

Incidencia de la precipitación en la alteración geoquímica de los petroglifos de Campo Lameiro

BEATRIZ PRIETO, BEATRIZ CARREJA, BENITA SILVA, PATRICIA SANMARTÍN*

**patricia.sanmartin@usc.es*

*Departamento de Edafología e Química Agrícola. Facultade de Farmacia,
Grupo de Estudios Medioambientales Aplicados al Patrimonio natural y cultural
(GEMAP-USC)*

*Universidade de Santiago de Compostela,
15782 - Santiago de Compostela, Spain*

RESUMEN

Se analiza en este trabajo la incidencia de la precipitación en la alteración geoquímica del granito que sirve de material soporte de los petroglifos de Campo Lameiro, localidad pontevedresa donde se encuentra la mayor concentración de arte rupestre de Galicia. Para ello fue diseñado un experimento de campo consistente en recoger quincenalmente durante dieciséis meses, entre octubre de 2006 y enero de 2008, la deposición total, que incluye (1) agua de lluvia más las partículas sólidas arrastradas por la lluvia, (2) agua de escorrentía sobre algunas superficies graníticas grabadas y (3) agua almacenada en las cazoletas naturales (pías) que presentan dichas superficies. El análisis comparativo de la composición del agua de los distintos sistemas muestreados permitió la realización de un balance de elementos, indicativo de la cantidad de elementos lixiviados (lavados) a partir de la roca. A partir de estos datos se realizó una estimación de la velocidad de alteración de los minerales, información de interés para diseñar un plan de conservación preventiva de las manifestaciones artísticas del Parque Arqueológico de Arte Rupestre.

Palabras Clave: Alteración granito, análisis de la precipitación, balance geoquímico, conservación preventiva, tasa de meteorización.

1. Introducción

La alteración de una roca depende por una parte de sus características intrínsecas: composición mineralógica, textura y porosidad principalmente, y por otra parte de las condiciones ambientales a las que está sometida. Las rocas graníticas son consideradas duras y resistentes frente a los agentes de deterioro, y ciertamente lo son en comparación con otras, pero hay que

tener en cuenta que poseen minerales de muy diferente alterabilidad (Taboada, 1992). Las plagioclasas son los minerales más susceptibles a la meteorización y son afectados por el mecanismo de la hidrólisis. La biotita por el hecho de poseer hierro reducido es muy susceptible al mecanismo de oxidación que desestabiliza su estructura y la hace más vulnerable frente a la hidrólisis. Le siguen en orden de alterabilidad el feldespato potásico,

la moscovita y por último el cuarzo, mineral muy resistente. Pero además hay que tener presente que las rocas graníticas debido a la estructura de su sistema poroso constituido fundamentalmente por huecos tipo fisura, es muy susceptible a determinados mecanismos físicos de meteorización como por ejemplo el efecto de cuña provocado por la cristalización de sales (Cardell *et al.*, 2003).

Desde un punto de vista geoquímico, la dinámica de los elementos químicos se corresponde con la secuencia de alterabilidad mineral. Así, desde las primeras etapas del proceso de meteorización ocurre una pérdida importante de cationes básicos, especialmente de sodio, calcio y magnesio, constituyentes de la plagioclasa y la biotita, siendo más lenta la pérdida de potasio ya que este elemento se encuentra en minerales más resistentes como el feldespato potásico y la moscovita.

