

Número Especial:
Sociedad y Volcanología (SOVOL)

ARCHIVOS DE TEFROESTRATIGRAFÍA EN PATAGONIA COMO HERRAMIENTA DE CONSERVACIÓN, DIVULGACIÓN Y CONCIENTIZACIÓN DE RIESGOS VOLCÁNICOS

Julie Morin ^{1*}, Constanza Perales ², Laura Bono ², Leonardo Zúñiga ², Karen Holmberg ³,
Constanza Gómez ⁴, Amy Donovan ¹, Álvaro Amigo ² y Diego Castillo ⁴

RESUMEN

Este artículo describe cómo hemos elaborado archivos de estratigrafía volcánica, denominados 'secciones epóxicas', que consisten en una herramienta de comunicación para aumentar la conciencia sobre peligro y riesgo en la localidad de Chaitén, Chile. Las secciones epóxicas (y los contenidos audiovisuales asociados) surgieron de una colaboración transdisciplinaria entre volcanólogos sociales y físicos, y el Museo de Sitio de Chaitén, creado para preservar la memoria del desastre de 2008. Los principales objetivos son (i) destacar el valor del uso de secciones epóxicas, particularmente como recurso educativo sobre riesgos, basándose en el caso de Chaitén, y (ii) posibilitar la réplica y adaptación del método en otros contextos socioculturales y ambientales. De hecho, vemos estas secciones como objetos estéticos que democratizan la ciencia de una manera novedosa en el museo, mostrando la historia volcánica poco conocida del territorio por parte de sus habitantes. Esto es importante porque la comunidad local tiende a percibir la erupción de 2008 como un evento único, lo que limita su conciencia de los peligros, a pesar de múltiples erupciones documentadas. Detallamos las etapas del proyecto y sugerimos mejoras metodológicas que podrían ser útiles para los actores involucrados en el geopatrimonio, el geoturismo, la investigación y la educación.

PALABRAS CLAVES

Archivo estratigráfico; Secciones epóxicas; Chaitén; Concienciación sobre riesgo volcánico; Reducción transdisciplinaria del riesgo; Chile

VOLCANIC STRATIGRAPHY ARCHIVING IN PATAGONIA AS A TOOL FOR CONSERVATION,
OUTREACH, AND RISK AWARENESS

ABSTRACT

This paper describes how we use volcanic stratigraphy archives, called 'sediment plates' or 'epoxy plates', primarily as a communication tool to raise hazards and risk awareness in Chaitén, Chile. The epoxy plates (and associated audiovisual contents) were created through a transdisciplinary collaboration between social and physical volcanologists, and the Museo de Sitio de Chaitén - dedicated to preserve the memory of the 2008 volcanic disaster. The main objectives of this work are to (i) highlight the value of epoxy plates, as a risk education tool, based on the case of Chaitén; and (ii) enable the replication and adaptation of the method in other socio-cultural and environmental contexts. We see the epoxy plates as aesthetic objects that make science accessible to the public in a new way at the local museum, revealing the unknown volcanic history of the area. This is important because the local community tends to consider the 2008 eruption as a unique and exceptional event, which inherently biases their risk awareness, as volcanological studies report various eruptions of Chaitén. We detail the stages of the project and possible methodological improvements that could be useful to actors involved in geoheritage, geotourism, research and education.

KEYWORDS

Stratigraphy archive; Epoxy plates; Chaitén; Volcanic risk awareness; Transdisciplinary risk reduction; Chile

1. University of Cambridge,
Department of Geography,
Cambridge, Reino Unido.

2. Servicio Nacional de
Geología y Minería, Santiago
de Chile, Chile.

3. New York University,
Gallatin WetLab, New York,
EE.UU.

4. Fundación Procultura -
Museo de Sitio, Chaitén, Chile.

*Autora de correspondencia:
jmm266@cam.ac.uk

DOI:

[https://doi.org/10.55467/
reder.v8i1.151](https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.151)

RECIBIDO

6 de september de 2022

ACEPTADO

17 de agosto de 2023

PUBLICADO

1 de enero de 2024

Formato cita

Recomendada (APA):

Morin, J., Perales, C., Bono, L., Zúñiga, L., Holmberg, K., Gómez, C., Donovan, A., Amigo, Á., & Castillo, D. (2024). Archivos de tefroestratigrafía en Patagonia como herramienta de conservación, divulgación y concientización de riesgos volcánicos. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 8(1), 56-74. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.151>



