

## ESTUDIO DE LOS MARCADORES VERTICALES DE LA DEFORMACIÓN ACTIVA SOBRE LA FALLA CALIENTES-TACNA

Aldomar Cornejo<sup>1</sup>, Laurence Audin<sup>2</sup> y Carlos Benavente<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Golder Associates, Av. La Paz 945 - Miraflores, Lima – Perú. Email: acornejo@golder.com

<sup>2</sup> LGCA Maison des Geosciences, Boite Poste 53 - 38041 Grenoble cedex 9 tel. 003347635919 Toulouse - France

<sup>3</sup> INGEMMET, Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima – Perú

### INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se ubica en el distrito de Pachía, departamento de Tacna (Fig.1). La zona sur del Perú constituye una de las zonas de mayor actividad sísmica. La Falla Sama-Calientes es una falla inversa de componente sinistral, perteneciente a un sistema de falla cortical, constituye el límite entre las Pampas Costeras y la Cordillera Occidental, conformando la zona pedemontana pacífica del sur del Perú. Su actividad se remonta posiblemente al Cretácico superior, siendo tema de este estudio los últimos 5 Ma.

El análisis efectuado sobre el tipo de marcadores de deformación tectónica activa (escarpes de falla, paleolagos, terrazas) fue llevado a cabo con instrumentos de precisión (GPS Diferencial Cinemático y Georadar), lo cual permitió proponer una interpretación regional de la evolución de los paleolagos y del sistema de falla existente.

Las evidencias de compresión en la zona del Antearco del sur del Perú, y el activo levantamiento del bloque cordillerano son expresados por la presencia de fallas inversas, flexuras, escarpes de fallas, terrazas aluviales encajonadas espacialmente discontinuas (Fig.2) y variación de la red hidrográfica. (Audin et al, 2007; Benavente, 2008).

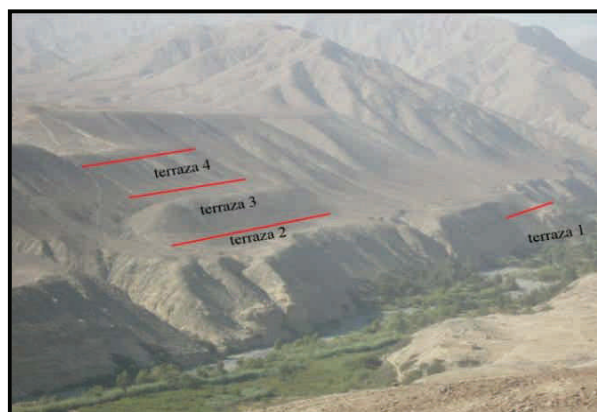
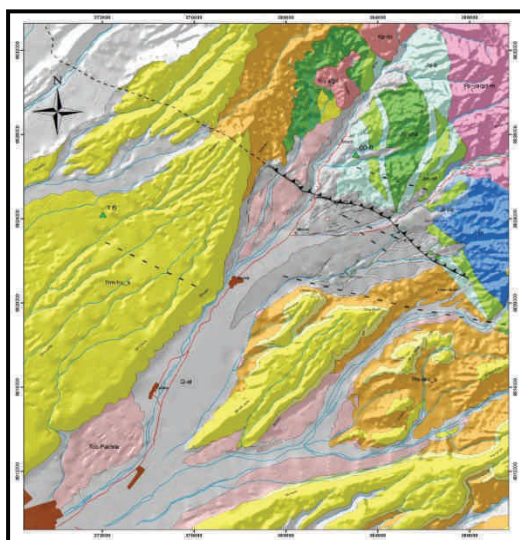


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (izquierda).  
Figura 2. Terrazas aluviales encajonadas (arriba).

### MÉTODOS

Estas evidencias de tectónica activa nos han llevado a utilizar el GPS Diferencial Cinemático, como método para obtener datos precisos de campo y verificar la deformación activa. Se realizó un cartografiado detallado de los depósitos cuaternarios, identificando los marcadores verticales, con apoyo en el análisis de las imágenes satelitales (Aster, Landsat, DEM).

