



## Evidencia de reactivación e inversión tectónica en el antearco, noreste de San Juan de Marcona, provincia de Nazca

Walter Ccallo, Daniel Torres, Alan Santos, y Dante Soberón

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Av. Canadá 1470, apartado 889, Lima 41, Perú ([wccallo@ingemmet.gob.pe](mailto:wccallo@ingemmet.gob.pe))

### 1. Introducción

El área de estudio está ubicada al suroeste del Perú, en el departamento de Ica y al este del distrito de San Juan de Marcona (Fig. 1). Se considera tradicionalmente que la tectónica en los Andes Centrales estuvo relacionada a la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana, cuya convergencia tiene actualmente una velocidad de 75 mm/año y una orientación  $\sim N077^\circ$  (DeMets et al., 1990).

El antearco del sur del Perú, donde se ubica la zona de estudio, se caracteriza por la subducción de la dorsal asísmica de Nazca, que tiene más de 1000 km de longitud, 200 km de ancho, una elevación de 1500 m por encima del entorno del fondo oceánico, y una dirección de desplazamiento promedio de  $\sim N042^\circ$ . La subducción de la dorsal de Nazca bajo la margen peruana comenzó en el Mioceno ( $\sim 11.2$  Ma; Hampel, 2002) y ha migrado lateralmente hacia el sur a lo largo de la costa peruana hasta su posición presente (von Huene et al., 1996).

Del Eoceno superior ( $\sim 40$  Ma) al Mioceno-Plioceno, la zona de estudio fue el lugar de desarrollo de la cuenca de antearco de Pisco (Rüegg, 1956; Macharé, 1987; Dunbar et al., 1990; Brand et al., 2011). Desde el Plioceno superior, el registro estratigráfico y la evolución geomorfológica (desplazamientos secuenciales hacia el oeste de la costa) indican que la cuenca Pisco emergió por movimientos de levantamiento. Estos fenómenos estarían relacionados con la última compresión y levantamiento andino (Sébrier et al., 1985, 1988; Macharé & Ortlieb, 1992). Sin embargo, en la zona no se cuenta con estudios específicos de microtectónica para aclarar la dinámica de los movimientos tectónicos eocenos a miocenos.

En la zona de estudio, el sistema estructural es complejo: presenta fallas en diferentes direcciones, que afectan a

diferentes unidades litoestratigráficas, en su mayoría de edad proterozoica y paleozoica, como el Complejo Basal de la Costa ( $\sim 1800$  Ma; Loewy et al., 2004), las formaciones Chiquerio ( $932 \pm 28$  Ma; Chew et al., 2007) y Marcona (Paleozoico inferior), e intrusivos del batolito de San Nicolás ( $442.5 \pm 12$  Ma; Ries, 1976).

En ese sentido, en el proyecto GR18A cartografiamos el cuadrángulo de San Juan de Marcona a escala 1:25,000 y realizamos 14 estaciones de microtectónica para poder interpretar estructuras que controlaron la formación de depósitos minerales, cuerpos intrusivos y diques, y la geomorfología. El objetivo principal de este trabajo es entender cuándo y cómo se formó la falla Tunga en el antearco de los Andes del sur del Perú (Fig. 1).

