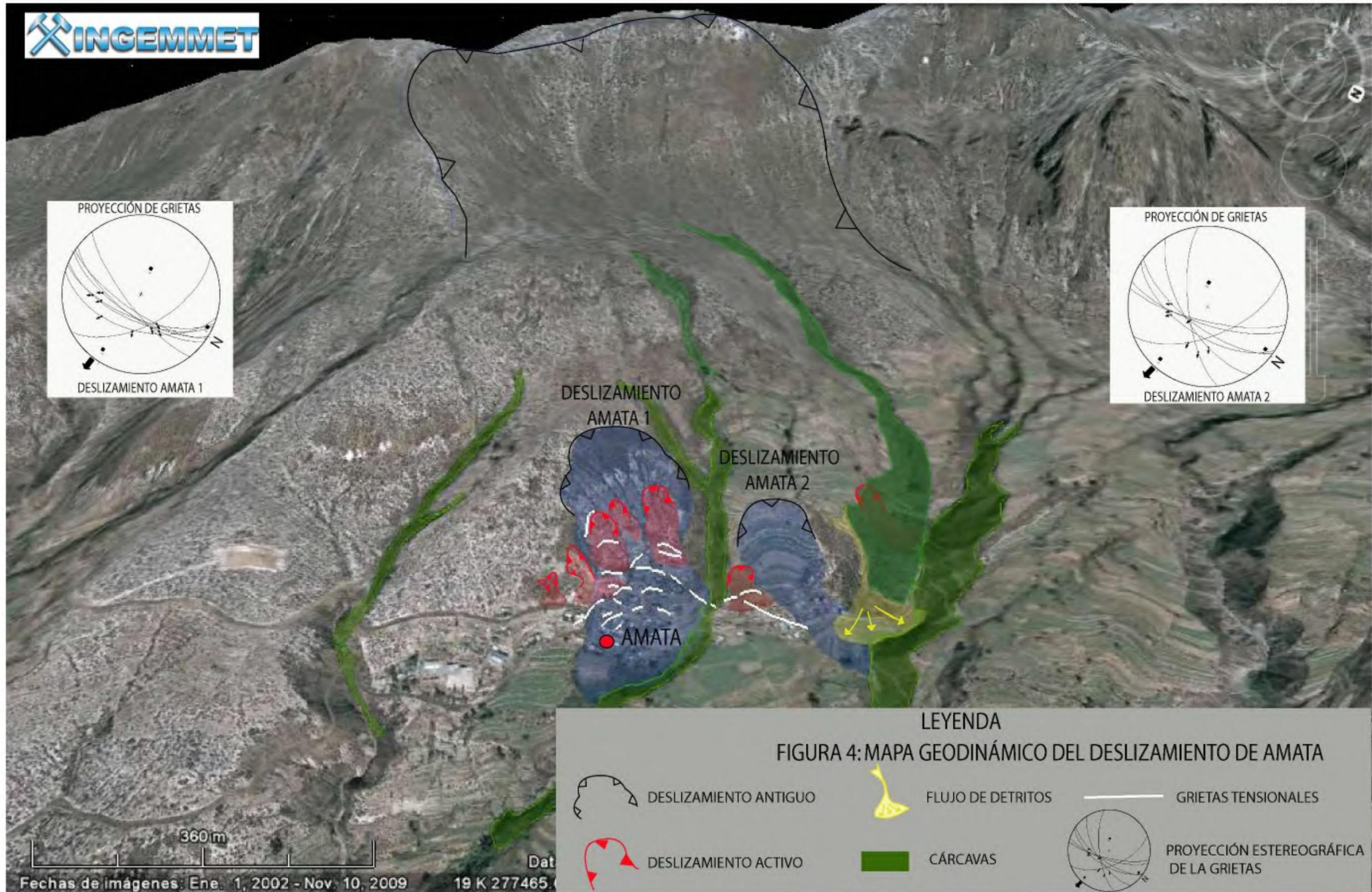


Fig. 06: Mapa Geodinámico del poblado de Amata.



Figura 7: Escarpe principal del deslizamiento de Amata 1.