Todos los artículos publicados en REDER siguen una política de Acceso Abierto y se respaldan en una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)

INTRODUCCIÓN

Chaitén, el volcán 'descubierto' en 2008

El pueblo de Chaitén (capital de la Provincia de Palena, Región de Los Lagos, al norte de la Patagonia chilena: 42°54'57,46"S; 72°42'22,75"O) se encuentra a sólo 10 km al suroeste del volcán homónimo. Está construido en una llanura aluvial drenada por las cuencas del volcán Chaitén (1,120 m s.n.m.) y del volcán Michinmahuida, situado a 25 km al noreste. Además de estar expuesto a los peligros volcánicos, Chaitén posee alto riesgo debido a la falta de rutas de evacuación (ver el mapa de ONEMI & SERNAGEOMIN, 2020) al y a la falta de preparación en caso de un evento eruptivo.

El pueblo y el volcán resaltaron a nivel nacional e internacional por la erupción de 2008, cuyos precursores fueron sentidos por la población local y detectados desde la red de vigilancia de otro edificio volcánico situado a más de 300 km (Lara, 2009). Éstos se atribuyeron inicialmente al volcán Michinmahuida, ya que no se conocían erupciones históricas del Chaitén en ese momento. Hubo que esperar el inicio de la erupción, el 2 de mayo, para atribuir la actividad sísmica al despertar del Chaitén. La erupción se caracterizó por alrededor de dos semanas de actividad sub-pliniana a pliniana, con columnas de hasta 20 km de altura (Pallister et al., 2013) y una importante emisión de ceniza que cubrió gran parte del territorio chileno y argentino en esa latitud (Alfano et al., 2011; Carn et al., 2009; Durant et al., 2012). Casi toda la población fue evacuada en dos días, debido a la preocupación por flujos piroclásticos que se podrían generar por el colapso de la pluma. La evacuación fue principalmente vía marítima, siendo el 7 de mayo cuando se evacuó a las últimas personas presentes, incluyendo fuerzas policiales (Müller, 2009 in Parra, 2016). Entre el 11 y el 20 de mayo, precipitaciones intensas provocaron lahares secundarios y la avulsión del Río Blanco, cortando en dos y destruyendo gran parte de Chaitén (Pierson et al., 2013; Umazano et al., 2014). Luego de la actividad explosiva, se generó un complejo de domos riolíticos al interior de la caldera durante aproximadamente 20 meses (Major & Lara, 2013), y produjo algunos colapsos que generaron flujos piroclásticos que casi llegaron al pueblo de Chaitén (Duhart et al., 2009).

La erupción de 2008 fue un acontecimiento importante para el país, con muchos impactos sociales a largo plazo ampliamente descritos en la literatura (e.g., Arteaga & Ugarte, 2015; Berezin, 2018; Berroeta et al., 2015; Crovetto, 2015; Espinoza, 2015; Espinoza et al., 2015; Sandoval Henríquez, 2017; Larenas et al., 2015; Maldonado et al., 2020; Mandujano et al., 2015; Mardones et al., 2010; Reyes Herrera et al., 2014; Tapia, 2015; Torrent et al., 2016; para una visualización de los impactos, ver también la publicación gráfica de Holmberg et al., 2023). Además, tuvo fuertes implicaciones científicas, ya que hubo un considerable aumento en la capacidad de monitoreo volcanológico en Chile, especialmente con la creación de la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV), lo que reforzó los recursos para el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS), creado en los años 90 (Amigo, 2021). Por otro lado, numerosos estudios geológicos a nivel local (Amigo et al., 2013; Lara et al., 2013; Watt et al., 2013) llevaron a una reevaluación del nivel de peligro y riesgo asociado al volcán Chaitén (Lara & Calderón, 2015), ahora considerado el undécimo volcán más peligroso del país (SERNAGEOMIN, 2019).

Por su parte, el Museo de Sitio de Chaitén, inaugurado en 2021, se creó para preservar la memoria de la catástrofe de 2008, conservando ruinas de casas dañadas junto a una edificación nueva con salas de exposición en las que se está desarrollando una sección sobre la historia del pueblo y del volcán. Uno de los objetivos de este apartado es la reducción del riesgo volcánico a través de la sensibilización de la población con respecto a la historia de los eventos eruptivos ocurridos en la zona.