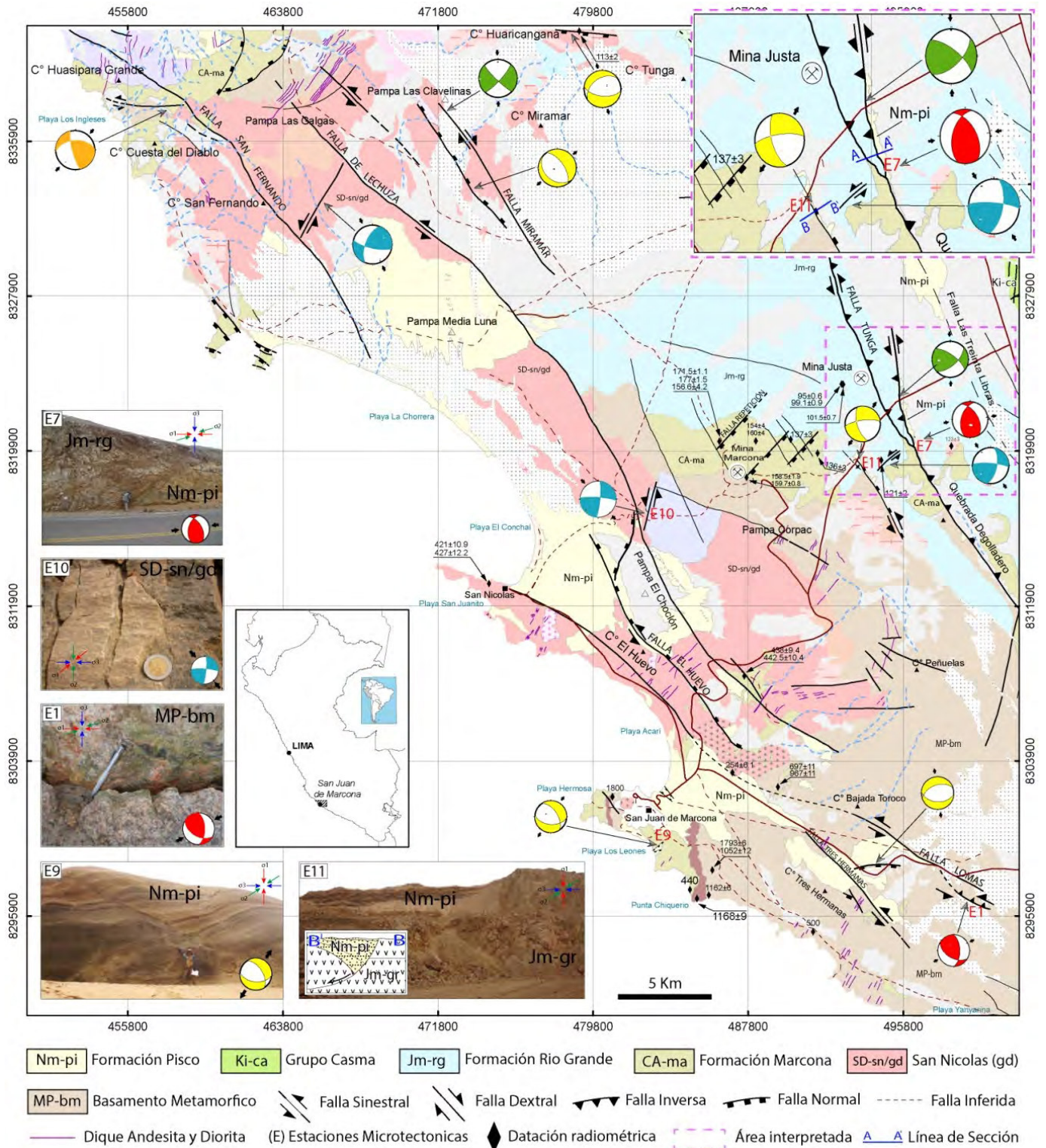
### 2. Metodología

El término “inversión”, que se refiere a una cuenca invertida, fue usado por primera vez por Glennie & Boegner (1981), aunque cuencas invertidas han sido reconocidas desde muchos años antes (e.g., Lamplugh, 1920; Stille, 1924).

La metodología usada en el presente trabajo fue descrita por Cooper et al. (1989) (Fig. 2). Se considera que los requerimientos estructurales para una inversión son:

(1) el desarrollo de una cuenca extensional y su relleno por una sucesión estratigráfica;

(2) un cambio significativo en la dirección de los esfuerzos regionales, provocando una la extensa reactivación de las fallas preexistentes y produciendo el levantamiento de la pared colgante en lugar de la caja piso (Fig. 2).



