

La travesía de un grano de arena: la reconstrucción de una historia climática

Isabela Mantilla Mora

Estudiante de Narrativas Digitales e Ingeniería de Sistemas, Universidad de los Andes

En el mundo ocurren millones de travesías, pero rara vez reflexionamos sobre una que solemos pasar por alto y que ha tomado largo tiempo: la de un grano de arena. Este artículo busca recontar, desde una perspectiva geológica, la travesía de este grano y cómo el análisis de sus propiedades nos permite reconstruir la historia climática y geológica de nuestro planeta.

Fotografía por: Isabela Mantilla Mora,
estudiante de la Universidad de los Andes.



Lagarto cabeza redonda en el desierto. Fotografía por: Freepik.





epik.



Introducción

Durante una caminata en una playa o un desierto, entramos en contacto con innumerables partículas, la gran mayoría granos de arena, pero no somos conscientes de ellos por su diminuto tamaño. Un solo grano puede parecer insignificante en comparación con las toneladas de arena u otros materiales con los que interactuamos, sin embargo, este contiene suficiente información para reconstruir la historia geológica de continentes enteros [1].

Según Blanca María Martínez, doctora en Geología, el término arena define un tamaño de grano del sedimento muy concreto y no hace referencia a su naturaleza como tal:

Los sedimentos son las partículas o materiales sólidos que están sin consolidar y que pueden ser transportados por la acción del agua o del viento hasta su acumulación en la superficie terrestre o en el fondo de los mares y océanos. Cuando queremos hacer una clasificación de los sedimentos, tenemos dos opciones: o bien considerar su composición, o bien referirnos a su tamaño. Y es en este último caso donde encontramos el término arena [2].

Otra forma de clasificar estos materiales es por su composición en clásticos (rocas y minerales), químicos (minerales precipitados), orgánicos (restos de organismos vivos o muertos) y biogénicos (acumulaciones de materiales biológicos) [1].

A partir de las definiciones y clasificaciones anteriores podríamos comenzar a captar el trasfondo de un pequeño grano de arena, al ilustrar la travesía extensa que este tiene que recorrer para poder llegar a la playa o al desierto en que lo encontramos. En un comienzo esa travesía nos puede parecer intrascendente debido a su destino final, no obstante, la importancia de este viaje yace en la información que guarda el grano de arena de los procesos que causan su expedición. Un grano puede parecer perderse en las toneladas de arena u otros, sin embargo, este «contiene suficiente información para reconstruir la historia geológica de continentes enteros» [1].

Comprender el potencial que tiene estudiar la arena nos permite encontrar numerosos fines investigativos relacionados con ella. Una de las exploraciones científicas más importantes en las que la arena desempeña un papel crucial como indicador geológico es la investigación y reconstrucción de climas que existieron en el pasado. A través del análisis de estos sedimentos, los geocientíficos pueden recuperar una historia climática completa de la región de origen del sedimento. En este artículo se busca exponer los procesos que intervienen en la travesía de un grano de arena para llegar a estudiarlo en un laboratorio, desde la formación del sedimento de arena individual, hasta la identificación y comprensión de las características de estos depósitos, los cuales se utilizarán, en este caso, para el estudio de climas pasados.



Arena en un microscopio. Imagen diseñada por IA.

Antecedentes de la arena: inicio de una historia climática

La reconstrucción de una historia climática se asemeja a la escritura de una bitácora de viaje que acompaña a un grano de arena en su travesía. Primero, es fundamental emplear la observación de las características del sedimento como la principal herramienta para la recolección de datos. Esto implica utilizar la información actual y las propiedades mecánicas del grano, es decir, la textura y el diámetro de las partículas que lo componen, para realizar una reconstrucción. La cronología de este recuento parte desde la actualidad y va hacia atrás en el tiempo con el propósito de plantear hipótesis de ciertas condiciones basándose en los datos disponibles que dan una estimación de la línea del tiempo hasta llegar a la formación del grano.