Mejorar la percepción de amenazas volcánicas en el territorio de Chaitén

En noviembre de 2021, representantes del Museo de Sitio, del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, responsable del monitoreo y análisis de peligros volcánicos en Chile), y del proyecto Imagine¹, se encontraron en Chaitén, cada uno buscando soluciones para adquirir, desarrollar y compartir conocimientos sobre el volcán y el territorio. Por ello, se organizó un taller con un grupo focal constituido por representantes de las autoridades y de la población. Coincidieron en la necesidad de aumentar el conocimiento local sobre el volcanismo y sensibilizar sobre los peligros y riesgos, de una manera más accesible y comprensible para todos. Este objetivo común responde a necesidades específicas:

- » las autoridades locales quieren que los ciudadanos tengan los conocimientos necesarios para responder a un futuro evento adverso;

1. <https://www.imagingrisk.com/imagine/>

- » muchos chaitenina/os expresan su deseo de obtener más información sobre el tema;
- » el Museo de Sitio necesita material para complementar su exposición, sobre todo para concientizar sobre los peligros y riesgos volcánicos;
- » el SERNAGEOMIN busca comunicar efectivamente los peligros a la población para favorecer respuestas adecuadas, en particular cuando cambian los niveles de alerta.
- » los miembros del proyecto Imagine intentan comprender cómo se articulan los conocimientos locales y científicos, y cómo encontrar formas de comunicación para mejorar su intercambio.

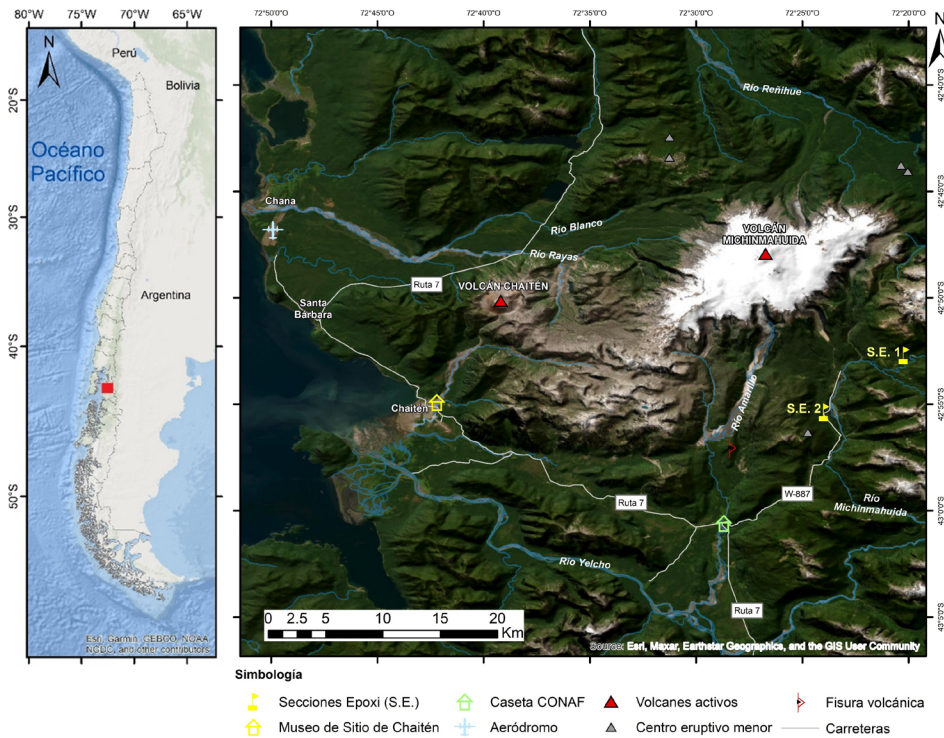


Figura 1. Ubicación de las secciones epóxicas realizadas en el territorio de Chaitén
Fuente: C. Perales, 2023.