**Figura 1.** Mapa geológico estructural con las unidades litológicas y la ubicación de las estaciones microtectónicas. La ubicación de las fotos se indica con la letra E y número respectivo.

### 3. Descripción e interpretación de estructuras

#### 3.1. Falla Tunga: descripción

La falla Tunga es una de las fallas más notables de la zona de estudio. Aflora en particular en el corte de la carretera Nazca-San Juan de Marcona, unos ~5 km al oeste de la vía Panamericana. La traza de la falla es paralela a la quebrada Degolladero (Fig. 1: E7). Estudios

anteriores mencionaron que esta falla presenta características de falla normal y que se extiende por el noroeste hasta las cercanías de Pisco, separando la depresión preandina de la Cordillera de la Costa (Caldas, 1978). Aquí evidenciamos que esta falla sufrió una reactivación e inversión total, en relación con la tectónica del antearco (Fig. 3).

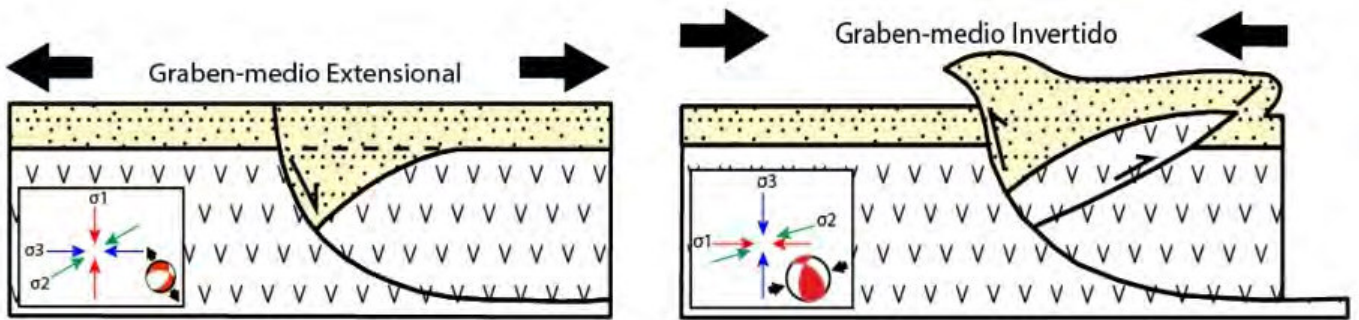


**3.2. Falla Tunga: interpretación**

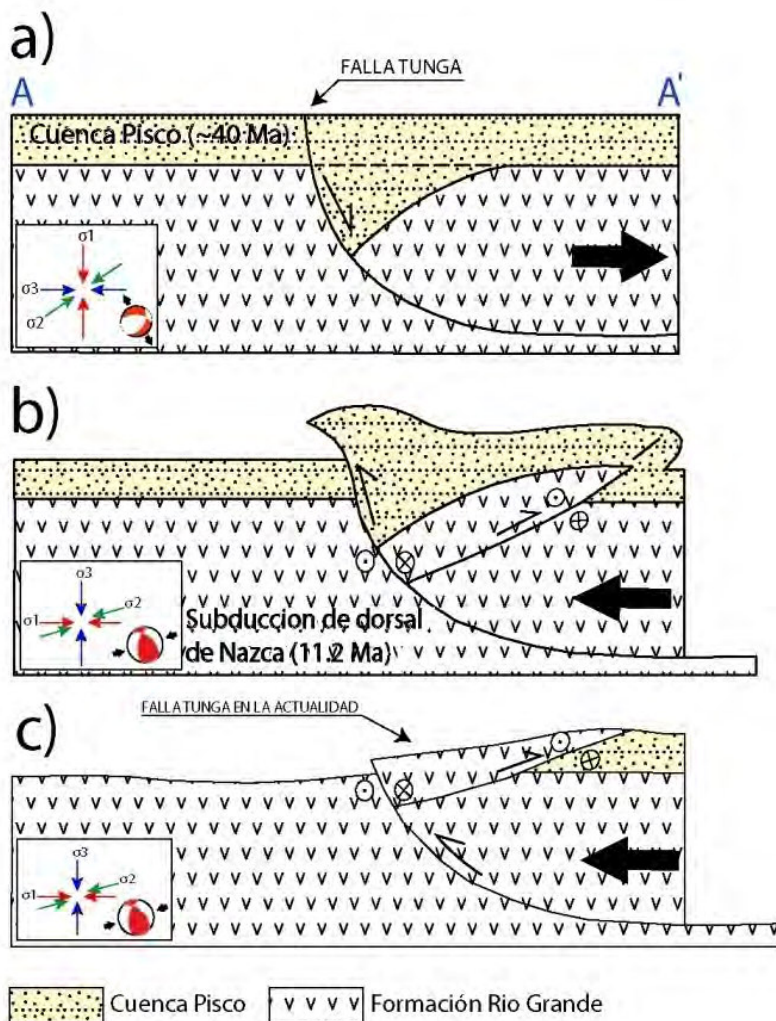
La falla Tunga se encuentra dentro de la cuenca Pisco oriental (activa entre ~45 y ~5 Ma; Dunbar et al., 1990), la cual fue controlada por una tectónica transtensional que generó una extensión oblicua responsable de la formación de numerosos grábenes (León et al., 2005). Se plantea que, en este contexto regional transtensional, la falla Tunga, de dirección NO-SE, empezó a formarse con movimiento normal y alto ángulo de buzamiento (Figs. 2 y 3a), afectando a las rocas volcano-sedimentarias de la Formación Río Grande y a la vez controlando la sedimentación de estratos de crecimiento de la Formación

Pisco (Mioceno-Plioceno) con dirección preferente noroeste.