En el estudio del clima basado en recolección de partículas de sedimentos —como los granos de arena— se tiene en cuenta las propiedades mecánicas del sedimento como las pruebas fehacientes del rastro que dejan los fenómenos atmosféricos en la creación y trasportación del grano. Las propiedades relacionadas con su creación son la composición, el tamaño y la edad de sedimento, al ser las características asociadas con el sedimento/material originario o con los procesos que lo fragmentan en el grano, mientras que aquella que está relacionada con la trasportación de la partícula es la textura que da cuenta del tipo y duración de los procesos atmosféricos. Sin embargo, para interpretar el resultado final se debe conocer a fondo las

causantes geológicas o climáticas, sus interacciones y el efecto del proceder en los sedimentos que dan como resultado el grano. Al integrar estos aspectos con las propiedades se puede reconstruir con precisión la historia climática y geológica que cada grano de arena encierra.

Por tanto, es fundamental contar con una definición del término «clima» para poder captar todos los fenómenos directos e indirectos que provocan la formación de la arena y qué propiedades climáticas son útiles para identificar la información en el sedimento. El clima para los geocientíficos es el estado promedio de la atmósfera en un área geográfica determinada durante un periodo prolongado de tiempo. Este concepto abarca patrones atmosféricos como la temperatura, la humedad, la precipitación y otros fenómenos que se repiten a lo largo de las estaciones. Todos estos patrones desempeñan un rol importante, al ser condiciones que determinan los procesos de creación, transporte y deposición que le otorgan las características al grano de arena.



Travesía de la formación de la arena: la interacción que da inicio a todo

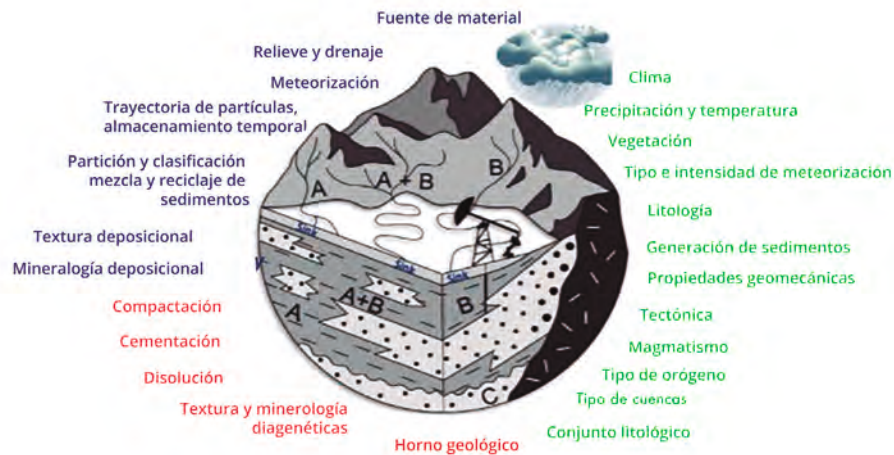


Ilustración esquemática de los controles endógenos y exógenos sobre la generación, transferencia, deposición e historia del enterramiento de los sedimentos [1].

Comprender las causas geológicas y climáticas implica tanto estudiar la formación, el movimiento de las rocas y los procesos tectónicos y volcánicos, como analizar las variaciones en la temperatura, la precipitación y los patrones de viento, que afectan el transporte y la deposición de los sedimentos. Estos factores no solo influyen en la formación de las rocas, sino también en su transformación y exposición en la superficie terrestre. Por consiguiente, el viaje comienza, antes del grano, en las profundidades de la corteza terrestre, con una roca llamada material parental. Si bien la roca recibe este nombre por ser el punto de partida para llegar a un grano de arena, antes de este cambio, este material necesita pasar por procesos que pueden llevar miles o millones de años, los cuales involucran a los factores anteriormente mencionados. Durante este tiempo, los materiales se transforman en partículas más pequeñas, según su entorno geológico y atmosférico, lo que resulta en la arena.