Una serie de encuestas por entrevista ($n=39$) y observaciones etnográficas realizadas a los habitantes y autoridades de Chaitén en 2021 y 2022 (datos no publicados, proyecto Imagine) revela una limitada percepción del riesgo volcánico, lo que también destacan Lara & Calderón (2015), específicamente en la población joven entre 13 y 19 años (Albornoz et al., 2014). Hemos optado por no desarrollar aquí la metodología de la encuesta, pues queda fuera del ámbito de este artículo, pero a continuación destacamos algunos puntos clave. Cuando el Chaitén entró en erupción en 2008, la memoria local no tenía constancia de erupciones anteriores de este volcán, y mucha gente lo consideraba como un cerro. En 2017, 1.639 habitantes se habían reasentado (INE, 2017) y la población ha seguido creciendo desde entonces (no se dispone de un censo más reciente, pero varios entrevistados de Imagine mencionan una cifra en torno a los 4.000 habitantes). Algunos de ellos son residentes recién llegados y otros corresponden a nuevas generaciones de niños y adolescentes que no vivieron la erupción de 2008 o no la recuerdan. La mayoría de los residentes, incluyendo los que vivieron los eventos de 2008, asocia la destrucción de Chaitén con el Río Blanco (no con el volcán), y desconocen la frecuencia y la magnitud potencial de las erupciones y sus potenciales impactos. La concientización sobre los peligros puede ser un paso importante en la reducción del riesgo de desastres (e.g. Newhall & Solidum, 2017). En el contexto de Chaitén, dicha concientización está vinculada a la capacidad de mostrar que el evento de 2008 no fue un hecho aislado, y que la frecuencia y la magnitud de las erupciones en el pasado probablemente significa que la de 2008 no fue la última erupción y que es plausible un nuevo evento, lo que, junto a variables de vulnerabilidad, ubica a este sistema volcánico en la categoría I del Ranking de Riesgo Específico de SERNAGEOMIN (2019).

Una forma tangible de evidenciar la historia eruptiva de un volcán es reconocer sus depósitos, los que pueden entregar información sobre cuándo y cómo entró en erupción el volcán. Por lo tanto, el hallazgo de afloramientos puede proporcionar un libro abierto sobre la historia volcánica. Los afloramientos que muestran la actividad eruptiva del volcán Chaitén no son todos visibles en el propio pueblo, sin embargo, se pueden encontrar en distintos puntos de la región, como en las laderas del volcán en zonas remotas y relativamente inaccesibles donde la mayoría de los chaiteninos nunca va. SERNAGEOMIN ha descrito varios en los valles de los ríos Michinmahuida, Amarillo y Turbios. Ante eso, nos preguntamos si sería factible trasladarlos al pueblo para que habitantes y turistas pudieran descubrirlos. Encontramos una respuesta positiva en la literatura sobre archivos sedimentarios. De hecho, Douillet et al. (2018) señalan que los sedimentólogos, paleontólogos y arqueólogos llevan décadas utilizando métodos de *'lacquer peels'* para "imprimir" afloramientos, y demuestran que los sedimentos volcánicos responden bien a estos métodos.

Por esta razón, decidimos desarrollar este método en Chaitén, para generar insumos que sensibilicen a la población local y visitante sobre los riesgos volcánicos. Al describir la aplicación de este método en el territorio de Chaitén, este artículo pretende: (1) confirmar el interés del método para fines educativos, y afirmar la necesidad de producir contenidos que permitan descifrar las secciones realizadas (dando un ejemplo concreto de implementación en el museo local); y (2) aportar elementos técnicos, complementarios de los proporcionados por Douillet et al. (2018), que permitan reproducir fácilmente el método.

METODOLOGÍA

Elaboración de secciones epóxicas

Revisión bibliográfica

El método empleado para este trabajo, mediante el endurecimiento de una resina epoxi impregnada *in situ*, permite conservar las características de depósitos en su estado original (texturas y estructuras sedimentarias). Douillet et al. (2018) han realizado una revisión bibliográfica a la que se puede recurrir para obtener una síntesis del desarrollo histórico del método y de las publicaciones que relacionan sus aplicaciones en diversos campos disciplinarios, desde la sedimentología costera hasta la arqueología, la paleontología o la botánica, pasando por aspectos técnicos como los tipos de resinas utilizados. De ello, otros trabajos han propuesto mejoras metodológicas específicamente sobre sedimentología lacustre (Dhavamani et al., 2020; Schimmelmann et al., 2018). Douillet et al. (2018) también señalan que los depósitos piroclásticos responden muy bien al método de impregnación, mencionando en particular los trabajos de De Rosa et al. (1992) en Italia y Klapper et al. (2010) en las Azores, señalando que secciones epóxicas piroclásticas están expuestas en varios museos volcánicos del mundo. A continuación, nos limitamos a resumir los principales puntos que Douillet et al. (2018) han planteado.

