

EVALUACIÓN DEL DETERIORO DE LA MAMPOSTERÍA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS A TRAVÉS DE LA PETROLOGÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS

Norma González-Cervantes^{1*}, Raudel Padilla-Ceniceros² y Rodrigo Gutiérrez-Navarro³

¹ Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Avenida Universidad 940, Universidad Autónoma de Aguascalientes, C.P. 20100, Aguascalientes, México.

² Departamento de Construcción, Universidad Tecnológica de Calvillo, Carretera al Tepetate No. 102, Col. El Salitre, C.P. 20860, Calvillo, Aguascalientes, México.

³ Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, Blvd. Juriquilla 3001, Campus UNAM, Juriquilla La Mesa, C.P. 76230, Juriquilla, Querétaro, México.

*norma.gonzalez@edu.uaa.mx (autora para correspondencia)

RESUMEN

La ignimbrita es una roca volcánica ampliamente utilizada en México para la construcción de edificios y monumentos históricos debido a su versatilidad, durabilidad, disponibilidad y atractivo estético. Sin embargo, para garantizar la restauración y preservación de los edificios y monumentos es fundamental comprender las características petrológicas de las rocas que se utilizaron en su construcción, aunado a otras características físicas como la porosidad. En este trabajo se presentan una metodología y los resultados de la evaluación del deterioro de la mampostería del edificio histórico Casa Rosal 102a, Barrio de La Purísima en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes, México con base en la caracterización petrológica, presentada como cartografía, de las rocas volcánicas que conforman la fachada de este inmueble. Como parte del análisis de este trabajo, se compararon las cartografías de caracterización petrológica con la realizada a partir de las patologías en las rocas, desarrollada ésta última con base en los criterios del glosario ilustrado de fenómenos y procesos de degradación (ICOMOS-ISCS), el cual a su vez, fue elaborado por el Consejo Internacional de piedras, como parte de la cátedra UNESCO para la conservación del patrimonio mundial. La metodología descrita se desarrolló durante la pandemia por COVID-19 como una práctica de campo con asistencia del docente, para estudiantes del primer semestre de la maestría de ingeniería civil de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, para que practicasen en la caracterización petrológica de diferentes rocas volcánicas, así como en la evaluación de diferentes edificios históricos en la ciudad de Aguascalientes. Como resultados del análisis, se observa que los daños en las rocas de la fachada son variados, afectando principalmente a la zona baja, sobre todo en su parte noroeste. Los daños están asociados en gran medida a las características de soldamiento de la roca, lo cual es inverso en estos casos a la porosidad. El ascenso de agua por capilaridad a través de la roca es heterogéneo, provocando que la humedad se concentre principalmente en la parte derecha de la fachada.

Palabras clave: Petrología de rocas volcánicas, patologías en rocas, patrimonio histórico, glosario ICOMOS-ISCS.

ABSTRACT

Ignimbrite is a volcanic rock widely used in historical buildings and monuments in Mexico due to its versatility, durability, availability, and aesthetic appeal. Ensuring restoration and preservation of buildings and monuments relies heavily on understanding the petrological properties of the rocks employed in their construction, alongside other physical traits such as porosity. This study outlines a methodology and findings regarding assessing decay in masonry of the historic building Casa Rosal 102a, in the La Purísima district of Aguascalientes, México. This evaluation relies on petrological characterization, represented as mapped data, focusing on volcanic rocks comprising the building's facade. This research analysis drew comparisons between the petrological characterization mappings and those generated from rock pathologies. The latter were formulated using criteria outlined in the Illustrated Glossary of Degradation Phenomena and Processes (ICOMOS-ISCS), a resource crafted by the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) as an integral component of the UNESCO chair for world heritage preservation. The described methodology was developed during the COVID-19 pandemic as a field practice supervised by the instructors for first-semester students in the Civil Engineering Master's program at the Universidad Autónoma de Aguascalientes. It aimed to provide hands-on experience in the petrological characterization of volcanic rocks and evaluating historical buildings in Aguascalientes. Analysis revealed a diverse range of damages primarily concentrated in the lower areas, notably the northwest section of the facade. These damages predominantly stem from the rock's soldering characteristics, which, in these instances, oppose the expected porosity. The uneven capillary water ascent through the rock accumulates moisture primarily on the NW side of the facade.

Keywords: Volcanic rock petrology, rock pathologies, historical heritage, ICOMOS-ISCS glossary.

INTRODUCCIÓN

México es probablemente uno de los países con el mayor número de edificios y monumentos históricos construidos con mampostería de rocas volcánicas, entre ellas las piroclásticas (Padilla-Ceniceros *et al.* 2017). Estas rocas, también llamadas ignimbritas, comúnmente se les denomina “cantera” en el ámbito de la construcción, en la cual es usual que se elijan a las rocas principalmente por su atractivo visual y por su abundancia o cercanía, dejando en segundo término propiedades mecánicas favorables como su alta resistencia y durabilidad. Con el paso del tiempo y la acción de agentes atmosféricos, estas rocas comienzan a deteriorarse, ocasionando degradación visual y el consiguiente desgaste de los inmuebles históricos.

Las rocas volcánicas afloran ampliamente en México particularmente en la Sierra Madre Occidental (SMOCC) a lo largo de una superficie aproximada de 300 000 km² (McDowell y Clabaugh, 1979). Para dar un contexto, numerosos edificios y monumentos históricos de varios estados del centro de México están construidos con rocas volcánicas procedentes de las inmediaciones de la SMOCC, de la Mesa Central y del Cinturón Volcánico Transmexicano (Siegesmund *et al.* 2022).

En el estado de Aguascalientes, por ejemplo, los edificios históricos patrimoniales se construyeron entre los siglos XVI y XX, utilizando mampostería compuesta principalmente por rocas volcánicas, comúnmente conocidas con el nombre de tobas que en este trabajo se describen como ignimbritas (Padilla-Ceniceros *et al.* 2017; Orenday-Tapia *et al.* 2019). Debido a la antigüedad de su construcción, varios edificios presentan daños y deterioro de las piedras de mampostería, principalmente en la base de los muros, y que los especialistas asumen que dicho deterioro es debido a la humedad, la cual favorece la cristalización de las sales (Padilla-Ceniceros *et al.* 2017; Orenday-Tapia *et al.* 2019). No obstante, al comparar las mamposterías de un mismo edificio y en iguales condiciones, se ha observado que algunas presentan un mayor deterioro que otras. ¿A qué se debe esto? Se podría esperar que ambas mamposterías tuvieran un comportamiento similar, sin embargo, no siempre es así.

