

# **CARTOGRAFIADO E INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL DEL SECTOR NORTE DEL MORRO SOLAR, DPTO. DE LIMA, PERÚ**

Luis Ayala, Edward Cuipa, Carlos Roselló, Wilson López, Paola Llamoca, Nataly Gutierrez, Rossella Mendoza

Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Av. Venezuela, Cd. 34/sn. Lima. layalacz@gmail.com

## **INTRODUCCIÓN**

Las estructuras que afectan a las rocas sedimentarias del Grupo Morro Solar en la localidad del mismo nombre constituyen elementos importantes para conocer la tectónica ocurrida a finales del Cretáceo en la costa central del Perú. Trabajos de índole cartográfica, como los de Bellido et al. (1948) y Fernández Concha (1958) muestran que las estructuras de mayor amplitud en dicha localidad corresponden a fallas normales de dirección NE-SO y N-S. Inspirado en estos trabajos y debido a la falta de actualización de información cartográfica desde aquel tiempo, se ha visto conveniente realizar el cartografiado litoestratigráfico y estructural a escala 1/5,000 con énfasis en el estudio microtectónico (Angelier, 1984; Marret & Allmendinger, 1990) a lo largo de las formaciones Salto del Fraile y La Herradura mediante la medición de orientaciones en planos y estrías en superficies de falla así como en los flancos de pliegues. Los datos obtenidos a partir de estas mediciones se han procesado a través de estereogramas (De Vicente et al., 1992; Allmendinger et al., 2012) que permiten el cálculo de los esfuerzos principales para cada una de las estructuras estudiadas. Como resultado de este proceso, se ha establecido que la cinemática que predominó en el área de estudio está representada por al menos dos eventos indiferenciados cuyo régimen transtensional aún no se encuentra bien fechado. Sin embargo, los elementos estratigráficos existentes, permiten asignarle tentativamente una edad a mediados y a fines del Cretáceo superior.

## **UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se ubica en la provincia de Lima, a lo largo de la costa central del Perú (Fig. 1A) en el distrito de Chorrillos perteneciente a la ciudad de Lima Metropolitana (Fig. 1B). Los afloramientos estudiados comprenden el sector norte del promontorio rocoso conocido como Morro Solar.

## **ESTRATIGRAFÍA**

La estratigrafía de esta parte de la provincia de Lima comprende a las rocas pertenecientes a la cuenca Mesozoica de Lima. Regionalmente, la secuencia sedimentaria del Berriasiano-Valanginiano denominada como Grupo Morro Solar (Fernández Concha, 1958) sobreyace a la secuencia volcánica del Kimmeridgiano-Titoniano del Grupo Puente Piedra (Rivera, 1951; Romero et al., 2007) e infrayace a la secuencia calcárea Hauteriviana-Albiana correspondiente a la Formación Pamplona (Rivera, 1951). Tanto el Grupo Morro Solar como la Formación Pamplona contienen niveles de sills andesíticos que están afectados por fallamientos normales. Para el caso de la primera unidad litoestratigráfica, no se tienen estudios que confirmen una edad precisa de tales sills. Mientras que para la segunda, los distintos cuerpos subvolcánicos que se emplazan en dicha unidad se encuentran relacionados al enjambre de diques del Cretáceo medio (Vidal, 1990). Del mismo modo, uno de estos cuerpos, que intruye a la Formación Pucusana (equivalente en tiempo a la Fm. Pamplona) está datado por Ar/Ar en 91.9 Ma (Romero et al., 2005). Asumiendo que los niveles de sills andesíticos que intruyen al Grupo Morro Solar forman parte de un mismo evento volcánico que sucedió en el Cretáceo medio-superior con los de la Formación Pamplona, se puede asumir que las estructuras que afectan a los afloramientos en el área de estudio tengan un intervalo definido entre el Cretáceo superior y probablemente, el Paleógeno inferior.

