

Recibido: 06.09.2022 • Aceptado: 09.10.2023

Palabras clave: Fragmentación rocas, intemperismo físico, procesos geológicos.

Meteorización de las rocas (parte 2): fragmentación

YAM ZUL ERNESTO OCAMPO DÍAZ

yamzul.ocampo@uaslp.mx

FACULTAD DE INGENIERÍA, UASLP

GIOVANNI HERNÁNDEZ FLORES

ghernandez@conacyt.mx

CONACYT-ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Cuando caminamos por las partes altas de las montañas, ríos o por las orillas de la playa, observamos una gran cantidad de rocas de diferentes tamaños, y quizás nos hemos preguntado ¿cómo se han formado esos pequeños o grandes bloques de roca?, ¿cómo es que esos fragmentos han llegado hasta ese lugar? Nuestra mente curiosa genera diversas hipótesis sobre los posibles procesos que favorecieron para que esos fragmentos de roca estén frente a nosotros. Podríamos pensar que fueron transportados por los ríos, el oleaje e incluso por la acción de la gravedad, pero estas respuestas solamente responden a la segunda pregunta, mientras seguimos con la duda de cómo se generaron esos fragmentos. La respuesta a esta pregunta parece ser más complicada o no tener respuesta aún; sin embargo, como veremos en este trabajo, es más simple de lo que habíamos creído. El principal proceso que favorece la fragmentación de las rocas (intemperismo físico) está estrechamente relacionado con las condiciones climatológicas, la vegetación y actividades antrópicas que vivimos a diario. Las condiciones climáticas o cambios drásticos en el clima favorecen el congelamiento del agua, la precipitación de sales, la hidratación-deshidratación y la dilatación y contracción térmica, procesos que durante miles o millones de años fragmentan a las rocas en la geosfera terrestre. Asimismo, el crecimiento de árboles o actividad biológica también producen efectos sobre minerales al romperlos y exponerlos a condiciones donde no son estables químicamente.

Nuestro sistema terrestre, en particular la geosfera, es altamente dinámica y busca el equilibrio de manera constante (Ricci-Lucchi, 1996), por múltiples procesos que pueden ocurrir de manera repentina o en meses, como las erupciones volcánicas (Saucedo *et al.*, 2017), o por eventos que pueden tardar millones de años, como las orogenias, procesos geológicos que provocan el levantamiento de grandes cadenas montañosas u otros que favorezcan la fragmentación o descomposición de las rocas (Ocampo Díaz y Ocampo Martínez, 2020). Los factores que ayudan a que las rocas se descompongan o se fragmenten, están estrechamente relacionados con la temperatura a la que cristalizaron las minerales que le componen (Goldich, 1938).

Recordemos que una roca es un agregado de minerales que ocurren de manera natural y ocupan un lugar en el espacio. En este sentido, y de acuerdo con Goldich (1938), los minerales y rocas que se forman a más altas temperaturas se fragmentarán y descompondrán más rápido en las condiciones normales que suceden diariamente, en comparación con las rocas que cristalizan a temperaturas menores, las cuáles son menos propensas a la desintegración (figura 1). Por lo tanto, si un mineral se cristalizó a temperaturas muy elevadas, como el olivino que cristaliza a temperaturas promedio de 1200 °C, este se descompondrá más rápido que el cuarzo que cristaliza aproximadamente de 800 °C (figura 1).

