



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Variabilidad del aporte terrígeno y biogénico e implicancias en la formación de dolomita diagenética en los sedimentos de la formación Pisco (cerro ladera de Lisson, Ica, Perú)

Franco Quispe^{1,2}, Diana Ochoa^{1,3}, Kelly Quispe¹

¹Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), Proyecto de Sostenibilidad Económica del Ecosistema marino-costero frente a los Riesgos Climáticos.

² Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

³ Centro de Investigación para el Desarrollo Integral y Sostenible, UPCH

RESUMEN

Las rocas de la Formación Pisco ofrecen una excelente oportunidad para estudiar los cambios ambientales y las variaciones en los niveles de productividad y oxigenación del margen continental peruano durante el Neógeno. En este trabajo, buscamos caracterizar los aportes detríticos y biogénicos a la Cuenca Pisco Este durante el Mioceno medio (ca. 12.5-11.5 Ma) a través del estudio del registro geoquímico de tres elementos (Al, Si_{no litogénico} y Ca_{no litogénico}) preservado en la Sección Ladera de Lisson, ubicada en el flanco oriental del valle del río Ica (Sector Sula). El registro geoquímico indica un aporte terrígeno constante a lo largo de la secuencia y un aumento del aporte biogénico silíceo que favorece el desarrollo de facies diatomáceas hacia el tope de la secuencia. En cuanto a las condiciones redox por debajo de la interface agua-sedimento, se observan condiciones reductoras que incrementan hacia el tope de la secuencia, promovidos probablemente por el aumento de depositación biogénica silíceo, durante la formación periódica de dolomita diagenética.

Palabras clave: Dolomita diagenética, aporte terrígeno, aporte biogénico, Cuenca Pisco Este, Alomiembro P1.

ABSTRACT

Sediments from the Pisco Formation offer an opportunity for studying environmental changes and sedimentary processes associated with variations

in productivity levels and oxygenation along the continental margin during the Neogene. In this work, we seek to characterize the detrital and biogenic supply to the East Pisco Basin during the Middle Miocene (ca. 12.5-11.5 Ma) through the geochemical record of three elements (Al, Si_{non-lithogenic} and Ca_{non-lithogenic}) preserved in the Sección Ladera de Lisson, which is located on the eastern site of the Ica River Valley (Sector Sula). The geochemical record indicates a constant terrigenous supply throughout the sequence and an increase in the siliceous biogenic supply favoring the development of diatomaceous facies towards the top of the sequence. As for the redox conditions below the water-sediment interface, we observe reducing conditions that increase towards the top of the sequence, probably promoted by an increased biogenic siliceous deposition, during the periodic formation of diagenetic dolomite.

Keywords: Diagenetic dolomite, terrigenous supply, biogenic supply, East Pisco Basin, Allomember P1.

INTRODUCCIÓN

Durante el Mioceno-Plioceno, en el antearco peruano (14°-16° S) se acumularon sedimentos marinos costeros pertenecientes a la Formación Pisco, que incluyen aportes de diferente naturaleza (terrígena, biogénica e hidrogenada). El predominio de un tipo de sedimento sobre otro se aprecia en distintos intervalos del tiempo y es asociado, en

general, a cambios en los procesos sedimentarios (ej., erosión continental), al desarrollo de nuevos ambientes sedimentarios (ej., profundización de la cuenca), y al reforzamiento de la surgencia de aguas del Pacífico (Di Celma et al., 2017; Dunbar et al., 1990). No obstante, a la fecha, se desconoce las tasas de variación de las fuentes de aportes sedimentario, cuáles son los procesos que las controlan y que relación tienen con las diferentes facies sedimentarias (ej., limolitas/lutitas diatomáceas) presentes en la formación.

