

Travertinos en formación. Aplicaciones creativas, sostenibles y saludables del aragonito depositado por aguas provenientes de galerías-minas¹

Travertines in formation. Creative, sustainable and healthy applications of aragonite deposited by water from mine galleries

María I. Sánchez Bonilla

Universidad de La Laguna (España)

sbonilla@ull.es

Tomás Oropesa Hernández

Universidad de La Laguna (España)

toropesa@ull.es

Mauricio Pérez Jiménez

Universidad de La Laguna (España)

mperjim@ull.edu.es

Francisco J. Viña Rodríguez

Universidad de La Laguna (España)

franvi@ull.edu.es

Fecha de recepción: 25/05/2022

Fecha de aprobación: 06/09/2022

Juan A. Álvarez Rodríguez

Universidad de La Laguna (España)

jalvarer@ull.edu.es

Antonio-J. Sánchez-Fernández

Universidad de La Laguna (España)

asanchez@ull.edu.es

Attenya Campos de Armas

ITER (España)

acampos@iter.es

¹ Este trabajo deja constancia de las investigaciones de base que posibilitarán el desarrollo del proyecto *Elaboración de cal a partir de residuos asociados a extracción de aguas subterráneas*, en el que participan investigadores de diversos ámbitos: Bellas Artes, Arquitectura y Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Resumen:

Son bastantes los lugares del Planeta en que podemos observar la formación actual de travertinos, asociada a aguas subterráneas saturadas de CO₂, que pueden surgir mediante manantiales naturales o, como ocurre en Canarias, debido a las prospecciones subterráneas. En primer lugar se lleva a cabo un recorrido general que permitirá anotar los lugares más significativos en que es posible observar la formación reciente/actual de tobas y travertinos, centrándonos seguidamente en los conocimientos y aportaciones de nuestro grupo de investigación en relación con las Islas Canarias (España) y las posibilidades de aplicación que nos ofrecen estas aguas carbonatadas tanto en la creación directa de esculturas como en la obtención de cal, producto que tiene una historia milenaria pero resulta de máxima actualidad al ofrecer prestaciones plenamente acordes con la salud, la sostenibilidad y, en este caso concreto, también con la necesidad de aprovechar elementos que en la actualidad son llevados de manera masiva a vertederos de residuos sólidos pero que, desde nuestra óptica, deben ser considerados como oportunidad de desarrollo asociada a un entorno singular. Las valoraciones y propuestas de aplicación que planteamos para Canarias son lógicamente extrapolables a cualquier otro entorno en que concurren circunstancias similares, entre los que se incluye Piedra de Agua en Cuenca (Ecuador).

Palabras clave: *travertino, toba, cal, escultura, arquitectura.*

Abstract:

There are quite a few places on the planet where we can observe the current formation of travertine, associated with groundwater saturated with CO₂, which can arise by natural springs or, as it happens in Canary Islands, due to underground prospections. In the first place, a general tour is carried out that will allow to record the most significant places in which it is possible to observe the recent/current formation of tuffs and travertines, then focusing on the knowledge and contributions of our research group in relation to the Canary Islands (Spain) and the posibles applications that these carbonated waters offer us, both in the direct creation of sculptures and in obtaining lime, a product that has a millenary history but is utmost topical by offering fully benefits in line with health, sustainability and, in this specific case, also with the need to take advantage of elements that are currently taken massively to solid waste dumps but that, from our point of view, should be considered as a development opportunity associated with a unique environment. The assessments and application proposals that we suggest for the Canary Islands can logically be extrapolated to any other environment in which similar circumstances concur, including Piedra de Agua in Cuenca (Ecuador).

