



METODOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE DIATOMEAS EN DEPÓSITOS TSUNAMIGÉNICOS EN EL HUMEDAL DE CARRIZAL BAJO, DESIERTO DE ATACAMA

**SAMUEL ALMEIDA-MARTÍN^{1*},
ÁNGELA FRAGUAS^{1,2},
DANIEL REBELLA-MORENO¹,
MAXIMILIANO FORCH³,
MANUEL ABAD^{1,2},
TATIANA IZQUIERDO^{1,2}**

RESUMEN

El humedal de Carrizal Bajo, en la costa del Desierto de Atacama, es un entorno árido con sedimentos arenosos posiblemente depositados por un tsunami ocurrido en 1922 tras un gran terremoto de magnitud (Mw) 8,5-8,6. El estudio de diatomeas se utiliza para la identificación de depósitos sedimentarios procedentes de eventos marinos de alta energía. Sin embargo, los métodos sobre la preparación de muestras para la identificación taxonómica de estos microorganismos en este contexto son muy escasos. Por ello, en este artículo se revisan los métodos existentes, se proponen metodologías alternativas y se evalúa el estado de las frústulas de diatomeas. El procedimiento que mostró mejores resultados fue el tamizado por debajo de 63 micras. Además, al observarse una fragmentación similar en todos los métodos empleados, se concluye que la fragmentación de las frústulas de diatomeas está causada por el tsunami de 1922.

Palabras clave: Diatomea, Tsunami, Desierto de Atacama, Frústula, Fragmentación.

1. Grupo de Investigación en Dinámica de la Tierra y Evolución del Paisaje (DYNAMICAL), ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, España. *s.almeida.2021@alumnos.urjc.es
2. Departamento de Biología, Geología, Física y Química Inorgánica, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, España.
3. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

1. INTRODUCCIÓN

La costa de la región de Atacama, en el Desierto de Atacama, Chile, se caracteriza por un entorno árido con nubosidad abundante, temperaturas templadas y precipitaciones casi nulas que presenta un rango micromareal (Forch, 2020). Este ambiente costero contiene depósitos de arenas que pueden tener un origen tsunamigénico, dados los eventos marinos de alta energía que se han producido en esta zona a lo largo del Holoceno (Dura *et al.*, 2015; Forch, 2020). Uno de los más recientes e intensos ocurrió el 10 de noviembre de 1922 como consecuencia del fuerte terremoto de magnitud (Mw) 8,5-8,6 que se produjo en la zona de subducción chilena. El resultante tsunami transoceánico altamente destructivo provocó inundaciones de entre 7 y 9 metros de altura en ciudades costeras próximas al epicentro del terremoto y las olas penetraron tierra adentro entre 1,5 y 2 kilómetros. Carrizal Bajo fue uno de los poblados afectados por el tsunami, ya que, de acuerdo con las crónicas locales, dos olas golpearon el puerto pocos minutos después del terremoto. La primera ola derribó los muelles, los barcos, las oficinas del puerto, la estación terminal de trenes y el taller. La segunda ola destruyó varios edificios, la central eléctrica y las casas residenciales. En esta catástrofe una locomotora y sus vagones fueron gravemente afectados. En la actualidad sus escombros se encuentran semienterrados entre la vegetación halófila del humedal (Forch, 2020; Fraguas *et al.*, 2023; Izquierdo *et al.*, 2023).

Las diatomeas son algas unicelulares que pertenecen al grupo Bacillariophyceae y presentan caparazones microscópicos compuestas por sílice denominados frústulas. Estos organismos se pueden encontrar en casi cualquier ambiente con agua y suficiente luz para la fotosíntesis (Dura & Hemphill-Haley, 2020). Su estudio podría permitir identificar sedimentos depositados por eventos marinos de alta energía, como tsunamis, en ambientes costeros de baja energía, como el humedal en el que se centra este trabajo. De esta forma, la identificación de especies alóctonas de diatomeas en estos sedimentos sugiere su depósito por tsunamis y permite determinar la extensión del mismo. Además, se pueden conocer las condiciones del flujo del tsunami a partir de la clasificación de las frústulas de las diatomeas y su estado de preservación (Dura & Hemphill-Haley, 2020).

Los trabajos científicos relacionados con la metodología para la preparación de muestras que posibilite la observación de diatomeas en un contexto de sedimentos arenosos en climas áridos son muy escasos. Por ello, el planteamiento de un método adecuado en dicho contexto es importante.