Para empezar, señalan que el término *'lacquer peel'* que se encuentra en la literatura, se refiere a la producción de láminas extremadamente delgadas y flexibles, y no es muy adecuado para designar el método de impregnación epóxica de depósitos volcánicos que produce placas más gruesas. De hecho, el método consiste en realizar secciones estratigráficas en forma de placas rígidas de unos decímetros a unos metros cuadrados y de unos milímetros a unos centímetros de espesor. Por esta razón, Douillet et al. (2018) proponen utilizar el término *'sediment plates'*, que se traduce literalmente al español como *placas sedimentarias*. No obstante, en este trabajo se propone el concepto en español de "secciones epóxicas", ya que hace alusión al resultado producto de la extracción de segmentos expuestos de depósitos geológicos, sin distinción en cuanto a su génesis, mediante la impregnación de resina epóxica. Consideramos que el concepto de "secciones epóxicas" es de fácil comprensión y retención en el lenguaje español no científico. Por otro lado, este concepto simple ("secciones epóxicas") es de carácter genérico, por lo que no excluye agregar detalle al nombre de los trabajos que se realicen en el futuro, por ejemplo: "secciones epóxicas de depósitos volcánicos"; "secciones epóxicas de afloramientos sedimentarios", etcétera, por lo que resulta un concepto versátil y adaptable a gusto de quien aplique el método.

La técnica de producción consiste en impregnar la superficie de un afloramiento con una resina inicialmente poco viscosa que puede penetrar en los depósitos por acción capilar y que se endurezca al secarse. Una vez que la resina está seca, se despega y revela todas las estructuras y texturas sedimentarias en la cara interna (la que estaba pegada al afloramiento), hasta un nivel de detalle que no se aprecia de otro modo, sin que se produzca ninguna alteración de las partículas

ni degradación de las estructuras. De esta manera, se conserva un registro completo de la historia de la deposición, y las placas poseen el carácter de depósitos consolidados (Douillet et al., 2018).

Esto permite prever diversas actividades de investigación, ganando en calidad (análisis texturales y estructurales a escala de la lámina, aumento del contraste visual de los detalles, consolidación de los sedimentos estratificados inicialmente sueltos facilitando algunas muestras y técnicas de análisis; *ibid.*). También permite que futuros investigadores tengan acceso a un conjunto de datos inalterados mucho después de la erosión del afloramiento natural para futuras técnicas de investigación (*ibid.*). Por último, las secciones epóxicas logran un gran impacto en museos, como obras de arte, y como herramientas educativas y de divulgación en general (*ibid.*). Sin embargo, los detalles de su uso en estos contextos están casi ausentes de la literatura científica.

Metodología adaptada y desarrollada en Chaitén

La primera etapa fue elegir una resina epoxi. La selección se basó en la escasa disponibilidad de productos que llegasen a tiempo a Patagonia, en un contexto de dificultades de suministro debido al COVID-19. Inicialmente, nos planteamos usar la resina recomendada por el autor principal de Douillet et al. (2018), pero no fue posible realizar la entrega en Sudamérica. Finalmente, la empresa Fibratex (www.fibratex.cl) nos suministró 15 kg de resina 'Epoxi Novolac de alta reactividad #2192' "apta para curado en baja temperatura y de excelente comportamiento en capas delgadas", y de 'Endurecedor #2192 Poliamida de alta reactividad "con alta adherencia a sustrato poroso, capaz de generar exotermia en condiciones climáticas desfavorables", gelificando en 15 minutos a 22°C, y endurecido en una hora a 22°C. Fueron los productos disponibles más acordes a nuestros requisitos:

- » baja viscosidad para asegurar la capilaridad en los sedimentos;
- » transparencia para no alterar el color de las capas de sedimentos;
- » tiempo de secado menor de unos 15 minutos y mayor de 24 horas excluido, para poder aplicar capas sucesivas manteniendo el principio de capilaridad después de la primera capa, y para que sea posible recuperar a las secciones sin superar dos días entre aplicación y recuperación;
- » ambiente con altas humedad y amplitud térmica (temperatura ambiente potencialmente entre 5 y 20°C durante la aplicación y variando mucho más durante la fase de secado).

Aparte de la resina, la operación requiere la compra de toda una lista de materiales detallados en la Tabla 1.

