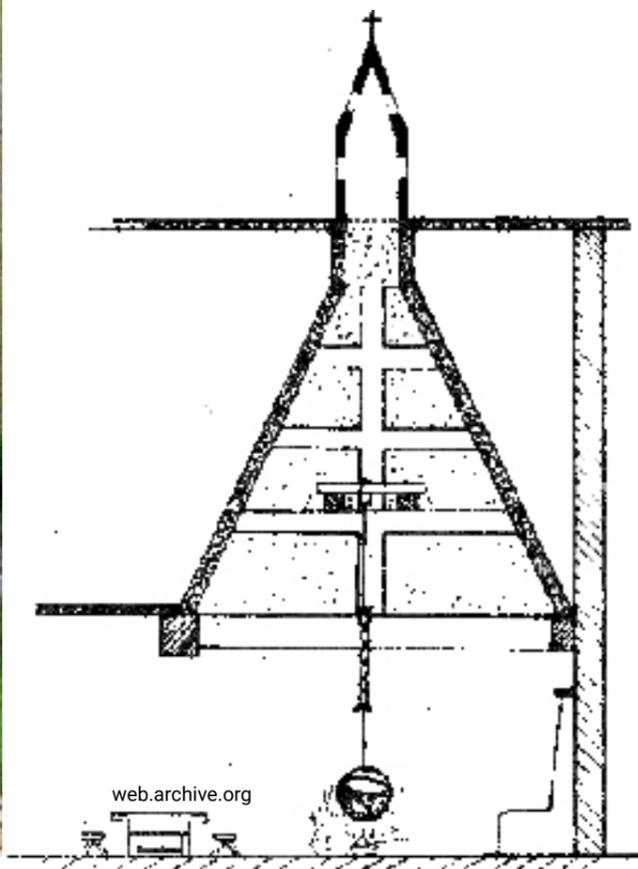


Toscas, tobas y travertinos: materiales de construcción y archivos geológicos

“Toscas, tobas y travertinos son denominaciones de rocas que tienen en común su valor como recursos económicos y su interés científico.”

Gonzalo Pardo y Concha Arenas



◀ Chimenea tradicional construida con *piedra tosca* en la villa de Borau, comarca de La Jacetania (izquierda) y esquema de la chimenea troncocónica tradicional altoaragonesa (derecha).

Toscas, tobas y travertinos son denominaciones de rocas que tienen en común su valor como recursos económicos y su interés científico. Pero esas denominaciones tienen ciertos problemas debido a que su significado no es unívoco, sino que varía según la región donde se utilice o el autor que use el término. En este sentido no se entiende lo mismo por *tosca* en Aragón que en el Levante español o en las Canarias. La palabra *toba* expresa cosas diferentes para un vulcanólogo que para un estudioso de las rocas calcáreas, por lo que suele necesitar de un adjetivo para referirla correctamente. Finalmente, travertino puede ser para algunos autores sinónimo de toba, por lo que este sustantivo también puede necesitar de un adjetivo para situarlo correctamente en el discurso.

En este artículo se pretende tratar tales aspectos, indicando, además, qué fenómenos y procesos geológicos pueden leerse en las rocas citadas. Para ello empezaremos por las toscas, el término menos geológico y

“En el levante español se llama *tosca* a la roca que se formó a partir de depósitos playeros de arenas calcáreas, constituidas mayoritariamente por fragmentos de conchas de moluscos.”

ban los productos de la matanza. En la rehabilitación y remodelación de muchas casas pirenaicas, la chimenea tradicional ha desaparecido del interior para dejar paso a sistemas de cocina y calefacción modernos, pero habitualmente se ha conservado en su forma tradicional sobre el tejado, como distintivo de la antigua fábrica.

La piedra tosca aragonesa, que aparece en topónimos de poblaciones como Foradada del Toscar (comarca de la Ribagorza), es una *toba caliza*. En la primera acepción de la palabra *toba* en el Diccionario de la R.A.E. se lee: “Del lat. *tofus*. Piedra caliza, muy porosa y ligera, formada por la cal que llevan en disolución las aguas de ciertos manantiales y que van depositando en el suelo o sobre las plantas u otras cosas que hallan a su paso”; es decir, se trata de una roca sedimentaria generada por la precipitación del carbonato cálcico disuelto en el agua. La cuestión del interés de la tosca como archivo geológico se deja para más adelante, cuando se trate específicamente las tobas calizas y los travertinos.

Sin embargo, hay otras rocas denominadas toscas que no se corresponden con una toba caliza: En el levante español se llama *tosca* a la roca que se formó a partir de depósitos playeros de arenas calcáreas, constituidas mayoritariamente por fragmentos de conchas de moluscos. El viento arrastraba estas arenas acumulándolas en cordones de dunas litorales que posteriormente se consolidaron con cemento calcáreo proveniente de la disolución de sus propios granos con las lluvias. Se trata pues de otra roca caliza, pero en este caso su origen no es la precipitación de carbonato cálcico sobre un sustrato orgánico, sino que es una roca detrítica, una calcarenita. Esta roca, de hermosos reflejos dorados, trabajada por el *piquer* o *tosquero*, fue utilizada ampliamente para usos como prensas y depósitos de aceite, y

que no encontraríamos en ninguna clasificación petrológica formal, pues de hecho es una denominación popular, y comercial en ciertas áreas, de tipos de rocas bien distintas, pero siempre ligadas a la construcción tradicional o monumental.

LAS TOSCAS

En Aragón se conoce como *tosca* a una roca caliza, muy porosa y de baja densidad. Fácil de trabajar por el canteiro, allí donde la hay (en un mapa aparecerá como *El Toscar* o *La Tosquera*) ha sido utilizada en la construcción de aquellos elementos arquitectónicos que requieren ante todo ligereza, como bóvedas, arcos y chimeneas, y en alguna ocasión también como elementos decorativos. Son notables las chimeneas troncocónicas que se encuentran en numerosos pueblos de las comarcas altoaragonesas, con frecuencia rematadas por una figura con función de *espantabruxas*. Centro de la vida hogareña en invierno, alrededor de su fuego bajo podían instalarse hasta 20 personas (ver figura) y en ella se ahuma-

en la construcción, entre otros, de edificios monumentales en la Marina Alta, por ejemplo la iglesia de San Bartolomé, en Jávea. Las canteras de estas tobas (*pedreres* o *toscars*) se conocían y explotaban desde época romana, pero su extracción se prohibió en 1972 por motivos ambientales y de protección del patrimonio, y actualmente toscas similares se importan de Marruecos. En Baleares, donde su extracción también está prohibida, esta roca se denomina *marés*, y así mismo se utilizaba en arquitectura monumental, como es el caso de la catedral de Palma de Mallorca.



A. Iglesia-fortaleza de San Bartolomé, Jávea (Alicante), construida con piedra tosca.
B. Antiguo toscar en la costa alicantina.
C. Acequia de la Noria, en Jávea (Alicante), excavada en *piedra tosca* por los romanos para alimentar unas salinas.