Con la finalidad de determinar el área afectada por este deslizamiento, realizamos el cartografiado y medidas de las dimensiones de las grietas, llegando a determinar que la masa del deslizamiento se movió con una dirección al SO (Figura 4), generando grietas que afectaron viviendas (Figura 8), áreas de cultivo, canales de riego y vías de acceso.



Figura 8: Vivienda de Amata afectada por las grietas generadas a partir de la reactivación del deslizamiento.

- b) **DESLIZAMIETO AMATA 2:** Es de tipo rotacional y se ubica al NW del área (Figura 4), con una longitud de 102 m de corona, un

ancho promedio de 95 m y una longitud de 350 m entre la corona y la punta del material depositado. El material involucrado en el deslizamiento es del tipo gravas con clastos subangulosos a redondeados de hasta 0.35 m de diámetro mayor y matriz limoarcillosa de color rojo; correspondiente a un depósito de tipo coluvial y producto de un antiguo deslizamiento. De igual forma que el deslizamiento anterior, la superficie de este deslizamiento se encuentra cubierta por las cenizas volcánicas, que debido a su baja compactación evidencia procesos de erosión debido a la escorrentía superficial.

En el deslizamiento de Amata 2, se pueden apreciar escarpas secundarias, terreno escalonado hacia el valle, así como la presencia de ojos de agua y manantiales. Las lluvias acontecidas en los meses de enero y febrero del presente año, también reactivaron parte de la masa deslizada (Figura 4) de un antiguo deslizamiento, generando escarpes irregulares y grietas tensionales semicirculares de diferentes escalas y con empuje de material hacia el río.

Las grietas tensionales semicirculares más representativas de este sector tienen las siguientes longitudes (Figura 9):

- Longitud : 112 m.
- Desnivel de la superficie : 1.8 m
- Apertura : 0.45 m
- Dirección del desplazamiento : 63 °NE



Figura 9: Grietas tensionales ocasionadas en el deslizamiento Amata 2.

En consecuencia, la predisposición morfológica, el material heterogéneo y de comportamiento irregular (producto de

deslizamiento), las fuertes lluvias del presente año, fueron los factores que reactivaron los deslizamientos de Amata 1 y Amata 2, afectando viviendas, áreas de cultivo, canales de irrigación (Figura 10) y vías de comunicación.



Figura 10: canal de irrigación afectado por la reactivación del deslizamiento.

## 7. PELIGRO SÍSMICO

La amenaza producida por los terremotos, constituye un factor de riesgo sísmico al cual se encuentra sometido un territorio; de ahí que los daños que provoquen dependerán de su magnitud y la capacidad de respuesta de las estructuras a la aceleración a la cual son sometidas. La correcta equivalencia entre estos dos factores permitirá reducir los daños causados por este tipo de desastres.

En el Perú se producen sismos interplaca e intraplaca, los primeros son producto del contacto de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, estos puede tener magnitudes  $>8$ , mientras que los sismos intraplaca se originan por los esfuerzos que produce la subducción de la Placa de Nazca por debajo de la Placa continental Sudamericana.

Del mismo modo, a lo largo de todos los Andes peruanos se observan fallas activas, es así que uno de los sistemas de fallas más importantes del Perú se ubican en la Cordillera Occidental y el Arco Volcánico Actual, exactamente en entre las regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna. Entre las fallas más importantes y cercanas al área evaluada tenemos:

## 7.1 FALLA PURGATORIO

La Falla Purgatorio Mirave (FPM) se ubica en la vertiente pacífica de la Cordillera Occidental del sur del Perú (Figura 11), entre los departamentos de Tacna y Moquegua.. El extremo Sureste de la FPM se conecta al Sistema de Falla Incapuquio.

Por su geometría, morfoestructura y cinemática; la FPM se puede dividir en tres segmentos: El segmento Este presenta una traza de falla rectilínea, morfoestructura bien conservada y último movimiento de tipo inverso. El segmento Central presenta una traza rectilínea y escarpe de falla conservado, siendo el de mayor desnivel de la FPM (3.5 m). En este segmento Central la FPM afecta depósitos cuaternarios, las estrías del plano de falla nos indica un movimiento de tipo dextral. El segmento Oeste presenta una traza curvilínea, para luego formar una geometría de tipo cola de caballo hacia el sector más occidental, este segmento muestra evidencias de últimos movimientos de tipo inverso, formando pliegues por flexión de falla que afectan depósitos cuaternarios y las cenizas del Huaynaputina (1600 A.D).