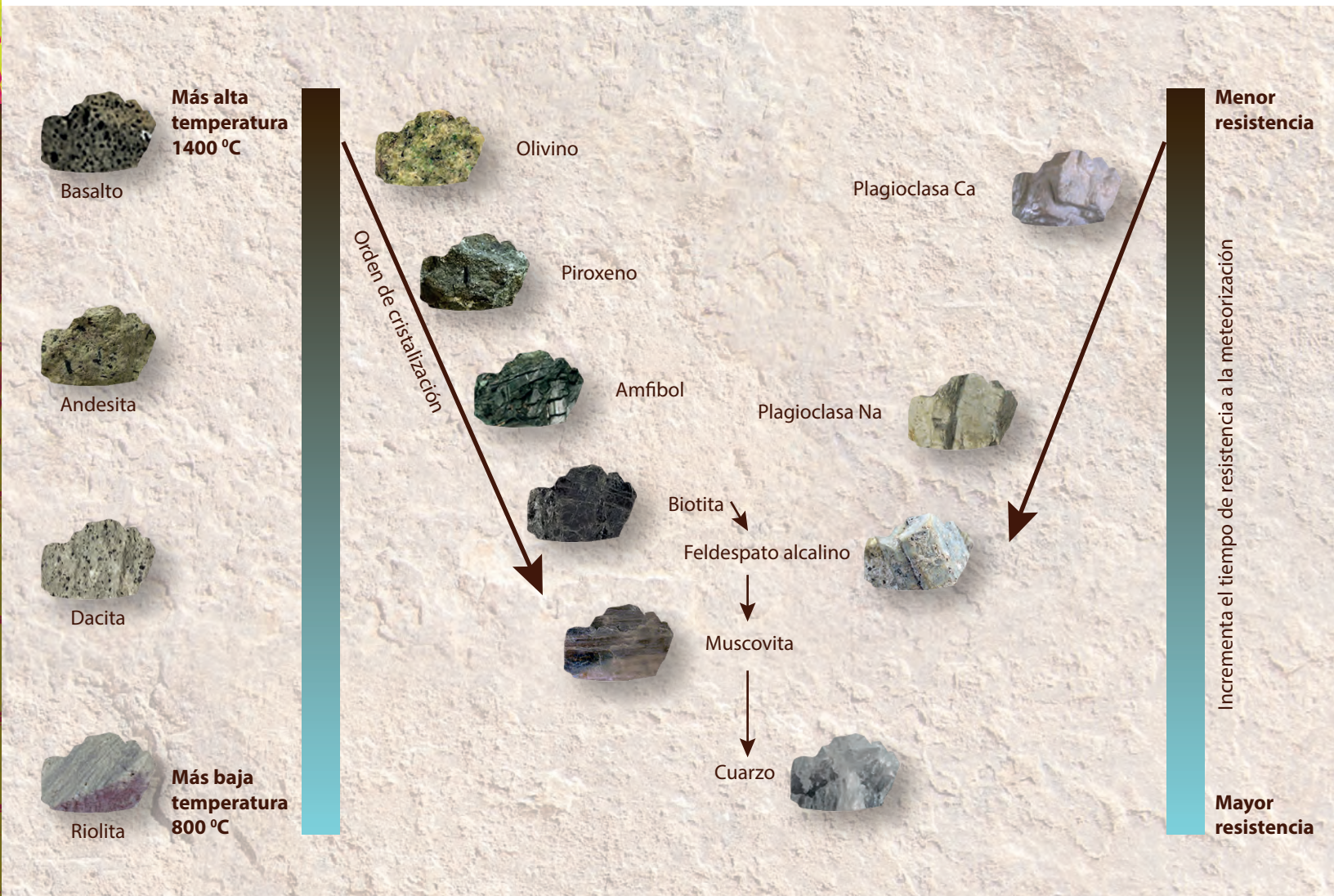


Figura 1. Serie de estabilidad mineral de acuerdo con Goldich (1938). Muestra el orden de descomposición y fragmentación de los minerales y rocas más comunes (modificada de Ocampo Díaz y Martínez Paco, 2023).

Otros procesos importantes que influyen en la fragmentación de las rocas (intemperismo físico), son el clima, la fauna silvestre y la vegetación. En el caso del clima, es uno de los factores importantes que controlan la fragmentación y descomposición de las rocas, ya que regula las condiciones de temperatura y precipitación en cada una de las regiones. No es lo mismo exponer una roca rica en olivinos (mineral de alta temperatura) en las regiones semidesérticas del estado de San Luis Potosí, donde solamente se fragmentará por los cambios en la temperatura (dilatación y contracción térmica), que exponerla en la región tropical de las costas de Guerrero, donde se descompondrá más por diversas reacciones químicas que pueden ocurrir por la abundancia de agua y se fragmentará por los cambios constantes de la temperatura. La importancia del intemperismo físico radica en la generación de partículas o fragmentos de rocas que pueden ser utilizados como materia prima; en grandes acumulaciones en las partes altas de las montañas, y con un agente detonante como el exceso de lluvia, pueden desarrollar flujos de escombros y afectar a los poblados situados al pie de estas montañas. El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer los principales procesos del intemperismo físico por el cual se fragmentan las rocas, como una continuación de los trabajos de Ocampo Díaz y Ocampo Martínez (2020), y Ocampo Díaz y Martínez Paco (2023).