En México, el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) es el encargado de la conservación y protección de edificios históricos, monumentos y zonas arqueológicas. El resguardo del patrimonio a cargo del INAH es muy importante, por la relevancia del legado cultural del país y porque determina el grado de conservación de estos edificios. El personal experimentado del INAH basa sus determinaciones en el glosario ICOMOS-ISCS (por sus siglas en inglés: *International Council on Monuments and Sites-International Scientific Committee for Stone*) (García de Miguel, 2011). Este glosario señala y describe los diferentes tipos de meteorizaciones químicas y físicas presentes en las rocas que conforman los edificios y monumentos con el fin de evitar confusiones terminológicas entre especialistas de diferentes áreas.

Conocer el grado de conservación de un edificio permite realizar un monitoreo regular, analizar los agentes degradantes y aplicar tratamientos de conservación petrofísica para reparar y garantizar la protección y conservación de monumentos históricos construidos con rocas volcánicas (Ostrooumov *et al.* 2003; Siegesmund *et al.* 2002, López-Doncel *et al.* 2015). Cabe mencionar que el ICOMOS-

ISCS sugiere “conocer las raíces del problema más que los síntomas para ayudar a mejorar la terapia de reparación, protección y conservación de los inmuebles”. Con esto en mente, se reconoce que la degradación de los materiales pétreos de los edificios históricos ocurre por diferentes factores como el viento, el sol, los contaminantes, la humedad, las actividades antrópicas, y también por la influencia de flora o fauna agrestes (López-Doncel *et al.* 2015). Por su parte, la capacidad de la roca volcánica (ignimbrita) para mantener su integridad depende de su petrología, es decir, de los componentes que la conforman y del grado de soldamiento que presente.

Este trabajo se desarrolla sobre la Casa Rosal 102a, una edificación ubicada en el tradicional barrio de La Purísima, en el centro histórico de la ciudad de Aguascalientes (Figura 1). Padilla-Ceniceros *et al.* (2017) han realizado trabajos sobre porosidad versus deterioro en rocas ígneas (ignimbritas) de la catedral de Aguascalientes, la cual presenta rocas similares a las de la Casa Rosal 102a. En ese trabajo, los autores indican que cuanto más porosidad presente una ignimbrita mayor es el deterioro, lo que implica que el parámetro de soldamiento de la roca es muy importante, ya que, en cuanto más soldadas sean, menor porosidad presentan y por lo tanto son más resistentes al deterioro.



Figura 1. Localización de la Casa Rosal 102a, Barrio de La Purísima, estado de Aguascalientes, México. a) Mapa con la división política de la República Mexicana en donde se resalta en el recuadro el estado de Aguascalientes (AGS). b) Mapa de la traza urbana de la ciudad de Aguascalientes. c) Fotografía aérea del barrio de La Purísima, Aguascalientes; en azul se destaca la ubicación del inmueble de interés. Coordenadas geográficas (13Q 780625 m E; 2422363 m N). d) Imagen de la fachada Casa el Rosal 102a, diseñada por el arquitecto Refugio Reyes Rivas (1862- 1943).

Es importante destacar que preservar el patrimonio construido con rocas volcánicas implica enfrentar desafíos específicos ya que no se pueden extraer muestras de las rocas de los edificios para hacerles estudios de laboratorio.

En este trabajo se tienen los siguientes objetivos: 1) hacer una evaluación petrológica de las rocas utilizadas en la fachada de la construcción; 2) realizar una clasificación de los daños en las rocas según el glosario ICOMOS-ISCS, y 3) hacer una comparación entre estos parámetros para conocer las características de las rocas, como el porcentaje de los componentes de la fábrica y el grado de soldamiento. Con estas variables se hace un diagnóstico rápido y económico de la fachada del inmueble, así como la evaluación cualitativa de su resistencia mecánica y de la integridad de la mampostería, con lo que se reconoce la roca o rocas con la(s) que se

construyó el edificio y así se puede identificar el banco de material o zona donde se extrajo la piedra que conforma la mampostería, haciendo posible realizar un muestreo físico para trabajos futuros de mayor detalle; finalmente, se obtiene una clasificación de daños en las rocas basado en el glosario de ICOMOS-ISCS. Esto es importante para que especialistas y estudiantes interesados caractericen edificios históricos construidos con rocas volcánicas y puedan seguir la metodología propuesta en este trabajo, basada en el edificio histórico que aquí se analiza.

Para aplicar estos conocimientos durante el periodo de la pandemia por COVID-19, en la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) se impartió un curso intersemestral interdisciplinario titulado: “Introducción a los edificios históricos desde la petrología de las rocas ígneas” a un grupo de doce estudiantes de la maestría de Ingeniería Civil (sin clave; Generación 2021-2022) de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. En dicho curso se realizó una descripción petrográfica y se identificaron los porcentajes de los componentes, la formación y los principales procesos de meteorización de las rocas que presentan algunos edificios de la ciudad de Aguascalientes. Con este reconocimiento se realizó una cartografía petrológica de la fachada y los costados de edificios y/o monumentos. También se utilizó la ficha de identificación de daños tomada del glosario de ICOMOS-ISCS, lo que permitió visualizar las zonas más afectadas según la petrología descriptiva. La metodología utilizada en este curso se aplica en este trabajo a la Casa Rosal 102a. Se presentan y discuten los resultados obtenidos.

Antecedentes y descripción arquitectónica de la Casa Rosal 102a, Barrio de La Purísima

La Casa Rosal 102a se ubica en la calle Rosal #102a, Barrio de la Purísima, en la ciudad de Aguascalientes, estado de Aguascalientes, México (Figura 1), de acuerdo con la ficha Nacional de Catálogo de Monumentos Históricos Inmuebles y el centro de documentación del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles (CNMHI) (Gobierno Municipal de Aguascalientes, Departamento de Conservación y Mantenimiento, Comunicación Personal, 2023). Su construcción data de un período comprendido entre los siglos XIX y XX y fue realizada por el arquitecto Refugio Reyes Rivas (1862- 1943), considerado “Arquitecto Empírico” (Ruvalcaba y Sifuentes, 2014) y que fue reconocido por ser el autor de algunos de los edificios más emblemáticos de los estados de Aguascalientes y de Zacatecas, por lo que la Casa Rosal 102a representa un valioso patrimonio histórico y arquitectónico.