Dado que la composición química de los sedimentos marinos puede proporcionar información paleoambiental (ej., tasas de precipitación continental, régimen de surgencia de aguas) en distintas escalas de tiempo (Calvert & Pedersen, 2007), en este trabajo, se estudia en detalle una sucesión sedimentaria perteneciente a la Formación Pisco, y se caracteriza la composición elemental de los sedimentos, con el objetivo de definir los aportes y procesos sedimentarios asociados con facies litológicas específicas y las condiciones ambientales existentes durante el depósito.

METODOLOGÍA

El Cerro Ladera de Lisson ($14^{\circ}50'20''S$, $75^{\circ}27'44''O$), ubicado en el flanco oriental del valle del río Ica (Sector Sula; Fig. 1), contiene un potente afloramiento de rocas acumulado durante el Mioceno medio (entre ca. 12.5-11.5 Ma; DeVries et al., in press), que es correlacionable con las facies observadas en el alomamiento P1 (*sensu* Di Celma

et al., 2017) que aflora en el flanco occidental del valle del río Ica (DeVries et al., in press). Allí se levantó una columna estratigráfica, de ~96 m de espesor y se colectaron 38 muestras de rocas distribuidas sistemáticamente en las tres principales litologías de la sucesión (limolitas arenosas, limolitas diatomáceas y limolitas cementadas de dolomita). Todas las muestras fueron estudiadas por fluorescencia de rayos X en un analizador portátil (modelo S1 TITAN). El valor elemental promedio por muestra se calculó a partir de cuatro medidas de XRF. La precisión instrumental se evaluó sistemáticamente (cada 50 disparos) con respecto a una muestra estándar, y los patrones de concentración obtenidos con el analizador portátil se validaron al comparar los resultados geoquímicos de 10 muestras escogidas al azar versus los resultados obtenidos usando un espectrómetro de masas. El grado de correspondencia entre ambos resultados fue estadísticamente aceptable ($R^2 > 0.7$).

En este trabajo, se presenta el comportamiento del Al, $Si_{\text{no litogénico (NL)}}$ y $Ca_{\text{no litogénico (NL)}}$ en la sección Ladera de Lisson (SLL). El Al es un elemento que generalmente representa la fracción de aluminosilicatos y es escasamente utilizado por organismos planctónicos en la columna de agua, por lo que es tradicionalmente usado como indicador del aporte terrestre, ya sea eólico o fluvial. El Si es empleado por diatomeas para la construcción de frústulas, las cuales se depositan y preservan en el fondo marino (Si_{bio}) después de que se completan sus ciclos de vida, por lo que la determinación de la fase biogénica ofrece una indicación directa de la

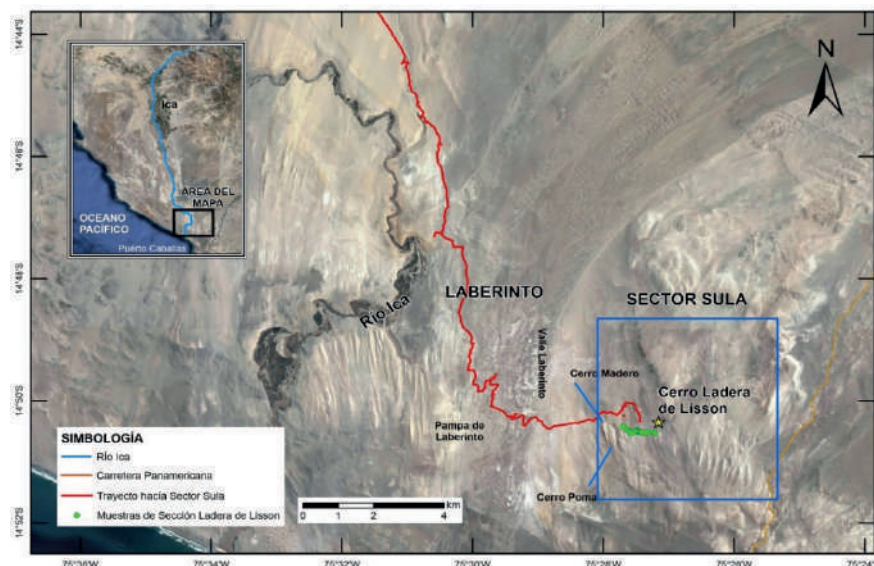


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio y alrededores. La estrella amarilla indica la ubicación de Cerro Ladera de Lisson, la cual se encuentra dentro de Sector Sula (encerrada en un rectángulo azul).