## **DESCRIPCIÓN Y CINEMÁTICA DE ESTRUCTURAS**

En el área de estudio, el Grupo Morro Solar está conformado por 3 unidades concordantes: Formación Salto del Fraile, Formación La Herradura (Miembros La Virgen y La Herradura) y Formación Marcavilca (Miembros Morro Solar, Marcavilca y La Chira). Entre el Club de Regatas "Lima" y el Cristo del Pacífico (Fig. 1C) se observa que el sistema de estructuras principales NE-SO desplaza

sinistralmente a diques y sills andesíticos, y que este a su vez, es cortado por uno segundo N-S. Ya que estos sistemas están conformados por estructuras menores, se han realizado 16 estaciones microtectónicas a lo largo de estas. De las cuales 12 se han medido en fallas (estaciones del 1 al 12) y 4 en pliegues (estaciones P1, P2, P3 y P4) dentro de la intercalación de areniscas y lutitas pertenecientes a las formaciones Salto del Fraile y La Herradura (Fernández Concha, 1958) las que se encuentran afectadas por dichos cuerpos subvolcánicos. Los datos estructurales obtenidos en fallas (Fig. 2A), muestran que las estructuras medidas en las estaciones 1, 2, 3, 5, 7, 8 y 10 así como en las estaciones 4 y 6 corresponden a estructuras transcurrentes (pitch promedio menor a 30°) relacionadas a esfuerzos extensionales ( $\sigma_3$ ) NO-SE y N-S, respectivamente. Mientras que las estaciones 9, 11 y 12 a estructuras netamente normales (pitch promedio mayor a 60°) cuyo  $\sigma_3$  es NE-SO. Por otra parte, la distribución uniforme de los polos de los flancos de los pliegues (Fig. 2B) graficada en los estereogramas indican que P1 y P2 (pliegue “en cofre”) así como P3 corresponden a pliegues cilíndricos relacionados a esfuerzos locales cuya compresiones son NO-SE y N-S, respectivamente. Por último, la estación P4 corresponde a un pliegue del tipo cónico cuyos polos se sitúan hacia un lado del estereograma asociado a un eje compresivo local NE-SO.

Como resultado de estas observaciones, es posible apreciar 3 grupos de esfuerzos principales. El primero, está representado por las estaciones 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, P1 y P2 (**grupo 1: esfuerzos en rojo NO-SE**); el segundo, por las estaciones 4, 6 y P3 (**grupo 2: esfuerzos en azul N-S**); y el tercero, por las estaciones 9, 11, 12 y P4 (**grupo 3: esfuerzos en verde NE-SO**). A partir de los cuales, los grupos 1 y 2 se hallan relacionados al sistema de estructuras principales NE-SO, mientras que el grupo 3 al de orientación N-S.

## INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES

Por ser el sistema de estructuras principales N-S posterior al de orientación NE-SO, y ya que ambos están relacionados a direcciones de esfuerzos distintos se puede inferir la existencia 2 eventos tectónicos. **El primero, de dirección NO-SE**, representa una transurrencia sinistral que desplaza a los diques andesíticos N-S y que posteriormente da lugar a pliegues simétricos (Fig. 3A y 3B) generados en la base de fallas normales lítricas NE-SO de corto desplazamiento pertenecientes al grupo 1, con posible formación de un *roll-over*. Análoga y simultáneamente, se generaron las estructuras del grupo 2 cuyos esfuerzos N-S representan variaciones locales en la orientación del esfuerzo principal (NO-SE) debido al movimiento de las estructuras mayores que las limitan. **El segundo, de dirección NE-SO**, está ligado a una extensión que genera fallas normales (Fig. 3C) y pliegues superpuestos pertenecientes al grupo 3, este tipo de pliegues están evidenciados por la rotación de sus polos observada en el correspondiente (P4). De esta manera, se concluye que las estructuras analizadas en el área de estudio brindan indicios de un régimen transtensional que visto regionalmente estaría asociado a una zona de transurrencia NO-SE marcada por al menos 2 eventos de edad indiferenciada cuya cinemática dextral y sinistral posterior ocurrieron durante el lapso probable comprendido entre el Cretáceo superior-Paleógeno inferior.