Los objetivos de este estudio son 1) comprobar si los métodos existentes para la preparación de muestras de diatomeas de depósitos costeros en zonas áridas son eficaces en los sedimentos estudiados en este trabajo, 2) plantear otros métodos alternativos, en caso contrario, y 3) evaluar el estado tafonómico de las frústulas de diatomeas, relacionando su fracturación con los métodos de preparación empleados o el posible origen tsunamigénico del depósito, así como la posibilidad de identificar los ejemplares taxonómicamente.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

Las muestras se tomaron en el poblado de Carrizal Bajo, en la costa de la región de Atacama, Chile. Las muestras consisten en depósitos arenosos moderadamente seleccionados recogidos del interior de la caldera de una locomotora enterrada parcialmente por el tsunami que golpeó Carrizal Bajo en 1922. Esta se localiza a más de 600 m de la línea de costa actual (Izquierdo *et al.*, 2023).

2.2. Preparación de las muestras

En primer lugar, se realizó la preparación de muestras para el estudio de diatomeas bajo el microscopio óptico (Leica DMLP) descrita por Dura & Hemphill-Haley (2020). Dado que los resultados no fueron los esperados, debido a que no fue posible identificar los ejemplares de diatomeas taxonómicamente y al elevado grado de fragmentación, se plantearon metodologías alternativas. Una de ellas consistió en el mismo procedimiento anterior omitiéndose el paso del calentamiento de los tubos en un baño de agua caliente a 75 °C. Sin embargo, tampoco fue posible identificar las diatomeas a nivel de especie y su fragmentación seguía siendo elevada.

Con el propósito de poder realizar esta identificación, se decidió observarlas bajo el microscopio electrónico de barrido (Nova Nano SEM230; SEM). Para ello, se utilizaron dos procedimientos. En el primero, las muestras se tamizaron en dos fracciones: una con un tamaño de grano menor de 63 micras y otra con un tamaño de grano de entre 63 y 125 micras. Dada la fragmentación de las frústulas observadas utilizando esta metodología, se optó por disponer el material en bruto sobre el soporte del microscopio, como segunda metodología alternativa para el SEM.

3. RESULTADOS

3.1. Fragmentación de frústulas e identificación taxonómica

En las muestras preparadas para microscopio óptico la fragmentación de las frústulas de diatomeas fue similar en los dos métodos utilizados. La metodología de Dura & Hemphill-Haley (2020) no permitió la observación de los caracteres diagnósticos de las diatomeas, por lo que no fue posible su identificación taxonómica. En cambio, en las muestras preparadas mediante el mismo procedimiento, pero sin el paso del calentamiento, los ejemplares de diatomeas se pudieron identificar a nivel de género. No obstante, no se consiguió una identificación a nivel de especie debido a la falta de suficientes caracteres diagnósticos.

En las muestras de SEM la fragmentación en ambos métodos fue similar, encontrándose incluso algunas frústulas completas. Además, las diatomeas se pudieron identificar a nivel de género y en algunos ejemplares se llegó a nivel de especie. En la muestra tamizada con un tamaño de grano de entre

63 y 125 micras, y en la muestra en bruto los granos de sedimento más grandes ocultaron las frústulas más pequeñas, impidiendo su observación. El método que mejores resultados dio fue el tamizado por debajo de 63 micras, ya que no había granos grandes que taparan los ejemplares. En esta fracción las frústulas parecían estar menos fragmentadas, apareciendo algunos ejemplares completos con posibilidad de identificación a nivel de especie.

3.2. Asociaciones de diatomeas identificadas

Tras la preparación de las muestras se identificaron diatomeas que viven en ambientes de agua dulce, e. g. *Iconella hibernica* y *Stephanodiscus* sp., o que pueden desarrollarse tanto en agua salada como en agua dulce, e. g. *Epithemia musculus*, *Cyclotella* sp., *Pleurosira laevis* o *Tabularia* sp. (Figura 1; Fraguas *et al.*, 2023).