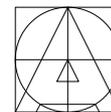
Keywords: *travertine, tuff, lime, sculpture, architecture.*

Introducción

Las necesidades de agua de la propia población, junto a las asociadas a cultivos de exportación y al turismo, ha llevado, en Canarias, a una explotación de los acuíferos muy por encima de su recarga natural. Desde hace décadas son prácticamente inexistentes los manantiales naturales, tampoco existen ríos, por lo que el acceso a aguas subterráneas solo es posible mediante pozos o galerías-minas; los problemas de mineralización son totalmente diferentes en ambos casos, las investigaciones y aportaciones que quedarán reflejadas en el presente texto están referidas únicamente al agua de las galerías y a las sedimentaciones líticas que éstas propician. Tendemos a pensar que las concreciones calcáreas producidas por el agua son resultado de procesos muy lentos para los que se necesitaron décadas, cientos o miles de años, veremos, no obstante, que a veces solo se necesitan días, semanas, o meses, para que se formen sedimentaciones de volumen significativo.

Los trabajos de campo e investigaciones experimentales llevadas a cabo por el Grupo de Investigación Arte y entorno de la Universidad de La Laguna (ULL) han permitido conocer a fondo las circunstancias específicas que concurren en Canarias, evidenciando la disponibilidad de material en cantidades significativas, así como la tendencia a aumentos progresivos de la sedimentación. Inicialmente, nuestra investigación se circunscribió al ámbito de la escultura, progresivamente se ha ido abriendo colaboración con investigadores de otros campos, implementando líneas de trabajo tan diferentes como: la creación de obras escultóricas mediante labra, su conformación a partir de madreformas, o de moldes generados con tecnologías 3D expuestos a las aguas petrificantes, ... o la

obtención de cal a partir de tobas extraídas de las canalizaciones. Entre 2022 a 2025 desarrollaremos el proyecto “Elaboración de cal a partir de residuos asociados a la extracción de aguas subterráneas”, lo damos a conocer para propiciar la colaboración con investigadores que, desde visiones compatibles con la sostenibilidad y con la economía circular, vengan ocupándose de las oportunidades que ofrecen estas petrificaciones calcáreas, en muchas ocasiones asociadas a acuíferos ubicados en zonas de volcanismo activo o residual.



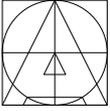
Formación actual de tobas y travertinos

Las rocas objeto de análisis, debidas a la precipitación de carbonato de calcio, que se produce al extraer aguas subterráneas existentes en el territorio volcánico de Canarias, se corresponden a nivel geológico con los travertinos y tobas calizas. Se incluirá en primer lugar un escueto resumen de datos respecto a otros lugares del Planeta en que es posible contemplar la formación actual de estos depósitos de calcita/aragonito, para centrarnos seguidamente en los procesos de formación que se observan actualmente en Canarias.

Ejemplos de interés sobre formación en diversos lugares del Planeta

Contamos con referencias de alto interés en cuanto a formación actual de tobas y travertinos, que pueden ayudarnos a entender lo que está ocurriendo en nuestro entorno.

Ford y Pedly (1996) han analizado formaciones activas de travertinos en diversas partes del mundo,



incluyen velocidades medias de crecimiento de los depósitos líticos en diversas localizaciones, entre ellas: *Bagno Vignone* donde el crecimiento medio ronda los 15 centímetros anuales, *Le Zitelle* con crecimientos de 1 cm. en pocos días, o *Clemont-Ferant* donde para 1 cm. se necesitan varios meses.

Fouke et al. (2000) analizan, en *Angel Terrace-Yellowstone*, cinco tipos de formación diferentes en función de la temperatura del agua: *vent facies* (71 a 73°C), *channel facies* (43-72°C), *pond facies* (30-62°C), *imal-slope facies* (28-34°C), *distal-slope facies* (28-30°C). Podemos observar (Fig. 1) el aspecto visual de estas formaciones, en cierto modo parecidas a las que se observan en Canarias.



Figura N° 1
Formaciones de tobas y travertinos en Yellowstone.
Fotografía tomada por Pedro Esparza en 2019.