Figura 11: Escarpe de Falla Purgatorio Mirave, se observa un desnivel de 3.5 metros en la superficie. Con un movimiento de tipo inverso hace aflorar la Formación Moquegua, en la quebrada Mirave. Fotografía tomada hacia el Norte.

La determinación de la geometría, análisis morfoestructural y cinemática de la FPM, nos permitió determinar un momento magnitud ( $M_w$ ) de 6.3, 6.5 y 6.6 para el segmento Este, Central y Oeste respectivamente utilizando las relaciones de Wells & Coppersmith (1994) y Stirling et al. (2002), además de calcular una ley de atenuación de aceleraciones de 250

cm/seg<sup>2</sup> equivalente a VII grados de intensidad en la escala de Richter Modificado para la ciudad de Moquegua.

## 7.2 FALLA SAMA CALIENTES

El sistema de fallas activas Sama Calientes se ubica a una altura media de 1700 msnm, en la región de Tacna, en el extremo sur del Perú, exactamente entre la Quebrada Locumba y la frontera Perú-Chile. La traza de falla pasa cerca de las localidades de Sama y Calientes, esta última a 20 km. del departamento de Tacna, por esta razón presenta un tipo de riesgo a considerar (Figura 12).

El sistema de fallas Sama-Calientes afecta depósitos aluviales, fluviales y lacustres pertenecientes a las terrazas aluviales del Plioceno, Pleistoceno y Holoceno (Benavente et al., 2008, Benavente et al., 2008).

Las evidencias de tectónica compresiva, son expresadas en cambios en la geomorfología, los cuales alteraron los cursos de paleoríos, además de terrazas aluviales encajonadas compuestas por secuencias conglomeráticas de gran espesor y de clastos de gran diámetro. Estas secuencias son afectadas por fallas inversas y flexuras con un buzamiento principal hacia el este. Las fallas inversas tienen un rumbo aproximado N120°E y son las que actualmente participan en el levantamiento del bloque cordillerano.

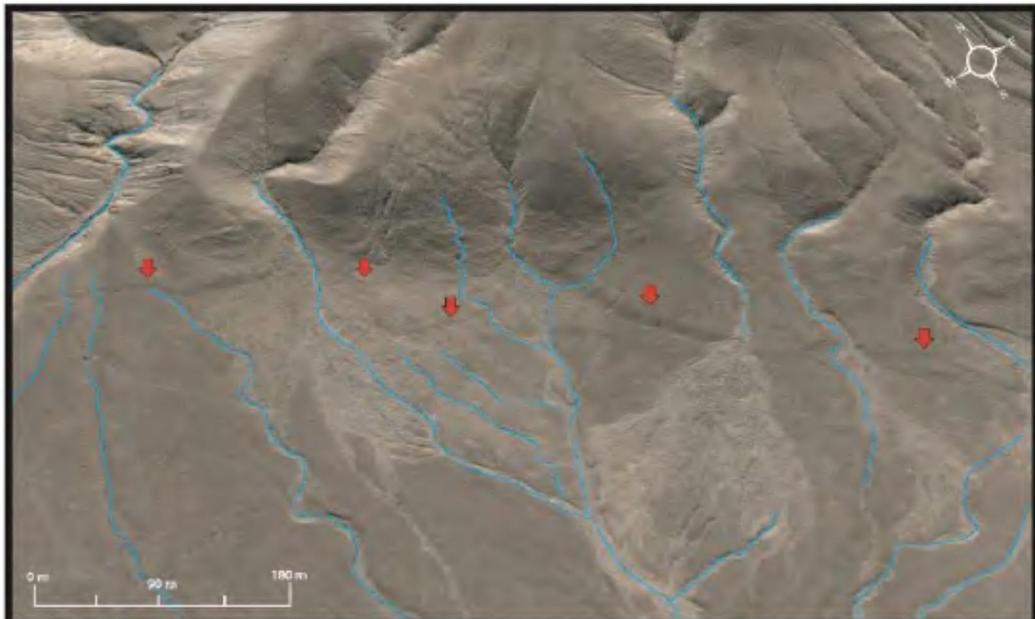


Figura 12: Escarpes de la falla activa de Sama Calientes, ubicado en el departamento de Tacna.