Fragmentación por congelación y descongelación (cuña de hielo)

Las tensiones generadas en las estructuras de las rocas por efectos de congelación y descongelación del agua, tienen efectos altamente rompientes, sobre todo en regiones árticas donde la temperatura varía diariamente. Este proceso se desarrolla cuando el agua rellena grietas, poros o fracturas de las rocas. Cuando el agua se congela incrementa su volumen hasta un nueve por ciento, lo anterior propicia que las fracturas, grietas o poros incrementen su tamaño cada vez que esta se congela o descongela (figura 2). La repetición de este proceso tiende a generar múltiples grietas —cada vez de tamaño mayor— o fracturas que cortarían a toda la roca, de esta manera se generan detritos o escombros de diferentes tamaños que posteriormente serán removidos por los agentes de erosión como el agua o aire, depositados en la corteza terrestre, lagos u océanos. Un ejemplo de nuestra vida cotidiana es cuando guardamos en el congelador de nuestro refrigerador un refresco de cola para dejar que se enfríe y poderlo tomar. Si dejamos

que se congele, el líquido dentro del envase de vidrio incrementará su volumen. El envase se fracturará debido a que no tiene la flexibilidad necesaria para incrementar su volumen a medida que lo hace el líquido, en este caso la gaseosa. Este fenómeno de fracturación es el mismo que sucede cuando el agua se congela en las grietas de las rocas.

Fragmentación por crecimiento cristalino

La cristalización de sales u otras sustancias también puede producir cambios volumétricos entre el uno y cinco por ciento. Este proceso ocurre con más eficiencia en regiones áridas y cálidas, así como en regiones frías. La precipitación de sales ocurre por migración capilar de soluciones ricas en componentes que favorecen la generación y crecimiento de nuevos minerales dentro de los poros de las rocas. Cuando los minerales precipitan y crecen en la superficie de las rocas se le conoce como eflorescencia; si este proceso se desarrolla dentro de la roca o a la largo de fracturas, se le denomina subflorescencia.

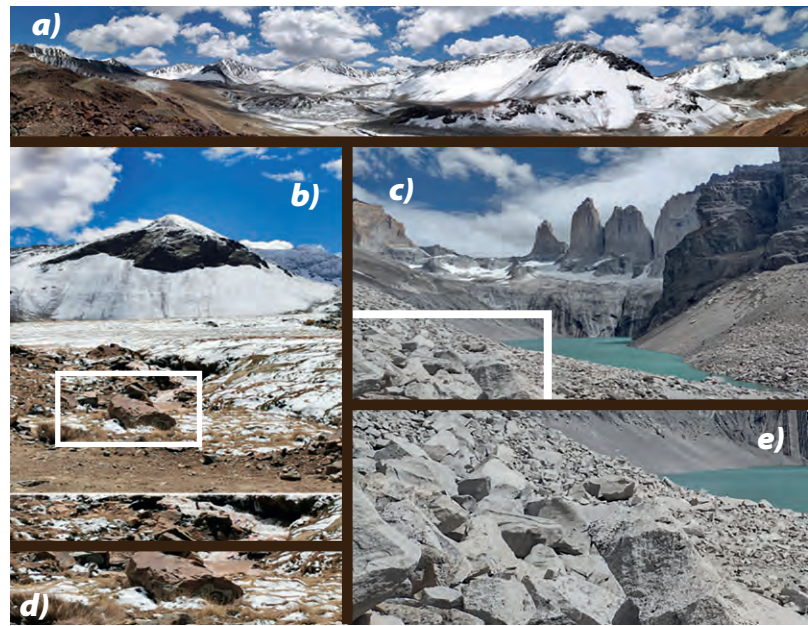


Figura 2. Ejemplos de procesos de congelación y descongelación (cuña de hielo). *a)* Vista panorámica del Glaciar Tomave, Potosí (estado), Bolivia. *b)* Vista frontal del Glaciar Tomave, Potosí (estado), Bolivia. *c)* Vista panorámica del Glaciar Torres del Paine, La Patagonia, Chile. *d)* El recuadro negro muestra el detalle de las rocas fragmentadas por cuña de hielo. *e)* El recuadro negro muestra los fragmentos de roca generados por procesos de congelación y descongelación del agua. Fotografías *a)*, *b)* y *d)*, cortesía de Mónica Saúz. Fotografías *c)* y *e)*, cortesía de Javier Castro Larragoitia.