Mediante estos trabajos observamos dos marcadores principales:

**Terrazas aluviales**, ubicadas en ambas márgenes del río Caplina, siendo más altas en el bloque NE de la falla activa; se realizó un recorrido con el GPS por los diferentes niveles y subniveles de las terrazas del margen derecho, constituidos de material heterogéneo de clastos angulosos con diámetros aproximados de 5-20 cm.

**Niveles de paleolagos**, ubicados al SE de los baños termales de Calientes en el bloque bajo de la falla; han sido mapeados aproximadamente 4 km de longitud, constituidos por sedimentos finos de color beige a marrón claro con un espesor de 1-1.5 m (Fig.3), estando alojados en el abanico aluvial, y extendiéndose hasta las pampas aledañas de San Francisco, donde el trazo desaparece por estar cubierto por otro abanico más reciente.



Figura 3. Niveles de paleolagos inclinados.

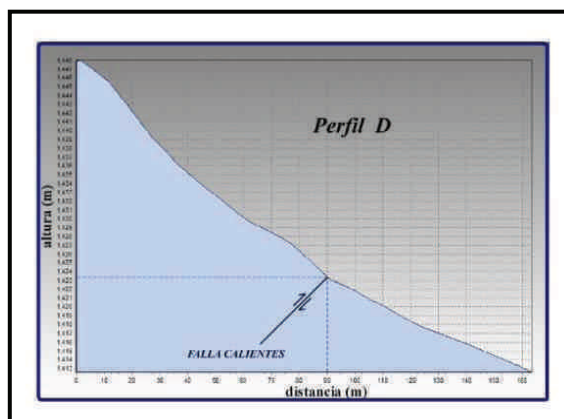


Figura 4. Perfil elaborado con GPS Diferencial, se observan los escarpes de falla (izquierda).

Es importante mencionar que se cartografiaron unos pequeños escarpes al lado NO de los baños termales de Calientes (Fig.4), elaborando 6 perfiles transversales a la falla. Esta técnica permite mapear escarpes de 3.5 m de altura y nos muestra que la deformación es muy localizada.

## INTERPRETACIONES Y CONCLUSIONES

Los 3 paleolagos principales de la zona están inclinados, lo cual es indicativo de un movimiento diferencial en la superficie, que se interpreta causado por una actividad recurrente de la falla. El estudio de los niveles de paleolagos y de las terrazas, permite proponer la siguiente evolución (Fig.5):

**Cuaternario y Pleistoceno Inferior (2.6 Ma-1.806-0.781 Ma)**; teniendo a la falla Sama-Calientes presente, con la quebrada del río Caplina cortada en la Fm. Moquegua y con el depósito de la Fm. Calientes (Flores et al, 2004), ocurre el emplazamiento de las Ignimbritas Pachía (2.7-2.8 Ma), cubriendo toda la zona de estudio y varios kilómetros a los alrededores pero confinado en la quebrada sin aparecer en sus flancos más altos. En la quebrada Caplina continúa el depósito de material aluvial originando la terraza más antigua T4. Una serie de movimientos verticales por actividad de la falla permite alzar el bloque NE, y con la incisión se preserva más alta en el bloque NE la terraza T4 tal cual se observa actualmente.

**Pleistoceno Medio (0.781-0.126 Ma)**; mientras continúa la incisión lenta, se van acumulando unos pequeños lagos dejando sedimentos finos, alimentados por el río Caplina, Palca y ríos secundarios y algunas lluvias

esporádicas en la zona, acompañados por los flujos lentos de los abanicos aluviales, siendo las ignimbritas un tapón en la parte baja de la zona de estudio. Continúa la incisión en la zona pedemontana y los movimientos tectónicos verticales originando la terraza T3.