Los dos procesos principales que generan esta transformación son la meteorización y la erosión. La meteorización es «la alteración de los materiales rocosos expuestos al aire, la humedad y al efecto de la materia orgánica» [3], mientras que la erosión es el proceso mediante el cual la capa superficial del suelo se desgasta y se desplaza. Una ilustración más concreta de estos procesos se encuentra en el artículo «¿Qué son la erosión y la meteorización?» publicada por *National Geographic*, que explica que, aunque estos procesos son distintos, trabajan de manera colaborativa, como si esculpieran la roca [4]. En este sentido, la meteorización puede verse como el martillo mecánico y químico que rompe y da forma a las rocas, mientras que la erosión actúa como el proceso que transporta los fragmentos resultantes. Además, ambos procesos están vinculados con el clima y el entorno, por lo que establecen una relación simbiótica en la que están interconectados e influyen mutuamente en su desarrollo en el ambiente.

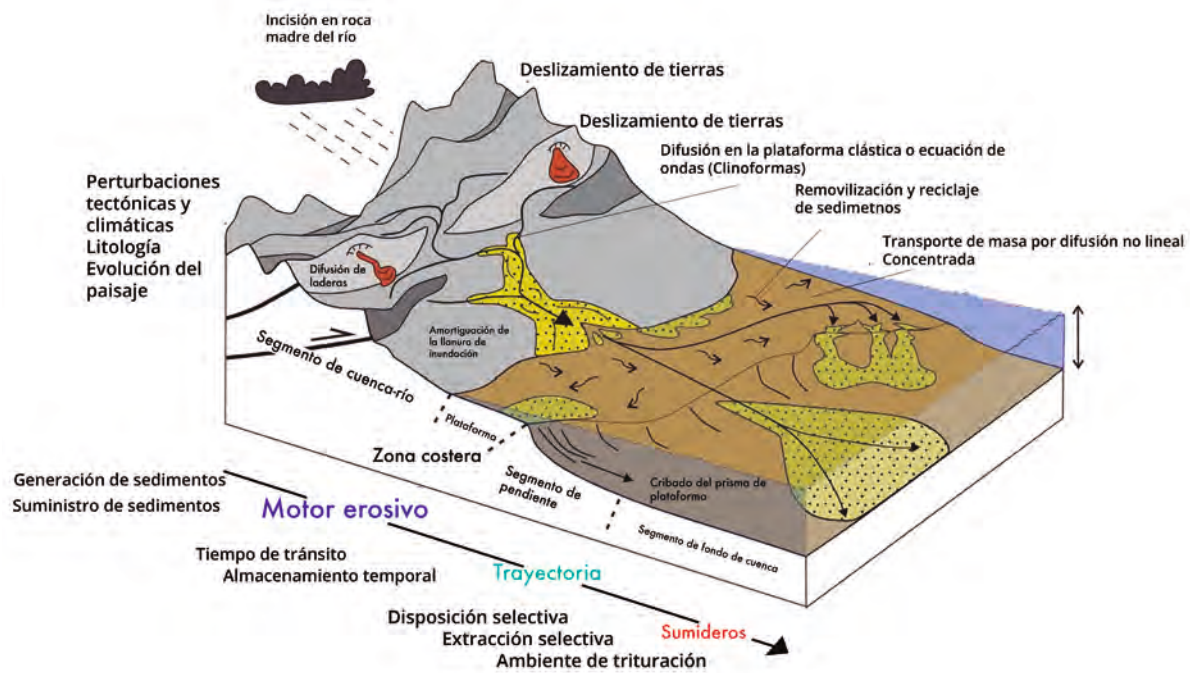
Como consecuencia de esta integración, en casi todos los tipos de procesos de erosión y meteorización se puede observar la contribución de un fenómeno climático. En el caso de la meteorización, esta puede disgregar la roca mediante tres métodos: primero, mediante la meteorización mecánica, es decir, la «descomposición física de las rocas sin afectarlas químicamente» [5,6]. En este tipo de meteorización se evidencia el efecto físico (movimiento) del agua, el viento y la temperatura. Segundo, por medio de la meteorización química, la cual altera la composición química de los minerales debido a reacciones químicas que se dan entre las rocas y los elementos del medio natural, como la humedad del ambiente [6]. Tercero, la meteorización biológica, también conocida como meteorización externa, que consiste en la transformación que provocan en las rocas algunos seres vivos como, por ejemplo, las raíces de las plantas cuando se introducen entre las grietas de las rocas y actúan como cuñas; los animales cuando cavan sus madrigueras o los restos orgánicos de plantas o de animales cuando la materia rompe las rocas a medida que se descomponen [7, 8].