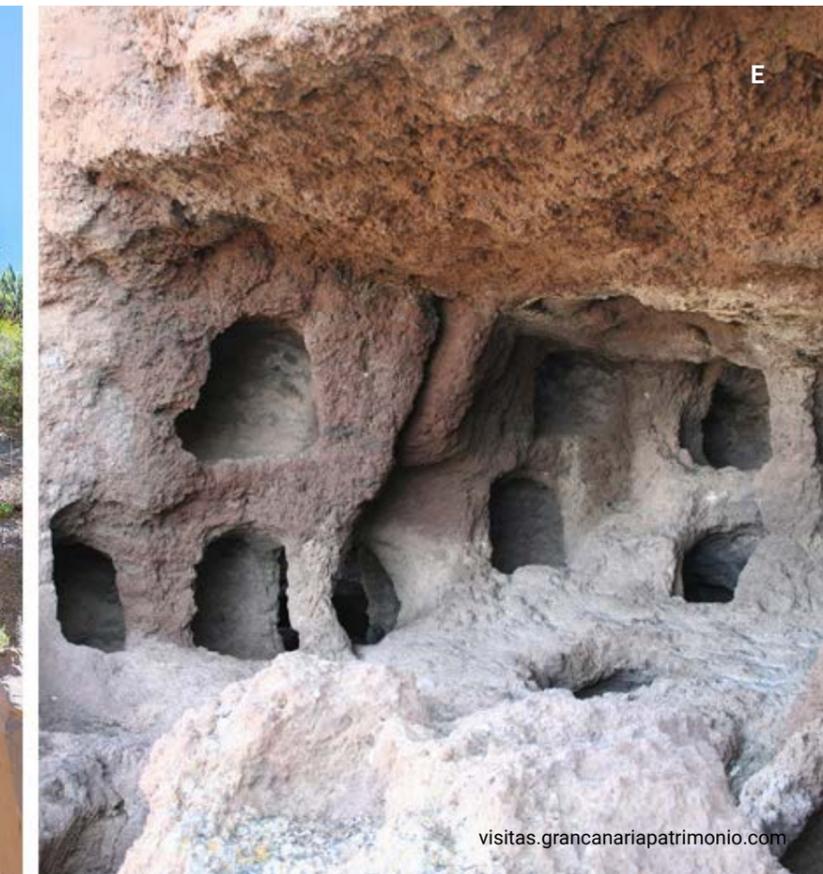
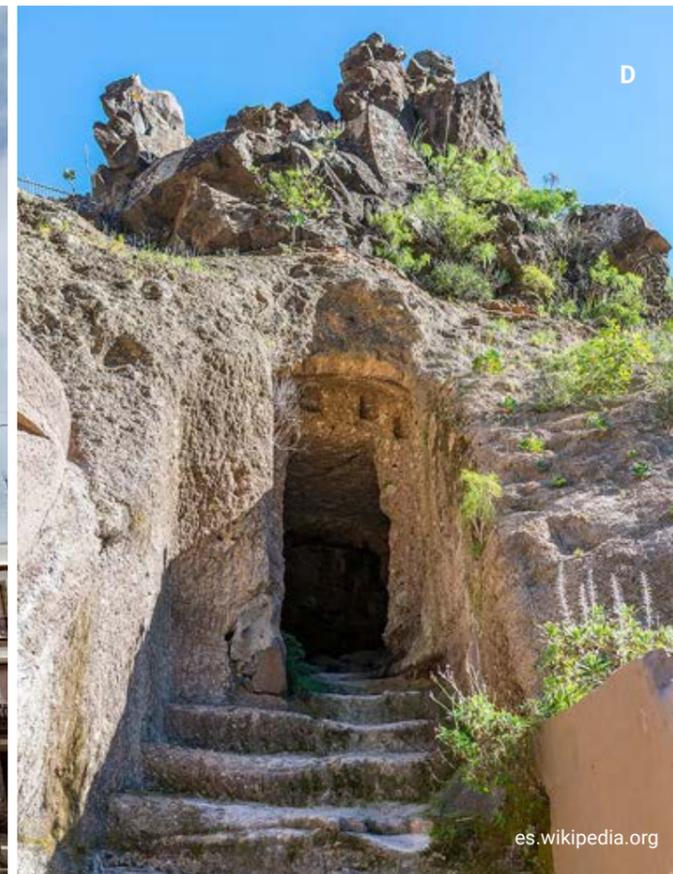
“Las toscas canarias tienen diferentes colores y textura según las características químicas de los materiales que las forman. En ellas ya excavaron graneros y viviendas los aborígenes de las islas.”

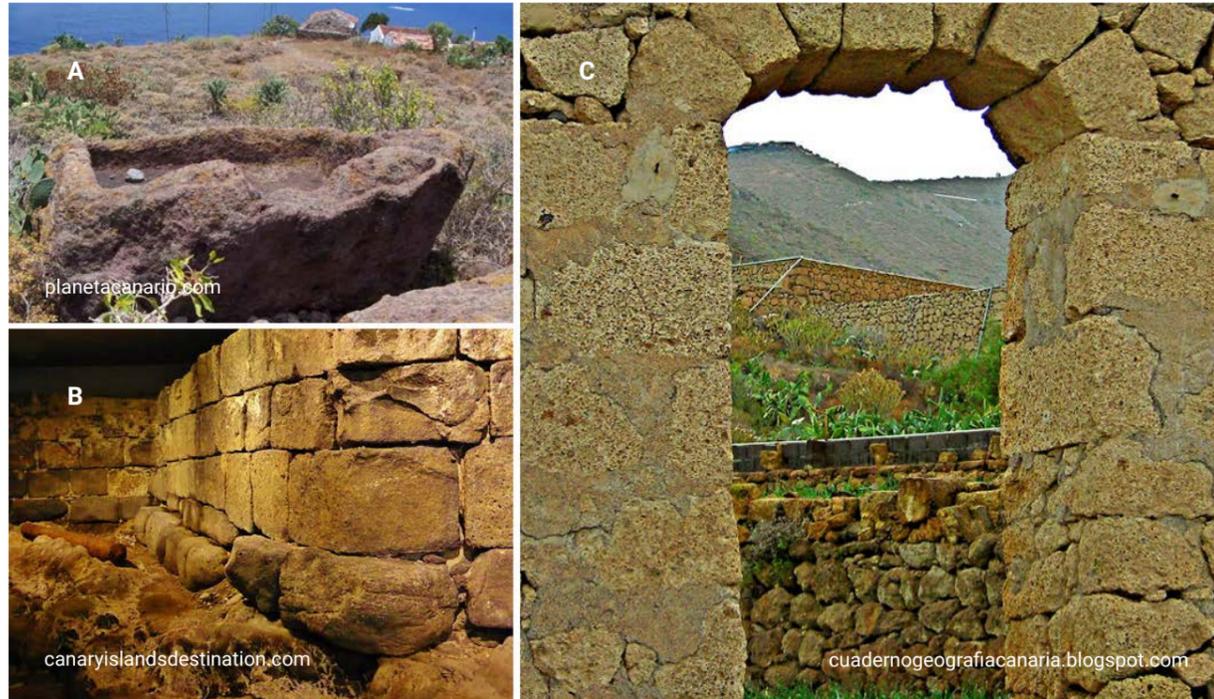
Como archivos geológicos, tanto la tosca levantina como el marés balear dan cuenta de fenómenos paleogeográficos y paleoclimáticos especiales durante el Pleistoceno: las playas, ahora desaparecidas, que proporcionaron la arena a las dunas costeras se formaron en situaciones de bajo nivel del mar durante los máximos glaciales cuaternarios.