La falla E11, que buza al SE con extensión N030°, es una falla paralela y sintética a la falla Tunga (Fig. 1: E11), pero se la interpreta como de poca profundidad y local por no presentar evidencia de reactivación. Debido a la migración hacia el sur de la dorsal de Nazca (Hampel, 2002), asumimos que la subducción de ésta por San Juan de Marcona empezó en el Plioceno, induciendo un régimen compresivo (N080°) que produjo la reactivación e inversión tectónica total de la falla Tunga y su desarrollo como retrocorrimiento (*backthrust*), con componente sinistral (Figs. 2: E7; 3b, 3c).



**Figura 2.** Desarrollo de un plano de falla durante una inversión con alto ángulo (modificado de Cooper et al., 1989).



**Figura 3.** Esquema de evolución propuesto para la falla Tunga.

#### 4. Conclusiones

La falla Tunga es una de las fallas más notables e importantes en la zona que se extiende al noreste de San Juan de Marcona. A estas latitudes, el antearco estuvo sometido a un régimen transtensional a partir del Eoceno superior (~40 Ma), que originó grábenes y resultó en la formación de la cuenca Pisco oriental. Este régimen fundamentalmente extensional controló la acumulación de estratos de crecimiento en la Formación Pisco hasta por lo menos el Mioceno medio a superior.

Sin embargo, la migración hacia el sur de la subducción de la dorsal asísmica de Nazca, que ahora se encuentra frente a la zona de San Juan de Marcona, resultó en un cambio drástico en los esfuerzos tectónicos en la zona de estudio. Por lo tanto asumimos que la instalación de la subducción de la dorsal de Nazca a la latitud de la zona de estudio indujo, más o menos a partir del Plioceno, un régimen compresional orientado ~N080°, produciendo la reactivación e inversión tectónica total de fallas normales preexistentes, y en particular de la falla Tunga como retrocorrimiento (*backthrust fault*), la cual queda como evidencia manifiesta de una reactivación e inversión tectónica en el antearco.