Por otro lado, en la erosión, los procesos se clasifican según el fenómeno climático que los afecta como agente primario, a diferencia de la meteorización, en la que el clima puede actuar como un agente indirecto. Ejemplos de estos procesos de erosión incluyen la erosión hídrica, eólica y glacial, entre otros. Todos estos procesos, de alguna forma, remueven los materiales fragmentados, lo que desencadena el desgaste y la descomposición.

Tras la primera etapa de fragmentación, se producen sedimentos de diversos tamaños, incluyendo el tamaño de un grano de arena, cuyas dimensiones están comprendidas entre 0,063 mm y 2 mm [2]. Esto demuestra que, dependiendo de la fase de meteorización y erosión, el sedimento puede asemejarse más o menos a la roca madre. Aunque la arena puede parecer el sedimento más pequeño, en realidad no lo es. Su tamaño representa un equilibrio perfecto, al permitir que contenga miles de datos que pueden observarse con un microscopio, sin que su recolección sea excesivamente complicada.

En esta etapa, los sedimentos son transportados nuevamente por los agentes erosivos que los llevaron a la superficie, pero sin un rumbo fijo. Estas partículas se mezclan, se organizan y se depositan en estructuras deposicionales y forman gradualmente estratos. Luego, ocurre la compactación y la cementación, en las que los sedimentos depositados pierden porosidad y se endurecen y forman una roca sedimentaria. Así se completa un ciclo en el cual la partícula se convierte en parte del proceso hasta que otro agente erosivo la lleve al destino donde los geólogos la encuentren.





Representación esquemática de un sistema de trasferencia de sedimentos y de los tres segmentos principales, el motor de erosión, la zona de transferencia y en la cuenca a largo plazo. También se muestran los principales procesos que regulan la generación, el transporte y la deposición de sedimentos para cada uno de los segmentos [1].

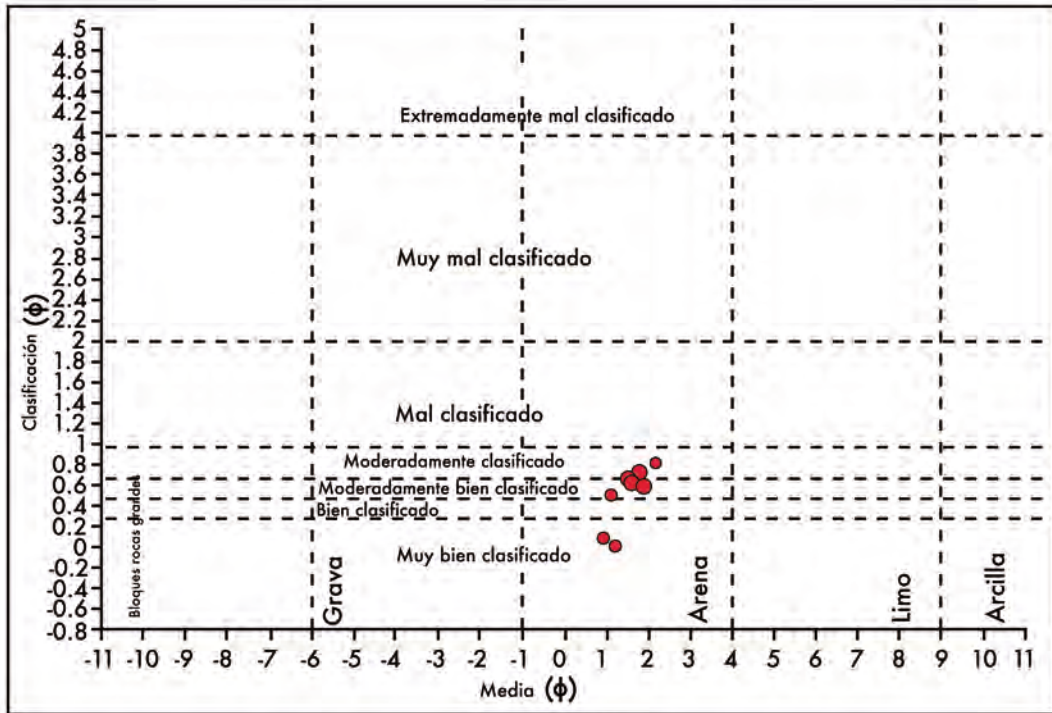
Análisis y técnicas de estudio de sedimentos de arena como archivos climáticos