Sin embargo, muy alejadas petrográficamente de las toscas citadas hasta ahora, ciertas rocas volcánicas son conocidas también en las islas Canarias como *toscas*, nombre local que se da a algunas *tobas volcánicas*, en concreto a las pumitas compactas resultantes de flujos piroclásticos consolidados. Estas toscas tienen diferentes colores y textura según las características químicas de los materiales que las forman. Dependiendo del grado de oxidación, presentan una coloración roja, ocre, amarilla o blanca. Su consistencia es media, lo que la hace ideal para cantería. En ellas ya excavaron graneros y viviendas los aborígenes de las islas (ver figura), como en el yacimiento del barranco de Guadayeque o

Excavaciones en *tosca volcánica* en la isla de Gran Canaria:

- D. Cueva en el barranco de Guadayeque.
- E. Granero en Risco Pintado





en el de las Cuatro Puertas, en Gran Canaria. Con ellas se construyeron los típicos bancales con muros de piedra seca, se labraron lagares, sillares para edificios e incluso arcos y elementos arquitectónicos ornamentales.

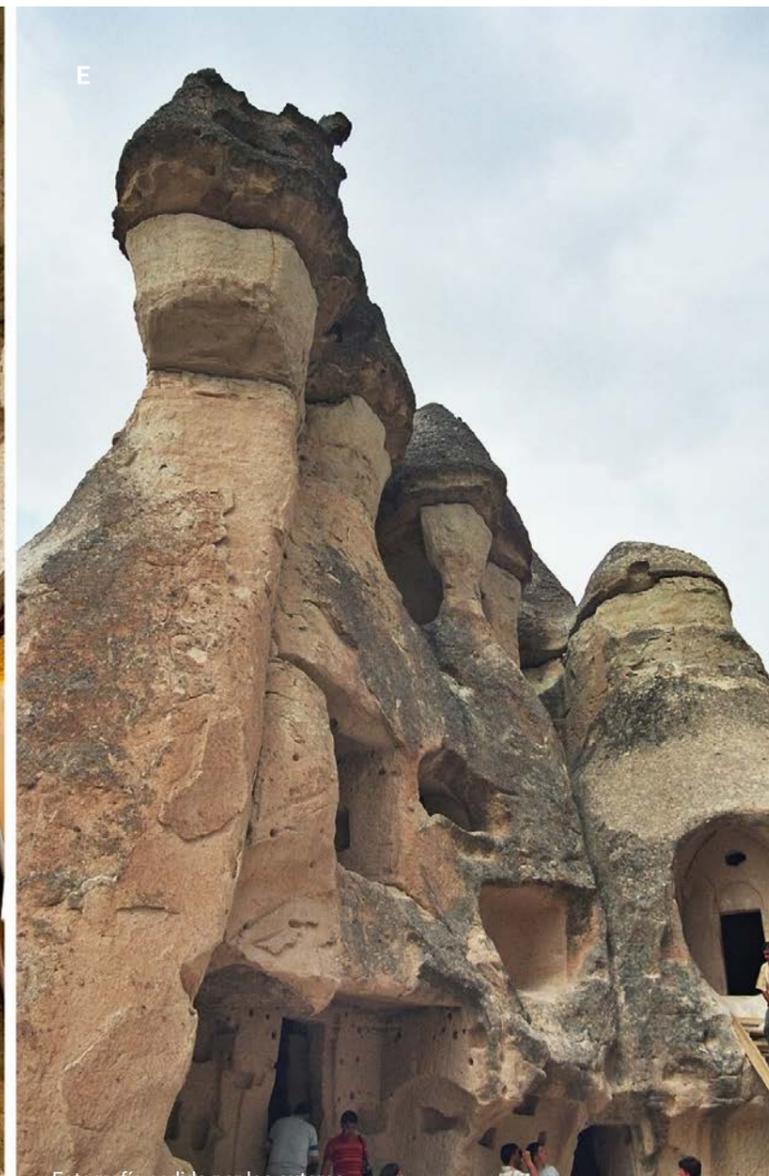
En muchas áreas volcánicas del mundo se utilizan las tobas volcánicas como lugares de fácil excavación de viviendas, enterramientos (catacumbas de Roma) y como materiales de construcción monumental. Entre otras, son destacables las áreas andinas. Por ejemplo, en Arequipa (Perú) los principales edificios del casco histórico están contruidos con tobas volcánicas. Allí se denominan *piedra sillar* y proceden de la actividad del volcán Chachani, hace más de 2 millones de años. En Capadocia (Turquía), la erosión de las tobas volcánicas ha creado un paisaje fantástico de chimeneas de hadas, en las que se encuentran excavadas viviendas e iglesias, conjunto declarado Patrimonio de la Humanidad en 1985.

Podría preguntarse si la región de la Toscana, en Italia, país donde abundan las tobas calcáreas y volcánicas, tiene alguna relación con la palabra tosca. No es así: según puede leerse en Wikipedia, la etimología de Toscana proviene de la evolución de Etruria, la región habitada por los etruscos. Etruria evolucionó a Tuscia y más tarde a Toscana.

LAS TOBAS VOLCÁNICAS

Ya se ha dicho que las toscas volcánicas canarias son el resultado del depósito de flujos piroclásticos. *Piroclasto* es todo fragmento (bloques, bombas, lapilli o cenizas, según sea su tamaño) proyectado a la atmósfera en una erupción volcánica. Los piroclastos se elevan, junto con los gases emitidos, en la típica columna eruptiva, y caen por gravedad con mayor o menor dispersión según su tamaño y en función de la altura que alcance la columna y los vientos reinantes.

Hay un tipo de erupciones denominadas *plinianas* en que la columna de gas y piroclastos puede alcanzar los 20 km de altura. La denominación de pliniana alude al militar y naturalista romano Plinio el Viejo, víctima de la del Vesubio del año 79 d.C. que sepultó las ciudades de Pompeya y Herculano. Se trata de un vulcanismo de alta energía que arroja magma muy viscoso de composición ácida (más del 66% en peso de SiO_2) y muy rico en gases, con violentos episodios explosivos. Su Índice de Explosividad Volcánica (VEI en siglas inglesas, elaborado por Newhall y Self, 1982) se sitúa en 5-6 de una escala que alcanza un máximo de 8. Los piroclastos con tamaño de cenizas suelen ser arrastrados por el viento y