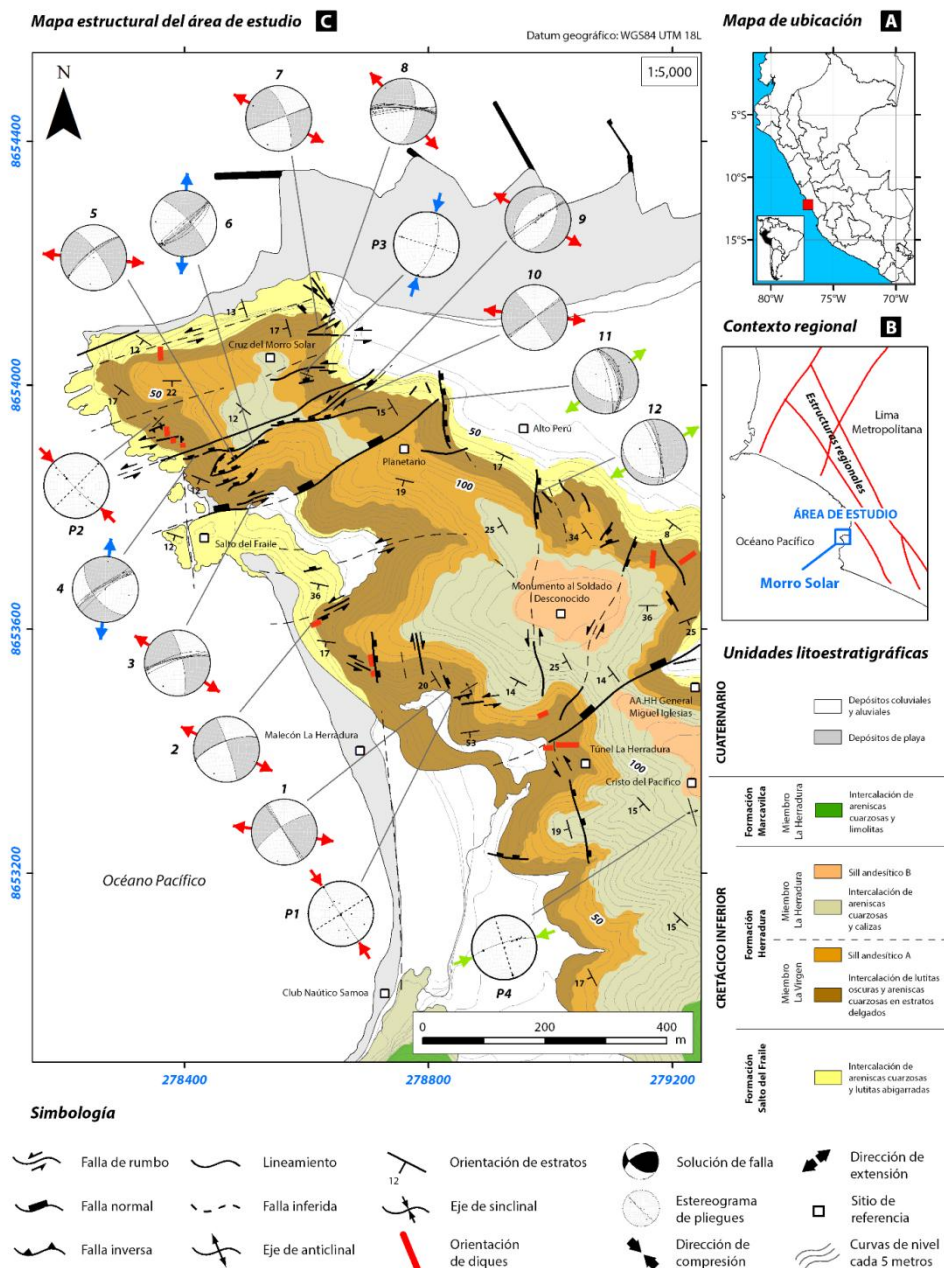
## AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden su agradecimiento al Ph.D. Gonzalo Zamora, Ph.D. José Macharé, MSc. Javier Jacay, Ing. Luis Cerpa, Ing. César Chacaltana y al Ing. Agapito Sánchez por la revisión, observaciones y sugerencias realizadas para la mejora del presente manuscrito.

## REFERENCIAS

1. Allmendinger, R.W. (2014). FaultKinWin 7.2.7 and Stereonet 9.1. Programs for Analyzing Fault Slip Data and Folds for Windows TM Computers. <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs>
2. Allmendinger, R. W., Cardozo, N. C., and Fisher, D. (2012). Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors: Cambridge, England, Cambridge University Press, 289 pp.
3. Angelier, J. (1984). Tectonic analysis of fault slip data sets. J Geophys Res 89 (B7), p: 5835-5848.
4. Bellido, E., Fernández Concha, J., Castro, L. (1948). Mapa geológico de Barranco (6-i). Instituto Geológico del Perú.
5. De Vicente, G., Muñoz, A., Giner, J.L. (1992). El uso del método de los diedros rectos: implicaciones a partir del modelo de deslizamiento del análisis poblacional de fallas. Rev. Soc. Geol. España, 5: 000-000.

6. Fernández Concha, J. (1958). Geología del Morro Solar. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú N°33, p: 3-50.
7. Marrett, R. A. & Allmendinger, R. W. (1990). Kinematic analysis of fault-slip data: J Struct Geol., v. 12, p: 973-986.
8. Rivera, R. (1951). La Fauna de los estratos Puente Inga. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú N°22, 53p.
9. Romero, D., De La Cruz, O., Rossell, W. (2005). Nueva datación  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de la Formación Pucusana como aporte a la interpretación paleogeográfica (Hauteriviano-Albiano inferior) de la costa del Perú Central. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 100: 7-19p.
10. Romero, D. (2007). La Cuenca Cretácica Superior-Paleoceno del Perú Central: Un metalotecto para la exploración de SMV. Tesis de Maestría. Máster internacional aprovechamiento sostenible de los recursos minerales, Red DESIR, p: 13-34, Lima.
11. Vidal, C. (1990). El enjambre de diques San Bartolo, Lima. Boletín Sociedad Geológica del Perú, v. 81: 55-62p.



**Figura 1.** Mapa litoestratigráfico y estructural del sector norte del Morro Solar. El procesamiento de la información estructural de campo obtenida ha sido elaborado en los programas Faultkin® y Stereonet® (Allmendinger, 2014).

**A-Mediciones estructurales de fallas**

E	N	Estación	Rumbo	Buzamiento	Pitch (cabeceo)	Cinemática	Número de estrias medidas	$\sigma_1$		$\sigma_2$		$\sigma_3$	
								Tendencia	Inmersión	Tendencia	Inmersión	Tendencia	Inmersión
278835	8653502	1	144° 151°	90° 90°	16°S 14°S	DxNx DxNx	2	193.50	10.60	327.70	74.90	101.50	10.60
278609	8653607	2	69° 70°	71°N 70°N	3°S 9°S	Sx Sx	2	207.10	17.80	356.90	69.60	114.00	9.60
278512	8653815	3	72° 77° 69° 79° 79°	70°N 81°N 83°N 77°N 79°N	16°S 11°S 15°S 16°S 12°S	SxNx SxNx SxNx SxNx SxNx	5	211.50	18.30	35.20	71.60	301.90	1.10
278413	8653883	4	55° 47° 62° 61° 58°	76°N 88°N 80°N 76°N 86°N	31°N 32°N 25°N 26°N 40°N	DxNx DxNx DxNx DxNx DxNx	5	103.40	27.80	251.10	58.00	5.60	14.50

**B-Mediciones estructurales de pliegues**

E	N	Estación	Rumbo	Buzamiento	Número de flancos de pliegues medidos	Orientación del círculo mayor (*)	
						Rumbo	Buzamiento
278843	8653495	P1	1° 24° 28° 45° 72° 74° 61° 98° 81°	26°N 67°N 33°S 30°S 43°N 65°N 36°S 42°N 27°S	9	147.30	87.90