Anselmo (2017) analiza los travertinos de Baños Morales-Chile, distinguiendo los siguientes tipos: de *ladera*, *domo*, *grieta*, *terrazza*, y *cascada* (este último es depósito activo, 50-55°C), ofrece respecto a todos ellos pruebas de laboratorio (lámina delgada, microscopía óptica, electrónica de barrido) interesantes como precedente investigador. Incluye también fotografías de los entornos, que sería posible relacionar con determinadas formaciones localizadas en Canarias.

Filippis et al. (2013) comparan los travertinos de Tivoli (tabla de 7x5 km. con una potencia 40 a 90 m, existiendo una zona de rocas geotermales fósiles y otra geotermal activa) con los de Basin/Pamukkale-Turquia (origen geotermal, 13-59°C), ofrece datos de precipitación, analíticas, fotografías de campo y de microscopio.

Orche y Amaré (2010) estudian la existencia de aguas petrificantes en Chilca (70 km al Sur de Lima), Pacocaba (Santiago de Hachaca-Bolibia), Tangala (Norte de Quito), Coccoñuto (Popayán-Colombia). Aportan documentos de los siglos XVI a XVIII sobre Huancavelica (Perú) en los que se informa de las múltiples aplicaciones históricas que se dieron a las aguas petrificantes. Respecto del agua que mana en Huancavelica-Baños de San Cristóbal incluyen una analítica, realizada en 1902². Ofrecen además fotografías de petrificaciones recientes, parecidas a lo que vemos, por ejemplo, en la zona de Tierra del Trigo, en Tenerife-Islas Canarias (Figura 2).

² La analítica arroja el siguiente resultado: carbonato cálcico 75.0 mg/l, carbonato magnesio 25.0, óxido de hierro 2.5, sulfito cálcico 312.8, sulfito magnésico 75.6, cloruro magnésico 117.7, cloruro sódico 264.2, potasa y litina cantidad sensible, total 972.8 mg/l.

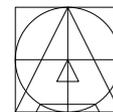


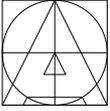
a.



b.

Figura N° 2
Ejemplos de petrificaciones recientes debidas a aguas carbonatadas: a- fotografía en Huancavelica- Perú, extraída de Orche García, Enrique (2021, p. 37), b- fotografía en Tierra del Trigo, Tenerife, realizada por Tomás Oropesa en 2019.





Merecen atención igualmente, en relación con el tema de nuestra investigación, otras formaciones en cascada que, aunque hayan sido en menor medida objeto de investigaciones científicas, las conocemos por su atractivo y difusión en blogs o portales de turismo, entre ellas: Pamukkale en Turquía, Saturnia en Italia, Plilvice en Croacia, Egerszalok en Hungría, Hamman Meskhoulina en Algeria, Huanglon en China, Bashuita en la parte Tibetana de China, Mammoth en Wyoming-EEUU, Fly Geíser en Nevada-EEUU, Champey en Guatemala, Hierve el Agua en México, Waimangu en New Zeland, y otras similares en Chile, Perú, Islandia, Japón, etc.

Contamos también con referencias web sobre industrias artesanales que se surten o surtían de aguas carbonatadas para producir objetos de piedra, entre ellas: Karlovy Vary, en la República Checa, que ofrece rosas petrificadas como souvenir, o Knoresbough, en Inglaterra, donde surge la posibilidad de colgar objetos bajo cortina de agua petrificante. En cuanto a aplicación de estas aguas a procesos de moldeo, destacan: St. Alyre, Saint Nectaire, Savonnieres, Perrou, Gimeaux, etc., en la zona de Clermont Ferrand (Francia), con industrias bastante activas desde el s. XIX, algunas de ellas reconvertidas actualmente en destinos turísticos que ofrecen petrificaciones como souvenirs.