Material	Finalidad	Finalidad				
		Preparación del afloramiento	Preparación del epoxi	Aplicación del epoxi	Recuperación y transporte	Exposición
Epoxi	Impregnar los depósitos sedimentarios		x			
Endurecedor	Conseguir que la resina impregnada forme una placa dura		x			
Acetona u otro diluyente epóxico	Fluidificar el epoxi		x			
Mascara de gas + filtros	Proteger a los pulmones			x		
Gafas protectoras	Proteger a los ojos			x		
Caja de guantes de látex	Proteger a la piel			x		
Guantes de trabajo	Proteger las manos durante la excavación, etc.			x		
Overol	Proteger la ropa (también cubre los zapatos)			x		
Cajas grandes	Almacenar el material				x	
Pala (la más plana posible)	Excavar y nivelar el afloramiento	x				
Cuchillo de suelo	Nivelar el afloramiento con precisión / Ayudar a despegar la sección cuando está seca	x			x	

(continúa en la siguiente página)

Continuación

Material	Finalidad	Preparación del afloramiento	Preparación del epoxi	Aplicación del epoxi	Recuperación y transporte	Exposición
Lona carpa	Proteger el afloramiento durante la aplicación del epoxi hasta que se seque	x		x	x	
Cinta métrica	Medir la sección y las piezas de madera	x			x	x
Madera (listones y tablas)	Preparar soportes para la realización de las secciones / Apoyar el transporte / Construir una estructura de exposición (marco o caballete)	x			x	x
Sierra	Cortar la madera	x				x
Martillo y clavos	Armar la madera	x				x
Balanza pesa	Pesar resina/endurecedor con mucha precisión		x			
Bol en metal de gran ancho	Hacer las mezclas resina/endurecedor		x	x		
Paleta	Mesclar resina/endurecedor		x	x		
Pulverizadores de presión	Humedecer el afloramiento si es necesario	x				
Tanque de agua lleno	Humedecer el afloramiento si es necesario	x				
Brochas con pelo natural (muchas, mínimo 15)	Aplicar el epoxi			x		
Llana dentada	Alisar el epoxi de la última capa aplicada			x		
Tijeras	Cortar pequeñas raíces				x	
Cúter	Cortar la resina que se extiende fuera del marco de madera				x	
Espuma para embalaje / cobertura	Proteger a las secciones durante el transporte				x	
Scotch	Envolver las secciones para el transporte				x	
Bolsa de basura	Proteger el suelo de las gotas de epoxi / Quitar los residuos				x	
Cola epoxi	Fijar la sección a un marco					x
Sistema de iluminación para resaltar el afloramiento	Observar los detalles de la sección					x
Cuando corresponda, tabletas + soportes seguros con cerradura	Proporcionar contenidos audiovisuales					x

Tabla 1. Lista de materiales necesarios para la realización de secciones epóxicas

Fuente: J. Morin, 2023.

La segunda etapa fue el proceso de aplicación mismo que incluye diversos pasos:

- » limpiar el afloramiento y hacerlo lo más suave posible (Figura 2-a), para que la placa de resina resultante sea lo más recta y fuerte posible;
- » equipar (o no) el afloramiento con un armazón de madera, total o sólo lateral;
- » equiparse con protección ocular, cutánea y respiratoria, ya que el epoxi es tóxico en su forma líquida;
- » proceder a la mezcla entre la resina y el endurecedor respetando la proporción 2:1 (Figura 2-b);
- » pintar con una brocha de arriba abajo la primera capa, luego seguir con dos capas adicionales (Figura 2-c).

La tercera etapa consiste en regresar más de 48 horas después para retirar las secciones una vez que hayan endurecido, e idealmente dejarlas al menos 48 horas más en posición horizontal para que la resina se fortalezca antes de su transporte (Figura 2-d). Una vez seca la sección, se puede limpiar cuidadosamente con una brocha y/o aire para eliminar los clastos que no han sido impregnados por la resina, sino que se han quedado pegados debido a la humedad del depósito.



Figura 2. Proceso de preparación, impregnación, y recuperación de un afloramiento con resina epoxi
Fuente: a) y c): K. Holmberg, b) L. Bono, d) J. Morin, 2023.