Teniendo como elemento principal de referencia la fachada noreste, este inmueble responde al estilo neoclásico, debido a su sencillez y a la elegancia de sus líneas (Figura 2). Dentro de los materiales implementados en su construcción predominan los muros recubiertos con chapa de ignimbrita, dejando en su interior muros de adobe con un espesor de 60 cm y para el sistema constructivo de la cubierta viguetas y bóveda de ladrillo plano, mientras que sus pisos están preparados a base de loseta de pasta de cemento. No obstante, destaca la tendencia a la simetría partiendo del acceso con un arco rebajado y al centro una clave como remate visual, mientras que en la parte lateral derecha existen dos accesos conformados por arcos de medio punto y columnas adosadas (Figura 2).

En el sureste de la fachada se sitúa una ventana que fue modificada debido a la presencia del antepecho y con herrería de características diferentes a la principal; en la parte superior de la fachada se encuentra una cornisa que le otorga un toque distintivo al inmueble (Figura 2). El edificio tiene un guardapolvos que alcanza una altura de hasta 0.5 m. Es evidente que a lo largo del tiempo se realizaron algunas modificaciones en la fachada, como el relleno del espacio inferior de una de las ventanas con adobe y chapa de dimensiones diferentes a las originales, lo que en un principio podría haber sido un balcón, como en el caso de los vanos del noroeste (Figura 2).

También se pueden identificar molduras en el nivel inferior de la cornisa y en el remate del muro. Las dos columnas estructurales y las ocho columnas (C1 a C10) de apoyo a los arcos son de fuste liso y se encuentran adosadas (Figura 2). Con relación a la conducción del agua pluvial, las salidas de las bajadas se ubican en el espacio entre los vanos, a una altura de 0.4 m del nivel de la banqueta. El agua se desliza sobre la ignimbrita hasta el nivel de la banqueta. En la parte superior, al nivel de la azotea, se pueden distinguir las zonas de descarga de las mismas bajadas, las cuales presentan tonos oscuros (Figura 2).

El formato de la chapa de ignimbrita que conforma la fachada del muro tiene dimensiones de 0.4 x 0.25 m y 0.15 m de espesor. Estas últimas medidas se obtienen al observar las zonas con alto grado de deterioro donde se expone el adobe por debajo de la chapa de ignimbrita (Figura 2).

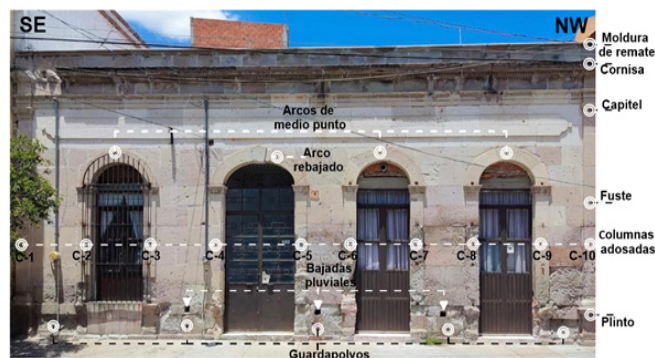


Figura 2. Distribución arquitectónica de la fachada y principales elementos constructivos de La Casa Rosal 102a, diseñada por el arquitecto Refugio Reyes Rivas (1862- 1943).

METODOLOGÍA

A continuación se describe la secuencia de los análisis realizados para la caracterización de la fachada La Casa Rosal 102a. En términos generales consistió en un análisis petrológico, la clasificación de zonas de la fachada basados en el glosario ICOMOS-ISCS y la correlación de la cartografía con los daños observados.

Análisis petrológico

En este trabajo se utiliza el término ignimbrita para la descripción de las rocas ígneas extrusivas formadas durante la acumulación de flujos piroclásticos calientes constituidos por fragmentos de cristales y rocas. En el ámbito de la construcción y la geotecnia, los términos de las ignimbritas y las tobas se consideran indistintamente iguales por lo que el término de toba no será empleado en este artículo. Bajo esta aclaración, se define a la ignimbrita como roca

piroclástica de flujo (secuencia: oleada y flujo piroclástico y depósito de ceniza), compuesta principalmente de material juvenil vesiculado (pómez) y líticos, pudiendo estar soldada o no (Sparks *et al.* 1973). Estas rocas recientemente han sido redefinidas como corrientes de densidad piroclástica formada por proporciones variables de pómez, ceniza y líticos provenientes de erupciones explosivas de gran tamaño (Brown y Andrews, 2015), por lo que estas rocas presentan una amplia variedad de texturas, colores, composiciones y resistencias al esfuerzo cortante. Las ignimbritas son emplazadas a altas temperaturas, por lo que el soldamiento, la cristalización y la alteración pueden ocurrir en el periodo de enfriamiento (Cas y Wright, 1987). Por su parte el soldamiento es la sinterización de fragmentos de pómez, líticos y fragmentos de vidrio bajo una carga de compactación caliente, por lo que la pérdida de porosidad en la roca es consecuente (Smith 1960; Ross y Smith, 1961).

Por otro lado, en el análisis petrológico general de una roca piroclástica se identifican tres parámetros importantes: fábrica, textura y estructura. Este análisis permite la identificación y con ello la evaluación cualitativa de su resistencia mecánica y grado de alteración (Fort *et al.* 2008). Adicional a estos parámetros, en las rocas ignimbritas está el grado de soldamiento, el cual se manifiesta con base a la temperatura de emplazamiento, por lo que entre más caliente haya sido su emplazamiento, más soldamiento pérdida de porosidad y resistencia tendrá la roca (Quane y Russell, 2005; Padilla-Ceniceros *et al.* 2017; Solano, 2018).

Para este trabajo no se utilizó la clasificación composicional de Fisher (1966), ya que se buscó que fuera una ayuda visual para las personas con poca experiencia en geología, así que se hizo una adaptación y simplificación de la clasificación del cuadro de comparación para la estimación visual de porcentaje de líticos de Terry y Chilingar, (1955) y modificada por Scholle *et al.* (2014, Figura 3a).

Así mismo, se agregó el grado de soldamiento como parámetro característico de la roca, es decir, se le agregó un valor al parámetro de grado de soldamiento, como una función inversa a la porosidad estimada para algunas de las muestras de la fachada de la catedral Basílica de Aguascalientes, ya que corresponden a la roca observada en la fachada de La Casa Rosal 102a, esta afirmación se basa en que en ambos inmuebles intervino el arquitecto Refugio Reyes Rivas (1862- 1943), en que son edificaciones contemporáneas y en que las características petrológicas de las mamposterías son similares; por ello, se adaptó y empleó la clasificación rango-porosidad e índice de aplastamiento de Padilla-Ceniceros *et al.* (2017) y Quane y Russell, (2005) (Figura 3b).