Para acabar con esta revisión de carácter general sobre travertinos en formación, hay que comentar la experiencia directa de miembros de nuestro grupo de investigación en Piedra de Agua-Cuenca-Ecuador. En octubre de 2019 se realizó un trabajo de campo que permitió observar depósitos líticos de gran interés (Figura 3), en cierto modo similares a los que observamos en Canarias.



Figura N° 3
Formaciones calcáreas en Piedra de Agua-Cuenca-Ecuador: a y b entorno natural, c y d detalles de uso en construcción de tapiales.
Fotografías realizadas por M. I. Sánchez en 2019.

En España, encontramos referencias a travertinos en formación en la provincia de Murcia, donde “a partir de 1984 empezó a aparecer CO₂ en el agua de los sondeos... la concentración de bicarbonatos, entre 1986 y 1987, pasó de 400 a 2.400 mg/l”³; el sondeo con más referencias es el de El Saladillo (1985, 12 l/s, 51° C, sigue manando, forma travertinos), objeto de diversas publicaciones: Arena del Castillo (2007), Bustillo et al. (2013), Rodríguez Berriguete et al. (2016). También en Gañuelas-Murcia, en 2014, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) monitorizó aguas de sondeo, con fugas de CO₂ y precipitación rápida de travertinos.

Vemos, por tanto, cómo la formación de travertinos, a partir de aguas saturadas en CO₂, habitualmente termales y/o ubicadas en zonas de volcanismo activo o residual, es fenómeno conocido y estudiado. Encontramos ejemplos a nivel general, también algunos en la Península Ibérica y, como veremos en el epígrafe siguiente, en Canarias.

Formación de tobas y travertinos en Canarias

Lo anotado en el epígrafe anterior ha servido para ayudarnos a entender mejor las formaciones líticas asociadas a la extracción de agua mediante galerías, objeto de estudio de nuestro G.I. a lo largo de los últimos diez años. Inicialmente nos costaba comprender los procesos y los tiempos de formación de estas rocas de tonos claros, pesadas, compactas, encontradas casualmente y que resultaban interesantes para realizar obras escultóricas mediante procesos de labra. Eran materiales “raros”, no encajaban con el resto del entorno canario, volcánico en

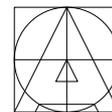
³ Datos extraídos de Murcia-Atlas Global-Aguas Subterráneas, que a su vez citan a Rodríguez Estrella et al., 1987 y 1989.

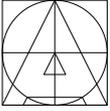
su totalidad, a veces presentaban formas circulares o angulares⁴ y, al pulirlas, podían ofrecer atractivos veteados e incluso translucidez, lo que evidenciaba su naturaleza sedimentaria y cristalina. Localizados junto a las canalizaciones de agua de algunas galerías, fuimos conscientes de las grandes cantidades disponibles y de su variedad textural. Un trabajo experimental realizado en 2014 permitió saber que se formaban más velozmente de lo que cabía suponer en un principio. Se evidenció pronto su destino habitual: como desecho que en ocasiones termina en los vertederos de materiales sólidos y otras veces simplemente permanece tirado junto a los canales. Había llegado la hora de buscar respuestas en diferentes ámbitos de conocimiento -química, geología, geografía física, historia-, rastreando cualquier referencia respecto a la existencia de estas rocas sedimentarias en Canarias y sus características específicas. Al mismo tiempo empezaron también los contactos con las entidades públicas responsables y con algunas Comunidades de Aguas⁵.

Entre los trabajos de investigación consultados en relación con Canarias, resultaron de especial interés los siguientes: Alonso Zarza et al. (2012) analizan la formación carbonática asociada a una antigua tubería de riego en el Barranco del Calabozo, Gran Canaria, Rodríguez Berriguete, et al. (2016) interrelacionan formaciones sedimentarias del Barranco de Azuaje, en Gran Canaria, con las de El Saladillo ya comentadas.

⁴ Más tarde sería evidente que era debido a la sedimentación adaptada a las formas del canal o la tubería.