La caracterización del granito del lugar de Paredes, donde se localiza un importante y numeroso conjunto de grabados, ha puesto de manifiesto que son los mecanismos de hidrólisis y oxidación los responsables del notable grado de meteorización del material lítico soporte de los grabados. De esto se deduce que es el agua el principal agente de alteración de la roca en este emplazamiento, en la línea de trabajos como el de Liu *et al.* (2018). Considerando este hecho y la climatología de la zona, en el proyecto de investigación llevado a cabo entre los años 2005-2008 por el grupo GEMAP-USC, titulado *Determinación de los factores de degradación de los petroglifos de Campo Lameiro. Diseño de medidas de conservación* (PGIDIT 05CCP20301PR) y financiado por la

Xunta de Galicia, se realizó un estudio para analizar la incidencia de la precipitación en el proceso de meteorización y tratar de estimar la velocidad de deterioro de los petroglifos. Todo ello con el objetivo global de diseñar una estrategia de conservación preventiva para el Parque Arqueológico de Arte Rupestre de Campo Lameiro (PAAR, www.paar.es).

2. Área de estudio y metodología

Se llevó a cabo un estudio de campo en el área de Paredes, Campo Lameiro (8°31'49.6"W, 42°32'30.6"N, WGS84), tomada como zona piloto para la investigación, que consistió por una parte en la caracterización microclimática del área y por otra en el análisis de aguas. Para registrar las variables climáticas se instalaron en tres puntos cercanos a los petroglifos Forneiriña, Cogoludos y Ventaniñas (www.paar.es) sendas estaciones de registro; en esta última de Ventaniñas se instaló un pluviómetro de balancín (Figura 1.a) que registró la precipitación durante 24 meses (octubre 2006-septiembre 2008). Los parámetros registrados fueron, además de la precipitación, la temperatura ambiental y la temperatura de la superficie de la roca (Figura 1.c).

Por otra parte, se recogió quincenalmente, durante el periodo comprendido entre octubre de 2006 y enero de 2008, tres tipos de aguas en el afloramiento con grabados de Cogoludos:

Deposición total: Esto es agua de lluvia con todas las sustancias que va disolviendo y partículas que va arrastrando en su recorrido a través de la atmósfera. El agua se recogió en colectores abiertos sin hacer separación



Fig. 1. (a): Dataloger y pluviómetro de balancín en la estación de Ventaniñas; (b): colectores de recogida de la deposición total y la escorrentía; (c): sensores para medir la temperatura superficial de la roca; (d): cazoleta natural (pía) en el petroglifo de Forneiriña con el fondo revestido de oxihidróxidos de Fe. Fotografías de Beatriz Prieto y Benita Silva.

entre la fracción depositada por vía seca, arrastrada por el viento y por vía húmeda, movilizada por el agua (Figura 1.b).

Escorrentías: Se recogió el agua que cae sobre la superficie de los afloramientos rocosos. Para ello se delimitó un área mediante un cordón de silicona y el agua que discurría sobre esa área se canalizó y se recogió en un colector.

Agua retenida en las pías: Estas son concavidades naturales existentes en los afloramientos graníticos en las que el agua queda retenida. Si bien esto ocurre solo durante un cierto tiempo, pues dado que no son de gran capacidad, desbordan cuando las precipitaciones son abundantes. Las muestras de agua se recogieron directamente en las pías (Figura 1.d).

Todos los colectores contaban con un sensor de nivel, con salida digital *on-off*

que emite una señal cuando los depósitos instalados para la recogida de agua de lluvia y de escorrentía alcanzan el nivel de llenado.

En cada una de las muestras de agua se determinó pH, conductividad y se analizó su contenido en aniones mediante cromatografía iónica de líquidos y cationes por espectroscopía de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), a excepción del amonio que se cuantificó mediante Electrodo de Ion Selectivo (EIS) Se presenta para cada ión, su concentración media, media ponderada y valores máximos y mínimos. La concentración media de cada ion es la media aritmética de los valores encontrados en cada una de las muestras recogidas que corresponden a diferentes eventos de precipitación. La concentración media ponderada se calcula teniendo en cuenta el volumen de precipitación de cada muestra y en todo el periodo de estudio, mediante la siguiente ecuación:

$$C = \left(\sum_{i=1}^n c_i * p_i \right) / P_t$$

donde c_i es la concentración de un ion en un evento determinado, p_i el volumen de precipitación en dicho evento, y P_t la precipitación total de los “n” eventos considerados. Este parámetro es útil para determinar la deposición de un determinado ion a largo plazo.