Algo importante que debe mencionarse sobre el crecimiento cristalino dentro de los poros, es que cuando nuevos cristales crecen dentro de los poros de las rocas o sedimentos, la porosidad disminuye. Este proceso hace que las rocas que podrían ser muy útiles como almacén de agua o hidrocarburos, ya no almacenen grandes volúmenes de fluido o simplemente no almacenen. Como ejemplo de este proceso, se mencionan dos casos que ocurren comúnmente en las rocas carbonatadas o en los materiales que utilizamos para la construcción de nuestras viviendas. En el caso de las rocas calizas, cuando existe una porosidad primaria, es decir, aquella que se desarrolla por el contacto entre los granos o componentes de la roca, es rellenada por nuevos fluidos ricos en carbonato de calcio, se desarrollarán nuevos cristales de calcita en hábito drúscico —crecimiento de los cristales en un hábito lenticular con caras y aristas bien definidas, formando prismas poco desarrollados con terminaciones muy aplanadas— que disminuirán notablemente el volumen de la porosidad inicial de la roca (figuras 3a y b). En el caso de las materias primas que usamos para la construcción de nuestras viviendas, el cemento con que se pegan los tabiques o como revoque de las paredes, también favorece el crecimiento de cristales dentro de sus poros por la migración capilar de fluidos ricos en sales. Recordemos que la pasta utilizada para el revoque es una preparación que implica la mezcla de cemento (carbonato de calcio), arena y agua, por lo que la porosidad en este caso está condicionada por los espacios que quedan libres entre los granos de arena y el cemento (material de tamaño muy fino). Las soluciones salinas son transportadas por capilaridad y rellenan los poros, lo que con el tiempo favorece el crecimiento de cristales. A dichos cristales comúnmente les llamamos salitre (figura 3c y d), y hacen que el revoque o mortero que recubre las paredes se desprenda poco a poco. Por esta razón debe eliminarse de las paredes, para evitar que este se siga cayendo.

Fragmentación por exfoliación por calor

Las rocas son malas conductoras del calor, por lo tanto, cuando se calientan por el sol, la superficie expuesta se expande más que su parte interna, lo que genera superficies de ruptura de manera repetida en toda la roca (figura 4). La repetición de este proceso desarrolla la típica textura de capas de cebolla (figura 4a y b), también llamada intemperismo esferoidal, o cuando se rompe en capas subparalelas, se le conoce como lajamiento

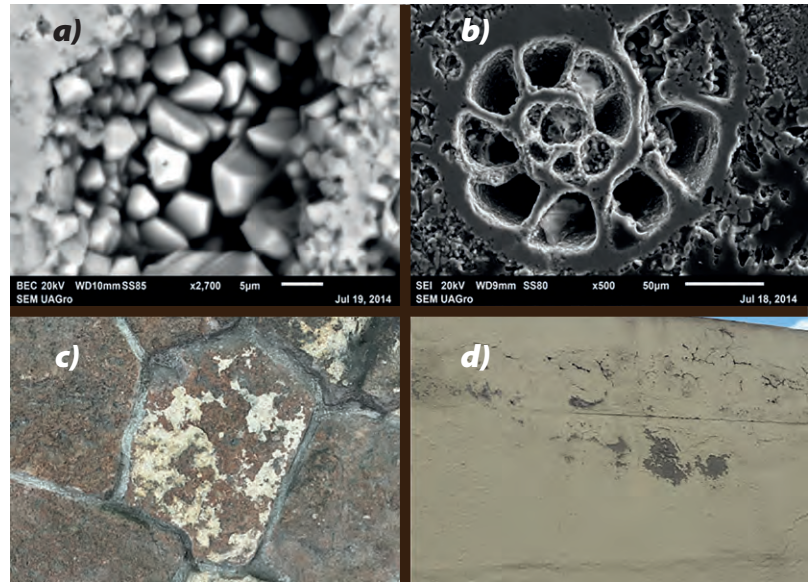


Figura 3. *a)* Crecimiento de cristales de calcita en hábito drúscico relleno de poros. *b)* relleno de las cavidades de un microfósil del tipo foraminífero. *c)* Formación Carrillo Puerto de Yucatán, México. Precipitación de sales sobre un muro de cantera rosa. *d)* Ejemplos comunes de la precipitación de sales y crecimiento cristalino en nuestras viviendas. Precipitación de sales y crecimiento de cristales en una pared recubierta con mortero. Nótese cómo se están fragmentando y desgajando las paredes en ambos casos.

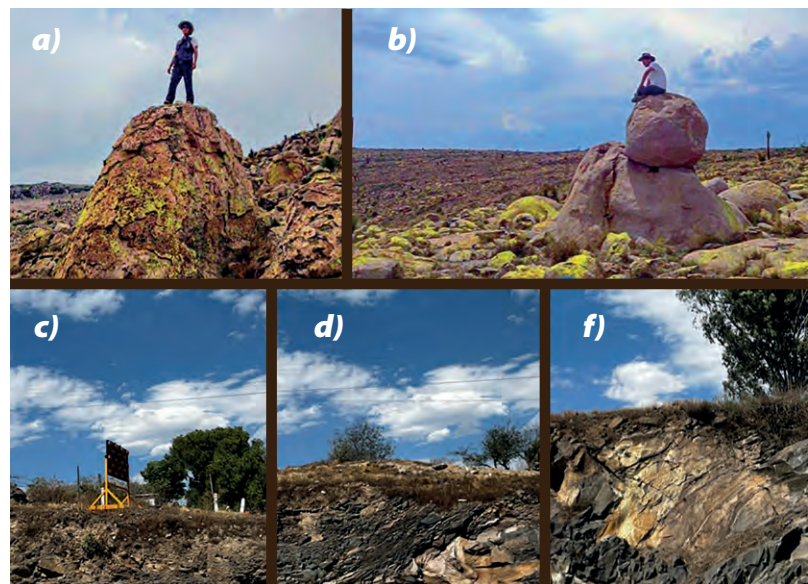


Figura 4. *a)* y *b)* Ejemplos de fragmentación por contracción y dilatación térmica en las rocas (intemperismo esferoidal), cerro del Tepetate, SLP, cortesía de Eduardo Monrreal. *c)*, *d)* y *e)*, ejemplos de fragmentación por dilatación y contracción térmica (lajamiento), carretera Querétaro-San Luis Potosí, cortesía de Margarita Martínez.

(figuras 4c y d). Aunado a esto, la repetición de este proceso también causa esfuerzos de tensión que conducen a la ruptura y mayor desintegración de los minerales.

Fragmentación por hidratación-deshidratación

El proceso de hidratación está relacionado con la ganancia o absorción de moléculas de agua, lo cual favorece la generación de nuevos minerales; mientras que la deshidratación está relacionada con la pérdida o liberación de moléculas de agua. La hidratación va acompañada con cambios en el volumen de los minerales y rocas, por esta causa llegan a modificarlas físicamente. Un ejemplo de la hidratación es cuando al trióxido de dihierro (Fe_2O_3 , mineral conocido como hematita), se le agrega una molécula de agua (H_2O), se formará un nuevo mineral llamado goethita (2FeOOH) (figura 5). Por el contrario, un buen ejemplo de la deshidratación es cuando el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), por algún proceso pierde el agua que forma parte de él, este se convertirá en anhidrita (CaSO_4) y agua en fase acuosa (figura 5).

Un caso común de hidratación-deshidratación puede ser observado en nuestras calles o parques después de un día de lluvia. Cuando llueve, el lodo absorbe el agua, de esta manera incrementa su volumen. Con el incremento de la temperatura durante el día y posterior a la lluvia, estos minerales arcillosos (lodos) liberarán el agua absorbida y así perderán volumen. Este proceso de dilatación y contracción genera grietas que al unirse unas con otras adquieren forma de polígonos (figuras 6a-c). Por este motivo, se conocen como grietas o polígonos de desecación (figuras 6a-c). Este proceso ocurre comúnmente en condiciones áreas, es decir, después de llover, el sedimento se expone a calor solar, pierde agua y se agrieta. Sin embargo, cuando el material lodoso se encuentra en condiciones acuosas, las arcillas se contraen en respuesta a cambios en la salinidad del líquido que rodea un depósito. Es muy común que este proceso se desarrolle en los salares, en donde la sobresaturación de cloruro de sodio (NaCl ; sal común) favorece la expulsión espontánea del líquido que genera la contracción de los sedimentos lodosos (figuras 6d-f).