⁵ La perforación de las galerías de agua se llevó a cabo, en la mayoría de los casos, mediante participación de “accionistas” de “Comunidad de Aguas”, que aportaron los recursos necesarios, se les concedió el disfrute -hasta 2042 al menos- del agua obtenida. En la página web del Consejo Insular de Aguas de cada Isla se encuentra un mapa con la ubicación de galerías existentes, incluyendo datos sobre bocamina y recorrido subterráneo, fecha de excavación, evolución en las cantidades de agua y analíticas actualizadas. A modo de ejemplo comentar que en la Isla de Tenerife existen más de mil galerías, de las que más de cuatrocientas siguen activas.





En 2017 se presenta en la Universidad Complutense de Madrid la tesis doctoral de Álvaro Rodríguez Berriguete, dirigida por Ana María Alonso Zarza, cuyo contenido resuelve definitivamente cualquier duda que pudiera quedar en cuanto al origen y tipología de las tobas y travertinos del Barranco de Azuaje, resultando evidente para nosotros la correlación entre los travertinos formados allí mayoritariamente hace unos 3.000 años y los que en estos momentos vemos formarse masivamente en Tenerife.

En cuanto a la presencia de bicarbonatos en el agua de las galerías de Tenerife, Fernández Caldas et al. (1974) explican que la mayor presencia cuantitativa de iones HCO_3^- en acuíferos cercanos al Teide, tiene su origen “en las emanaciones continuas de gas carbónico, que se produce en las zonas volcánicas profundas de la Isla”, y Telesforo Bravo (1969) anota que el gas “viene disuelto en las aguas alumbradas, desprendiéndose de ellas cuando el agua corre por los canales interiores ... al brotar el agua y perder presión... el gas se desprende, precipitándose la cal en concreciones”.

En cuanto a publicaciones referidas específicamente a depósitos carbonáticos en Tenerife, las referencias son, en general, escasas, incluso tras revisar publicaciones de áreas diversas. Encontramos no obstante algunas de gran interés:

García Talavera et al. (1989) en ficha de un yacimiento paleontológico ubicado en la finca El Mayorazgo-Los Realejos-Tenerife, describe que “la formación del yacimiento se debió a nacientes de aguas calcáreas, posiblemente calientes, que depositaron el contenido en CO_3Ca sobre las hojas, ramas y frutos de los vegetales que se encontraban en el suelo”.

Debemos a Tomás Cruz García otra de las referencias más antiguas: en 1958 –siendo en esa época Consejero del Cabildo Insular de Tenerife- escribe *El misterio y la tragedia del agua en Tenerife*, texto que incluye información muy significativa sobre la evolución del modelo de extracción, recursos empleados, agua obtenida, pérdidas, etc., remarcando ya entonces la necesidad de implementar normas que hicieran sostenible el sistema, hace referencia también a las “sales” contenidas en las aguas de algunas galerías, “que posteriormente van dejando sedimentadas e incrustadas en las paredes de las conducciones y sobre los mismos terrenos que riegan”.

Fernando Sabaté (2011) nos ofrece datos de gran interés sobre la evolución en el Sur de Tenerife, anotando también el uso de sedimentos calcáreos, en los años cuarenta del siglo XX, para fabricación de cal. Concluye su reflexión del siguiente modo:

En fin: la lógica de esta pequeña y ‘astuta’ infraestructura se puede sintetizar del siguiente modo: el propio residuo que transporta el agua (las sales carbonatadas que la contaminan), se logra transformar en un recurso (la cal como material de construcción), que va a servir precisamente para construir los medios que transportan esa misma agua.⁶ (Sabaté, 2011, p. 290)

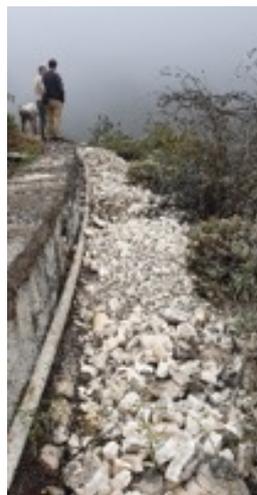
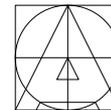
Deméni et al. (2010), tomando como ejemplo dos galerías, ubicadas en Arico-Tenerife, diferentes en cuanto a modos de drenaje del agua y tipologías de calcificación, escribe:

⁶ Puede ampliar información sobre la cal en Tenerife y sobre este horno de cal, ubicado en Arico, en el siguiente enlace: <https://riunet.upv.es/handle/10251/160383>.