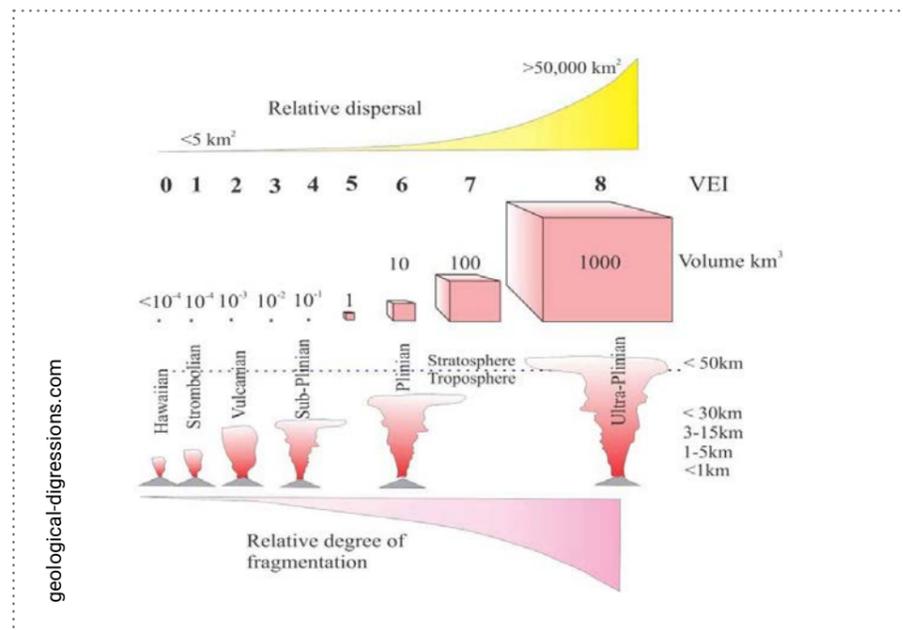
◀ **Trabajos de cantería con tosca volcánica en la isla de Tenerife:**
A. Lagar en Las Palmas de Anaga.
B. Sillares del Castillo de San Cristóbal, Santa Cruz de Tenerife.
C. Arco y bancales de piedra seca en Aldea Blanca.

D. Iglesia de la Compañía de Jesús en Arequipa construida con toba volcánica
E. Viviendas excavadas en toba volcánica en las chimeneas de hadas de Capadocia.

“En Capadocia (Turquía), la erosión de las tobas volcánicas ha creado un paisaje fantástico de chimeneas de hadas, en las que se encuentran excavadas viviendas e iglesias, conjunto declarado Patrimonio de la Humanidad.”

VEI	Volumen (Km³)	Altura columna (Km.)	Descripción	Tipo	Erupciones históricas
0	fumarolas	0.1	No explosiva	Hawaiana	Kilauea (Hawái) 2020, 2021
1	<0.00001	0.1-1	Pequeña	Stromboliana	Stromboli (Italia) 2019
2	<0.0001	1-5	Moderada		Teneoia (La Palma) 1971
3	<0.001	3-15	Media	Vulcaniana (Subpliniana)	Cumbre Vieja (La Palma) 1949, 2021
4	<0.01		Grande		Nevado del Ruiz (Colombia) 1985
5	<0.1	10-25	Muy grande	Pliniana	Reventador (Ecuador) 2002
6	<1		Severa		Mt. Pelé (Martinica) 1902
7	<10		Violenta		Vesubio (Italia) 79
8	<100	>25	Terrible	Ultrapliniana	Santa Elena (USA) 1980
					Krakatoa (Indonesia) 1883
					Pinatubo (Filipinas) 1991
					Tambora (Indonesia) 1815

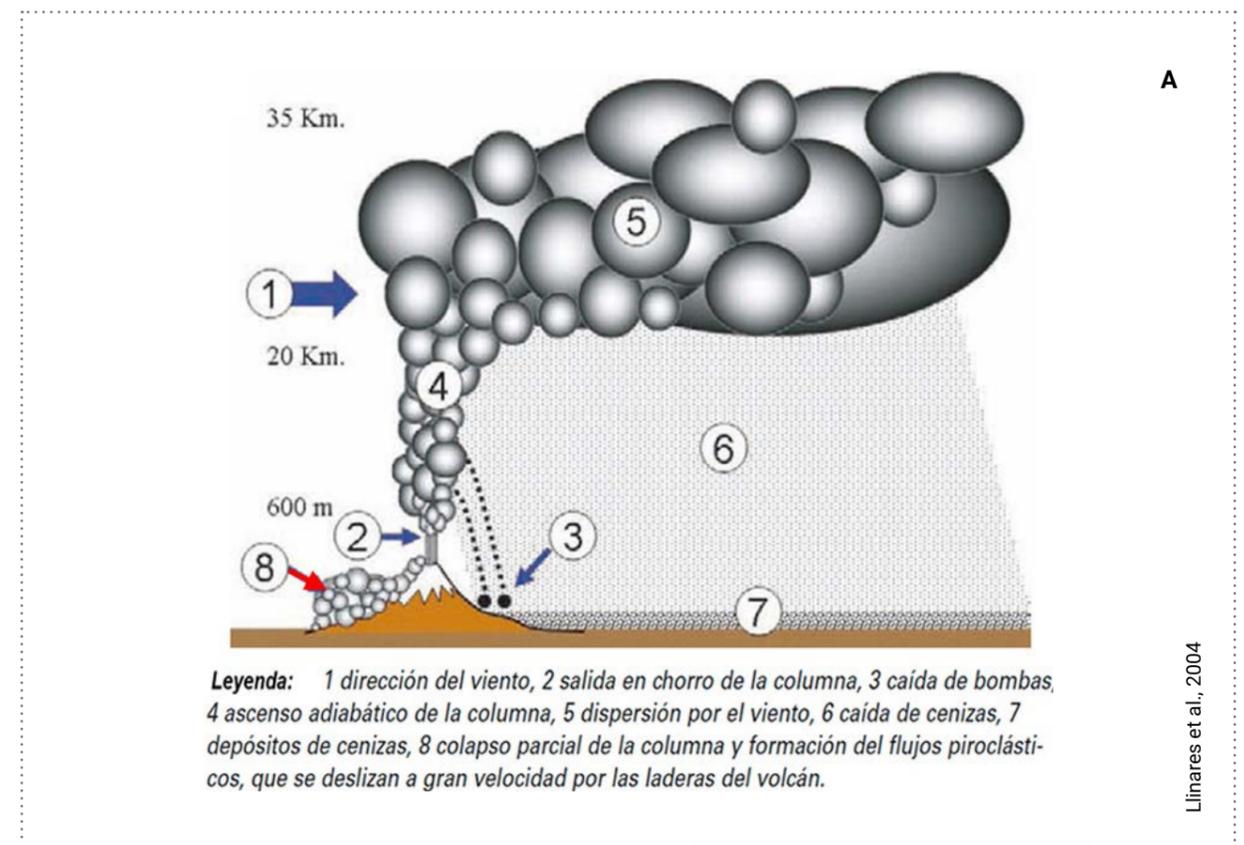
◀ **Índice de Explosividad Volcánica (VEI): Arriba, modificada de Llinares et al. (2004); abajo, expresión gráfica, donde se constata su carácter logarítmico.**



depósitos originados por flujos piroclásticos se conocen como *ignimbritas*. Si los piroclastos de una ignimbrita se sueldan, la roca resultante se denomina *toba volcánica* (en inglés *tuff*); si no están soldados, *tefra*.