productividad existente en la columna de agua. Finalmente, el Ca_{NL} puede ser asociado con niveles de dolomita diagenética, las cuales se forman en ambientes reductores (interface sulfato-metano) promovidos por la presencia de materia orgánica y la actividad microbial (Meister et al., 2008). Adicionalmente, la concentración del Al se usó como elemento normalizador debido a que presenta concentraciones similares en la mayoría de las rocas (sedimentarias, ígneas y metamórficas). En base a tal elemento, se calcularon las fracciones no litogénicas del Si y Ca como (Nameroff et al., 2004): $X_{NL} = X_{total} - (Al_{total} (X/Al)_{cc})$; donde X representa el elemento por calcular y $(X/Al)_{cc}$, la relación de ambos elementos en la corteza continental (según Rudnick & Gao, 2013).

RESULTADOS

La SLL es una sucesión sedimentaria granodecreciente muy homogénea (Fig. 2A). En base a su litología y contenido fósil se distinguen dos miembros: inferior (SLL_{inf}) y superior (SLL_{sup}). SLL_{inf} aflora en los primeros ~40 m sobre la base y se caracteriza por el predominio de limolitas arenosas (*La*) con cantidades considerables de restos fósiles; mientras SLL_{sup} está caracterizada por li-

molitas diatomáceas (*Ld*) y menores cantidades de registros fósiles. A lo largo de SLL se distribuyen numerosos niveles de limolitas cementadas de dolomita diagenética (*Lcd*), formando frecuentemente estructuras nodulares que disminuyen en espesor hacia el tope de la sucesión.

Los patrones geoquímicos (Fig. 2B, C) de los sedimentos no afectados por diagénesis (*La* y *Ld*), corroborados por las mínimas e inexistentes concentraciones de Ca_{NL} (dolomita diagenética), muestran concentraciones similares de Al a lo largo de SLL, con bajas concentraciones de Si_{bio} en SLL_{inf} pero que incrementan en SLL_{sup} . Estos resultados indican un suministro terrígeno constante ingresando a la cuenca sedimentaria y el aumento en la ocurrencia (y posible intensidad) de periodos de productividad silícea hacia el tope de la sucesión. Por otro lado, los sedimentos afectados por diagénesis (*Lcd*) se caracterizan por elevadas concentraciones de Ca_{NL} (6-15 veces mayores con respecto a los demás sedimentos) que incrementan en SLL_{sup} (Fig. 2E), sugiriendo un correspondiente aumento de la exportación de materia orgánica y de la alcalinidad por debajo de la interfase agua-sedimento.

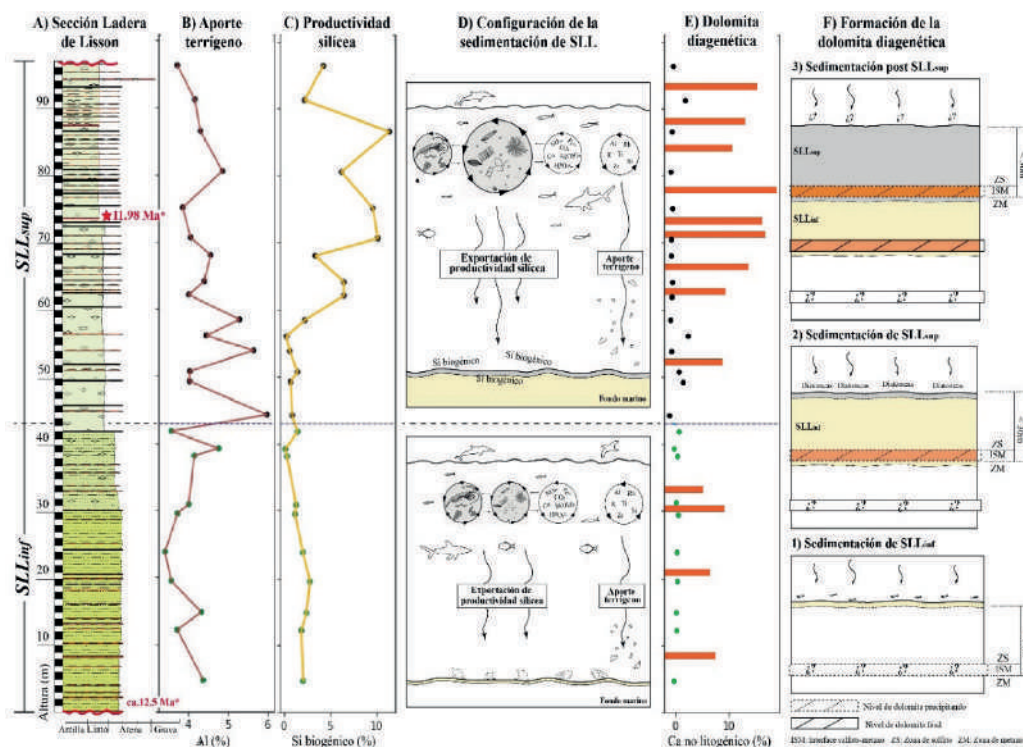


Figura 2. A) Sección Ladera de Lisson. La estrella roja superior (inferior) indica la edad de un nivel de cenizas datado a partir de U/Pb (edad en base a ensambles diatomáceos) (DeVries et al., in press). B, C, E) Patrones de variabilidad geoquímica del Al, Si_{bio} y Ca_{NL} identificados en la Sección Ladera de Lisson. Cada facie sedimentaria está asociada con un color: negro (*Ld*), verde (*La*) y anaranjado (*Lcd*). D) Esquema de la interpretación paleoambiental del fondo marino para SLL_{inf} y SLL_{sup} . Nótese el incremento de productividad silícea en SLL_{sup} . F) Esquema de la formación de los niveles dolomíticos (*Lcd*), basados en Meister et al. (2008).

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Según la datación radiométrica U/Pb, el contenido de diatomeas y las correlaciones estratigráficas propuestas por DeVries et al., (in press), la SLL se depositó entre ca. 12.5-11.5 Ma. Durante este intervalo (12-10 Ma) se registró una transición en el régimen de precipitaciones (de 50-150 mm/año a 30-10 mm/año) en el desierto de Perú-Chile (Rech et al., 2019) the timing of Andean uplift and its subsequent impact on atmospheric circulation is not well known. Here we use fossil soils from along an 800-km transect (19–25°S. Las precipitaciones afectan los procesos de denudación, meteorización y erosión costera, así como la cantidad de material particulado presente en la atmósfera, por tanto, es esperable que variaciones en las tasas de precipitación como las sugeridas por Rech et al., (2019) impliquen un cambio directo en la cantidad de aporte terrígeno llegando a la cuenca sedimentaria. No obstante, los datos geoquímicos de la SLL muestran que el aporte terrígeno fue relativamente constante a lo largo de la sucesión (entre 12.5-11.5 Ma), sugiriendo que la variación en los patrones de precipitación costera debieron ocurrir después de los 11.5 Ma. Dado, que no hay evidencias que indiquen una profundización de la cuenca sedimentaria, el incremento de la paleoproductividad silícea observado en la parte alta de la sucesión (*Ld*) es atribuible a un periodo de reforzamiento de la surgencia costera (evento característico de la Formación Pisco; Dunbar et al., 1990) en co-ocurrencia con procesos de fertilización de las aguas debido a eventos volcánicos evidenciados por los niveles tobáceos de SLL_{sup}.