El recuadro en rojo en la figura 3b corresponde a la porosidad obtenida en el laboratorio de una ignimbrita de la fachada de la catedral Basílica de Aguascalientes y que se correlaciona con la roca

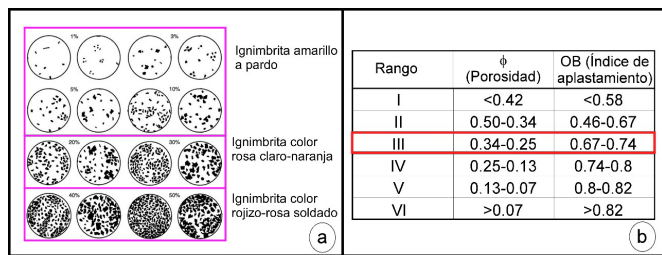


Figura 3. Adaptación y propuesta de la clasificación utilizada en este trabajo. (Modificado de Terry y Chilingar, 1955 y modificado por Scholle *et al.* 2014, Quane y Russell, 2005 y Padilla-Ceniceros *et al.* 2017). a) Porcentajes componentes de la matriz vs esqueleto de las litologías. b) Valores de soldamiento, porosidad e índice de aplastamiento para las ignimbritas.

similar de la fachada del edificio reconocida en este trabajo como ignimbrita color rojizo-rosa soldado. Dado que es la muestra en este trabajo con mayor soldamiento, se sugiere que las otras dos rocas (ignimbrita color rosa claro - naranja e ignimbrita amarillo a pardo) se encuentran en el rango IV y V, de la figura 3b, respectivamente.

Criterio ICOMOS-ISCS

El glosario de ICOMOS-ISCS es la recopilación de términos escritos por diferentes autores (por ejemplo: Grimmer, 1984, Delgado-Rodrigues, 1991, etc.). La descripción que se hace con estos términos es para material individual en una escultura o construcción. Dentro de este documento se pueden encontrar términos generales como alteración, daño, degradación, deterioro y meteorización, y a partir de aquí se divide en: 1) grietas y deformaciones, 2) desprendimiento, 3) rasgos inducidos por pérdida de material, 4) alteraciones cromáticas y depósitos y 5) colonización biológica (Figura 4). Cada una de las divisiones tiene una subdivisión y algunas de estas subdivisiones llegan a dividirse nuevamente (Figura 4). Para hacer una visualización rápida de los parámetros de deterioro se realizó una lista de verificación visual (Figura 4), para posteriormente hacer una comparación de la cartografía petrológica y la cartografía de los parámetros de deterioro.

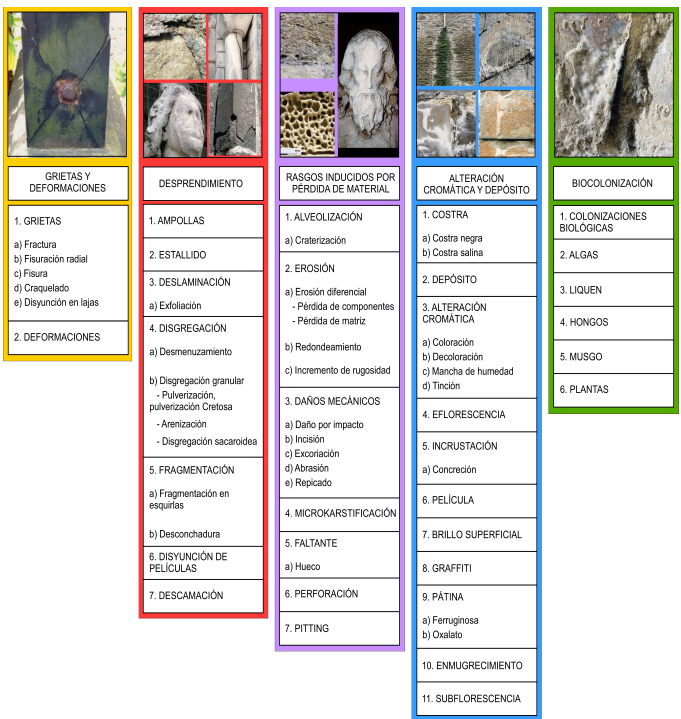


Figura 4. Tomado y modificado del resumen de términos generales del glosario ICOMOS-ISCS.

RESULTADOS

Cartografía petrológica de la fachada

La fachada del edificio en estudio está compuesta por rocas ígneas extrusivas reconocidas como ignimbritas, las cuales se separaron en este trabajo según el porcentaje de matriz contra esqueleto en al menos tres tipos: 1) 10 % de esqueleto contra 90 % de matriz (Figura 5a- ignimbrita amarilla a pardo), 2) 20 % de esqueleto contra 80 % de matriz (Figura 5b- ignimbrita color rosa claro-naranja), y 3) 50 % de esqueleto contra 50 % de matriz (Figura 5c- ignimbrita color rojizo-rosa soldado).



Figura 5. Fotografías de detalle de las texturas de las tres ignimbritas que componen la fachada La Casa Rosal 102a; a) ignimbrita amarilla a pardo, b) ignimbrita rosa claro-naranja y c) ignimbrita color rojizo-rosa.

El primer tipo de ignimbrita observada es de color amarillo a pardo con aureolas color rojizo, medianamente soldada. Tiene una matriz de vidrio en un 90 % con un esqueleto conformado por pómez y líticos en un 10 %. Las pómez se observan elongadas, poco soldadas, de ~1 cm, mientras que los líticos son angulares con tamaño de 1 mm, bien sorteados. El esqueleto suele ser escaso y se aglomera en ciertas zonas (Figura 5a- ignimbrita amarilla a pardo). Esta roca es la que se encuentra en mayor proporción en la fachada de La Casa Rosal 102a, distribuida en casi toda la fachada (Figura 6).