Cualquier erupción volcánica es uno de los grandiosos espectáculos que puede ofrecer la naturaleza, pero una erupción pliniana es también de los más terroríficos,

en especial para la población que esté en su radio de acción. Véase, risas y comentarios nerviosos incluidos, un vídeo del flujo piroclástico de la erupción del Monte Merapi, en la isla de Java (Indonesia) (<https://www.youtube.com/watch?v=Bz7WCttwXQK>), que solo alcanzó un VEI de 4, es decir, fue de tipo vulcaniano (o subpliniano, según autores). Las erupciones de VEI 7 y 8 se denominan *ultraplinianas*, y tienen un

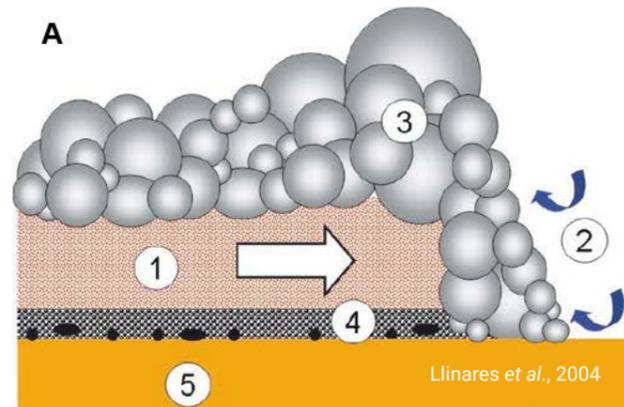


“Cualquier erupción volcánica es uno de los grandiosos espectáculos que puede ofrecer la naturaleza, pero una erupción pliniana es también de los más terroríficos.”

caer a grandes distancias, pero si esta caída coincide con lluvias intensas pueden originar peligrosos flujos de lodo llamados *lahares*. En caso de que la columna volcánica no posea suficiente fuerza ascensional se produce el colapso total o parcial de la misma, cayendo sobre el cono y descendiendo por las laderas como un flujo denso, mezcla de gases y piroclastos, que se mueve a velocidades que pueden superar los 500 km/hora, y con temperaturas que llegan a sobrepasar los 800°C; de ahí que también se denominen “nubes ardientes”. Los flujos piroclásticos pueden recorrer hasta 100 km desde el cráter, adaptándose a la topografía preexistente, pero con capacidad para remontar obstáculos. Los



A. Esquema de una erupción pliniana.
B. Flujo piroclástico (flecha roja) en la erupción de 1984 del volcán Mayón, en la isla filipina de Luzón.



Leyenda: Anatomía de una colada piroclástica: 1 masa de gases y cenizas a alta temperatura, 2 incorporación de aire, 3 nube acompañante formada por gases y partículas muy finas que se escapan del flujo, 4 nivel de base donde se van depositando los bloques más pesados, 5 superficie sobre la que se desplaza.



Fotos de Elena González Cárdenas en: previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/glosario.htm

A. Esquema de una colada piroclástica.
B-C. Depósitos de coladas piroclásticas en Tenerife.

carácter que va de devastador a apocalíptico. De grado 7, la única erupción histórica conocida es la del Tambora, que al año siguiente de su explosión dio lugar al "año sin verano" de 1816, en que las temperaturas en Europa cayeron cerca de 3°C. De grado 8 se supone que fue la erupción que originó la caldera de Yellowstone (55 x 72 km), hace unos 640.000 años, y la que originó el lago Toba (30 x 100 km) en la isla de Sumatra, hace entre 69.000 y 77.000 años (Chesner et al., 1991). Esta última erupción originó 2000 km³ de ignimbritas y una

caída en la temperatura media mundial calculada en más de 3°C durante varios años. A pesar de la coincidencia, el nombre de este lago no tiene nada que ver con el de la toba volcánica. Toba es una región y una etnia, así como una forma dialectal del idioma Batak, en el norte de Sumatra (unos 2.000.000 de hablantes).

En las Canarias, que se han traído a colación a partir de la piedra tosca, dos de las islas muestran evidencias de haber sufrido volcanismo explosivo intenso: Tenerife y Gran Canaria (Solana, 2010). En Gran Canaria, el volcanismo explosivo se considera extinto: las últimas erupciones de este tipo ocurrieron hace más de 3 millones de años (volcán Roque Nublo). En Tenerife las erupciones explosivas fueron violentas, dejando tras de sí grandes calderas, pero estas erupciones han seguido ciclos de unos 200.000 años, mientras que las efusiones de lava asociadas a explosiones de baja magnitud han sido más frecuentes. En los últimos 2000 años se han producido al menos dieciséis erupciones en Tenerife, seis de ellas con referencias históricas. Solo una, la erupción subpliniana de Montaña Blanca, que ocurrió hace unos 2000 años al este del pico del Teide, tuvo una

“En las Canarias, dos de las islas muestran evidencias de haber sufrido volcanismo explosivo intenso.”

explosividad importante: se estima que la columna de pómez y ceniza ascendió unos 15 km, y dejó depósitos de pómez de hasta un metro en el valle de La Orotava. En cualquier caso, el Teide es considerado como un volcán en claro declive eruptivo (Carracedo et al., 2006). Las demás erupciones históricas de Tenerife y del resto de las Canarias han sido del tipo estromboliano efusivo (VEI 1-2). Aunque en zonas densamente pobladas, como muchas de las Canarias, las consecuencias de una erupción, incluso pequeña, y de sus fenómenos precursores (sismos y consecuentes desprendimientos) pueden ser alarmantes y conllevar importantes pérdidas económicas (p.ej. crisis volcánica de La Palma, 2021), los planes de vigilancia y prevención allí existentes deberían permitir convivir con los volcanes sin riesgos para la integridad física de las personas (véase el Plan de Emergencias Volcánicas de Canarias, PEVOLCA). A este respecto son muy importantes las dataciones absolutas de los materiales, a fin de establecer con realismo los ciclos de recurrencia de las erupciones que han tenido lugar en el pasado, más atrás en el tiempo de los datos históricos. En las Canarias, estas dataciones se realizan con K-Ar y ¹⁴C. La primera se aplica a las rocas y a los minerales formados durante una erupción y el ¹⁴C a los restos vegetales carbonizados por el paso de una colada de lava o un flujo piroclástico. Véase a este respecto Carracedo et al. (2003) que incluyen, además, un interesante esquema del riesgo eruptivo para el sector noroeste de la isla de Tenerife.

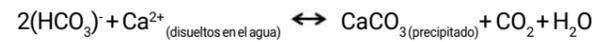
LOS TRAVERTINOS Y LAS TOBAS CALCÁREAS

Entre los términos travertino y toba calcárea también puede producirse confusión. En este caso incluso en la lectura de artículos especializados si los autores correspondientes no dejan claro el tipo de roca que se está estudiando. De hecho, numerosos autores han usado toba o travertino como sinónimos en muchas de sus publicaciones.



Más arriba se ha dado ya la definición académica de toba (en inglés, *tufa*). En cambio, la palabra travertino (en inglés, *travertine*), que no está recogida en el diccionario de la R.A.E., alude también a una roca caliza utilizada extensamente en construcción y como piedra ornamental (aspecto en que gana por goleada a cualquier toba). Su nombre proviene de *travertinus*, vocablo vinculado al topónimo Tibur (Tiburinus o Tivertino), la actual Tívoli cerca de Roma. Se definió inicialmente como una formación carbonática integrada por pequeños lechos muy compactos, separados por vacíos ondulados, resultado de la precipitación de capas sucesivas de carbonato cálcico.