El conocimiento de la composición química de las aguas naturales que entran y salen de un sistema (Drever, 1997), en este caso un afloramiento granítico con petroglifos, permite realizar un balance geoquímico que proporciona información sobre los siguientes aspectos: la procedencia de los elementos, el material que los suministra, la tasa de variación de sus

concentraciones, las relaciones entre ellos y las variables geoquímicas que controlan su presencia en un determinado sistema. Todo ello permite conocer en qué medida la precipitación afecta a la roca soporte de los grabados. En este caso el estudio se realizó sobre el petroglifo Cogoludos pero los resultados y conclusiones son extrapolables a todos los afloramientos de Paredes ya que se comprobó que el granito es muy homogéneo en cuanto a composición mineralógica y química.

Para la realización del balance geoquímico, los datos de entrada en el sistema son los elementos aportados por la deposición total y los de salida del sistema son los elementos analizados, o bien en las aguas de escorrentía, o bien en las aguas de las pías. La diferencia entre las entradas y las salidas indica una pérdida de elementos por parte del sistema o bien una retención de elementos, según que el signo del balance sea negativo o positivo.

En este caso, para analizar la incidencia de la precipitación en la alteración del granito se tienen en cuenta únicamente los datos de los cationes, ya que estos se liberan a partir de los minerales en el proceso de meteorización, y para cada elemento solo se consideraron los valores que resultan negativos en el balance geoquímico, es decir los indicativos de salida o pérdida de elementos del sistema. Se entiende que el agua “lavará” los elementos más solubles, más móviles.

Los balances geoquímicos han sido empleados para evaluar la tasa de meteorización (T_m), es decir la cantidad de cada elemento que sale del sistema (mg) por metro cuadrado de superficie al año,

$$T_m = mg / m^2 * año$$

lo que permite estimar la velocidad de deterioro de los grabados. Además, también es importante conocer la movilidad relativa (Mr) de los diferentes elementos, es decir la relación entre la tasa de meteorización (Tm) de un elemento respecto a la proporción en la cual dicho elemento se encuentra presente en la roca (Pr),

$$Mr = Tm/Pr$$

3. Resultados

Los datos registrados indican que las temperaturas de la zona son muy suaves, con un valor medio de 16,1 °C. El valor máximo de temperatura ambiental fue de 31,0 °C (14/7/2006) y únicamente un día bajó de cero grados (22/1/2006). La temperatura de la roca responde rápidamente a las variaciones de la temperatura ambiental de manera que los máximos y mínimos valores registrados (37,9 y 3,5 °C) se dieron en los días en los que ocurrieron los máximos y mínimos ambientales. En este rango de temperatura se descarta la posibilidad de que ocurran procesos de hielo-deshielo que puedan dar lugar a fenómenos de crioclastia.

La precipitación acumulada durante el periodo de estudio fue de 2309 mm, que se corresponde con un valor de 1150 mm anuales. Esta cantidad de precipitación se encuentra dentro del rango esperado para el área, ya que los valores normalizados para las estaciones meteorológicas cercanas a Campo Lameiro se encuentran en el rango de 1200 a 1400 mm al año (Martínez-Cortizas y Pérez-Alberti, 1999).

Se trata de una precipitación con carácter débilmente ácido, con un valor medio ponderado de pH de 5,22 y un máximo de frecuencia en el intervalo 5-5,5 próximo al equilibrio agua pura-CO₂. Como se puede observar en la

Tabla 1, los aniones predominantes son el cloruro seguido del sulfato y el nitrato y entre los cationes predomina claramente el sodio. Teniendo en cuenta que la distancia en línea recta de Campo Lameiro a la costa es de menos de 30 km, la influencia marina se refleja en la composición de la precipitación ya que el cloruro y el sodio son los elementos dominantes. La conductividad es baja en consonancia con la baja concentración de iones.