El segundo tipo de ignimbrita observada es color rosa claro-naranja, soldada, con una matriz fina de vidrio (80 %), un esqueleto de líticos y limitadas pómez (20 %). La disposición del esqueleto se observa en toda la roca. Los líticos son angulosos, con tamaño principalmente de 1-3 mm y mal sorteados; se observan escasos líticos de 5 cm, mientras que las pómez se observan elongadas, un poco aplastadas pero no totalmente, ya que llegan a medir hasta 3 ó 4 cm (Figura 5b- ignimbrita color rosa claro-naranja). Esta ignimbrita se encuentra en la fachada en menor proporción que la de color amarillo a pardo, pero en mayor cantidad que la de color rojizo-rosa descrita más abajo; la distribución se concentra principalmente en el área del capitel y algunos guardapolvos (Figura 6).

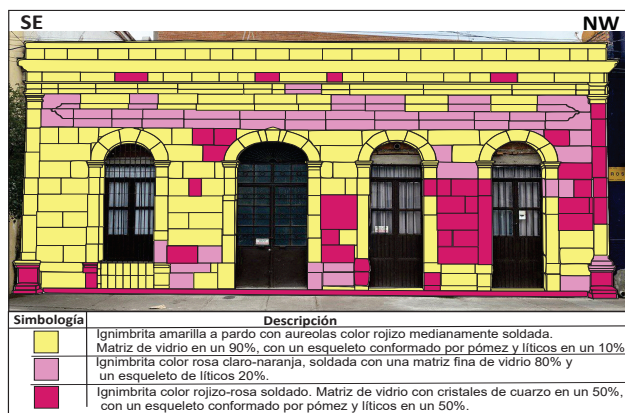


Figura 6. Cartografía petrológica de la fachada de La Casa Rosal 102a. Obsérvese que la ignimbrita amarilla a pardo es la que tiene una mayor distribución.

El tercer tipo de ignimbrita observada en la fachada La Casa Rosal 102a, es una roca de color rojizo-rosa soldado. Está compuesta por una matriz de vidrio con cristales de cuarzo en un 50 % con un esqueleto en un 50 %, este último está conformado por pómez (en un 10 % con respecto a los líticos) y líticos (en un 40 % con respecto a las pómez). Las pómez se observan elongadas, parcialmente aplastadas, soldadas de ~5 mm – 2 cm, ocasionalmente se llegan a ver fiammes, mientras que los líticos son angulares, con tamaño de 1 mm, mal sorteados (Figura 5c- ignimbrita color rojizo-rosa soldado) y se encuentran distribuidos en toda la roca. Esta ignimbrita se encuentra en menor proporción en la fachada de esta casa que las anteriormente descritas; la distribución se concentra en los pilares centro-derecha y algunos plintos (Figura 6).

Cartografía de las patologías de daños ICOMOS-ISCS

Dentro de las observaciones que se realizaron en La Casa Rosal 102a se encuentran alteraciones, degradaciones y meteorización que causan deterioro en ciertas partes del inmueble, sobre todo en la parte baja y en la cornisa (Figura 7). Las patologías que se observaron son: 1) grietas y deformación (grietas y fisuras radiales), 2) desprendimiento (disgregación, fragmentación y descamación), 3) rasgos inducidos por pérdida de material (alveolización y erosión) y 4) alteración cromática y depósito (alteración cromática-manchas de humedad, eflorescencia y pátina de oxalato). Asimismo, se observaron algunos puntos donde existen dos o más patologías combinadas (Figura 7).

Agrietamiento o deformación

En la fachada de la construcción en estudio se observaron fisuras radiales en el arco rebajado y en las columnas adosadas de la ventana del lado SE (Figuras 7 y 8a). Las fisuras radiales son grietas individuales ocasionadas por las anclas o fijaciones de hierro de la protección de la ventana izquierda.

Desprendimiento

Incluye ampollas, estallido, deslaminación, disgregación, fragmentación, disyunción de películas y descamación. En la fachada se observaron disgregaciones, fragmentaciones y descamaciones; la disgregación es el desprendimiento de partículas por la pérdida de cohesión, desagregación, pulverización y desgranamiento (ICOMOS-ISCS, 2011).

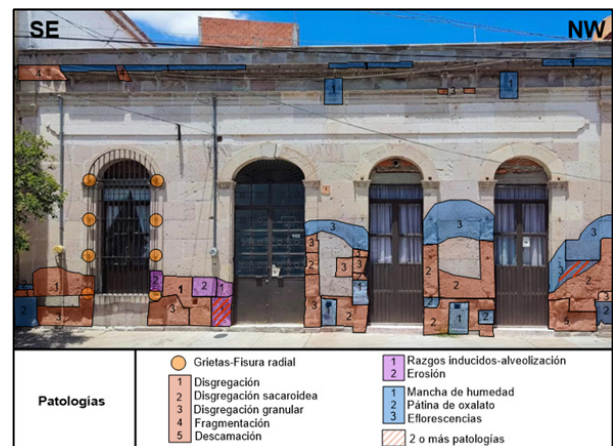


Figura 7. Resultado de la cartografía de patologías de la fachada. Los colores y números se describen en el texto.

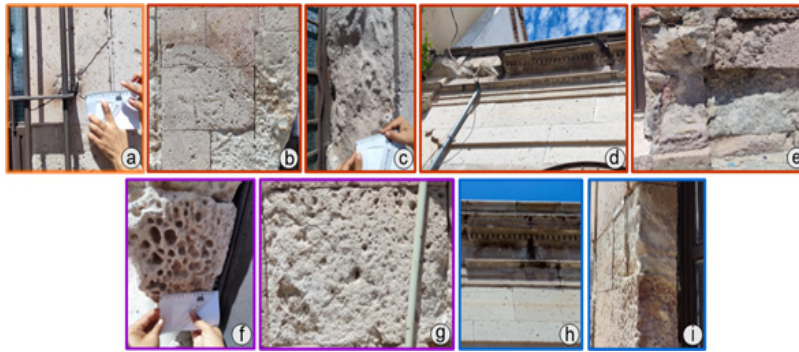


Figura 8. Ejemplos de patologías y fotografías de detalle. a) Grietas radiales asociadas a la instalación de la herrería, b) Disgregación, c) Disgregación sacaroidea, d) Fragmentación, e) Descamación, f) Alveolización, g) Erosión, h) Manchas de humedad e i) Eflorescencias.

Las disgregaciones que se observaron fueron sacaroideas y granulares, y cuando no se pudo distinguir ninguna de las anteriores sólo se consideró como disgregación. En ese contexto, la disgregación sacaroidea se observó principalmente en las tres columnas de la derecha del inmueble, mientras que la disgregación, aunque se observa en todas las columnas, se concentra principalmente en la columna del centro (Figuras 7, 8b y 8c).