En resumen, tanto las tobas calizas como los travertinos son rocas sedimentarias compuestas esencialmente por carbonato cálcico, a resultas de la pérdida del CO₂ disuelto en aguas continentales según la conocida reacción:



La primera diferencia entre tobas y travertinos, como se deduce de las definiciones apuntadas, es la mayor compactación de estos últimos, es decir, su menor porosidad primaria. Para muchos estudiosos de estas rocas (p. ej. Pedley, 2009; Arenas, 2017), la diferencia fundamental es que las tobas se forman en ambientes fluviales, palustres y lacustres con aguas de origen meteórico, a menudo cárstico, de temperatura inferior a 30°C, cuyo CO₂ proviene de la atmósfera y del suelo; mientras que los travertinos se forman en manantiales y fuentes cuyas aguas, a temperatura superior a 30°C y ricas en CO₂ de origen esencialmente hidrotermal (magmático), a menudo surgen a través de fracturas. Parece pues apropiado que si un autor prefiere usar el término travertino de manera genérica para tobas y travertinos, utilice además adjetivos diferenciadores, como *travertinos meteógenos* (o en inglés, *freshwater travertines*) para las primeras y *travertinos termógenos* (o *thermal travertines*) para los segundos, como es el caso de Pentecost (2005).

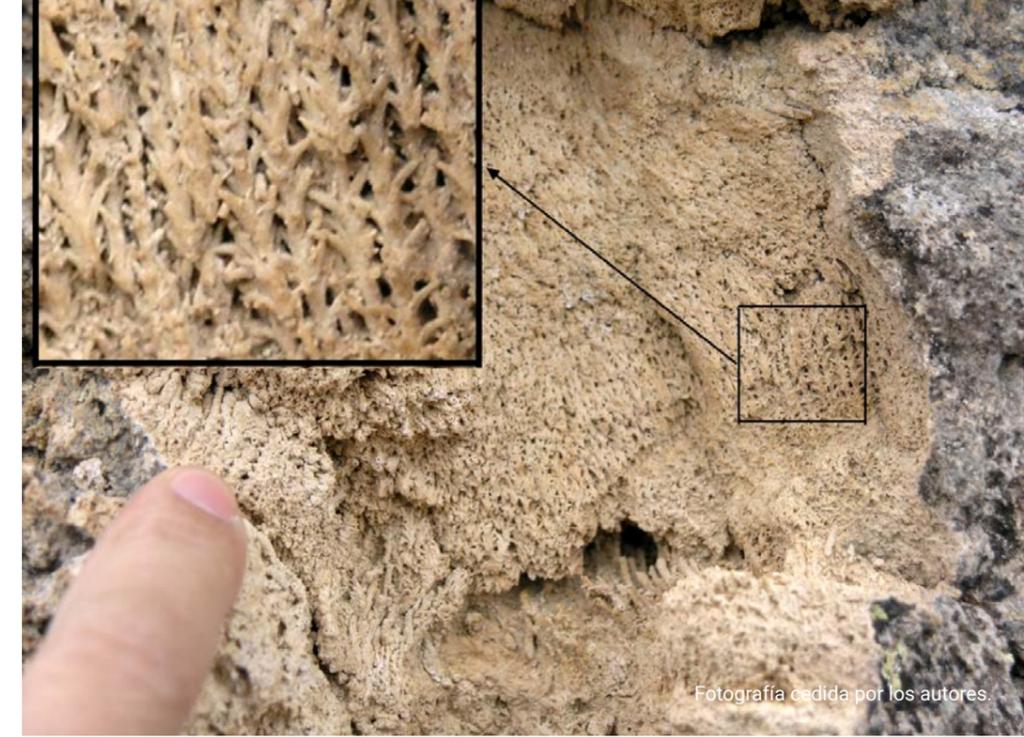


A. Foto de campo de una toba, donde puede observarse su aspecto altamente poroso, con impresiones de hojas y piñas. Valle del río Añamaza, Dévanos, Soria.



B. Aspecto de un travertino en la cantera Cava de Oliviera, Rapolano, Siena; nótese su menor porosidad frente a la toba.

Toba formada por precipitación de calcita sobre un tapiz de musgos, valle del río Piedra.



Fotografía cedida por los autores.

La pérdida de CO₂, que determina la precipitación del carbonato cálcico para formar travertinos, es debida en su mayor parte a desgasificación por pérdida de presión en o muy cerca de la misma surgencia. En ellos el CaCO₃ puede encontrarse también como aragonito. A menudo la concentración en cationes (sobre todo Ca) es tan alta que la precipitación se produce incluso con pH < 7. En las tobas, la pérdida de CO₂ se produce mecánicamente por turbulencia del agua y, en menor medida, por su secuestro por la vegetación sumergida para realizar la función clorofílica. En las tobas, la precipitación de calcita suele empezar a producirse a una distancia importante de las surgencias caudalosas, cuando la P_{CO2} del agua desciende y el índice de saturación de la calcita alcanza valores por encima de 0. Por ejemplo, en el río Piedra, donde la descarga media es de 1,4 m³ por segundo en las surgencias de cabecera, en la localidad de Cimballa (Zaragoza), la sedimentación de toba se inicia a unos 7 km aguas abajo de las mismas (Arenas et al., 2014a). Estos autores, en la monitorización de 24 puntos del río, desde sus fuentes hasta Nuévalos (unos 16 km) encuentran una correlación r = 0,9 entre velocidad de la corriente (con el consecuente aumento de turbulencia) y tasa de depósito de toba.

La alta porosidad de las tobas (generalmente > 20%, macro y microporos) es debida en parte a su formación sobre sustratos orgánicos como carrizos, fragmentos vegetales de todo tipo (troncos, tallos, hojas, piñas...), algas filamentosas y carofitas, así como sobre musgos (ver figura) y cianobacterias. La descomposición de la

“Tanto las tobas calizas como los travertinos son rocas sedimentarias compuestas esencialmente por carbonato cálcico.”

BIBLIOGRAFÍA

- Arenas C. (2017). Tobas y facies asociadas. Una factoría de carbonatos continentales en el Cuaternario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25 (1): 65.
- Arenas C., Vázquez-Urbez M., Sancho C., Auqué L., Osácar C. y Pardo G. (2013). Quaternary and modern continental microbial deposits in the Iberian Range (NE Spain): possible analogues of fluid reservoirs. En: *Microbial Carbonates in Space and Time: Implications for Global Exploration and Production*. The Geological Society, Petroleum Group, London: 97.
- Arenas C., Vázquez-Urbez M., Auqué L., Sancho C., Osácar C. y Pardo G. (2014a). Intrinsic and extrinsic controls of spatial and temporal variations in modern fluvial tufa sedimentation: A thirteen-year record from a semi-arid environment. *Sedimentology*, 61: 90.
- Arenas C., Vázquez-Urbez M., y Pardo G. (2014b). Sedimentology and depositional architecture of tufas

Fotografías cedidas por los autores.



◀
A. Montículo de travertino originado por surgencia a través de una fisura, Terme San Giovanni, Rapolano, Siena.
B. Cuña de tobas en el Cañón del Cajó del río Añamaza, Dévanos, Soria. Su edad va de unos 283.000 (MIS 9) a 1.500 años (MIS 1), obtenidos mediante U-Th.