	Max	Min	Med	Pon
pH	6,58	4,40	5,15	5,22
Conductividad (μS/cm)	132,10	10,50	26,99	20,42
Cloruro (mg/L)	10,89	1,12	3,63	3,94
Bromuro (mg/L)	0,08	0,00	0,03	0,02
Nitrato (mg/L)	2,17	0,00	0,85	0,67
Fosfato (mg/L)	0,50	0,00	0,10	0,04
Sulfato (mg/L)	8,47	0,82	2,51	1,67
Amonio (mg/L)	1,22	0,00	0,21	0,11
Calcio (mg/L)	1,37	0,08	0,39	0,23
Magnesio(mg/L)	0,78	0,05	0,26	0,25
Sodio (mg/L)	6,76	0,44	2,28	2,18
Potasio (mg/L)	11,33	0,07	0,79	0,28
Silicio (mg/L)	0,16	0,00	0,02	0,01
Hierro (μg/L)	52,16	0,00	5,50	3,14
Aluminio (μg/L)	76,75	0,00	12,59	5,03

TABLA 1. Propiedades y concentraciones totales de aniones y cationes en la deposición total. Max: máximo, Min: mínimo, Med: media, Pon: media ponderada.

En la Figura 2 se muestran los valores de tasa de meteorización y movilidad relativa de aquellos elementos que experimentaron una salida de los sistemas escorrentía y pías. Tal y como se puede observar los elementos que son lixiviados o lavados de las rocas soporte de los petroglifos son mayormente calcio, sodio, magnesio y hierro. Esto es lógico pues el calcio (Ca) y el sodio (Na) son elementos constituyentes de la plagioclasa, el mineral del granito más susceptible a la hidrólisis, y el hierro (Fe) y el magnesio (Mg) se encuentran en la biotita, mineral que es afectado por los mecanismos de hidrólisis y oxidación y

que es el segundo en orden de susceptibilidad a la meteorización.

Los datos representados muestran que, si bien el lixiviado o pérdida de elementos es similar en ambos sistemas, pías y escorrentías, con valores del orden de 10 mg/m².año para los elementos considerados, la movilidad relativa es mucho mayor en el sistema pías. Así, mientras que los valores de movilidad relativa en el sistema escorrentía no superan en ningún caso 13,4 mg/m².año, en el sistema escorrentía alcanzan para, por ejemplo, el calcio valores de 40 mg/m².año.

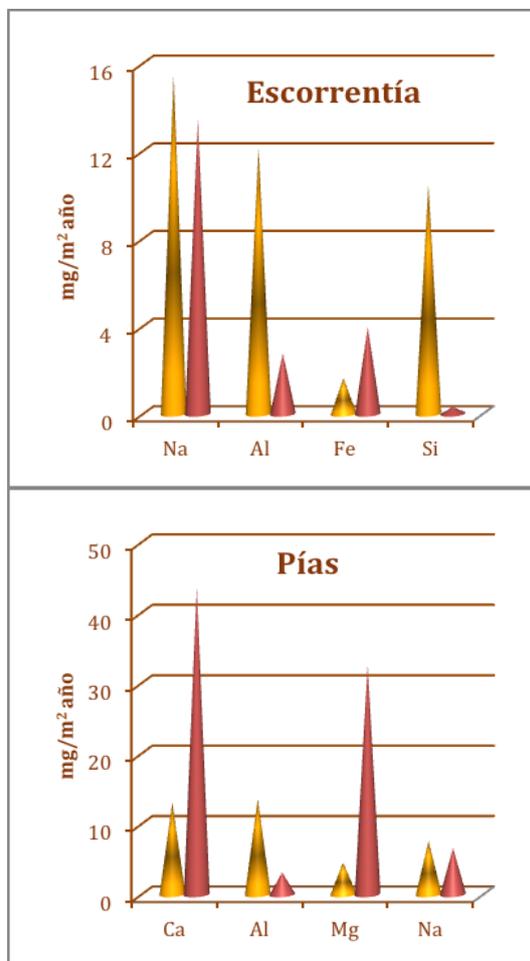


Fig. 2. Tasa de meteorización, en ocre, y movilidad relativa, en rojo, de los elementos químicos lixiviados.