Datum geográfico: WGS84 UTM 18L

(\*) Círculo mayor que contiene a todos los polos de los flancos medidos

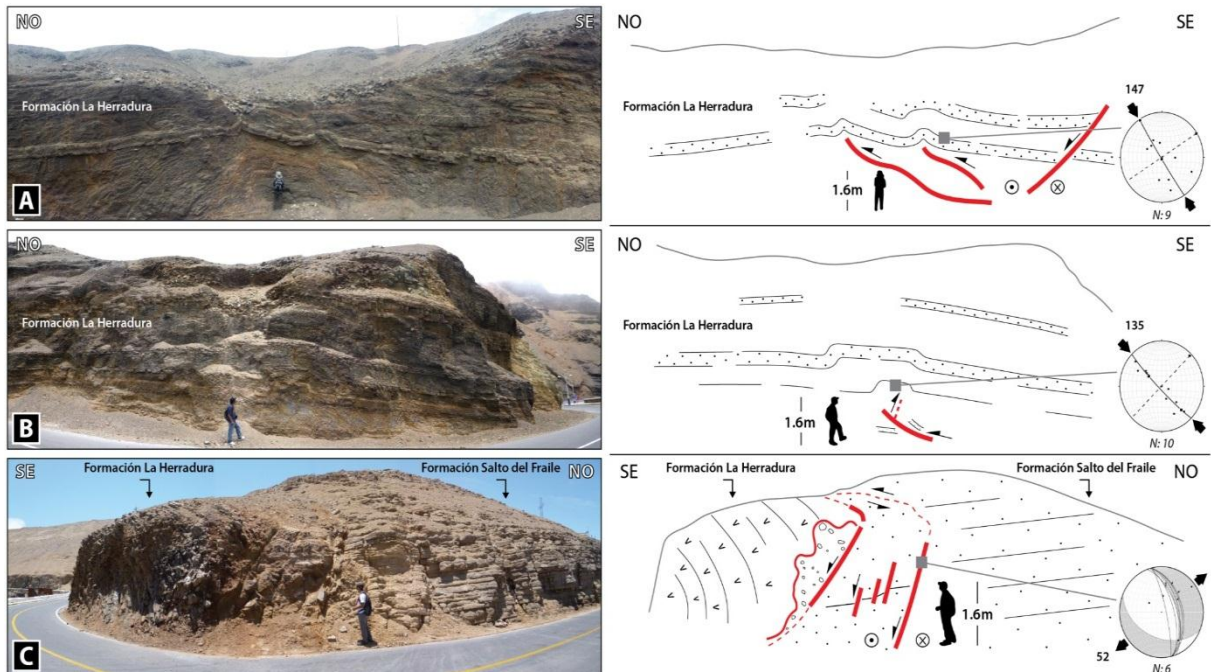
**Tipos de falla**

- Nx Normal
- Sx Rumbo sinistral
- Dx Rumbo dextral
- NxSx Normal de componente sinistral
- NxDx Normal de componente dextral
- DxNx Dextral de componente normal
- SxNx Sinistral de componente normal

**Tipos de esfuerzos**

- $\sigma_1$  Esfuerzo compresivo máximo
- $\sigma_2$  Esfuerzo compresivo intermedio
- $\sigma_3$  Esfuerzo compresivo mínimo

**Figura 2.** Tabla que contiene algunas de las estaciones microtectónicas realizadas en las fallas y pliegues cartografiados.



**Figura 3.** Algunos sketches de campo interpretados. A (Estación P1): Aparentes pliegues por propagación de fallas cuya vergencia es hacia el NO. B (Estación P2): Pliegue "en cofre". A la base, se observa que una falla inversa y un retrocabalgamiento afectan discontinuamente a los niveles superiores. C (Estación 11): Falla normal que pone en contacto a la Fm. Salto del Fraile y a la Fm. Herradura. Para los casos (P1 y P2) las fallas inversas observadas se forman a partir del reajuste tectónico ocurrido en la base de fallas normales lítricas.