En el río Caplina, se ubica junto a la traza de falla una fuente de aguas calientes de más de 40°C, en la misma dirección se observa un afloramiento en la margen izquierda del río Caplina (señalado con punto blanco), el que evidencia una falla inversa en la terraza más reciente.

### 7.3 FALLA INCAPUQUIO

Se extiende a lo largo de 114 km y está marcado por un lineamiento fuerte de cerca de 5 km al sureste del departamento de Moquegua (Figura 13), de aquí se extiende hasta llegar entre la cabecera del río Caplina y la Cordillera del Barroso emplazándose en una distancia de 107 km aproximadamente. La morfología y la altura de las escarpas son relativamente continuas en una dirección este-oeste a lo largo de la falla hasta el río Ilabaya y llegando a alcanzar un salto vertical de 3 m. (Fenton et al., 1995).

La falla Incapuquio tiene una historia compleja del movimiento durante el Cuaternario, sugiriendo para el último movimiento un desplazamiento lateral, ésta se divide en dos secciones basadas en la expresión de la falla. La sección occidental está marcada por escarpas normales estas asociadas a pequeños grabens. Su ruptura superficial a lo largo de esta sección se extiende cerca de 40 km entre Pampa Lagunas y río Ilabaya. David et al., 2004; determina que la microsismicidad en la región, está presente a lo largo de la falla Incapuquio formando varias agrupaciones, sobre el resto de las fallas la sismicidad es muy dispersa.

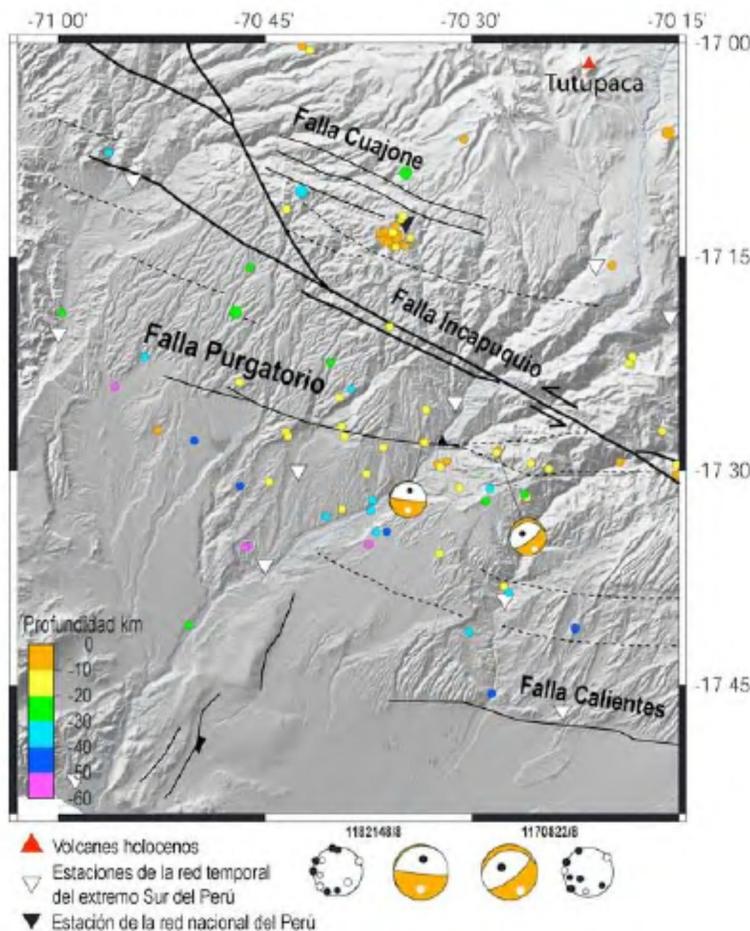


Figura 13: Sismicidad intracontinental y mecanismos focales entre 0 y 60 km de profundidad bajo la falla Purgatorio y mapeo tectónico.