Al finalizar su proceso de deposición, el grano puede volver a formar parte del ciclo mencionado anteriormente. Sin embargo, puede ser que un científico lo recolecte como una muestra, y que este lo lleve a su siguiente destino: el laboratorio. En el laboratorio, los geocientíficos recogen múltiples muestras de distintas capas, cada una con características composicionales y texturales diferentes. Al examinar estas muestras, los geocientíficos se centran en reconstruir el proceso climático y pueden ser capaces de identificar los múltiples factores que causan las características o propiedades observadas.

A continuación, se analizarán en detalle las tres principales características: textura, composición y edad, junto con los métodos que permiten este análisis.

Textura

El aspecto mecánico que primero se analiza, por ser el más notorio, es la textura. Las técnicas del estudio de textura, se basan, principalmente, en la obtención de una imagen aumentada que permita identificar la forma, tamaño, redondez y distribución de los granos en la roca. Ejemplos de estas técnicas son:

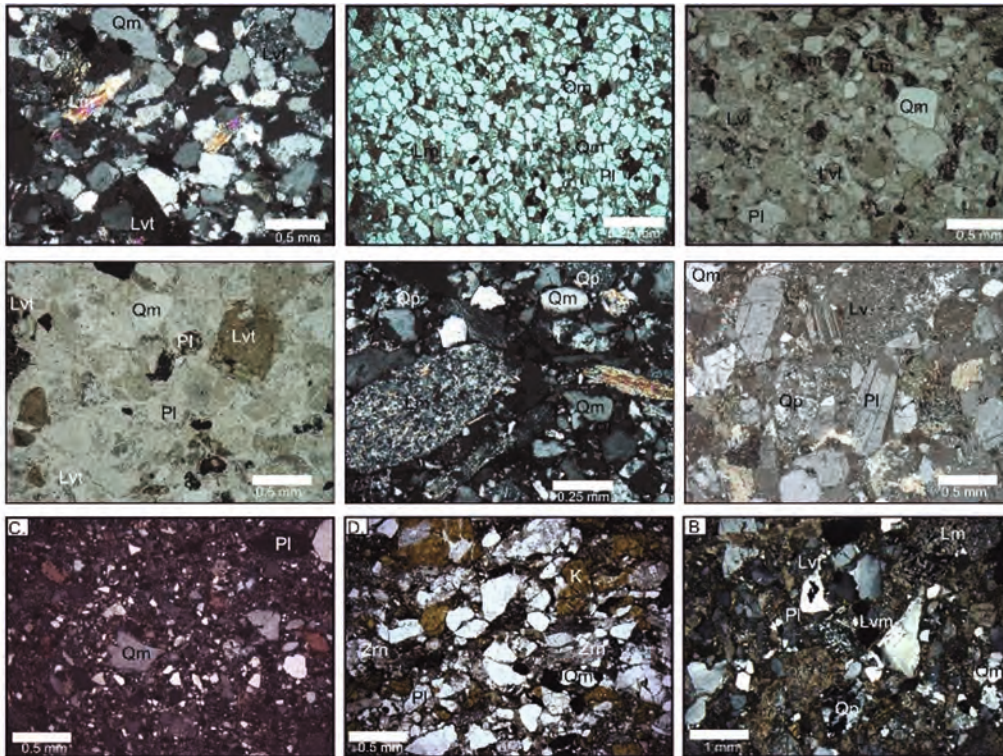


- La microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM): ambas proporcionan imágenes de diferente resolución de la superficie de los granos. Permiten una observación detallada de la textura superficial, la cual puede revelar información sobre procesos de abrasión y meteorización. La textura se describe a partir de varios parámetros, redondez, esfericidad, selección y tamaño. La forma de un grano