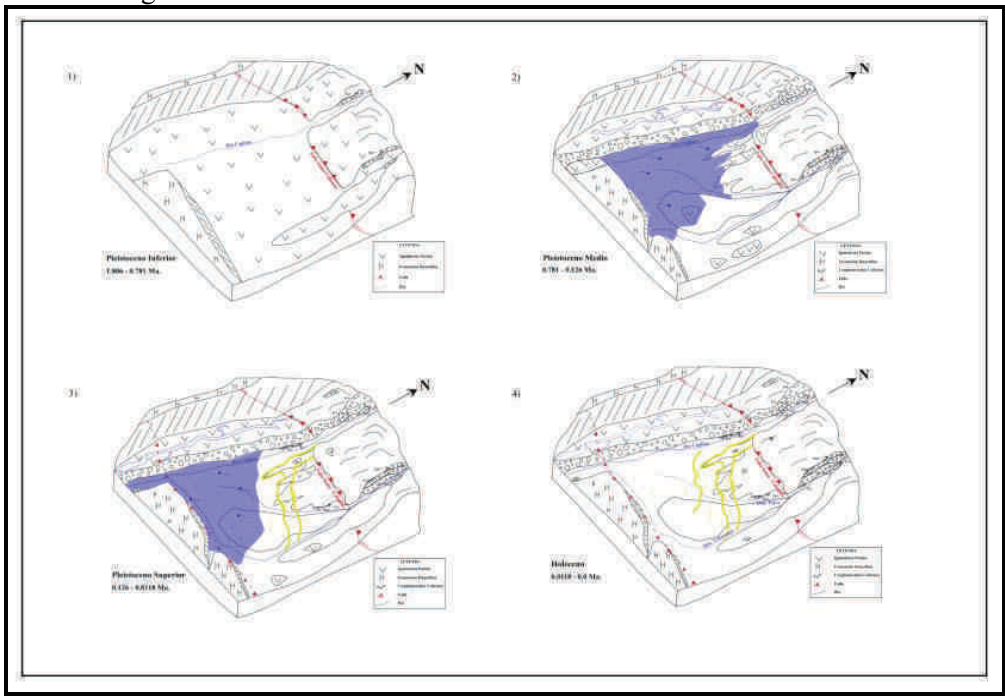


Figura 5. Block Diagrama propuesto sobre la evolución de los niveles de paleolagos y terrazas e incidencia con la actividad de la falla Sama-Calientes.

**Pleistoceno Superior (0.126-0.0118 Ma);** siguiendo el río Caplina su cauce natural rompe la barrera de las ignimbritas, ocurre la desembocadura del pequeño lago dejando tras su paso los sedimentos finos horizontales, el río Palca y ríos secundarios ya no aportan caudales llegando a secarse, continúa en la zona pedemontana la incisión originando la terraza T2.

**Holoceno (0.0118-0 Ma);** la falla Sama-Calientes sigue reactivándose periódicamente ocasionando desplazamientos verticales localizados en el sitio donde alcanza la inclinación (ver perfil) de los pequeños sedimentos finos de los paleolagos, y dejando evidencias de su movimiento, continúa la incisión en la zona pedemontana y origina la terraza T1 (reciente).

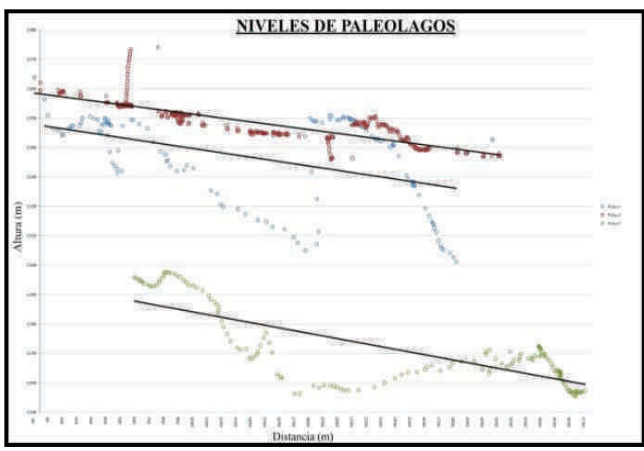


Figura 6. Perfil de niveles de paleolagos inclinados.



Se elaboró un perfil de los niveles de paleolagos inclinados (Fig.6) se determinó la ubicación espacial e inclinación, así como también la evolución de estos niveles en el tiempo geológico.

Se elaboró un perfil de la ubicación espacial de las terrazas (Fig.7), teniendo como apoyo el ploteo del perfil de las Ignimbritas Pachía, como marcador principal de actividad, observándose a las terrazas con mayor pendiente cerca a la falla, y menor pendiente a las más alejadas. Concluyendo que la falla es causante del flexuramiento en depósitos anteriores y posteriores a las ignimbritas, y las terrazas desde su origen. Después de cada fase tectónica compresiva viene una reactivación de la erosión que origina una superficie dejando evidencias de actividad. Sebrier et. al. (1979) hizo una relación entre las fases tectónicas compresivas y el levantamiento, midiendo una velocidad media de levantamiento para los Andes del Perú Central.