The gallery of Madre del Agua is situated in the south-eastern part of Tenerife at an elevation of 1360 m above sea level (a.s.l.). The catchment area from where the water infiltrates is around 2300 m. Carbonate samples were collected in 2007 at a discharge point where the water flows out from a closed tunnel section. The water temperature was 33.8°C, and the pH: 7.7. The water discharge rate was 5.3 L s⁻¹. The carbonate (calcite as confirmed by XRD analyses) is precipitated in an artificial channel, forming an about 20 cm. thick travertine crust with mm-scale lamination that has been deposited in the last two decades...

The gallery of Los Ángeles is also situated in the south-eastern part of Tenerife at an elevation of 1385 m a.s.l. The catchment area from where the water infiltrated is around 2000 m. Water discharges from fissures in the tunnel wall: the total discharge rate of the gallery is about 17 L/s. At about 3 km. depth inside the volcano, significant carbonate deposition occurs in the form of encrustations and stalagmite growths on the walls and the stalagmites could reach a maximum size of 10-15 cm. A stalagmite of about 10 cm was collected in 2007 that showed a fine lamination on the cut surface. The carbonate is calcite as determined by XRD analyses. (Deméni, A. et al., 2010, pp. 3522-3523.)

Otra referencia de gran interés es el Informe⁷ sobre *Cambios en la química de un agua bicarbonatada en contacto con la atmósfera*, realizado en 2014 en el Laboratorio de Diagnóstico Agrícola I+D Canarias Explosivos S.A., incluye datos sobre los cambios que experimenta el agua desde la bocamina, hasta la tanquilla de frenado (a 1 km. de la bocamina) y entrega al canal (a 2 km. de la bocamina), analizando también el carácter incrustante de las aguas. Concluye dicho informe que el agua de esta galería deposita 20 kg. de carbonatos al año por cada metro lineal de canal. Vemos a continuación (Figura 4) imágenes de los depósitos carbonáticos de dicha galería:

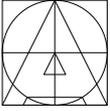


a.



b.

⁷ Informe incluido, por cesión directa de José Luís Cruz García, autor, en Cordeiro, F. (2015), Anexo.



c.



d.



e.

Figura N° 4
Galería El Rebosadero (Arico, Tenerife), a, b, c y e: fragmentos de roca extraídos del canal, d: sedimentaciones por goteo en una de las losas de la cubierta. Se acumulan desde hace años junto al canal.

Hemos visto antes un ejemplo de formaciones provenientes de conducción mediante canales de mampostería, en otros casos las conducciones se hacen mediante tuberías de diversos tipos⁸, vemos a modo de ejemplo imágenes correspondientes a la Galería Hoya de la Leña, cuyas conducciones colmatadas se retiraron en 2019-20, llevando los restos (miles de toneladas) a la Planta Insular de Residuos Sólidos (Figura 5).



a.



b.



c.



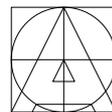
d.



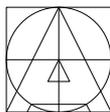
e.



f.



⁸ Las tuberías más antiguas son de hierro, las de final del siglo XX suelen ser de PVC rígido, las instaladas en la última década para aguas muy petrificantes suelen ser de silicona (relativamente flexibles y que por tanto permiten el golpeo continuo que rompería las costras líticas internas cuando aún son de poco grueso, arrastradas por la corriente, para evitar la colmatación de canales. En algunos lugares hemos observado la permanencia de hasta cinco canales sucesivos, todos ellos colmatados, y que permanecen en el territorio sin que se les haya encontrado aplicación.



a.



b.