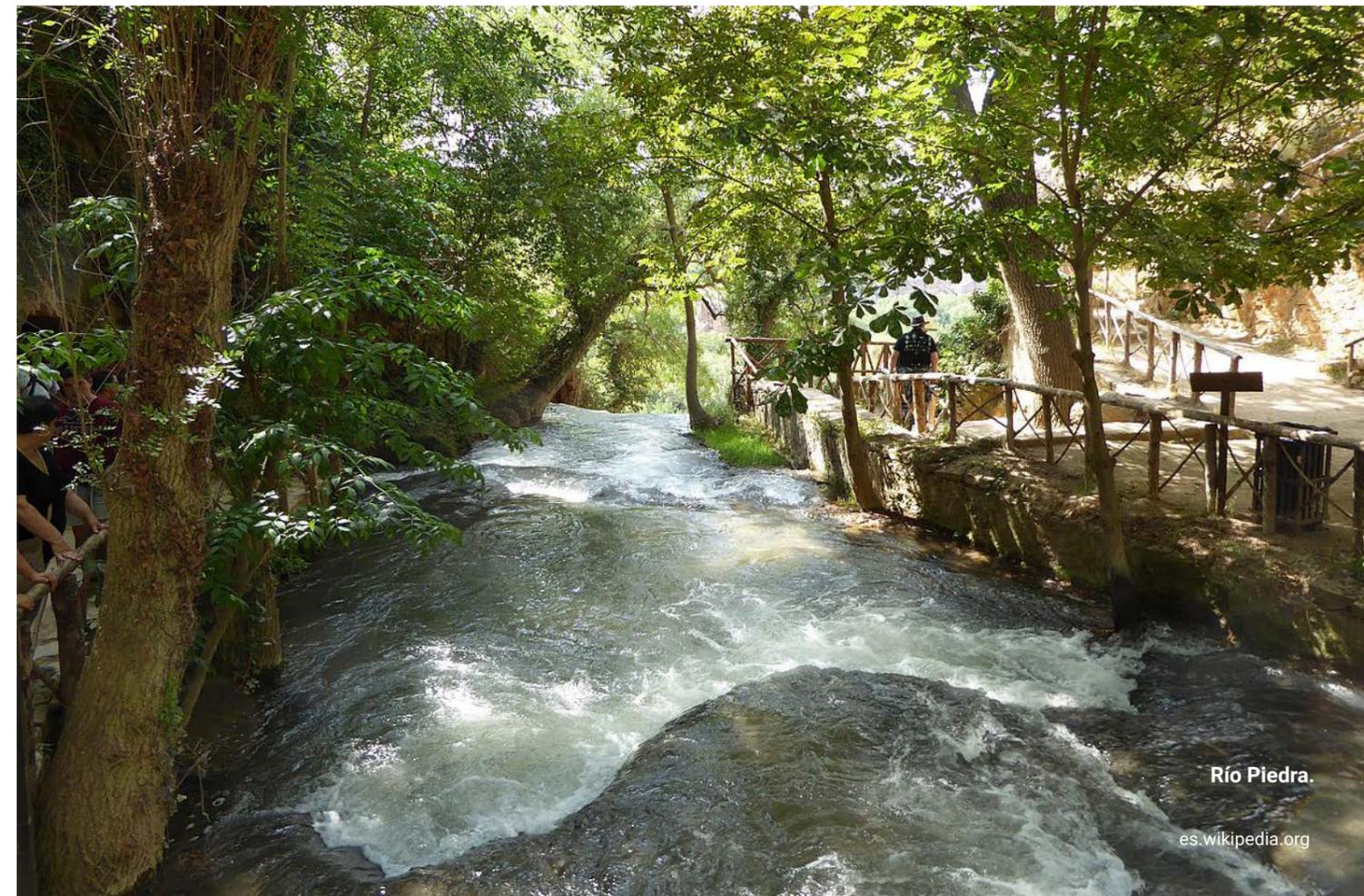
Así pues, si los travertinos son un registro de actividad tectónica y magmática, pasada y presente, además de un importante recurso económico (canteras, balnearios, aprovechamiento geotérmico), las tobas tienen interés actualmente como potenciales almacenes geológicos de fluidos, dada su alta porosidad. (Arenas et al., 2013; Muniz y Bosence, 2015). Pero además son una importante herramienta de análisis paleoambiental, dado que su formación es muy dependiente del factor climático. En general, los climas cálidos favorecen el desarrollo de tobas, de forma que en el registro geológico su máxima presencia se correlaciona con los MIS (Estadios Isotópicos Marinos) impares, correspondientes a periodos cálidos durante el Cuaternario (Sancho et al., 2015). Pero además, su desarrollo anual es mayor en las estaciones cálidas (primavera y verano) que en las frescas (otoño e invierno). Por ejemplo, en el río Piedra, tras su monitorización durante 13 años en 24 puntos, se constata que el crecimiento de las tobas fue como promedio de 5,08 mm en las estaciones cálidas y solo de 2,77 mm en las frescas (Arenas et al., 2014a). Por otro lado, algunas facies de tobas laminadas (p.ej., estromatolitos y oncolitos) son susceptibles de análisis de isótopos

deposited in stepped fluvial systems of changing slope: Lessons from the Quaternary Añamaza valley (Iberian Range, Spain). *Sedimentology*, 61: 133.

- Carracedo J.C., Paterne M., Guillou H., Pérez Torrado F.J., Paris R., Rodríguez Badiola E. y Hansen, A. (2003). Dataciones radiométricas (¹⁴C y K-Ar) del Teide y el Rift Noroeste, Tenerife, Islas Canarias. *Estudios Geológicos*, 59: 15.
- Carracedo, J.C., Rodríguez Badiola, E., Scaillet, S., Paterne, M., y Pérez Torrado, (2006). Historia eruptiva del complejo volcánico del Teide. En: J.C. Carracedo (ed.), *El volcán Teide. Volcanología, interpretación de paisajes e itinerarios comentados*. Fundación Caja Canarias, Tenerife: 21.
- Chesner C.A., Rose W.I., Deino A., Drake R. y Westgate J.A. (1991). Eruptive history of Earth's largest Quaternary caldera (Toba, Indonesia) clarified. *Geology*, 19: 200.
- Jones B. y Renaut R.W. (2007). Selective mineralization of microbes in Fe-rich precipitates (jarosite, hydrous ferric oxides) from acid hot springs in the Waiotapu geothermal area, North Island, New Zealand. *Sedimentary Geology*, 194, 77.

parte orgánica deja una porosidad interconectada que normalmente no se rellena después (porosidad móldica y de crecimiento, *mouldic* y *growth framework* en inglés). En cambio, los depósitos de travertinos, debido a la alta temperatura del agua, rara vez se relacionan con macrófitas; sin embargo, suelen estar presentes diferentes grupos de bacterias, en ocasiones extremófilas, en las surgencias hipertérmicas (Jones y Renaut, 2007). Por otra parte, la tectónica es un factor determinante en la existencia de travertinos (surgencias profundas por fracturas), lo que proporciona a sus depósitos una morfología muy común en montículos alargados simétricos (ver figura), mientras que el clima tiene una relevancia muy escasa. Por el contrario, las tobas, cuando forman sistemas escalonados, se presentan habitualmente como depósitos en forma de cuñas compuestas de longitud decamétrica a hectométrica, resultantes del desarrollo de barreras-cascadas y de los represamientos aguas arriba de las barreras (Arenas et al., 2014b), y en su génesis el clima es un factor clave.