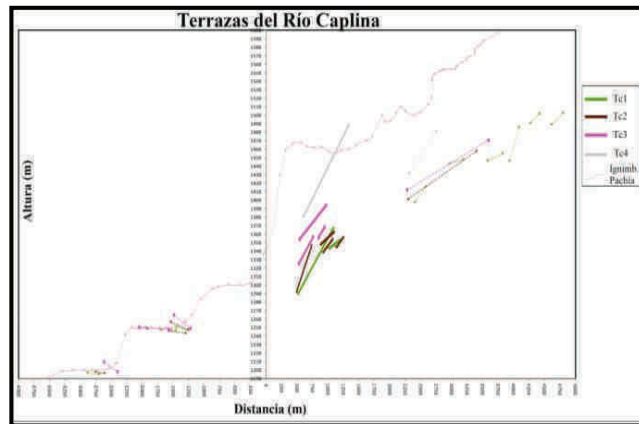


Figura 7. Ubicación de las terrazas del río Caplina

Del mismo modo se trabajó obteniendo la velocidad media de levantamiento para las Ignimbritas Pachía, con un levantamiento de 120 m. en 2.7 Ma., teniendo una velocidad media de 0.05 mm/año. Para el abanico aluvial más reciente se tiene un levantamiento mínimo de 2 m. en 90000 años (datación-10Be), teniendo una velocidad media de levantamiento de 0.02 mm/año. Mostrando mediante este análisis que las velocidades medias de levantamiento son lentas para asociarlas a actividades sísmicas de la falla.



Figura 8. Foto Aérea de la zona de estudio, se muestra un círculo amarillo con la ubicación de los escarpes. (arriba-izquierda)

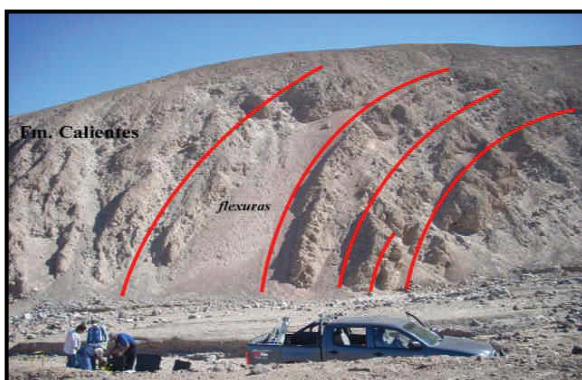


Figura 9. Bloque levantado mostrando con flechas rojas la ubicación del escarpe en el abanico aluvial. (arriba-derecha)  
Figura 10. Evidencias de actividad tectónica. Flexuramiento de la Fm. Calientes. (izquierda)

## REFERENCIAS

- Audin, L. (2007); Parámetros de la fuente del sismo de Sama (Tacna), 20 de noviembre de 2006 (5.4MW); Sociedad Geológica del Perú. Boletín, n. 102, pp. 109-115. Publicación Colectiva
- Benavente C. (2008); Estratigrafía y neotectónica de la zona de piedemonte en el antearco del sur peruano - Tacna; Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía; 146 p. Tesis
- Cornejo, A. (2010); Estudio de los Marcadores de la deformación activa y cuantificación de los movimientos verticales sobre la falla Calientes-Tacna; Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Facultad de Ingeniería Geológica y Geotecnia. 100 p. Tesis
- Flores, A. (2002); Avances sobre la historia geológica del valle de Tacna; Congreso Peruano de Geología, Lima, Trabajos científicos. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2002, tomo 1, pp. 177-187. Publicación Colectiva
- Sebrier, M. (1979); Evolución neógena del Piedemonte Pacífico de los Andes del Sur del Perú - Congreso Geológico Chileno, 2, Arica, CL, Actas. Arica: Instituto de Investigaciones Geológicas 1979, tomo 3, pp. 71-88. Publicación Colectiva