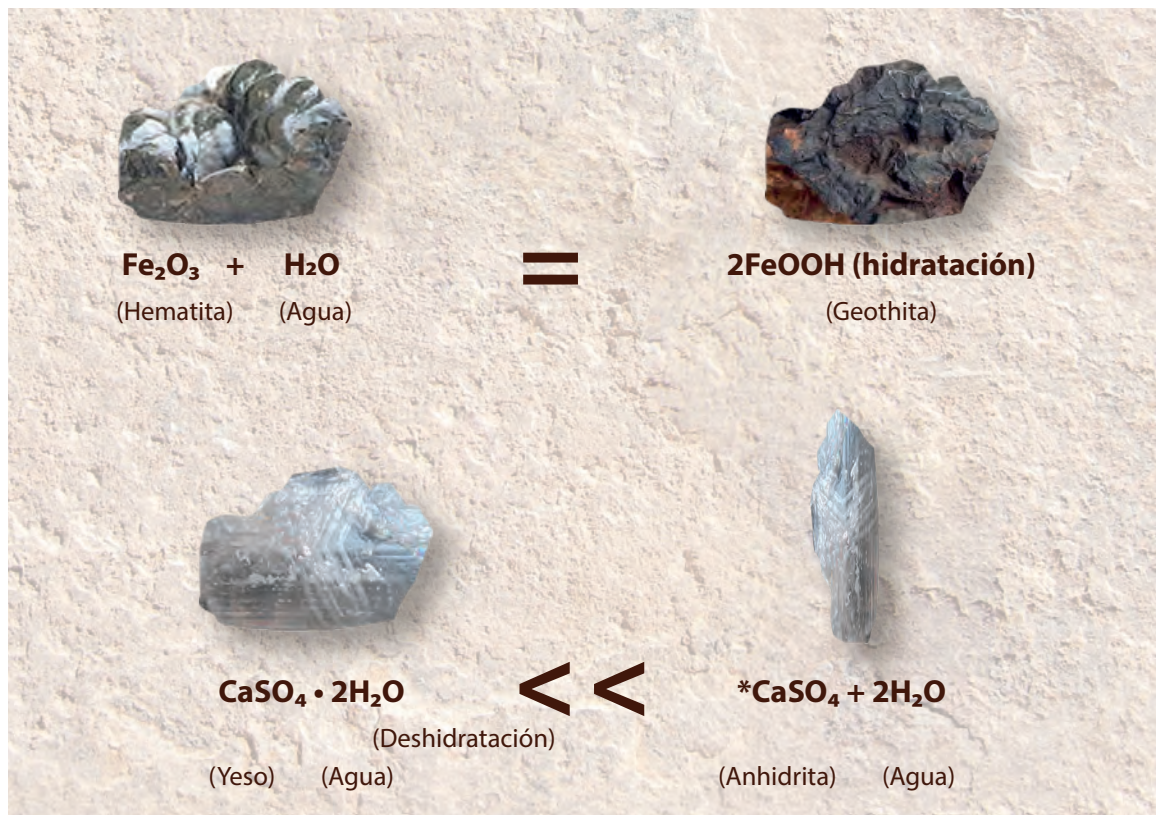


Figura 5. Ejemplos de los procesos de hidratación de la hematita que por este proceso genera goethita, y de la deshidratación de la anhidrita que favorece la generación de yeso. Fotografías cortesía de Daniel Galván Tristán.

Es doctor en geociencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Es profesor investigador en la Facultad de Ingeniería de la UASLP y realiza el proyecto "Sedimentología y procedencia de las sucesiones Triásicas y Cretácicas en San Luis Potosí".



Conclusiones

En la geosfera terrestre ocurren diariamente cientos o miles de procesos físicos que favorecen que las rocas, minerales y materiales que empleamos en la construcción de nuestros hogares, se fragmenten y generen partículas de diversos tamaños, desde gravas hasta lodos. La mayoría de estos procesos son benéficos en nuestra vida cotidiana, por ejemplo, la fragmentación por cuña de hielo genera bloques de materia prima que pueden ser utilizados en la industria de la construcción. Del mismo modo, el proceso de hidratación-deshidratación, la cual genera yeso,

ampliamente utilizado en la industria de la construcción y en fabricación de fertilizantes. Sin embargo, algunos de estos procesos pueden causar daños a la población; por ejemplo, la acumulación de partículas o escombros en las partes altas de las montañas pueden ser removidas y transportadas pendiente abajo como flujos de escombros, de esta manera pueden cubrir a las poblaciones situadas en estos lugares. Como ejemplo podemos mencionar el caso del poblado de Minatitlán en Colima, el cual después de las intensas lluvias generadas por un huracán el 27 de octubre de 1959, fue cubierto por flujos de escombros y dejó a los habitantes de esta localidad sin hogar. Por último, y como recomendación a las personas que piensan o están construyendo sus hogares con bloques de roca, les sugerimos utilizar aquellas rocas que sean más estables a las diversas condiciones climáticas. En este caso, pueden ser las que cristalizan o se forman a más baja temperatura, con la finalidad de que tengan el mayor tiempo de vida útil por las condiciones en las que se formaron y porque estarán sujetas a condiciones similares a las que se formaron. ^{UP}