de arena puede ser angular o redondeado, lo que indica un cierto tipo de transporte y la distancia que el grano recorrió y que se puede correlacionar a ciertas condiciones climáticas. Granos más angulosos pueden asociarse a un transporte más gravitatorio o por el viento, sin presencia de agua líquida, lo que podría sugerir climas más secos o desérticos, mientras que granos más redondeados pueden sugerir procesos de transporte por el agua de ríos, por ejemplo, y evidencian un recorrido más prolongado o en climas más húmedos.

Gráficas basadas en parámetros granulométricos que discriminan entre ríos. Relaciones de los parámetros texturales de Folk y Ward: (a) Asimetría frente al diámetro medio de los granos; (b) Desviación estándar frente a asimetría; (c) Diámetro medio de los granos frente a desviación estándar [9].

- Análisis granulométrico:** consiste en determinar la distribución de tamaños de los granos de arena en una muestra. Las variaciones en la distribución de tamaños pueden indicar cambios en las condiciones de transporte y deposición, lo que a su vez puede vincularse a cambios climáticos.





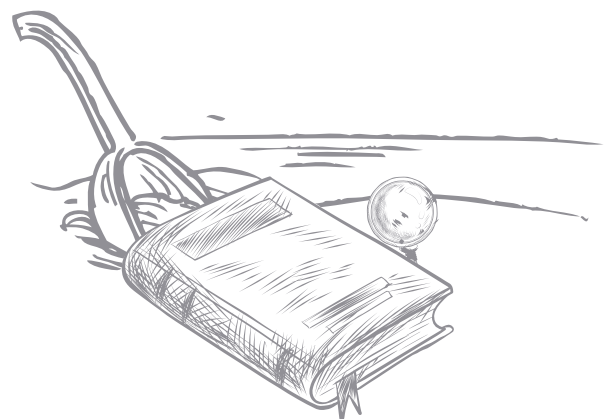
Microfotografía de areniscas del Cretácico de México [10].

Composición

La composición de la arena es el segundo aspecto que se evalúa. Este tipo de propiedad necesita de técnicas más especializadas que primero identifiquen los minerales que se encuentran en el sedimento. Luego del anterior paso, se analiza la densidad y la formación producto de los procesos climáticos.