La fragmentación se refiere principalmente a trozos o partes de la piedra desprendidos por la rotura parcial o total de ésta y pueden tener tamaños variables e irregulares (ICOMOS-ISCS, 2011). Este proceso se observa principalmente en las cornisas del inmueble (Figura 7 y 8d).

Por su parte, la descamación es el desprendimiento en forma de capas, escamas o pilas de escamas de tamaño pequeño (milimétrico o por centímetros. ICOMOS-ISCS, 2011). Este proceso se observó en la columna de la derecha (Figuras 7 y 8e). En la fachada, la patología de desprendimiento se observó en mayor proporción que el resto de las patologías y casi siempre en la parte baja del inmueble: en esta zona la fragmentación tuvo mayor presencia.

Rasgos inducidos por pérdida de material

Estos procesos incluyen alveolización, erosión, daños de origen mecánico, microkarstificación, faltante, perforación y *pitting*. En la fachada de construcción de estudio se observaron principalmente alveolización y erosión: la primera se refiere a cavidades (alveolos) de tamaño variable en la superficie de la roca, y que pueden estar interconectadas (Figura 8f. ICOMOS-ISCS, 2011). La erosión es la pérdida de la superficie original que da como resultado el suavizado de las formas (ICOMOS-ISCS, 2011). Tanto la alveolización como la erosión se observan en la parte baja de la segunda columna de izquierda a derecha (Figuras 7 y 8g).

Alteración cromática y depósito

Incluye costras, depósito, alteración cromática, eflorescencia, incrustación, película, brillo, graffiti, pátina, enmugrecimiento y subeflorescencia. En la fachada de la construcción en estudio se observaron alteración cromática, manchas de humedad, eflorescencia y pátina de oxalato. La alteración cromática es el cambio de color de la roca en diferentes tonos, luminosidad o saturación. Dentro de esta alteración puede haber coloración, decoloración, manchas de humedad y tinción. Las manchas de humedad se observan con un oscurecimiento de la superficie (ICOMOS-ISCS, 2011) y se encuentran en algunos puntos debajo de la cornisa y de las bajadas pluviales en la parte baja del inmueble (Figuras 7 y 8h).

La eflorescencia es la acumulación de sales solubles provenientes de la misma roca y que llegan a tener forma cristalina, pulverulenta y blanda en la superficie (ICOMOS-ISCS, 2011). Esta patología se observa en la cornisa del inmueble y en las tres columnas del NW y en la última de la izquierda (Figuras 7 y 8i). La pátina de oxalato es una alteración cromática en el caso de estudio de color rojizo (ICOMOS-ISCS, 2011); esta patología se observa en las columnas C7, C8 y C10 y la columna C1 del inmueble, con mayor presencia en las columnas C7 y C8 (Figura 7).

Cartografía petrológica-patologías ICOMOS-ISCS

Los resultados de la comparación entre la cartografía petrológica y la de patologías del ICOMOS-ISCS generaron un nuevo mapa, lo que ayudó a observar si algunas de las patologías están asociadas a la petrología y al grado de soldamiento (Figura 9). En la parte alta de la fachada (cornisa) existe un porcentaje mayor de ignimbrita color amarillo, mientras que en la base de la fachada hay mayor variedad de las rocas, es decir, las tres ignimbritas cartografiadas (primeros 1.5 metros del muro), por lo que esta zona es la ideal para hacer comparaciones.

La humedad por filtración se presenta tanto en la parte inferior del muro como en la azotea, donde aún no se observan tantos daños como en la parte inferior del muro. La humedad por filtración en la azotea, por debajo de la cornisa en todo lo largo de la fachada generó un crecimiento de hongos, es decir la humedad se localiza en las bajadas pluviales. Por otro lado, en algunos puntos de la cornisa y del capitel de la fachada se observan daños por fragmentación (Figuras 8 y 9).

La parte inferior de la fachada es el lugar donde más patologías se localizan, por humedad de filtración, humedad accidental y humedad por capilaridad. En el caso de la humedad por filtración se observan alteraciones como: manchas de humedad localizadas en paredes y techos cercanos a ventanas, puertas o áreas propensas a filtraciones (Figuras 7 y 9) y desarrollo de eflorescencias en la superficie de los muros debido a la acumulación de sales disueltas en el agua de infiltración (Figuras 7 y 9).

Con respecto a la humedad por capilaridad, ésta se manifiesta como manchas en la parte inferior de los muros y proviene del agua acumulada en la banqueta. Los criterios de alteración son: 1) presencia de manchas de humedad en la parte inferior de los muros, con una apariencia más difuminada hacia arriba, 2) descamación y desprendimiento de la capa superficial de la chapa de ignimbrita y 3) daños en los materiales porosos que pueden provocar la pérdida de resistencia y la degradación de la fachada (Figuras 7 y 9).

En el caso de la humedad accidental en la fachada, ésta se debe a las tuberías, principalmente en la salida ubicada a 0.4 m del nivel de la banquetta y en la boca de la bajada pluvial. Los criterios de alteración son: 1) manchas y zonas húmedas claramente localizadas, que pueden tener formas irregulares; 2) daños importantes en los materiales, como la pérdida de cohesión en los muros, el desprendimiento de la capa superficial de la chapa de ignimbrita y la deformación de elementos estructurales (Figuras 7 y 9).

Las patologías observadas en las ignimbritas amarillas que contienen un mayor porcentaje en matriz pero menos soldamiento, son según el glosario ICOMOS-ISCS, alveolización, erosión diferencial, disgregación, disgregación granular y descamación en la columna derecha. Las humedades han provocado que la matriz se erosione, desintegre y presente cambios químicos y algunas oquedades (Figuras 6 y 9).

Las patologías observadas en la ignimbrita color rosa claro-naranja descrita con 80 % de matriz fina de vidrio y 20 % de líticos y parcialmente soldada son, según el glosario ICOMOS-ISCS: descamación, disgregación granular, disgregación sacaroidea y manchas por humedad. Aquí las humedades provocan que las pómez y parte de la matriz se erosionen, dejando oquedades (Figuras 6 y 9).

En la Ignimbrita color rojizo-rosa soldado la cual presenta mayor soldamiento que las dos anteriores, se puede observar una aureola de humedad por capilaridad en la parte inferior del inmueble. La zona de humedad provocó una alteración cromática que se observa en un mapeo de salinidad (eflorescencia costra salina), pátina de oxalato y manchas de humedad. El esqueleto de esta ignimbrita presenta en igual porcentaje matriz de cuarzo y concentración esqueleto, el cual está conformado por líticos y menor cantidad por pómez (tipo *fiammes*), toda ella bien soldada, lo que al parecer reduce como se puede observar los efectos de humedad sobre la roca (Figuras 6 y 9).