Figura N° 5

Galería El Rebosadero (Arico, Tenerife), a, b, c y e: fragmentos de roca extraídos del canal, d: sedimentaciones por goteo en una de las losas de la cubierta. Se acumulan desde hace años junto al canal.

Conclusiones

Los materiales objeto de estudio, tobas y travertinos, compuestos por carbonato de calcio casi puro, surgen como producto secundario asociado a la extracción de aguas subterráneas ricas en bicarbonatos. Hasta el momento se han considerado un desecho inservible, en unas ocasiones permanece en el territorio, a veces es conducido a las plantas de residuos sólidos. Entendemos como imprescindible una nueva mirada: son materias primas de innegable utilidad, las rocas grandes, compactas y de mayor belleza tienen buenas prestaciones en escultura⁹ y como piedra ornamental, los restos de labra y las rocas de textura menos compacta tienen gran potencial para fabricación de cal.

La cal ha demostrado sus buenas cualidades durante miles de años. Con la difusión del cemento portland se redujo su uso en construcción, pero es necesario reactivarlo por múltiples razones: es material de bajo impacto ambiental, tiene capacidad para captar durante los años de fraguado el dióxido de carbono del aire (disposición de sumideros urbanos de CO₂), puede incidir de forma positiva en la regulación de la temperatura (hasta 5 grados menos en edificios con cubierta-enfoscado de cal y puede contribuir a la mitigación del efecto isla de calor), permite la regulación higrotérmica de los edificios, así como la creación de espacios saludables y cumple con las exigencias de la edificación para el sector turístico (seguridad biológica). Presenta la cal además múltiples utilidades en relación con la agricultura, la higiene y la salud, y en nuestro caso –entorno insular- resulta acuciante además la necesidad de implementar todos los protocolos posibles en economía circular.

⁹ Ver ejemplos de Escultura mediante labra en Sánchez Bonilla (2015), de escultura mediante procesos de moldeo 3D en: Cordeiro (2015) y en Viña y Meier (2019).

Estos “residuos” calcáreos del agua se producen de manera natural, o asociados a actividades extractivas, en múltiples lugares del planeta, nos gustaría que nuestra aportación sirviera para avanzar en la configuración de una red de investigación que, desde criterios de sostenibilidad, pueda contribuir a la mejora del uso y tratamiento del agua y al aprovechamiento local de las “piedras del agua”.

Bibliografía

Alonso Zarza, A.M., Rodríguez Berriguete, A., Cabrera, M.C., Meléndez Hevia, A. y Martín, L.F. (2012). Las tobas/travertinos del barranco de Calabozo: Un ejemplo de construcción rápida de un edificio carbonático alimentado por una tubería de regadío, *Geotemas* 13, 44-47.

Anselmo, A.N. (2017). *Génesis de travertinos en Baños Colima y Baños Morales, Cajón del Maipo, Región Metropolitana*. Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes.

Arena del Castillo, R. (2007). *El patrimonio geológico de la región de Murcia* [Discurso de apertura de curso en la Academia de Ciencias de la región de Murcia].

Bustillo, M.A. y Aparicio, A. (2013). Estudio petroológico de los travertinos hidrotermales del sondeo geotérmico de “El Saladillo” [Mazarrón, Murcia]. *Macla, Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 17, 25-26.

Bravo, T. (1969) El problema de las aguas subterráneas en el Archipiélago Canario. En *Tectónica, Volcanes y Aguas*. Idea, Colección Territorio Canario.

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (2014). Current travertines precipitation from CO₂-rich groundwaters as an alert of CO₂ leakages from a natural CO₂ storage at Gañuelas-Mazarrón tertiary basin (Murcia, Spain). *Informes Técnicos Ciemat*, 1279.