#### Referencias

- Brand, L., Urbina, M., Chadwick, A., Devries, T., Esperante, R. 2011. A high-resolution stratigraphic framework for the remarkable fossil cetacean assemblage of the Miocene/Pliocene Pisco Formation, Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 31, p. 414-425.
- Caldas, J. 1978. Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí, y Yauca. Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional, v. 64.
- Chew, D.M., Schaltegger, U., Kosler, J., Whitehouse, M.J., Gutjahr, M., Spikings, R.A., Mišković, A. 2007. U-Pb geochronologic evidence for the evolution of the Gondwanan margin of the north-central Andes. *Geological Society of America Bulletin*, v. 119, p. 697-711.
- Cooper, M., Williams, G., de Graciansky, P., Murphy, R., Needham, T., Paor, D., Stoneley, R., Todd, S. Turner, P., Ziegler, P. 1989. Inversion tectonics: A discussion. *Geological Society of London, Special Publications*, v. 44, p. 335-347.
- Demets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F., Stein, S. 1990. Current plate motions. *Geophysical Journal International*, v. 101, p. 425-478.
- Dunbar, R.B., Marty, R.C., Baker, P.A. 1990. Cenozoic marine sedimentation in the Sechura and Pisco basins, Peru. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 77, p. 235-261.
- Glennie, K., Boegner, P. 1981. Sole Pit Inversion Tectonics. In: ILLING, L. V. & HOBSON, G. D. (eds) *Petroleum Geology of the Continental Shelf of Northwest Europe*. Institute of Petroleum, London, 110-120.
- Hampel, A. 2002. The migration history of the Nazca Ridge along the Peruvian active margin: A re-evaluation. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 203, p. 665-679.
- von Huene, R., Pecher, I., Gutscher M. 1996. Development of the accretionary prism along Peru and material flux after subduction of Nazca Ridge. *Tectonics*, v. 15, p. 19-33.
- Lamplugh, G. 1920. Structure of the Weald and analogues tracts. *Quarterly Journal of the Geological Society*, v. 75, p. LXXIII-XCV (Anniversary Address of the President).
- León, W., Alemán, A., De La Cruz-Matos, O., Rosell, W. 2005. Elementos estructurales y evolución tectónica-sedimentaria de la cuenca Pisco oriental (antearco peruano). *Memorias, XII Congreso Latinoamericano de Geología*, Quito, 5 p.
- Loewy, S.L., Connelly, J.N., Dalziel, I.W.D. 2004. An orphaned block: The Arequipa-Antofalla basement of the Central Andean margin of South America. *Geological Society of America Bulletin*, v. 116, p. 171-187.
- Macharé, J., Ortlieb, L. 1992. Plio-Quaternary vertical motions and the subduction of the Nazca Ridge, central coast of Peru. *Tectonophysics*, v. 205, p. 97-108.
- Macharé, J. 1987. La marge continentale du Pérou: Régimes tectoniques et sédimentaires cénozoïques de l'avant-arc des Andes centrales. Thèse de doctorat, Université Paris XI, 391 p.
- Ries, A.C. 1976. Rb-Sr ages from the Arequipa Massif, southern Peru. *Annual Reports of the Research Institute of African Geology, University of Leeds*, v. 20, p. 74-77.
- Rüegg, W. 1956. Geologie zwischen Cañete und San Juan, 13°00'-14°27', Süd-Peru. *Geologische Rundschau*, v. 45, p. 775-856.
- Sébrier, M., Mercier, J.L., Mégard, F., Laubacher, G., Carey-Gailhardis, E. 1985. Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in the central Andes of south Peru. *Tectonics*, v. 4, p. 739-780.
- Sébrier, M., Lavenu, A., Fornari, M., Soulas, J.-P. 1988. Tectonics and uplift in central Andes (Peru, Bolivia and Northern Chile) from Eocene to Present. *Géodynamique*, v. 3, p. 85-106.
- Stille, H. 1924. Grundfragen der vergleichenden Tektonik. *Brontrager, Berlin*, 443 p.