Sin duda esta mayor movilidad relativa es provocada por el mayor tiempo de

permanencia del agua en contacto con la roca en las pías. Sin embargo, es importante hacer notar que el hierro únicamente es lixiviado de la roca en el sistema escorrentía y no en el sistema pías. Una posible explicación es que en las escorrentías el hierro liberado de la biotita se pierde rápidamente mientras que en las pías el agua se queda almacenada y el hierro solubilizado precipita en forma de oxihidróxidos que se pueden ver tapizando la pared de las cavidades especialmente en el borde del agua acumulada (Figura 1.d).

4. Conclusiones

Los resultados del presente estudio demuestran el importante papel que tiene la precipitación en la alteración del material soporte de los petroglifos del parque arqueológico de Campo Lameiro. Los datos aquí mostrados hacen referencia a dos años en los que la precipitación acumulada fue de 2309 mm, que se corresponden con un valor de 1150 mm anuales. Si tenemos en cuenta que este valor puede ser considerado como un poco bajo en relación a los valores normalizados para las estaciones meteorológicas cercanas (Caldas de Reis, www.meteogalicia.gal) en las que se estima un valor anual entre 1200 y 1400 mm al año, es esperable que la velocidad de alteración anual provocada por la precipitación sea incluso mayor.

A este respecto, teniendo en cuenta la naturaleza de la roca (roca granítica en la que todos los constituyentes son silicatos), el valor de la tasa de meteorización del silicio, 10,48 mg/m² año (Figura 2), es el que ofrece una mayor información. Teniendo en cuenta este dato y el régimen de precipitación de la zona, no cabe duda que desde el punto de vista de su conservación preventiva sería conveniente proteger a los petroglifos contra la lluvia. Aunque

lógicamente hay que tener en cuenta consideraciones como son las dificultades técnicas que esta medida conlleva y, sobre todo, el impacto visual que provocaría cualquier sistema de protección.

Una medida mucho más sencilla y factible que se recomienda encarecidamente es evitar el agua se acumule sobre los petroglifos o en su entorno para lo que hay que canalizar adecuadamente las escorrentías de agua y facilitar el drenaje.

Agradecimientos

Este estudio ha sido parcialmente financiado por la Xunta de Galicia mediante el proyecto PGIDIT 05CCP20301PR y por el Ministerio de Economía y Competitividad, Proyecto CGL2016-79778-R (AEI/FEDER,UE).

Referencias

- Cardell, C., Rivas, T., Mosquera, M. J., Birginie, J. M., Moropoulou, A., Prieto, B., Silva, B. and R., Van Grieken, 2003. Patterns of damage in igneous and sedimentary rocks under conditions simulating sea-salt weathering. *Earth Surf. Process Landf.* 28-1, 1-14.
- Drever, J. J. 1997. *The Geochemistry of Natural Waters Surface and Groundwater Environments*, 3rd Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Liu, X., Meng, H., Wang, Y., Katayama, Y. and J. D. Gu, 2018. Water is a critical factor in evaluating and assessing microbial colonization and destruction of Angkor sandstone monuments. *Int. Biodeterior. Biodegr.* 133, 9-16.
- Martínez-Cortizas A., y A. Pérez-Alberti (Eds.), 1999. *Atlas climático de Galicia*. Consellería de

Medioambiente, Xunta de Galicia, 207p.

Taboada, T., 1992. *Procesos de meteorización de rocas graníticas de Galicia bajo diferentes ambientes edafoclimáticos*. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela, 367 p.