Cordeiro, F. (2015). *Aplicación del proceso de petrificación calcárea al diseño de souvenir* (Trabajo Fin de Máster, Universidad de La Laguna).

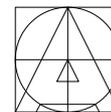
Deméni, A., Kele, S. y Sillósky, Z. (2010). Empirical equations for the temperature dependence of calcite-water oxygen isotope fractionation from 10 to 70°C. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 24, 3521-3526.

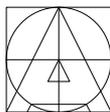
Fernández Caldas, E. y Pérez García, V. (1974). *Características químicas de las aguas subterráneas de las islas occidentales* (Tenerife, La Palma, Gomera y Hierro). Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Filippis, L. (2013). Plateau versus fissure ridge travertines from Quaternary geothermal springs of Italy and Turkey: interactions and feedbacks between fluid discharge, paleoclimate and tectonics. *Earth-Science Reviews*, 123, 35-52.

Ford, T.D. y Pedley, M.H. (1996). A review of tufa and travertine deposit of the world. *Earth-Science Reviews*, 41, 117-175.

Fouke, B.W., Farmer, J.D., Des Marais, D. J., Pratt, L., Sturchio, N. C., Burns, P.C., y Discipulo, M.K. (2000). Depositional facies and aqueous-solid geochemistry of travertine-depositing hot spring (Angel terrace, Mammoth hot springs, Yellowstone National Park. *Journal of Sedimentary Research*, 70 (3), 565-585.





García Talavera, F., Paredes, F y Martín, M. (1989). *Catálogo inventario yacimientos paleontológicos. Provincia de Santa Cruz de Tenerife*. Museo Insular de Ciencias Naturales de Tenerife e Instituto de Estudios Canarios.

Meier, C., Viña, F.J., y Sánchez, M.I. (2019). Ejecución de esculturas mediante petrificación, usando moldes impresos en 3D como receptores de aguas carbonatadas. *VIII Congreso Internacional Virtual sobre Arte y Sociedad: Bellas Artes y Cultura Digital*. Universidad de Málaga.

Orche García, E. (2021). Precipitación de travertinos por aguas petrificadoras en Huancavelica (Perú). Un patrimonio geológico con historia. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 6(2), 23-40.

Orche, E. y Amaré, M.P. (2010). Las aguas petrificadoras de Huancavelica (Perú) según testimonios coloniales de los siglos XVI a XVIII. En Romero, E. (coordinador): *Una apuesta por el desarrollo local sostenible* (pp. 99-112). Servicio de publicaciones de la Universidad de Huelva.

Rodríguez Berriguete, A., Bustillo Revuelta, M.A., y Alonso Zarza, A.M. (2016). Travertinos actuales (El Saladillo, Murcia) y fósiles (Azuaje, Gran Canaria): mismas facies en contextos geológicos distintos. Geotemas, ejemplar correspondiente a: *IX Congreso Geológico de España*, 16 (1), 169-175.

Rodríguez Berriguete, A. (2017). *Petrología, sedimentología y geoquímica de los travertinos y tobas del Barranco de Azuaje (Gran Canaria): características e implicaciones*. [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid].

Sabaté, F. (2011). *El país del pargo salado. Naturaleza, cultura y territorio en el Sur de Tenerife (1875-1950)*. Instituto de Estudios Canarios.

Sánchez Bonilla, M. I. (2015). Las “piedras del agua”, posibilidades escultóricas y propuesta ambiental. *V Simposio Virtual Internacional Valor y Sugestión del Patrimonio Artístico y Cultural*. Universidad de Málaga.

Sánchez, M.I, Oropesa, T., Pérez, M., y Viña, F.J. (2019). Las “piedras del agua”. Punto de partida e investigaciones iniciales del G.I. Arte y Entorno de la ULL. *Póster. Día Mundial del Agua. Debates y charlas para la ciudadanía*. Consejo Insular de Aguas de Tenerife.