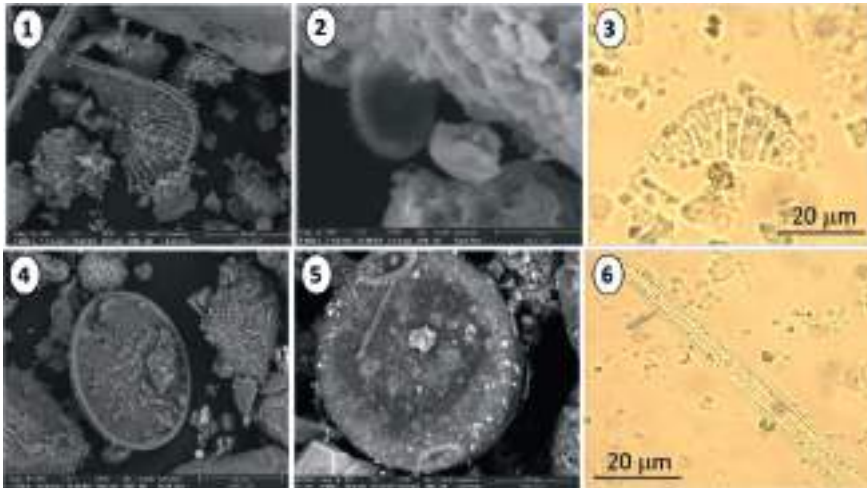


Figura 1. Diatomeas identificadas en las muestras preparadas con tamizado por debajo de 63 micras: *Iconella hibernica* (1), *Stephanodiscus* sp. (2), *Epithemia musculus* (3), *Cyclotella* sp. (4), *Pleurosira laevis* (5) y *Tabularia* sp. (6). Las imágenes 1, 2, 4 y 5 se realizaron con SEM, mientras que las 3 y 6 con microscopio óptico. Tomado de Fraguas *et al.*, 2023.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

El tamizado por debajo de 63 micras y su posterior observación en el SEM ha sido la metodología que mejor ha permitido la identificación taxonómica de diatomeas procedentes de depósitos de arena en un ambiente costero árido. Este procedimiento posibilita el reconocimiento de suficientes caracteres diagnósticos como para identificar los ejemplares a nivel de especie, a diferencia de los métodos planteados para el microscopio óptico. También, se evita que grandes granos de sedimentos oculten las frústulas e impidan su identificación, como ocurre en la muestra tamizada con un tamaño de grano de entre 63 y 125 micras, y en la muestra en bruto.

Dado que en todas las metodologías empleadas las frústulas presentan una fragmentación similar, incluyendo la muestra en bruto, se puede inferir que esta fragmentación podría tener su origen en los eventos marinos de alta energía sucedidos en Carrizal Bajo en 1922 que depositaron estos sedimentos arenosos dentro de la caldera de la locomotora arrastrada por las olas. Por consiguiente, la fragmentación de las frústulas no constituye un artefacto producido por la preparación de las muestras, circunstancia que no había sido puesta de manifiesto en trabajos anteriores y que tiene importantes implicaciones tafonómicas sobre la identificación de los diferentes grupos de microfósiles que pueden ser encontrados en depósitos de tsunamis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dura, T., Cisternas, M., Horton, B. P., Ely, L. L., Nelson, A. R., Wesson, y R. L., Pilarczyk, J. E. (2015). "Coastal evidence for Holocene subduction-zone earthquakes and tsunamis in central Chile". *Quaternary Science Reviews* 113, pp. 93-111.
- Dura, T., y Hemphill-Haley, E. (2020). "Chapter 14. Diatoms in tsunami deposits". En Engel, M., Pilarczyk, J. E., May, S. M., Brill, D., y Garrett, E. (Ed.), *Geological records of tsunamis and other extreme waves*, pp. 291-322. *Elsevier*.
- Forch, M. (2020). *Registro geológico de tsunamis holocenos en el humedal de Carrizal Bajo (Atacama, norte de Chile)*. Copiapó: Universidad de Atacama.
- Fraguas, A., Izquierdo, T., Rebella-Moreno, D., Almeida-Martín, S., Forch, M., y Abad, M. (2023). "Diatom assemblages in tsunami deposits associated with the 1922 Atacama earthquake at the Carrizal Bajo wetland, southern Atacama Desert". *Palaeontological publications* 4, pp. 73.
- Izquierdo, T., Forch, M., Abad, M., Fraguas, A., Easton, G., González-Alfaro, J., Alvarado-Justo, A., Bernal-Arteche, A., Frías-Álvarez, M., y Ruiz, F. (2023). "An unexpected record of the 1922 Atacama tsunami. Historical and micropaleontological evidence in Carrizal Bajo (southern Atacama Desert)". *XXI INQUA Congress, Roma*.



ZUBÍA

42



IER

Instituto de
Estudios Riojanos