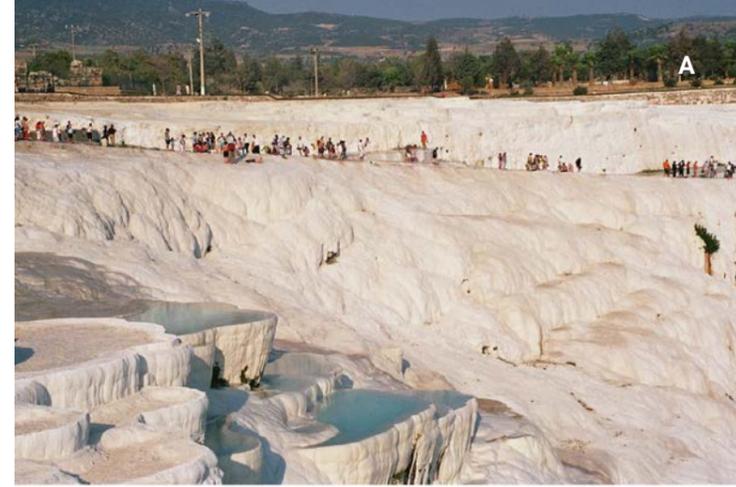
“Las tobas, cuando forman sistemas escalonados, se presentan habitualmente como depósitos mayoritariamente en forma de cuñas decamétricas a hectométricas compuestas.”



Río Piedra.

estables (C y O) lámina a lámina, y como la $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato precipitado depende de la temperatura del agua en que se forma, las variaciones de $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita pueden reflejar variaciones estacionales y plurianuales de temperatura. A este respecto, Osácar et al. (2013) han publicado los resultados en un seguimiento de 10 años en los estromatolitos depositados sobre substratos artificiales en el río Piedra, demostrando que las tobas laminadas son herramientas de alta resolución para detectar variaciones de temperatura a escala estacional y decadal: la variación de temperatura del agua calculada a partir de la composición isotópica es paralela a la medida en el agua y el aire para ese intervalo temporal; se detecta un incremento de 1°C a lo largo de 10 años.

“Los travertinos son un registro de actividad tectónica y magmática, pasada y presente, además de un importante recurso económico.”

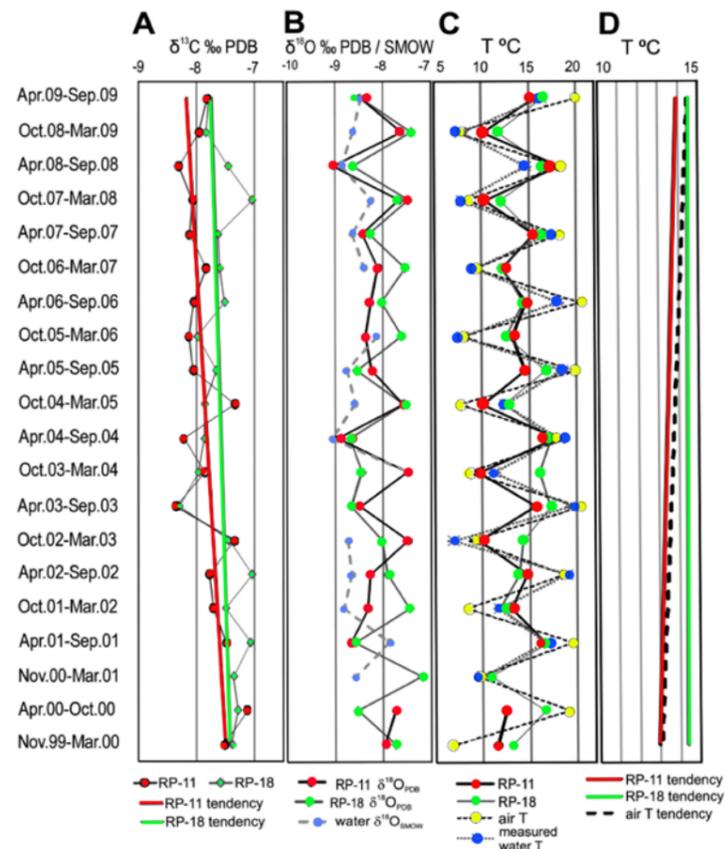


Fotografías cedidas por los autores.

- ◀ **A. Procesión de visitantes sobre los travertinos de Pamukkale. Se exige caminar descalzo.**
- B. Travertinos de Minerva Spring, en las Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA. Aquí el paseo se hace por pasarelas, como la que se ve en la esquina superior izquierda de la foto.**

- Llinares M.A., Ortiz R. y Marrero J.M. (2004). *Riesgo volcánico*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior. Madrid, 104 pp.
- Muniz M.C., Bosence D.W.J. (2015). Pre-salt microbialites from the Campos Basin (offshore Brazil): Image log facies, facies model and cyclicity in lacustrine carbonates. En: Bosence, D.W.J., Gibbons, K.A., Le Heron, D.P., Morgan, W.A., Pritchard, T., Vining, B.A. (eds.), *Microbial Carbonates in Space and Time: Implications for Global Exploration and Production*. The Geological Society, Spec. Publ. 418, London: 221.
- Newhall C.G. y Self S. (1982). The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87 (C2): 1231.
- Osácar M., Arenas C., Vázquez-Urbez M., Sancho C., Auqué L., Pardo G., Lojen S. y Cukrov N. (2013). Seasonal and decadal stable isotope evolution recorded by recent tufa deposited on artificial substrates in the Monasterio de Piedra Natural Park (NE Spain). *Geogaceta*, 54: 135.
- Pedley H.M. (2009). Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*, 56 (1): 221.
- Pentecost A. (2005). *Travertine*. Springer-Verlag, Berlin, 446 pp.
- Solana M.C. (2010). Peligros asociados a las erupciones de Tenerife, su impacto y reducción en caso de una erupción futura. En: J. Afonso-Carrillo (ed.), *Volcanes: mensajeros del fuego, creadores de vida, forjadores del paisaje*. Actas V Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Santa Cruz de Tenerife: 139-156.
- Sancho C., Arenas C., Vázquez-Urbez M., Pardo G., Lozano M.V., Peña-Monné J.L., Hellstrom J., Ortiz J.E., Osácar M.C., Auqué L. y Torres T. (2015). Climatic implications of the Quaternary fluvial tufa record in the NE Iberian Peninsula over the last 500 ka. *Quaternary Research*, 84: 398-414.

◀ **Temperaturas calculadas para el agua a partir del ^{18}O de la calcita y del ^{18}O del agua en dos depósitos tobáceos actuales del río Piedra, comparadas con las temperaturas medidas en el agua del río y en el aire.**



Isótopos estables y temperatura del agua calculada para las losetas RP-11y RP-18, a lo largo de los 10 años del estudio (1999-2009). A) Composición y tendencias del $\delta^{13}\text{C}$. B) Composición de $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita tobácea y del agua. C) Temperatura del agua calculada, temperatura del agua medida durante el muestreo y promedio semestral de la temperatura del aire. D) Tendencias de la temperatura del aire y de las temperaturas calculadas para el agua. Datos de temperatura del aire de la Agencia Estatal de Meteorología.

Modificada de Osácar et al., 2013

Gonzalo Pardo y Concha Arenas
Dpto. de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza