



SÍLICE AMORFA Y BIOGEOQUÍMICA DEL SILICIO EN SECUENCIAS PEDOSSEDIMENTARIAS DEL SUDESTE BONAERENSE

AMORPHOUS SILICA AND BIOGEOCHEMISTRY OF SILICON IN PEDOSSEDIMENTARY SEQUENCES OF SOUTHEASTERN BUENOS AIRES PROVINCE

Osterrieth, M.^{1,2}; Frayssinet, L.^{3,4}; Benvenuto, L.^{1,2}; Donna, Roberto,^{1,2}; Paolicchi, M.^{1,2}; Frayssinet, C.^{1,2}; Borrelli, N.^{1,3}; Fernández, Honaine¹M.²N¹; Morel, Eduardo^{3,4}

¹ Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario. FCEyN – UNMdP-CIC.. CC 722 Correo Central 7600 Mar del Plata, Argentina. ² Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, IIMyC-UNMdP-CONICET, Peña 4046, Mar del Plata, Argentina. ³ C.I.C., Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires-⁴ Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

mosterri@yahoo.com.ar

Resumen

El silicio segundo elemento en abundancia en la corteza terrestre, se presenta como silicatos y una alta proporción en ambientes geoquímicos superficiales como sílice amorfa geogénica y biogénica. El trabajo presenta una síntesis de los contenidos de sílice amorfa asociados a: la producción vegetal de comunidades típicas nativas y cultivos; la presencia de sílice amorfa en secuencias pedosedimentarias; y su relación con el contenido de sílice en la solución del suelo, aguas superficiales y subterráneas, para contribuir a la comprensión del ciclo biogeoquímico de silicio en ecosistemas templados de la llanura de latitudes medias. Los resultados obtenidos contribuyen a una mejor comprensión de, las condiciones de saturación, los procesos erosivos, pedogenéticos, diagenéticos, entre otros, que aportan a las interpretaciones paleoambientales del Cenozoico tardío, que conllevan a la comprensión de los aportes de silicio en los diferentes compartimentos que incluyen los flujos de entradas y salidas de silicio al geosistema de llanura.

Palabras claves: *Biom mineralizaciones, silicofitolitos, Llanura Pampeana.*

Introducción

Avanzar en la comprensión del ciclo biogeoquímico del silicio requiere del conocimiento de los procesos que dependen juntamente de la biología de los organismos que utilizan ese elemento, la disponibilidad geológica, la química orgánica e inorgánica, todo condicionado por el ambiente involucrado. La mayoría de las investigaciones se han centrado casi exclusivamente en procesos de meteorización de rocas y/o el ciclo oceánico del silicio, mientras que su abordaje en ambientes continentales es muy escaso. El silicio, segundo elemento en abundancia en la corteza terrestre luego del oxígeno, se halla mayoritariamente como silicatos que forman rocas, sedimentos y en los materiales parentales de los suelos, su calidad como un nutriente importante controla junto a otros elementos el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, marinos, costeros y de aguas continentales (Exley, 1998; Sommer et al., 2006).

La mineralogía de las secuencias pedosedimentarias cenozoicas en la Llanura Pampeana, es homogénea, predominan los minerales livianos. Y dentro de estos los compuestos por sílice amorfo de origen inorgánico como los vitroclastos, clastos de rocas volcánicas que se presentan en altos porcentajes y sílice amorfa biogénica (silicofitolitos, diatomeas, poríferos), que son también muy abundante, en la fracción limo y arena finas. Ambas fracciones de sílice amorfa tienen un tamaño granulométrico predominantemente limo-arenoso fino, y mayor solubilidad que la sílice cristalina, La sílice biogénica es el resultado de procesos de biomineralización, fenómeno generalizado en la naturaleza, generado a partir de la actividad metabólica de diferentes organismos uni y multicelulares, distribuidos ampliamente en el planeta donde actúan como una fuente global y sumidero de iones solubles (Lowestán 1981; Borrelli et al., 2012; Osterrieth 2015). Las biomineralizaciones de sílice amorfo de origen vegetal, denominados silicofitolitos (sílice amorfa hidratada, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), están siempre presentes en numerosos grupos de plantas y en particular en gramíneas; ubicándose en los



espacios intra o intercelulares y en diversos órganos. Una vez que la materia vegetal que contiene los silicofitolitos, se descompone por los procesos pedológicos inherentes, estas biomineralizaciones son incorporadas pre-sin y post pedogenéticamente al suelo, exponiéndose a los mismos procesos de intemperización que afectan a los minerales; algunos persisten en los suelos y sedimentos durante miles a millones de años, mientras que una gran proporción de los mismos degradan total y/o parcialmente (Piperno, 1988; Osterrieth et al. 2009). En el sureste de la región pampeana, la cobertura vegetal prístina a lo extenso del Cenozoico ha sido la típica de paleopraderas (Cabrera, 1976; Fernandez Honaine y Osterrieth, 2012), una de las principales productoras de silicofitolitos.