#### 7.4 CORREDOR ESTRUCTURAL ACTIVO DEL ARCO VOLCÁNICO ACTUAL

En base a fotointerpretación, cartografía litológica, estructural y trabajos de campo en una escala de 1:25 000, Benavente et al., (2010) ponen en evidencia un sistema de fallas normales con componentes transcurrentes que se extienden desde el volcán Huaynaputina hasta laguna Blanca afectando lavas andesíticas del Pleistoceno, depósitos aluviales y morrenas de la última glaciación. A continuación describimos algunas de las fallas de norte a sur.

En la margen izquierda el río Tambo al este del volcán Huaynaputina se observa una falla con el mismo rumbo del río (N160°) y buzamiento hacia el oeste, esta falla afecta depósitos aluviales y su escarpe de falla tiene una altura promedio de 15 metros. La característica de esta quebrada es el desarrollo de hasta 7 terrazas aluviales de tipo encajonado en la margen izquierda, estando ausentes en la otra margen. El proceso de incisión estaría relacionado con la actividad de la falla, ya que el movimiento de la falla normal provocaría la mayor incisión en el bloque techo, en este caso la margen derecha del río, generando mayor erosión hacia este lado de la quebrada.

En el área de la laguna de Suches observamos fallas normales con componente sinistral con una dirección promedio N140° y buzamientos opuestos formando grabens (Figura 14), las fallas con buzamiento hacia el suroeste tienen una longitud de hasta 19 km y generan un desnivel en la superficie de 20 m, mientras que las fallas con buzamiento hacia el noreste tienen una longitud que varían entre 1 km a 5 km y 5 metros de altura. Además estas fallas afectan depósitos aluviales y fluvio-glaciares donde identificamos volcanes de arena conservados y alineadas con el mismo rumbo de las fallas, lo que nos estaría indicando la actividad de estas.



Figura 14: Fallas activas en las alturas de Suches- región Moquegua.

En los alrededores de la laguna Vilacota se pone en evidencia fallas normales con componente sinistral con un rumbo promedio N165° y buzamientos mayormente hacia el suroeste, la zona donde las fallas tienen su mayor expresión morfológica es al noreste de la laguna, en el flanco este del cerro Chinchillani, donde un grupo de 5 escarpes de fallas paralelas entre sí tienen 4 metros de alto y longitudes que varían entre 1 a 0.1 km afectando morrenas y depósitos fluvio-glaciares.

En el tramo Calachaca, Pampa Quesane y Casiri, el sistema de fallas se hace más continuo y se presentan tres sistemas de fallas normales con rumbos promedios N175°, N85° y N45°. Estos sistemas de fallas son de tipo normal con componente dextral y tienen buzamientos opuestos formando grabens. Las fallas generan desniveles en la superficie de hasta 5 m y longitudes que varían entre 5 a 0.1 km, afectando depósitos aluviales, fluvio-glaciares, eólicos, domos lávicos andesíticos y dacitas pleistocenas.

Al noreste y suroeste de la laguna Paucarani (Figura 15), se pone en evidencia fallas normales con componentes dextrales y rumbo promedio de N175°, las fallas del sector noreste tienen longitudes que varían entre 0.5 a 0.1 km y con buzamiento hacia el suroeste, mientras que las fallas del sector suroeste tienen longitudes que varían entre 1.5 y 0.1 km con buzamiento hacia el noreste, formando un graben y siendo la laguna la parte más baja de esta estructura. Estas estructuras se prolongan hasta laguna Blanca.



Figura 15: Fallas activas en los alrededores de la laguna Paucarani – Región Tacna alrededores de en las alturas de Suches- región Moquegua.

Por consiguiente todo el área que involucra las altas montañas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna, constituyen un áreas de sismicidad elevada.

Entonces, en cuanto al peligro sísmico, el área de estudio y alrededores, se ubica en la zona de intensidades máximas de IX a X MM (Figura 16), según el mapa de intensidades máximas elaborado por Hurtado y Meneses (1984) dentro del proyecto SISRA-CERECIS. (INGEMMET, 2003).