DISCUSIÓN

El hecho de que el inmueble de La Casa Rosal 102a sea muy antiguo favorece la meteorización de sus componentes a diferentes grados, sobre todo en la base de los muros. ¿Cuál es la razón para que esto suceda así? En este trabajo se encontró que el deterioro y meteorización que ha tenido la fachada del inmueble se debe en gran medida a la humedad, lo que se asume porque se observa un deterioro en las bajadas de agua y porque, como indican las conclusiones de otros estudios realizados en inmuebles antiguos en la ciudad de Aguascalientes, la humedad favorece la cristalización de las sales, entre otras cosas, porque los edificios antiguos no tienen una barrera que inhiba el ascenso de humedad, además de que las propiedades de la ignimbrita (porosidad) propician el fenómeno capilar (Padilla-Ceniceros *et al.*, 2017; Orenday-Tapia *et al.*, 2019).

De hecho, Padilla-Ceniceros *et al.* (2017) realizaron trabajos sobre porosidad versus deterioro en rocas ígneas (ignimbritas) de la Catedral de Aguascalientes, la cual tiene rocas similares a las de la edificación en estudio de este trabajo, y sus conclusiones indican que entre mayor porosidad es mayor el deterioro, lo que a su vez indicaría que el parámetro de soldamiento de la roca es importante, ya que la pérdida de porosidad está ligada a un mayor grado de soldamiento, el cual se refiere a la sinterización de fragmentos de pómez, líticos y vidrio bajo una carga de compactación y a altas temperaturas, lo que da como resultado una pérdida de porosidad (Smith 1960; Ross y Smith, 1961). Así que es correcto afirmar que entre más soldadas menor porosidad y, en consecuencia, más resistentes al deterioro.



Figura 9. Sobreposición de la cartografía y las patologías presentes en la fachada del inmueble. Para mayor información sobre el tipo de rocas en esta figura, ver Figuras 6 y 7.

Con base en lo anterior y poniendo énfasis en la petrología de las rocas y su grado de soldamiento, se elabora una metodología con aplicación rápida, sencilla y económica y que permite a los estudiantes realizar una visualización del grado de porosidad, la cual está relacionada con el porcentaje o grado de soldamiento y con las características petrológicas de las rocas para, posteriormente, compararlas con las patologías del glosario ICOMOS-ISCS.

De manera general, las patologías de la fachada de la Casa Rosal 102a se observan en la parte superior, específicamente en la cornisa y el capitel, aunque la parte media y baja concentra el mayor número de patologías. Una de ellas está ligada a cambios que se han realizado en la casa, como por ejemplo las grietas radiales ocasionadas por las anclas o fijaciones de hierro de la protección de la ventana izquierda; sin embargo, el resto de ellas se deben a la alteración por humedad, la cual se presenta de forma capilar, por filtración y accidental ocasionando un mayor deterioro en las rocas con menor soldamiento, como lo indican las patologías superpuestas en ciertas zonas (diferentes tipos de disgregación, descamación, fragmentación, alveolización y erosión), sobre todo en la ignimbrita color amarillo a pardo, que es la que tiene menor grado de soldamiento.

Por el contrario, las que tienen mayor grado de soldamiento como la ignimbrita color rojizo-rosa, la meteorización por humedad sólo ha hecho que presente cambios de colores como pátina de oxalato, eflorescencias, manchas de humedad, y pocas veces disgregación. Haciendo énfasis en el frente de humedad, se observa que al SE de la fachada se presente por debajo del primer metro de altura, mientras que en la parte central y sector NW el frente húmedo asciende hasta 1.4 m de altura.

Esta variación en la altura del frente húmedo se podría relacionar con el tipo de roca en la parte baja del muro; la menor concentración de humedad también puede deberse en parte al hecho de que en esa zona se concentra la ignimbrita amarillo a pardo, la cual es menos soldada, por lo que tiene poros de mayor diámetro que las rocas del sector NW, donde se concentran ignimbritas color rojizo-rosa más soldadas, es decir, se inhibe (aunque no por completo) el efecto de capilaridad en la zona SE y se concentra en la parte NW.

Al observar el comportamiento de la humedad por capilaridad en la zona centro y NW de la fachada, ésta asciende mejor en la ignimbrita color rosa claro-naranja que en la roca color amarillo a pardo; pero ¿por qué entonces se observa un frente de humedad más alto en el muro segundo de derecha a izquierda? Es probable que sea por la roca que sobreyace a la ignimbrita amarillo a pardo, la cual está colocada a una mayor altura y es la roca más densa (ignimbrita color rojizo-rosa soldada), donde los poros pequeños permiten un más rápido ascenso de la humedad sin retenerla, haciendo que se concentre solo a los lados, provocando que la humedad no afecte tanto en el centro.

En la parte NW de la fachada se esperaría que el frente húmedo ascendiera por encima de 1.4 m sobre la zona de la roca color rojizo-rosa soldada, sin embargo, es probable que, debido al reducido espesor de la chapa, una colocación a una mayor altura de la ignimbrita amarillo a pardo provoque una evaporación de la humedad en la roca antes de ascender y por esto no presente un mayor ascenso.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran una base cartográfica petrológica de la fachada de la Casa la Purísima, en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes, México. Sobre esta cartografía se superpone otra de los daños identificados de acuerdo con el glosario ICOMOS-ISCS. Los resultados muestran que muchos de los daños son consecuentes con la petrología y el grado de soldamiento de la roca en la fachada. Al realizar la caracterización de las patologías principales en la fachada, se observa que existe una combinación de las mismas. Esto se debe en parte a que la roca de la baldosa donde se presentan, que en este caso se trata de la ignimbrita amarillo a pardo, es la que tiene mayor porcentaje de matriz y la cual se encuentra menos soldada que las rocas de los otros dos tipos. Asimismo, en esta roca se observan patologías que muestran mayor deterioro, como por ejemplo, erosión, alveolización, disgregación, fragmentación y descamación. Por el contrario, las patologías con menor erosividad como, por ejemplo, manchas por humedad, pátina de oxalato y eflorescencias, se encuentran en las rocas con igual porcentaje de matriz y esqueleto más soldados (ignimbrita color rojizo-rosa) que las otras dos rocas observadas.

