



## Cartografiado e interpretación estructural del sector norte del Morro Solar, departamento de Lima, Perú

**Luis Ayala, Edward Cuipa, Carlos Roselló, Wilson López,  
Paola Llamoca, Nataly Gutiérrez, y Rossella Mendoza**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela, cd. 34/sn, Lima, Perú ([layalacz@gmail.com](mailto:layalacz@gmail.com))

### 1. Introducción

El área de estudio se ubica en la provincia de Lima, a lo largo de la costa central del Perú (Fig. 1A), y más precisamente 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.

Las estructuras que afectan a los estratos sedimentarios del Grupo Morro Solar en la localidad homónima constituyen elementos importantes para entender 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), mostraron 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 deformación registrada en el área de estudio resultó de por lo menos dos eventos

indiferenciados de origen transtensional, que aún no se encuentran bien fechados. Sin embargo, los elementos estratigráficos existentes permiten asignarle tentativamente edades a mediados y fines del Cretáceo Superior.

### 2. Estratigrafía

La estratigrafía de esta parte de la provincia de Lima comprende las rocas pertenecientes a la cuenca mesozoica de Lima. Regionalmente, la secuencia sedimentaria berriasiana-valanginiana, denominada como Grupo Morro Solar (Fernández-Concha, 1958), sobreyace a la secuencia volcánica kimberidgiana-titoniana 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 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 estos sills. Mientras que para la segunda, los distintos cuerpos subvolcánicos que se emplazan en dicha unidad se encuentran relacionados a un 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) se dató por  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  en 91.9 Ma (Romero et al., 2005). Asumiendo que los sills andesíticos que

intruyen al Grupo Morro Solar forman parte de un mismo evento volcánico que sucedió en el Cretáceo medio a superior, 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.

