

# OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE DOBLE ELECTRODO PARA LA DESALINIZACIÓN DE ROCAS EN PATRIMONIO CULTURAL



Silva-Fernández S.<sup>a</sup>, Feijoo J.<sup>b</sup>, Rivas T.<sup>c</sup>, Taboada J.<sup>c</sup>, Nóvoa X.R.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Grupo ENCOMAT, EEI. Universidad de Vigo; <sup>b</sup> Instituto de Geociencias IGEO (CSIC/UCM); <sup>c</sup> Dep. Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Vigo  
shsilva@uvigo.es

## 1. INTRODUCCIÓN

En este estudio se evalúa la eficacia de una nueva técnica de desalación de roca ornamental mediante electrocinética que evita pH extremos en ánodo y cátodo, evitando así cambios químicos y mineralógicos en las rocas a tratar. Esta nueva configuración, basada en la regulación de la intensidad de corriente en los medios afectados, se aplica en la desalación de dos rocas ornamentales ampliamente utilizadas en construcción y muy diferentes desde el punto de vista mineralógico y físico: granito y calcarenita. Además, se introducen mejoras encaminadas a minimizar la contaminación de las rocas con iones extraños, asociados principalmente al electrolito utilizado, mediante el uso de agua destilada en las zonas de contacto papeta-roca.

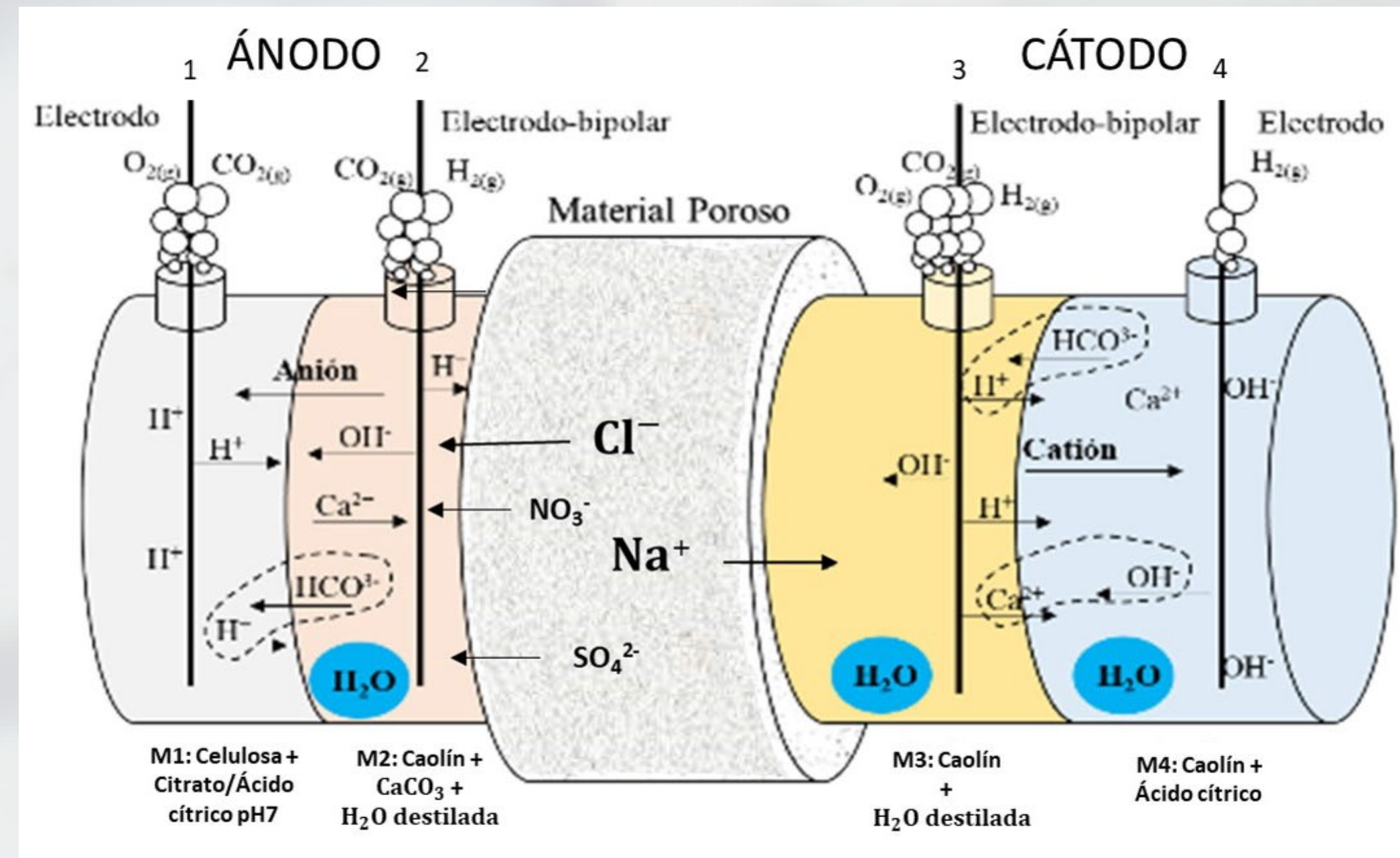
### 1.1 ROCAS ORNAMENTALES

**Granito** de dos micas, de grano medio, procedente de Mondariz (S de Galicia), con 7,81% de porosidad accesible al agua.

**Calcarenita bioclástica**, procedente de Alcalá la Real (E de Andalucía), con 27,85% de porosidad accesible al agua.



### 1.3 PROCEDIMIENTO DE DESALINIZACIÓN (fundamento del método)



Sistema de cuatro electrodos. Los de los extremos, monoplares, actúan como electrolizadores netos, y los interiores, bipolares, tamponan el pH. Globalmente, hacia el ánodo se desplazan los iones  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  y hacia el cátodo se desplazan los iones  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Na^+$ . Cada compartimento (M1, M2, M3 y M4) se rellena con una papeta de celulosa o caolín.

#### • ÁNODO:

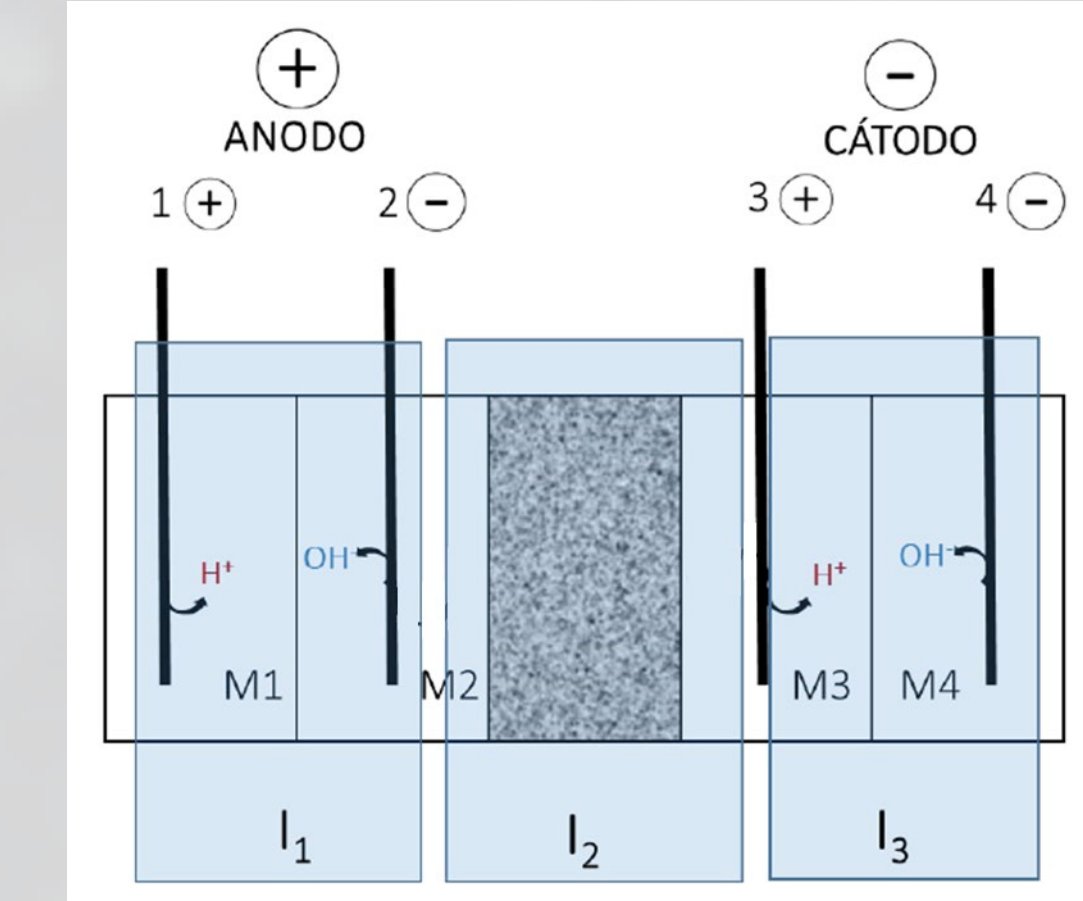
- 1) producción de agua por reacción entre los  $H^+$  producidos en el electrodo 1 con los  $OH^-$  producidos en el electrodo 2.
- 2) auto-amortiguamiento del pH ácido en el ánodo debido a la producción local de  $OH^-$  por el electrodo 2
- 3) Resultado: Mayor eficacia en el transporte de aniones y cationes al reducirse la concentración de  $H^+$  y por ende su transporte en la roca.

#### • CÁTODO:

- 1) producción de agua por reacción entre los  $OH^-$  producidos en el electrodo 4 con los  $H^+$  producidos en el electrodo 3.
- 2) auto-amortiguamiento del pH básico en el cátodo debido a producción de  $H^+$  en el electrodo 3
- 3) Resultado: mayor eficacia en el transporte de aniones y cationes al reducirse la concentración de  $OH^-$  que entra en el sistema.

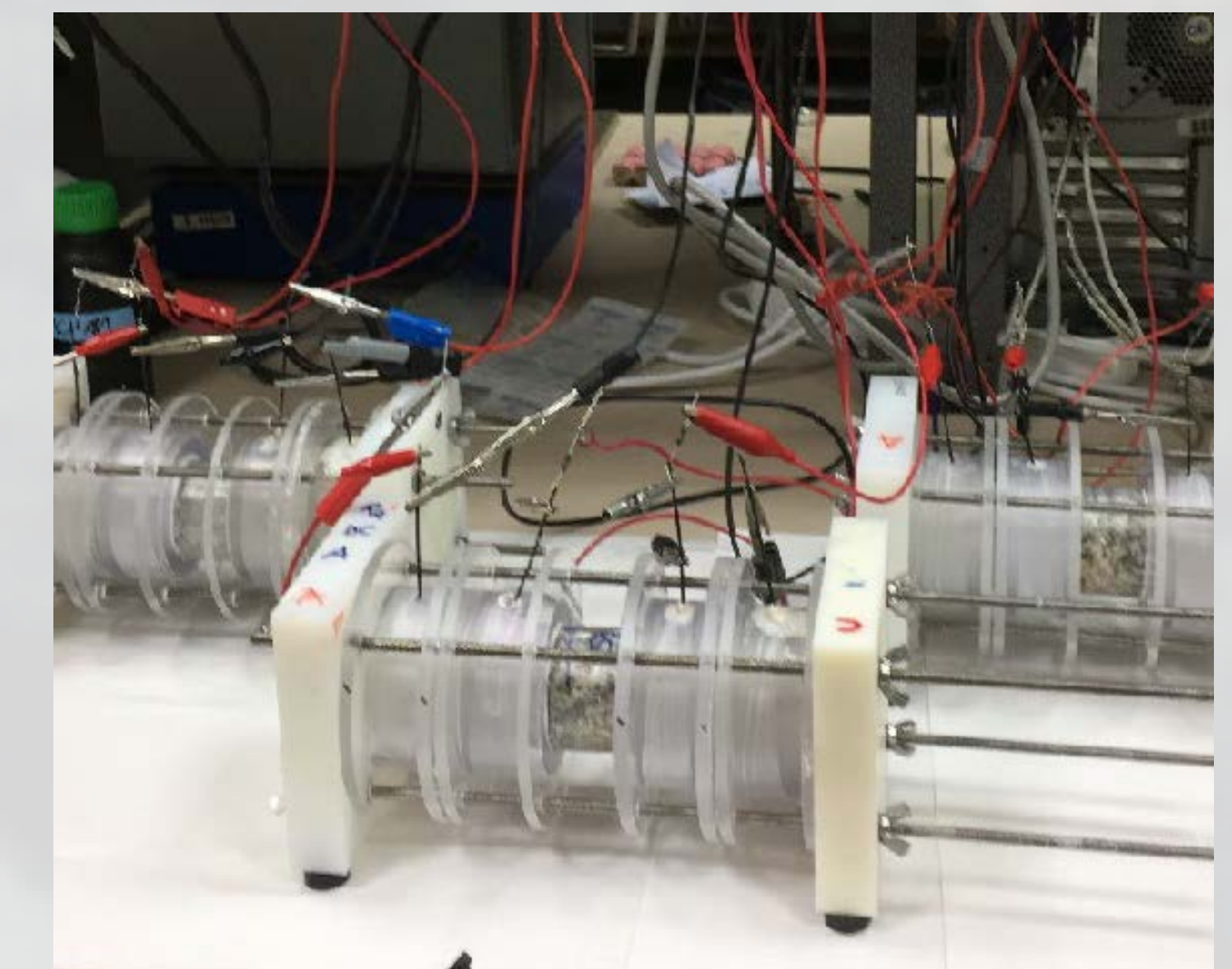
### 1.4 y MEJORA INTRODUCIDA

- Se establece un voltaje que permite igualar las intensidades de corriente en las tres áreas diferenciadas (área ánodo-área roca-área cátodo) de manera que el balance de  $H^+$  y  $OH^-$  se iguale (pH neutro).
- Se elimina el tampón Citrato/Ácido cítrico pH7 de los compartimentos M2 y M3 contiguos a la roca. De este modo se evita la precipitación de compuestos indeseados en la superficie de la roca.



$$I_1=I_2 \rightarrow \frac{d[H^+]}{dt} = \frac{d[OH^-]}{dt}$$

$$I_2=I_3 \rightarrow \frac{d[H^+]}{dt} = \frac{d[OH^-]}{dt}$$



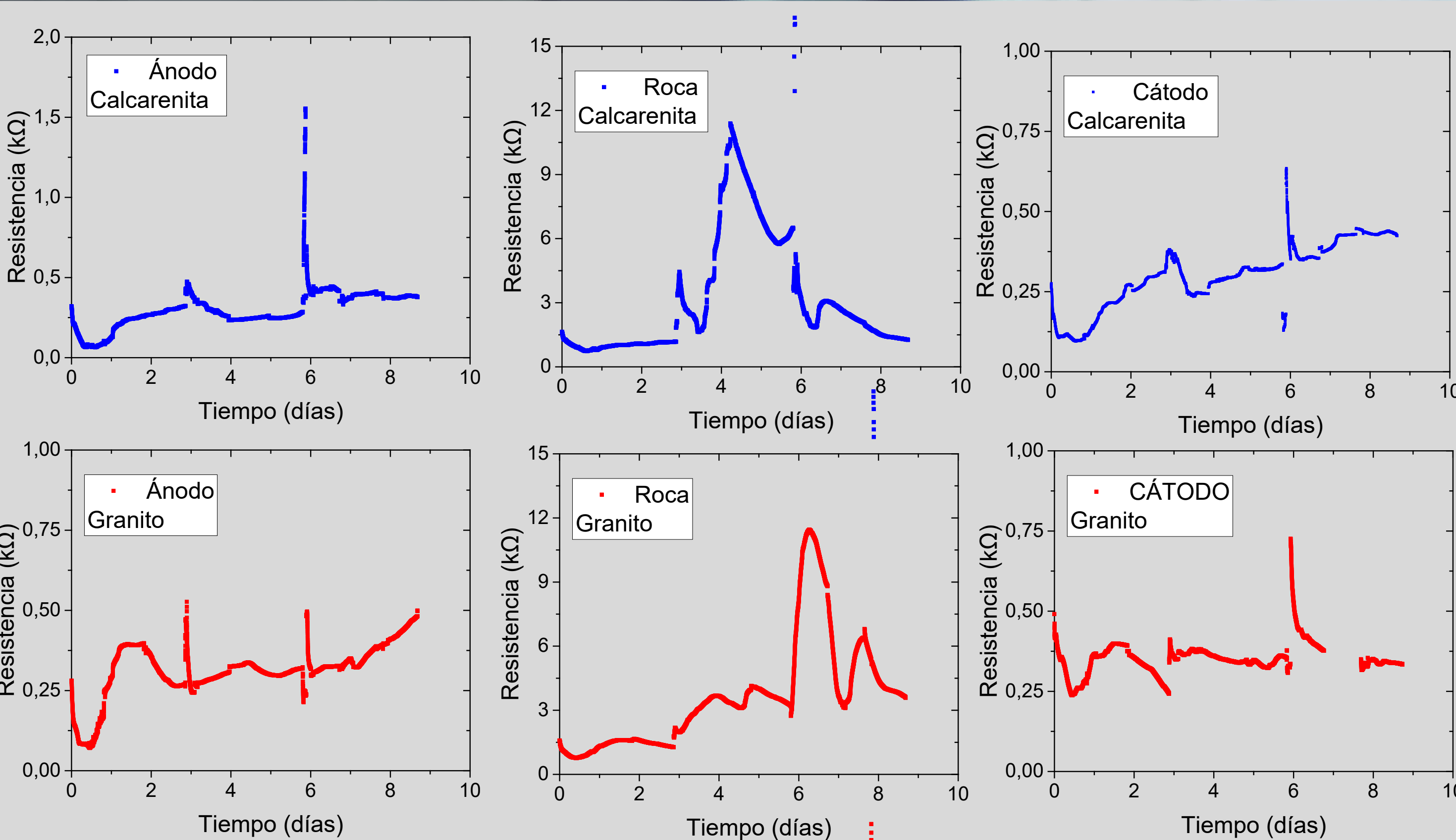
### 1.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Las probetas se contaminan con una disolución salina de que contiene un 8% de  $NaNO_3$ , 10% de  $NaCl$ , 0,2% de  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  y 8% de  $K_2SO_4$ .



## 2. RESULTADOS

### 2.1 MONOTORIZACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA

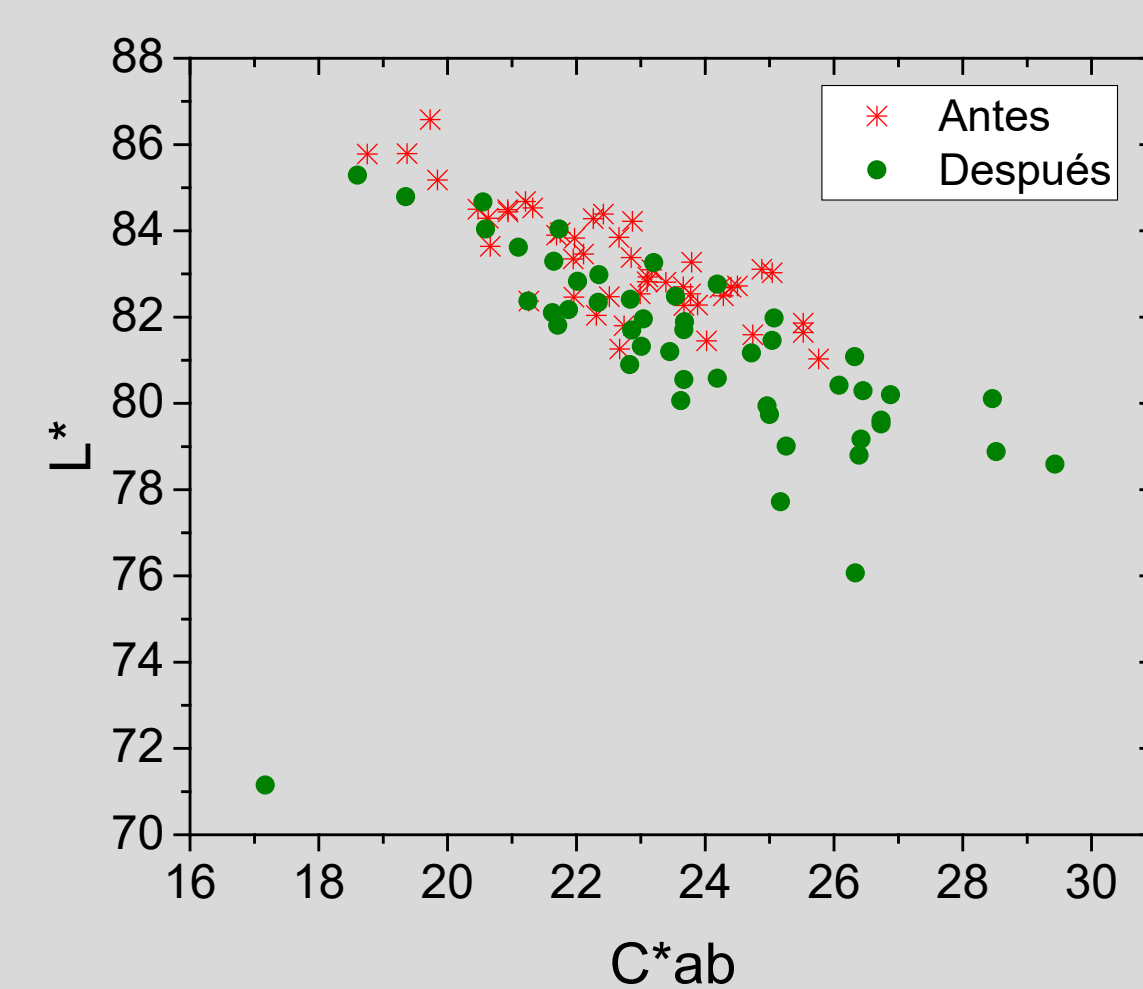


El registro continuo de la resistencia corrobora que se produce la salida de la roca de los aniones y cationes.

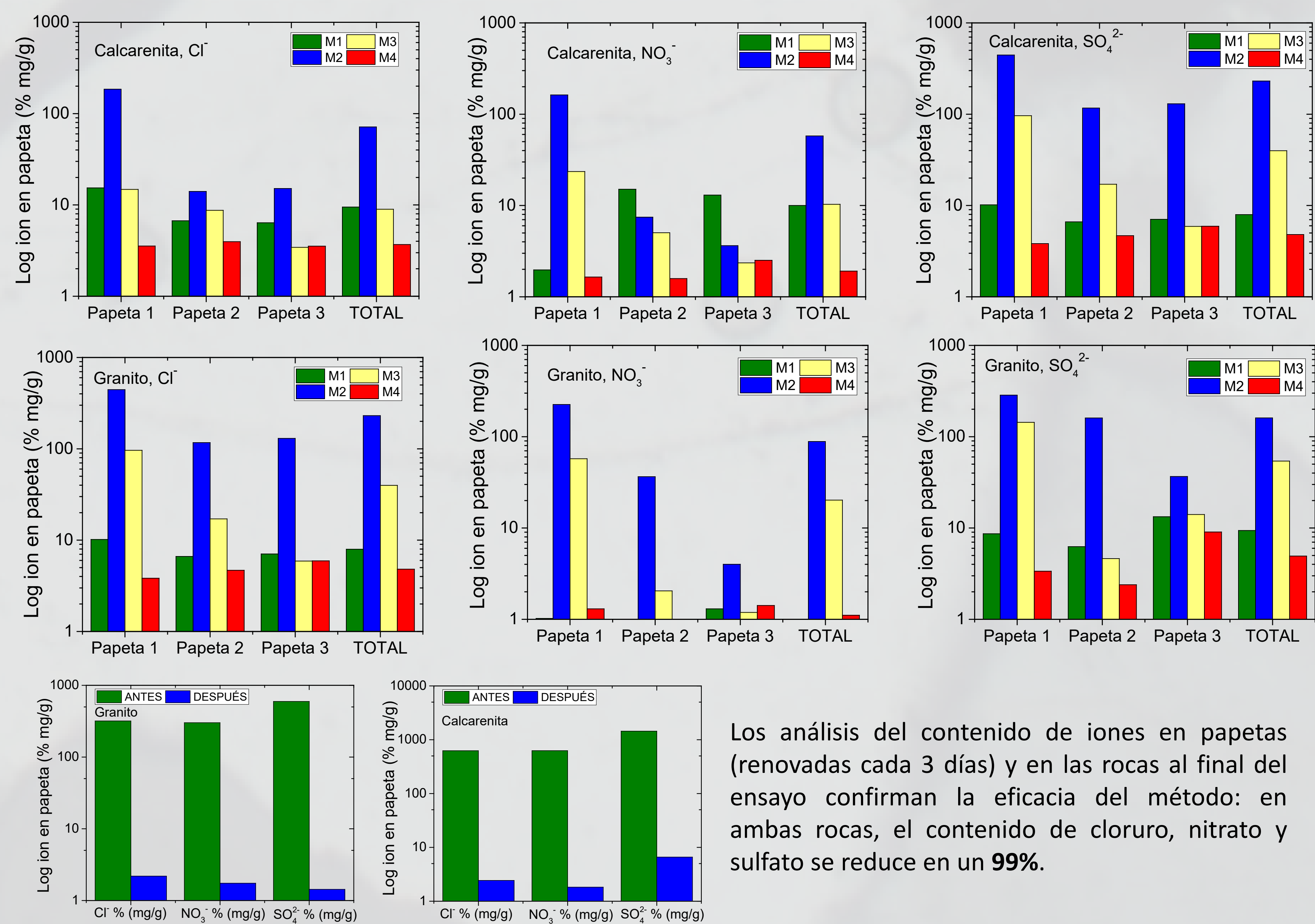
### 2.3 VARIACIÓN EN EL COLOR

Este ensayo no modifica el color de las rocas; el cambio de color  $\Delta E_{ab}$  [2] no supera el valor de 3, considerado el valor a partir del cual un cambio de color es perceptible por el ojo humano.

Las diferencias entre el color entre ánodo y cátodo no son estadísticamente significativas.



### 2.2 CONTENIDO DE SALES EN ROCAS Y PAPETAS (%Cl<sup>-</sup>, %SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, %NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)



Los análisis del contenido de iones en papetas (renovadas cada 3 días) y en las rocas al final del ensayo confirman la eficacia del método: en ambas rocas, el contenido de cloruro, nitrato y sulfato se reduce en un 99%.

### 2.4 CONTENIDO EN AGUA Y MEDIDA DE pH

- Durante todo el ensayo, las papetas y las rocas permanecen húmedas, facilitando el paso de la corriente.
- El pH en la roca y en cada uno de las áreas se mantuvo durante todo el ensayo en la neutralidad, siendo innecesaria la adición de reactivos tamponantes a mayores del electrolito.

## 3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la regulación de la cantidad de corriente que circula en los diferentes medios y la aplicación de una densidad de corriente similar en los diferentes electrodos supone una mejora al método de desalación electrocinética probado en estudios anteriores [1]. Esta mejora, además de mantener el pH en torno a 7 en la zona próxima a las rocas, garantizando que no se deterioren por efecto de pH extremos, conlleva que sea innecesaria la adición en las papetas de reactivos para neutralizar el pH, reduciendo así el riesgo de contaminación de las rocas durante el ensayo. Gracias a este tamponamiento, apenas entran iones citrato en las rocas, reduciéndose el riesgo de posibles cambios de color debido a la precipitación del electrolito una vez finalizado el tratamiento.

## 4. REFERENCIAS

[1] Feijoo, J.; Rivas, T.; Nóvoa, X.R.; Ottosen, L.M. Int. J. Archit. Herit. 2018; [2] CIE S014-4/E: 2007, Colorimetry Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour Space, Commission Internationale de l'éclairage, CIE Central Bureau, Vienna, 2007.