Por lo expuesto, el objetivo de este trabajo es presentar una síntesis de las cuantificaciones obtenidas de: la producción vegetal de comunidades típicas; la presencia de sílice amorfa biogénica y geogénica en secuencias pedosedimentarias; y su relación con el contenido de sílice en la solución del suelo, aguas superficiales y subterráneas para contribuir a la comprensión del ciclo biogeoquímico de sílice en los ecosistemas templados de la llanura de latitudes medias.

Materiales y métodos

Se trabajó en distintas especies vegetales nativas y cultivos de las que se extrajeron los silicofitolitos mediante técnicas de rutina (Labouriau, 1983) y analizados mediante microscopio Leitz Wetzlar a 400 aumentos. En suelos y sedimentos se trabajó en muestras disturbadas y no disturbadas representativas de distintas secuencias pedoestratigráficas del sudeste de la Llanura Pampeana, con técnicas pedológicas y sedimentológicas de rutina. El tratamiento para el estudio de la fracción sílice amorfo se realizó según lo definido por Alvares et al. (2008). El estudio mineralógico se efectuó mediante lupa, microscopio petrográfico y microscopio electrónico de barrido (MEB). Se determinó el número estimativo de silicofitolitos por gramo de suelo (Albert y Weiner, 2001). Los estudios mineraloquímicos semicuantitativos de los componentes elementales, se efectuaron mediante MEB y estudios difracto métricos microdispersivos (EDAX). El estado de alteración de las biomineralizaciones se analizó mediante microscopio óptico y MEB; y la concentración de SiO_2 en solución se determinó por espectrofotometría UV-VIS, MEB y EDAXs.

Resultados y discusión

El contenido de silicofitolitos en las subfamilias de plantas nativas estudiadas osciló entre 3,9 y 14% de peso seco. Las Pooideae presentaron los valores más altos (6,5-14%; $9,2 \pm 2\%$ de peso seco) y Panicoideae los contenidos más bajos (4-8,3%; $5,4 \pm 2,5\%$ de peso seco). Los medios del contenido en las especies Stipoideae y Arundinoideae fueron $7,4 \pm 2\%$ y $6,1\%$ respectivamente. Se observaron diferencias significativas en el contenido de silicofitolitos como porcentaje del peso seco en hojas entre las subfamilias Pooideae y Panicoideae. Los cultivos de trigo presentaron contenidos totales en los estadios reproductivos entre 2,9 -13,8 % de peso seco, con los máximos en hojas e inflorescencias; el maíz con valores entre 0,9-10,5 % del peso seco con el máximo valor en hojas. Estos valores determinados en los cultivos preponderantes en la zona marcan la importancia del aporte de silicofitolitos y sílice amorfa/silicio al sistema por parte de los cultivos preponderantes durante los últimos 200 años de actividades agrícolas de la Llanura Pampeana.

La fracción sílice amorfa presenta en estas secuencias pedológico-sedimentarias estudiadas, una composición mineralógica de la fracción arena y limo, donde se evidencia que los minerales livianos son preponderantes (>90%), con un estado leve de alteración de los silicatos mayoritarios (cuarzo, feldspatos). Pero se destaca que dentro de la fracción liviana, los componentes constituidos por sílice amorfa de origen orgánico (diatomeas, quistes de Chrisostomataceas, poríferos y silicofitolitos) e inorgánico (vitroclastos y litoclastos volcánicos), son predominantes particularmente en la fracción limo con valores que superan el 60% en general.

Los componentes de la fracción sílice amorfa biogénica son los que se presentan más alterados. Los vidrios volcánicos y litoclastos volcánicos presentan alteraciones variables, que en general se incrementan hacia los niveles más antiguos en la base de las secuencias. Las trizas vítreas en los niveles superiores se hallaron poco alteradas, pero mayoritariamente con



revestimientos de arcillas y óxidos en sus canalículos. Un dato relevante es el obtenido de 20.000.000 de silicofitolitos por gramo de suelo en los horizontes superficiales (epipedones mólicos, A/AC), que muestra una sustancial disminución del 90 % de silicofitolitos en los horizontes subsuperficiales (endopedones B), con una media de 2.000.000 silicofitolitos/grm de suelo y en los materiales parentales loésicos y paleosuelos (horizontes C/2BC) contenidos medios de 1.500.000 silicofitolitos/grm de suelo.

Los contenidos de silicio en las secuencias pedosedimentarias muestran valores medios en la solución del suelo de 450 $\mu\text{mol/L}$ para los epipedones mólicos (A/AC) que en general incrementan en suelos cultivados, a 700 $\mu\text{mol/L}$. En los horizontes iluviales (BC/Bt) los valores ascienden a 750 $\mu\text{mol/L}$ de media; mientras que los mayores valores 1200 $\mu\text{mol/L}$ se hallan en materiales parentales loésicos (C); y paleosuelos con valores variables entre 500 y 1300 $\mu\text{mol/L}$, siendo la tendencia a incrementar los valores de silicio hacia la base de las secuencias. Estos incrementos de sílice en la solución de sedimentos y paleosuelos muestra los procesos de migración de este elemento por escurrimiento superficial y subsuperficial hacia aguas encausadas lagunas con valores muy variables entre 10 y 100 $\mu\text{mol/L}$, asociados al desarrollo estacional de comunidades algales que biomineralizan sílice amorfo especialmente diatomeas, en los arroyos de la zona de estudio varían entre 60 y 700 $\mu\text{mol/L}$, que desaguan sus contenidos de silicio al mar. Por proceso de infiltración–lixiviación se transfiere a las aguas subterráneas del acuífero Pampeano con tenores promedio de 850 $\mu\text{mol/L}$.