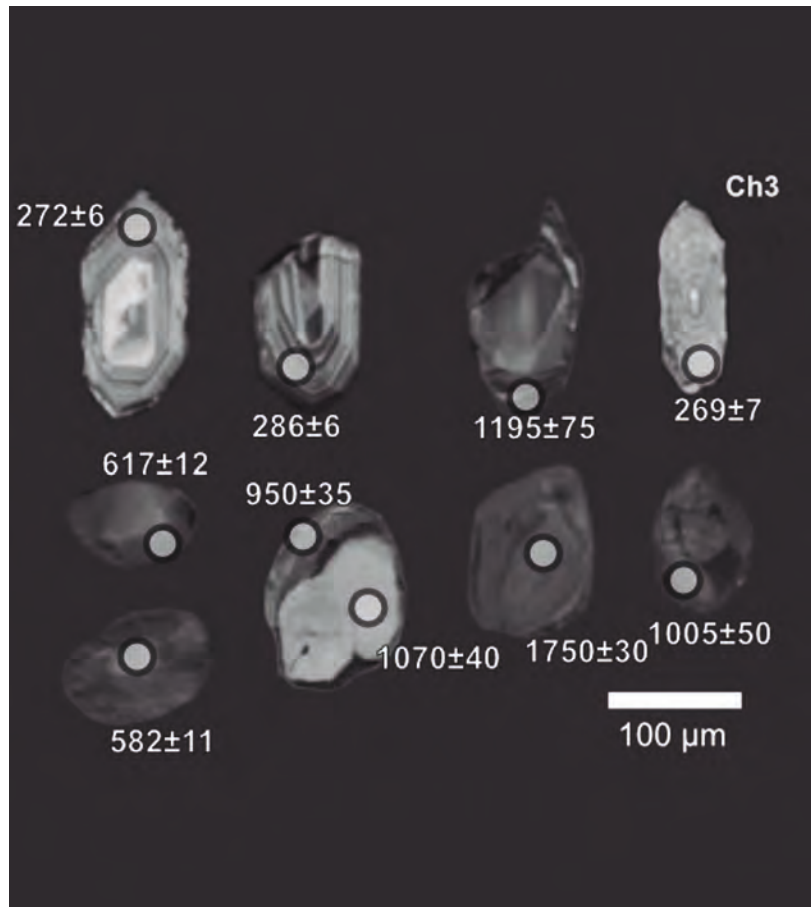
- **Microscopía:** es el proceso que se inicia mediante la observación microscópica de los granos de arena para que los geocientíficos puedan identificar los minerales específicos presentes. La composición mineralógica puede proporcionar pistas sobre la geología de la región de origen.

- **Disgregación:** es una técnica para identificar la densidad de los componentes. La roca se disgrega hasta tener granos de arena sueltos, los cuales se evalúan de acuerdo con su densidad y composición. La variación de la densidad indica métodos de transporte, compactación, cementación, entre otros, que se ven afectados por el clima. La densidad permite identificar qué climas desencadenaron cada proceso.



Edad de los sedimentos

Este tipo de técnica solo se utiliza para estudios más especializados, al ser una práctica más extensa en la que se analizan los circones en ciertas areniscas. La geocronología de granos de circón permite conocer la edad de cada grano individual. La técnica se realiza a partir de la separación de granos de circón de la arena y la ablación láser de cada uno de ellos, para después medir su composición isotópica en un espectrómetro de masas. En la imagen se ven fotos de catodoluminiscencia de granos de circón, en la que cada círculo representa el lugar de la ablación y los números, la edad de cada uno de los granos [8].



La figura muestra imágenes de catodoluminiscencia de granos de circones encontrados en areniscas. Estas imágenes hacen parte del procedimiento para conocer la edad en la que estos granos se formaron, conocido como geocronología. La escala es la balla de la parte inferior derecha, que indica 100 micrómetros [4].

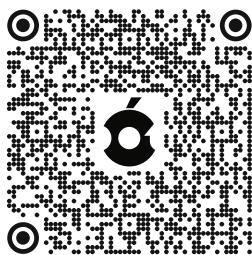
Aplicaciones y conclusiones

Al finalizar la construcción de la bitácora de viaje, también termina la construcción de una historia climática desde el punto de vista de un grano de arena. Estudiar su travesía nos permite concluir que, a partir de un elemento tan pequeño que usualmente pasamos por alto, se puede tener acceso a un gran archivo que nos otorga la naturaleza, el cual contiene información muy valiosa para la ciencia.