En cuanto a la formación de los niveles de limolitas cementadas de dolomita, es probable, que éstos se formaran en la interfase sulfato-metano dentro de los primeros 30 m por debajo del fondo marino debido al incremento de alcalinidad inducido por actividad microbial en sedimentos ricos en materia orgánica (Meister et al., 2008). El incremento en la actividad microbial en la SLL pudo deberse a múltiples factores (Stanton, 2014): incremento de floraciones masivas de diatomeas o de la depositación biogénica no silícea, menor circulación de la cuenca, o incluso variaciones climáticas. Las dos últimas razones no pueden ser descartadas; no obstante, variaciones de esta naturaleza generarían alteraciones en la composición química de las rocas, y éstas no fueron observadas dentro de la SLL. En la SLL_{inf} la actividad microbial pudo verse favorecida por el incremento

de la depositación biogénica no silícea, asociado a la constante presencia de fragmentos fósiles de maderas, invertebrados (gasterópodos, bivalvos), y restos de vertebrados (cetáceos, peces, rayas, tiburones, aves, entre otros). Mientras que la presencia de (múltiples) floraciones masivas de diatomeas parece ser el mecanismo principal que promovió la actividad microbial en SLL_{sup}. El incremento de la productividad silícea promovería, además, mayores condiciones reductoras durante la formación de los niveles dolomíticos en SLL_{sup}, en comparación con la depositación biogénica no silícea de SLL_{inf}.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del “Proyecto de Sostenibilidad Económica del Ecosistema marino-costero frente a los Riesgos Climáticos” financiado por UPCH-FONDECYT-BM (Contrato N° 034-2019-FONDECYT-BM-INC.INV). El apoyo logístico y la obtención y validación de los datos geoquímicos fueron proporcionados por BizaLab.

REFERENCIAS

- Calvert, S. E., & Pedersen, T. F. (2007). Chapter Fourteen Elemental Proxies for Palaeoclimatic and Palaeoceanographic Variability in Marine Sediments: Interpretation and Application. *Developments in Marine Geology*, 1(07), 567–644.
- DeVries, T., Barron, J., Urbina, M., Ochoa, D. & Esperante, R. (in press). The Miocene stratigraphy of the Laberinto area (Río Ica Valley) and its bearing on the geological history of the East Pisco Basin (south-central Peru). *JSAMES*.
- Di Celma, C., Malinverno, E., Bosio, G., Col-lareta, A., Gariboldi, K., Gioncada, A., Molli, G., Basso, D., Varas-Malca, R. M., Pierantoni, P. P., Villa, I. M., Lambert, O., Landini, W., Sarti, G., Cantalamessa, G., Urbina, M., & Bianucci, G. (2017). Sequence stratigraphy and paleontology of the Upper Miocene Pisco Formation along the western side of the lower Ica valley (Ica desert, Peru). *Rivista Italiana Di Paleontologia e Stratigrafia*, 123(2), 255–273.
- Dunbar, R. B., Marty, R. C., & Baker, P. A. (1990). Cenozoic marine sedimentation in the Sechura and Pisco basins, Peru. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 77(3–4), 235–261.
- Meister, P., Bernasconi, S. M., Vasconcelos,

C., & McKenzie, J. A. (2008). Sealevel changes control diagenetic dolomite formation in hemipelagic sediments of the Peru Margin. *Marine Geology*, 252(3–4), 166–173.

Rech, J. A., Currie, B. S., Jordan, T. E., Riquelme, R., Lehmann, S. B., Kirk-Lawlor, N. E., Li, S., & Gooley, J. T. (2019). Massive middle Miocene gypsic paleosols in the Atacama Desert and the formation of the Central Andean rain-shadow. *Earth and Planetary Science Letters*, 506, 184–194.

Rudnick, R. L., & Gao, S. (2013). Composition of the Continental Crust. In *Treatise on Geochemistry: Second Edition* (2nd ed., Vol. 4, Issue November). Elsevier Ltd.

Stanton, C. (2014). *Correlation and Paleoenvironments above West T9.3 Tuff, Pisco Formation, Peru.*