Los altos contenidos de silicofitolitos que desaparecen del solum, se degradan y disuelven con el consecuente aporte de silicio al sistema: solución del suelo que en parte puede ser readsorbido a nivel radicular nuevamente por las comunidades vegetales; otra parte conforma matrices enriquecidas en sílice amorfo y otra gran parte pasa a los sistemas ácuos superficiales y subterráneos. En estos ambientes, la disolución de la sílice amorfa especialmente biogénica es el único proceso que permite explicar los altos tenores de sílice disuelto en los niveles más superficiales del acuífero Pampeano (Martinez y Osterrieth, 2013).

Conclusiones

El estado y cantidad de la sílice amorfa (inorgánica y orgánica) en suelos, sedimentos, cuerpos de agua dulce y aguas subterráneas contribuyen a una mejor comprensión de, las condiciones de saturación, los procesos erosivos, pedogenéticos, diagenéticos, etc., que aportan a las interpretaciones paleoambientales del Cenozoico tardío en el SE de la Llanura pampeana, que conllevan también a la comprensión de los aportes de sílice en los diferentes compartimentos de incluyen los flujos de entradas y salidas de silicio al geosistema de llanura de latitudes medias.

También, se destaca que la absorción, almacenamiento y liberación de silicio por parte de la vegetación natural y cultivos juegan un rol relevante en la dinámica y movilidad del silicio en ambientes terrestres y su influencia a lo extenso del tiempo geológico transcurrido, así como el rol de la actividad antrópica en la modificación del ciclo biogeoquímico del silicio. Lo cual evidencia la importancia de incrementar los estudios de este ciclo, vista las deficiencias de su conocimiento en el sistema continental respecto de otros ciclos mayoritarios.

Agradecimientos

Subsidios AGENCIA- PICT-2495 y UNMDP-EXA741/17

Bibliografía

- Alvarez, M.; N. Borrelli y M. Osterrieth.** 2008. Extracción de biominerales silíceos en distintos sedimentos utilizando dos técnicas básicas. *British Archaeological Research* BAR: 31-38.
- Albert R. y W. Weiner,** 2001. Study of phytoliths in prehistoric ash layers from Kebara and Tabun caves using a quantitative approach. In: Meunier, J.-D., Colin, F. (Eds.), *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*. A. A. Balkema Publishers, pp. 251–266.



- Borrelli N., M. Osterrieth y J. Marcovecchio.** 2008. Interrelations of vegetal cover, silicophytolith content and pedogenesis of Typical Argiudolls of the Pampean Plain, Argentina. *CATENA* 75(2). 146-153.
- Borrelli, N., Osterrieth, M., Romanelli, A., Alvarez, M.F., Cionchi, J. L. and Massone, H.** 2012. Biogenic silica in wetlands and their relationship with soil and groundwater biogeochemistry in the Southeastern of Buenos Aires Province, Argentina. *Environ Earth Sci.* 65(2): 469--480
- Cabrera, A.L.** 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas, Editorial ACME SACI, Bs. As.
- Exley, C.** 1998. Silicon in life: A bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *J. Inorg. Biogeochem.* 69: 139--144
- Fernandez Honain E M., M. Osterrieth.** 2012. Silicification of the adaxial epidermis of leaves of a panicoid grass in relation to leaf position and section and environmental conditions. *Plant Biology*, 14: 596--604
- Labouriau, L.** 1983. Phytolith work in Brazil: a minireview. *The Phytolitharien Newsletter.* 2(2): 6--10
- Lowenstam, R.,** 1981. Minerals formed by organisms. *Science*, 211: 1126- 1131.
- Martínez, D.E. and Osterrieth, M.** 2013. Hydrogeochemistry and pollution effects of an aquifer in Quaternary loess like sediments in the landfilling area of Mar del Plata, Argentina. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* 66: 9--23.
- Osterrieth, M., Madella, M., Zurro, D. and Alvarez, M.F.** 2009. Taphonomical Aspects of Silica Phytoliths in the Loess Sediments of the Argentinean Pampas. *Quat. Int.* 193: 70--79
- Osterrieth, M., Borrelli N., Alvarez, M.F & M Fernandez Honaine.,** 2015 Silica biogeochemical cycle in temperate ecosystems of the Pampean Plain, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences.* 63 172-179
- Piperno, D.** 1988. Phytolith Analysis: an Archaeological and Geological Perspective, Academic, New York
- Sommer, M., Kaczorek, D., Kuzyakov, Y. and Breuer J.** 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes—a review. *J Plant Nutr Soil Sci.* 169: 310--329