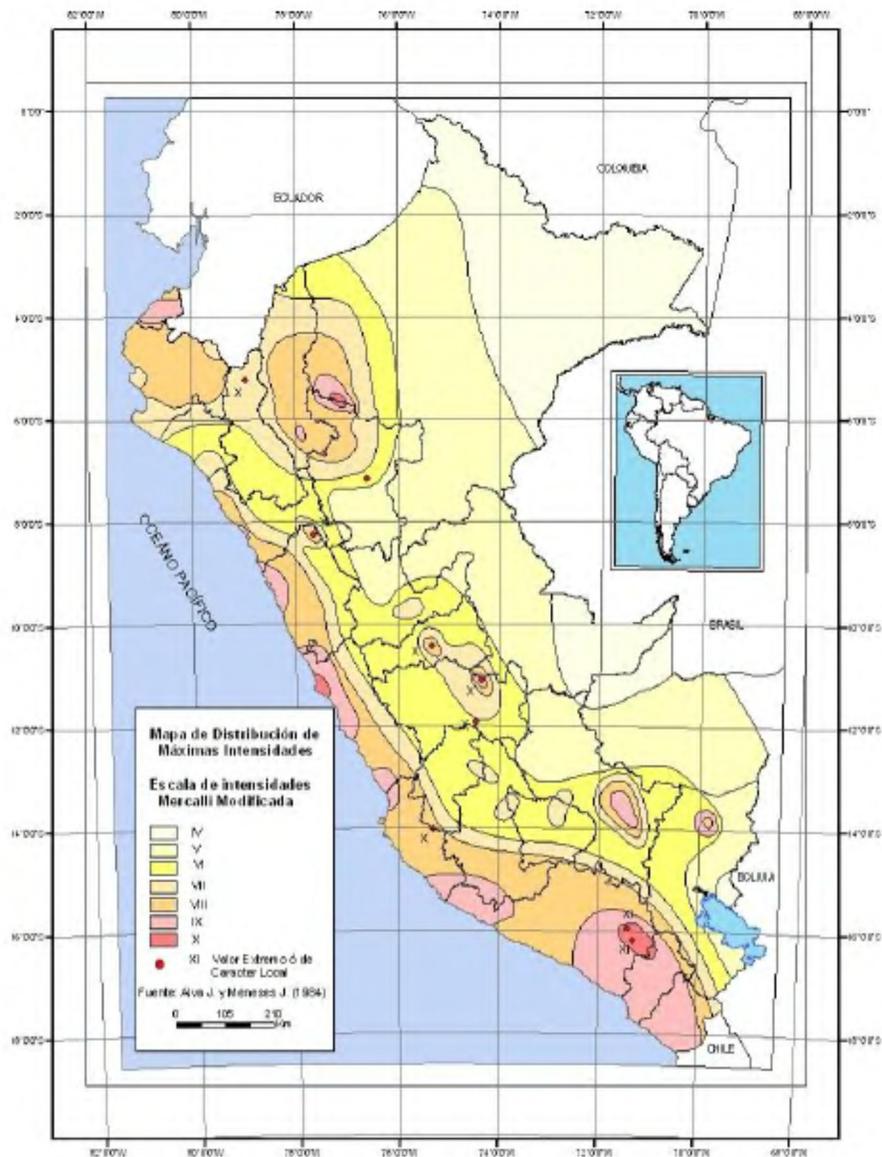


Figura 16: Curvas de intensidades máximas de Escala de Mercalli modificada.



## CONCLUSIONES

A partir de la información obtenida en los trabajos de campo y de la interpretación de gabinete se puede concluir lo siguiente:

1. En el área de estudio, afloran rocas de la Formación Cachios (Grupo Yura) compuestas por capas de lutitas muy deleznable, areniscas calcáreas con nódulos calcáreos. Estas rocas son de mala calidad y se encuentran cubiertas por una gruesa capa de cenizas volcánicas de la Erupción del volcán Huaynaputina en 1600.
2. En la ladera noreste del cerro Amata, en la margen derecha del río Amarillo, las características topográficas y morfológicas, sugieren la existencia de un antiguo deslizamiento, entre la cota 3925 (superior) y 2950 (inferior) cuya cabecera está limitada por roca. Los recientes deslizamientos de Amata, se ubican dentro de la masa desplazada de este gran deslizamiento
3. El principal factor de desestabilización en el área de estudio es la acción del agua, por un lado la alta permeabilidad del suelo hace que gran parte de la lluvia se infiltre hasta el basamento rocoso formando de esta manera una zona de debilidad, que terminan a la larga desestabilizando el talud.
4. Los deslizamientos de Amata son de tipo rotacional, de forma semicircular hacia su cabecera y presenta grietas tensionales en ambos flancos, en la parte media se observa el material desplazado cuyo depósito es de forma alargada. De igual forma identificamos en la parte media (cuerpo del deslizamiento) la presencia de cárcavas muy profundas.
5. Las lluvias acontecidas en los meses de enero y febrero del presente año, reactivaron la parte intermedia de los deslizamientos Amata 1 y 2, generando procesos de movimientos complejos, con escarpas rectas e irregulares, desplazamientos verticales importantes y empuje de material hacia el río. Dentro de toda esta masa reactivada se generaron grietas tensionales semicirculares, terrenos escalonados hacia el valle.
6. De lo anterior podemos deducir, que el área de Amata es una zona muy susceptible a procesos de movimientos en masa, estando en **peligro inminente**. Por lo que es necesario reubicar las viviendas a una zona donde no sea vulnerable a estos fenómenos. Teniendo en cuenta, que por su ubicación geográfica, el peligro sísmico es elevado.

## RECOMENDACIONES

1. Las viviendas de la localidad de Amata, deberán ser reubicadas respetando los límites de franja marginal, dispuestos por ley.
2. Declarar la zona de Amata afectada por deslizamientos, no apta para el desarrollo urbano alguno.
3. Para el inicio de obras, se debe tener en cuenta que la zona alta de Amata, presenta zonas inestables (agrietamientos y asentamientos), las cuales podrían colapsar y generar nuevos deslizamientos o procesos de movimientos en masa. Para prevenir esto se debe tomar medidas correctivas para mitigar el avance retrogresivo de las cárcavas.
4. Como posible zona de reubicación del poblado de Amata, se recomienda el sector ubicado a 0.5 km al sur de la ubicación actual del poblado, en el área destinada para la construcción de un estadio de fútbol. Este es un sector amplio en forma de terrazas cuyo sustrato es parte de la Formación Cachios, si bien es cierto se encuentra cubierta por cenizas volcánicas, éstas deberán ser limpiadas para impedir la erosión de la superficie.
5. Implementar un sistema de alerta temprana, con personal y equipos de comunicación, monitoreando y controlando los deslizamientos, ya que otra posible reactivación podría generar pérdidas de vida.
6. Implementar y promover una cultura de prevención de desastres, mediante charlas y talleres de sensibilización ante peligros geológicos, en los diferentes niveles de la población de Amata y poblaciones vecinas.

## REFERENCIAS

ALVA H. & MENESES J. (1985). Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú. CERESIS-Proyecto SISRA, Lima.

BENAVENTE ET AL. (2010): Extensión en el Arco Volcánico Actual de los Andes Centrales. XV Congreso Peruano de Geología, Sociedad Geológica del Perú-Cusco, Perú.

DAVID, C. (2007). Sismicidad en el Oroclino Boliviano de los Andes Centrales. Tesis PhD. Universidad de Toulouse-France, 250 pp.

GARCÍA MARQUÉZ W., (INGEMMET -1978), Geología de los cuadrángulos de Puquina, Omate Huaytire, Mazo Cruz y Pizocoma. Boletín Serie A.

HUNGR, O.; EVANS, S.G.; BOVIS, M. & HUTCHINSON, J.N. (2001). Review of the classification of landslides of the flor type: Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, p. 22-238.

HURTADO A. & MENESES J. (1985). Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú. CERESIS-Proyecto SISRA, Lima.

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (2000), Mapa geológico el cuadrángulo de Puquina Hoja 34-t-I, actualizado a escala 1:50 000 (Atencio E. & Romero D.)

PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS-PMA: GCA (2007) Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas.

SONCCO LANDIO R., Visita técnica a la zona de riesgo – Sector Amata -(2010)

VARNES, D.J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides análisis and control: Washington D.C, Nacional Academy Press, Transportation Research Borrada Special Report 176, p. 9-33.