Las grietas y deformaciones se observaron en un área menor que el resto de las patologías y son antropogénicas, mientras que la patología de rasgos inducidos por pérdida de material se observó siempre en la parte baja del inmueble, y en mayor proporción que la patología de grietas y deformación. Las de mayor proporción son las patologías de desprendimiento que han afectado a todas las rocas pero y en mayor medida a las que tienen mayor porcentaje de matriz. Mientras que la patología de alteración cromática y depósito se observó en las partes finales o partes de inicio de las ignimbritas color rojizo-rosa soldado, lo que sugiere que el agua se evapora antes de ascender aún más o pasa muy rápido sin quedarse en ella, haciendo que la humedad se concentre en esa zona pero sólo alrededor de dichas baldosas, lo que indicaría que se trata de una zona de transición del frente de humedad y en consecuencia sin muchos daños por este proceso aunque permite que la humedad se concentre alrededor de dicha zona.

A partir del trabajo realizado en este estudio se concluye que la cartografía petrológica de rocas volcánicas como herramienta de caracterización y evaluación visual es rápida, sencilla y económica. Si se combina con una cartografía de las patologías de daños del glosario ICOMOS-ISCS, resulta una metodología aún más eficiente. Puede ser implementada por estudiantes y/o por personal dedicado a la restauración y valoración de monumentos y/o edificios históricos, ya que la comparación superpuesta de estas dos cartografías (cartografía petrológica-patologías ICOMOS-ISCS) muestra el comportamiento de las patologías de daños según la petrología y el grado de soldamiento de las rocas, que señalan el grado de degradación que se podría presentar y que se esperarían que ocurra con el paso del tiempo en las mismas condiciones ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad Autónoma de Aguascalientes y de los estudiantes del primer semestre de la maestría de Ingeniería Civil. Así mismo, se agradece la revisión de los árbitros anónimos y de la Mtra. Sandra Fuentes Vilchis, cuyas observaciones contribuyeron a mejorar sustantivamente el manuscrito.

REFERENCIAS

- Brown, R. J., y Andrews, G. D. (2015). Deposits of pyroclastic density currents. In the encyclopedia of volcanoes. Academic Press. pp. 631-648.
- Cas, R. A. F., y Wright, J. V. (1987). Volcanic successions: Ancient and modern. Allen and Unin, London.
- Delgado-Rodrigues, J. (1991). Causes, mechanisms and measurement of damage in stone monuments. Science, Technology and European Cultural Heritage.
- Fisher, R. V. (1966). Rocks composed of volcanic fragments and their classification. *Earth-Science Reviews*, 1(4), 287-298
- Fort, R., García del Cura, M., Varas, M. J., Bernabéu, A., Álvarez de Buergo, M., Benavente, D., y Pérez-Monserrat, E. M. (2008). La petrología: una disciplina básica para el avance en la investigación y conservación del Patrimonio.
- García de Miguel, J. M. (2011). ICOMOS-ISCS: Illustrated glossary on stone deterioration patterns= Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra. https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2089/1/spanish_glossary.pdf
- Grimmer, A. E. (1984). A Glossary of Historic Masonry Deterioration Problems and Preservation Treatments. Washington DC: National Parks Service.
- López-Doncel, R., Cardona-Velázquez, N. y Wedekind, W. (2015). El rescate del patrimonio cultural pétreo de San Luis Potosí. *Revista Universitarios Potosinos*, 194, 6-12.
- McDowell, F. W. y Clabaugh, S. E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico: Geological Society of America Special Paper, 180, 113- 124.
- Orenday Tapia, E. E., Tapia Tovar, E., y Pacheco Martínez, J. (2019). Intervenciones no destructivas para el diagnóstico de la salud estructural de dos templos de Aguascalientes, en México. *Intervención (México DF)*, 10(19), 85-98.
- Ostrooumov, M., Monroy, V. H. G., Nieto, H. C., y Santacruz, R. L. (2003). Mineralogía y geoquímica de los procesos de degradación en monumentos históricos: primer acercamiento a un caso mexicano (Morelia, Michoacán). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(3), 223-232.
- Padilla-Ceniceros, R., Pacheco-Martínez, J., López-Doncel, R. A., y Orenday-Tapia, E. E. (2017). Rock deterioration in the masonry walls of the Cathedral Basilica of Aguascalientes, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(2), 138-149.
- Quane, S. L., y Russell, J. K. (2005). Ranking welding intensity in pyroclastic deposits. *Bulletin of Volcanology*, 67, 129-143.
- Ross, C. S., y Smith, R. L. (1961). Ash-flow tuffs: their origin, geologic relations, and identification (No. 366). United States Government Printing Office.
- Rubalcava, G., y Sifuentes, R. R.(Coordinadores).(2014). Refugio Reyes Rivas, Arquitecto empírico, Instituto Cultural de Aguascalientes, 29 p.
- Siegesmund, S., Weiss, T., y Vollbrecht, A. (2002). Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies: introduction. Geological Society, London, Special Publications, 205(1), 1-7.
- Siegesmund, S., Pötzl, C., López-Doncel, R., Gross, C. J., Dohrmann, R., y Ufer, K. (2022). Overview and quality assessment of volcanic tuffs in the Mexican building heritage. *Environmental Earth Sciences*, 81(17), 426.
- Scholle, Ullmer, D. S., Scholle, P. A., Schieber, J., y Raine, R. J. (2014). A color guide to the petrography of sandstones, siltstones, shales and associated rocks (Vol. 109). Tulsa, OK, USA: American Association of Petroleum Geologists.
- Smith, R. L. (1960). Zones and zonal variations in welded ash flows (No. 354-F, pp. 149-159). US Geological Survey.
- Sparks, R. S., Self, S., Walker, G. P. L. (1973). Products of ignimbrite eruptions. *Geology* 1:115-118
- Solano, J. P. (2018). Estratigrafía y petrografía del Plio-Pleistoceno del noroeste de Costa Rica: Formación Bagaces y Lavas Pelón de la Bajura. (Unpublished licenciatura thesis). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Terry, R. D., y Chilingar, G. V. (1955). Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations," by MS Shvetsov. *Journal of Sedimentary Research*, 25(3), 229-234.

Manuscrito recibido: 3 de octubre de 2023

Manuscrito corregido recibido: 30 de noviembre de 2023

Manuscrito aceptado: 4 de diciembre de 2023