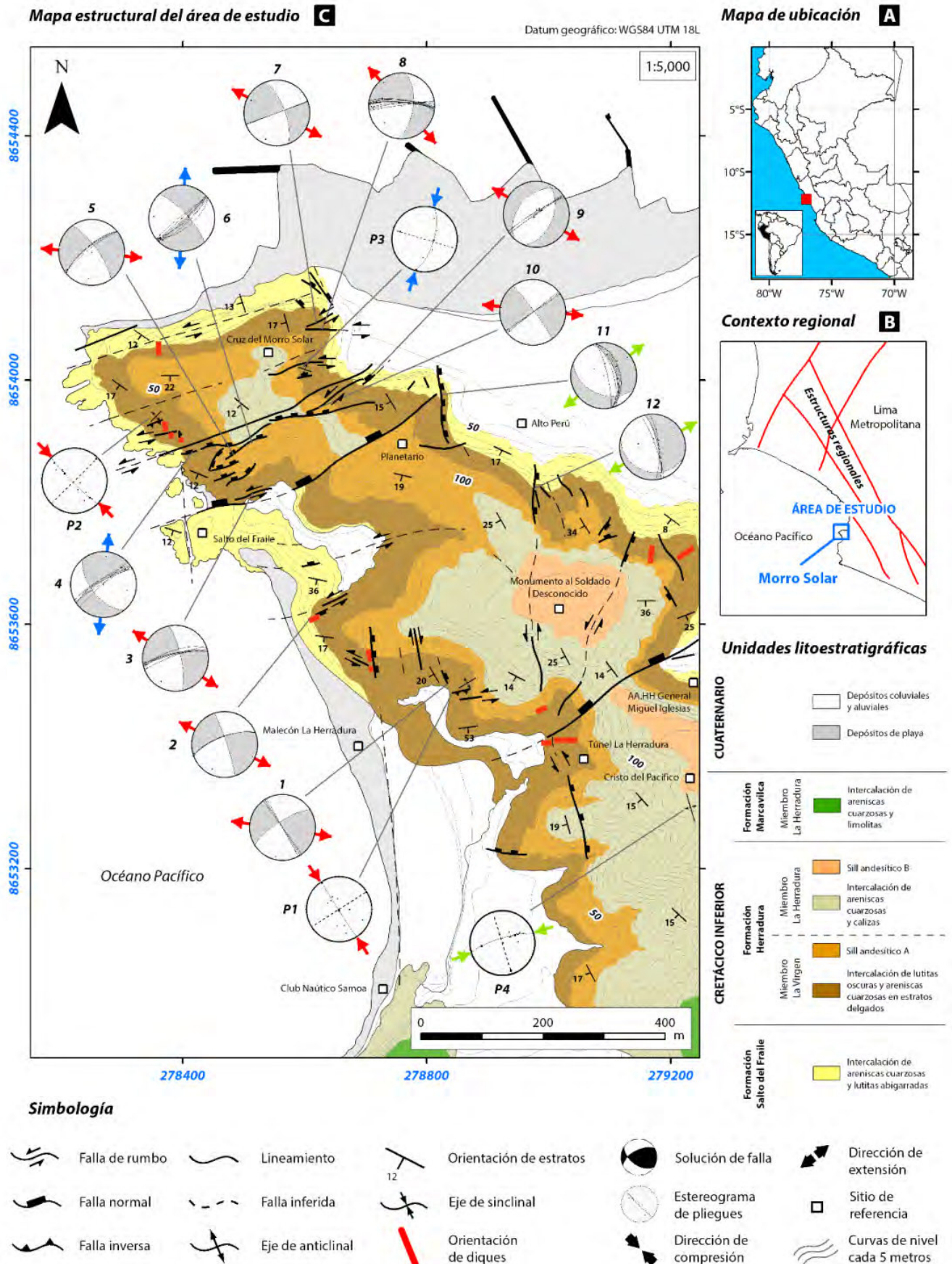


Figura 1. Mapa litoestratigráfico y estructural del sector norte del Morro Solar. El procesamiento de la información estructural de campo ha sido elaborado en los programas Faultkin® y Stereonet® (Allmendinger, 2014).

**Tabla 1.** Tabla ilustrando algunas de las estaciones microtectónicas realizadas en las fallas y pliegues cartografiados.

**A-Mediciones estructurales de fallas**

E	N	Estación	Rumbo	Buzamiento	Pitch (cabeceo)	Cinemática	Número de estrias medidas	σ1		σ2		σ3	
								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**

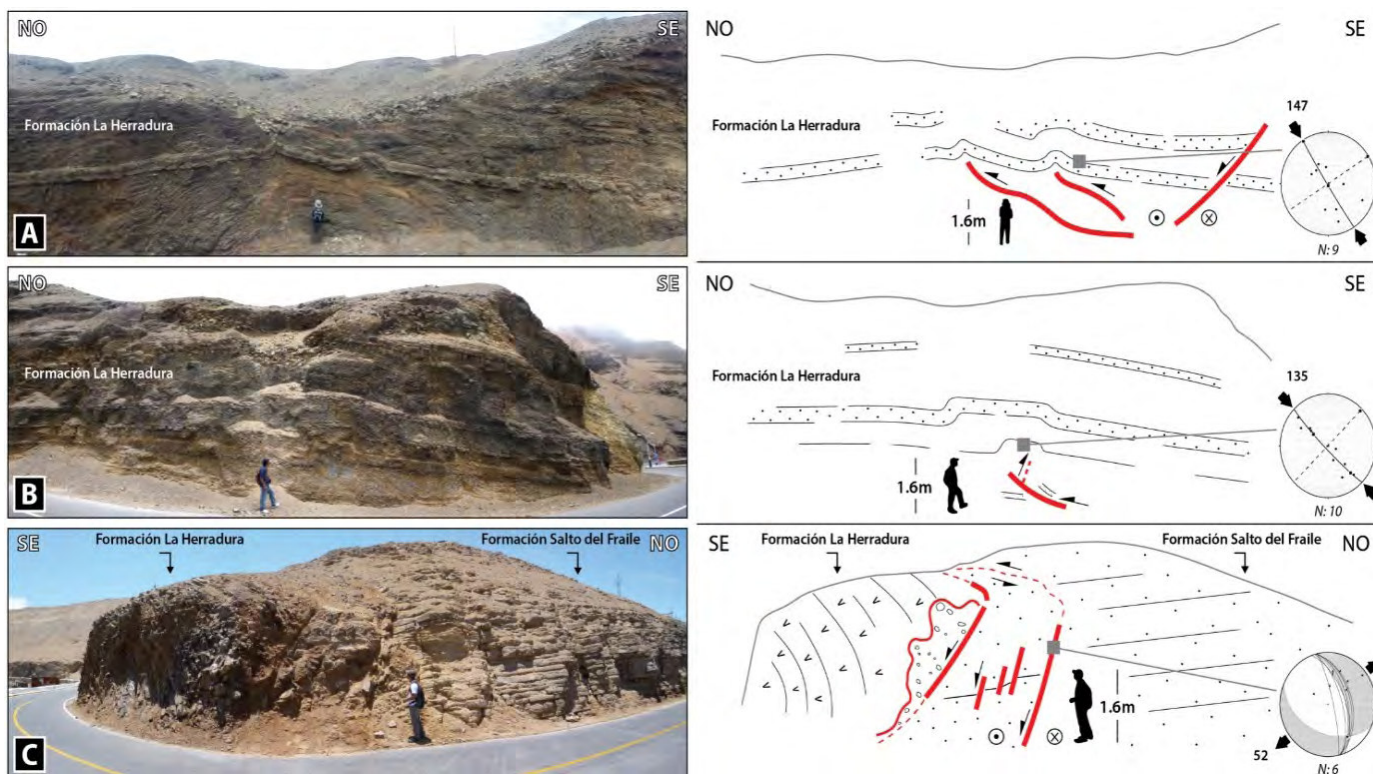
E	N	Estación	Rumbo	Buzamiento	Número de flancos de pliegues medidos	Orientación del círculo mayor (*)	
						Rumbo	Buzamiento
278843	8653495	P1	1° 24° 28° 45° 72° 74° 61° 98° 81°	26°N 67°N 33°S 30°S 43°N 65°N 36°S 42°N 27°S	9	147.30	87.90