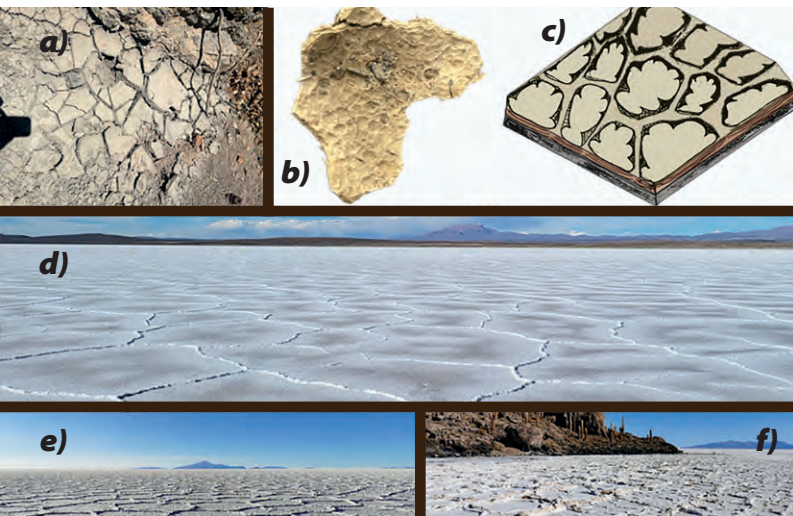


Figura 6.

Ejemplos de hidratación y deshidratación de sedimentos. a) y b) Grietas de desecación con marcas de impacto de lluvia generadas en el arroyo Los Chopes, San Rafael, Charcas, SLP. c) Boceto de grietas de desecación. d) Vista panorámica del salar de Uyuni en Bolivia, que muestra grietas de desecación rellenas por sal (*syneresis crack*). e) y f) Detalle de las *syneresis cracks* del salar de Uyuni, Bolivia, y de la isla de Incahuasi, parte central del salar de Uyuni, Bolivia. Fotografías d) y f) cortesía de Mónica Saúz.

Agradecimientos

A Mónica Saúz, Javier Castro Larragoitia y Eduardo Monreal, por las fotografías obsequiadas para el presente trabajo. A Daniel Galván Tristán por las fotografías de los minerales mostrados como ejemplo. A los revisores anónimos que con sus comentarios han enriquecido la versión inicial de este manuscrito.

Referencias bibliográficas:

- Goldich, S. S. (1938). A study in rock-weathering. *The Journal of Geology*, 46(1), 17–58. <https://doi.org/doi:10.1086/624619>
- Ocampo-Díaz, Y. Z. E. y Martínez-Paco, M. (2023). Meteorización de las rocas, *Universitarios Potosinos*, 274, pp. 1-7.
- Ocampo-Díaz, Y. Z. E. y Ocampo-Martínez, H. H. (2020). El mundo de las arenas: perspectivas sedimentológicas. *Universitarios Potosinos*, 247, pp. 10-15.
- Ricci-Lucchi, F. (1996). *La scienza di Gaia. Ambiente e sistemi naturali visti da un geologo*. Zanichelli.
- Saucedo, R., Macías, J. L., Ocampo-Díaz, Y. Z. E., Gómez-Villa, W., Rivera-Olguin, E., Castro-Govea, E., Sánchez-Núñez, J. M., Layer, P. W., Torres-Hernández, J. R. y Carrasco-Núñez, G. (2017). Mixed magmatic-pheratomagmatic explosions during the formation of the Joya Honda maar, San Luis Potosí, Mexico. In K. Németh, G. Carrasco-Núñez, J. J. Aranda-Gómez y I. E. M. Smith (Eds.), *Monegenetic Volcanisms*, 446, pp. 255-280). Geological Society of London.