Esta información se destina a la reconstrucción de la historia climática de una zona, pero tiene muchas formas de emplearse si nos tomamos el tiempo de comprender conceptos como arena y sedimento. Los reportes brindados por la investigación detallada de los procesos y propiedades mecánicas como la textura, composición y edad del grano pueden reconstruir la situación de climas o ecosistemas desconocidos para el ser humano contemporáneo.

Una situación que puede contribuir a múltiples áreas de estudio no solo al aportar a la recolección de una historia climática pasada, sino también a la actual. Una retrospectiva climática contribuye a plantear soluciones ecológicas, al aportar al entendimiento de los fundamentos o bases de la evolución climática de las regiones. La arena demuestra que no se deben subestimar las travesías más pequeñas, las cuales pueden hacer parte de investigaciones más grandes, productivas y beneficiosas para el ser humano.

Comparte esta nota:



Referencias

- [1] Caracciolo L. Sediment Generation and Sediment Routing Systems From a Quantitative Provenance Analysis Perspective: Review Application and Future. *Earth Sci Rev.* 2020 oct.; 209. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103226>
- [2] Martínez BM. ¿De qué está hecha la arena? [internet]. *Cuaderno de Cultura Científica*; 2021 dic. 9 [citado 2021 sept. 10]. Disponible en: <https://culturacientifica.com/2021/12/09/de-que-esta-hecha-la-arena/>
- [3] Vallejo Velásquez JC. Manual de geología. capítulo 8. Intemperismo y meteorización [tesis de maestría; PDF]. [Bogotá]: Universidad Nacional de Colombia – sede Manizales; 2014 jun. 35 p. Tesis de maestría para la Universidad Nacional de Colombia (Manizales). Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/53767/intemperismoymeteorizacion.pdf>
- [4] Redacción National Geographic. ¿Qué son la erosión y la meteorización? [Internet]. National Geographic; fecha de publicación desconocida [citado 2024 sept. 10]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-son-la-erosion-y-la-meteorizacion#:~:text=La%20meteorizaci%C3%B3n%20es%20el%20martillo,La%20erosi%C3%B3n%20transporta%20los%20fragmentos.>
- [5] White L. The Products of Weathering and Erosion [internet]. Berkeley; fecha de publicación desconocida [citado 2024 sept. 10]. Disponible en: <https://ucmp.berkeley.edu/education/calandscape/session4/prodweather.html#:~:text=The%20material%20initially%20produced%20during,to%20reflect%20the%20parent%20rocks.>
- [6] Geomorfología Dinámica y Climática. Meteorización de las rocas [internet]. Universidad Católica de Chile – Instituto de Geografía; fecha de publicación desconocida [citado 2024 sept. 10]. Disponible en: https://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/1_3_2.html
- [7] Griem, W. Meteorización [internet]. *Apuntes Geología*; 2017 dic. 25 [actualizado 2020 mzo. 22; citado 2024 sept. 10]. Disponible en: <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05-2.htm>
- [8] Comunicación personal con María Isabel Sierra Rojas, profesora asistente del Departamento de Geociencias, Universidad de los Andes. 30 de octubre del 2023.
- [9] Ayodele OS, Madukwe HY. Granulometric and Sedimentologic Study of Beach Sediments, Lagos, Southwestern Nigeria. *Int J Geosci* 2019 mzo.; 10(3): 295–316. <https://doi.org/10.4236/ijg.2019.103017>

[10] Sierra-Rojas MI, Lawton TM, Martens U, von Quadt A, Beltrán-Triviño A, Coombs H, Stockli DF. Early Cretaceous to Paleogene Sandstone Provenance and Sediment-Dispersal Systems of the Cuicateco Terrane, Mexico. En: Martens UC, Molina-Garza RS, editores. Southern and Central Mexico: Basement Framework, Tectonic Evolution, and Provenance of Mesozoic-Cenozoic Basins. Boulder: Geological Society of America; 2021. p. 251-276.

Grano de arena. Fotografía por: Freepik.