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	
σ1	Esfuerzo compresivo máximo
σ2	Esfuerzo compresivo intermedio
σ3	Esfuerzo compresivo mínimo

Datum geográfico: WGS84 UTM 18L

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



**Figura 2.** Algunos *sketchs* de campo interpretados. A (estación P1): aparentes pliegues por propagación de fallas con vergencia hacia el NO. B (estación P2): pliegue *en coffre*; a la base se observa una falla inversa y un retrocabalgamiento afectando discontinuamente a los niveles superiores. C (estación 11): falla normal que pone en contacto las Fms Salto del Fraile y Herradura. Para los casos P1 y P2, las fallas inversas observadas se forman a partir del reacomodo tectónico ocurrido en la base de fallas normales lítricas.

### 3. 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 éste, a su vez, es cortado por un segundo sistema N-S. Estos sistemas siendo conformados por estructuras menores, se han realizado 16 estaciones microtectónicas a lo largo de éstas. De estas 16 estaciones, 12 se han medido en fallas (estaciones 1 a 12) y 4 en pliegues (estaciones P1 a P4) dentro de la intercalación de areniscas y lutitas pertenecientes a las formaciones Salto del Fraile y La Herradura, que se encuentran afectadas por sills y 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, por una parte, así como en las estaciones 4 y 6, por otra parte, corresponden a estructuras transcurrentes (*pitch* promedio < 30°) relacionadas a esfuerzos extensionales ( $\sigma_3$ ) NO-SE y N-S, respectivamente.

Las mediciones obtenidas en las estaciones 9, 11, y 12 corresponden a estructuras netamente normales (*pitch* promedio > 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 estereogramas, indica que P1 y P2 (pliegues *en coffre*) así como P3 corresponden a pliegues cilíndricos relacionados a esfuerzos locales cuyas compresiones son NO-SE y N-S, respectivamente.

Por último, la estación P4 corresponde a un pliegue de tipo cónico cuyos polos se sitúan hacia un lado del estereograma asociado a un eje compresivo local NE-SO.

Estas observaciones permiten 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 NO-SE, en rojo en la Figura 1); el segundo, por las estaciones 4, 6, y P3 (grupo 2: esfuerzos N-S, en azul en la Figura 1); y el tercero, por las estaciones 9, 11, 12, y P4 (grupo 3: esfuerzos NE-SO, en verde en la Figura 1). En conjunto, de estos datos se deduce que 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.

### 4. Interpretación y conclusiones

Por ser el sistema de estructuras principales N-S posterior al de orientación NE-SO, y puesto que ambos están relacionados a direcciones de esfuerzos distintos, se puede inferir la existencia de dos eventos tectónicos.

El primero, de dirección NO-SE, representa una transurrencia sinistral que desplazó a los diques andesíticos N-S, y que posteriormente dio lugar a pliegues simétricos (Fig. 3A y 3B) generados en la base de fallas normales listricas 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, estuvo ligado a una extensión que generó fallas normales (Fig. 3C) y pliegues superpuestos pertenecientes al grupo 3. Este tipo de pliegues está evidenciado por la rotación de sus polos observada en la correspondiente estación P4.

De esta manera se concluye que las estructuras analizadas en el área de estudio brindan indicios de un régimen transtensional, que visto regionalmente habría estado 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 un intervalo probablemente comprendido entre el Cretáceo Superior y el Paleógeno inferior.

### Agradecimientos

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

### Referencias

- Allmendinger, R.W. 2014. FaultKinWin 7.2.7 and Stereonet 9.1: Programs for analyzing fault slip data and folds for Windows™ computers. <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs>
- Allmendinger, R.W., Cardozo, N.C., Fisher, D. 2012. Structural geology algorithms: Vectors & tensors. Cambridge University Press, 289 p.
- Angelier, J. 1984. Tectonic analysis of fault slip data sets. *Journal of Geophysical Research*, v. 89 (B7), p. 5835-5848.
- Bellido, E., Fernández-Concha, J., Castro, L. 1948. Mapa geológico de Barranco. Instituto Geológico del Perú.
- 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. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, v. 5.
- Fernández-Concha, J. 1958. Geología del Morro Solar. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 33, p. 3-50.
- Marrett, R.A., Allmendinger, R.W. 1990. Kinematic analysis of fault-slip data. *Journal of Structural Geology*, v. 12, p. 973-986.
- Rivera, R. 1951. La fauna de los estratos Puente Inga. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 22, 53 p.
- Romero, D. 2007. La cuenca cretácica superior-paleocena del Perú central: Un metalotecto para la exploración de SMV. Tesis de maestría, Máster internacional, red DESIR, Lima, p. 13-34.

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, p. 7-19.

Vidal, C. 1990. El enjambre de diques San Bartolo, Lima. Boletín Sociedad Geológica del Perú, v. 81, p. 55-62.