Elaboración de contenidos audiovisuales

Sin una explicación coherente y didáctica, las secciones presentadas en el museo sólo serían una obra de arte. Por lo tanto, serán acompañados de contenidos audiovisuales interactivos que describan su elaboración y significado, así como el proceso de investigación interdisciplinaria. Los contenidos audiovisuales, se mostrarán en una pantalla táctil con auriculares situada junto a la sección en el museo. Estos contenidos, cuya producción está en curso hasta la fecha, comprenden:

- » Una fotografía 360° del lugar de origen de las secciones epóxicas, la cual proporcionará una guía de lectura interactiva con botones clicables (Figura 3). Cada botón abre un audio (Figura 3-a), una explicación textual (Figura 3-b), una foto, video, o figura (Figura 3-c), que proporciona información relatada, tanto por parte de los científicos, como de los habitantes de la zona, haciendo su propia interpretación del paisaje y de los fenómenos y riesgos volcánicos. Esta fotografía es parte de un proyecto más amplio de recopilación de las percepciones del ambiente volcánico (Voces de Volcanes; Morin et al., 2022), cuyo objetivo es presentar los conocimientos locales, científicos y técnicos al mismo nivel, sin favorecer a uno de ellos, para que todos puedan tomar conciencia de los conocimientos y perspectivas de los demás. Por ello, algunos botones están dedicados a acceder directamente a otros entornos de proyecto (Figura 3-d).
- » Un documental muy corto (3 minutos) sobre el proceso de investigación para mostrar al público cómo las ciencias sociales y humanidades y las ciencias físicas pueden interactuar para construir y compartir información.
- » Un mapa de los lugares donde se hicieron las secciones, y de los lugares conocidos por los científicos donde aparecen las mismas capas volcánicas en el territorio.



Figura 3. Varios tipos de descripción disponibles en la fotografía 360° donde se hizo la sección 1

Fuente: Capturas de pantalla desde el sitio <https://www.geog.cam.ac.uk/research/projects/volcanovoices/scenes/los-turbios-estratigrafia/>

Nota: Proyecto en diseño en septiembre de 2022, elementos no definitivos.

En conjunto, las secciones y los contenidos audiovisuales ayudarán al destinatario a reflexionar sobre las implicaciones de vivir cerca de un volcán examinando el historial de erupciones pasadas (y posiblemente tomando medidas para prevenir desastres).

RESULTADOS

Descripción de las secciones

Hemos realizado dos series de secciones epóxicas en el valle del río Michinmahuida. Los depósitos volcánicos presentes en la primera sección epóxica se encuentran a casi 26 km al este del volcán Chaitén y a 12,5 km al sureste de la cumbre del volcán Michinmahuida. Por su parte, la segunda sección epóxica fue obtenida de los depósitos volcánicos ubicados en la ruta W-887, a cerca de 14 y 23 km al sureste de los volcanes Michinmahuida y Chaitén, respectivamente (Figura 1).

Sección Epóxica 1: Erupción Chaitén 2008 y evento estromboliano histórico.

Esta sección epóxica comprende los dos últimos eventos eruptivos que tuvieron lugar en la zona: la erupción del volcán Chaitén iniciada en mayo de 2008 y un evento eruptivo escoriaéreo más antiguo, posiblemente correspondiente al evento señalado por Darwin (1840), quien lo atribuye al volcán Michinmahuida (Figura 4).



Figura 4. Sección epóxica I, al momento de extraer un ejemplar (a) y el resultado proceso (b)

Fuente: C. Perales, 2023.

Nota: Los depósitos corresponden a la erupción del volcán Chaitén de 2008 y un evento histórico, posiblemente asociado al volcán Michinmahuida.

El depósito asociado a la erupción del volcán Chaitén de 2008 consiste en una capa blanquecina de ceniza, bien seleccionada, con contactos netos pero irregulares, el cual no supera los 15 cm de potencia y se encuentra en el eje de dispersión de la columna eruptiva (Lara, 2009).

Por su parte, la erupción citada por Darwin (1840) ocurrida en el año 1835 y que atribuye al volcán "Minchinmadom" (Michinmahuida) pudo haber generado los depósitos que se encuentran estratigráficamente bajo la capa blanquecina de la erupción del volcán Chaitén de 2008. Estos depósitos escoriaéreos conforman una secuencia piroclástica rítmica de diferentes granulometrías, desde ceniza fina a lapilli fino, cada capa bien seleccionada, con fábrica clastosoportada cuando la granulometría es más gruesa. En general, la coloración de los piroclastos es gris negruzco, resaltando algunos niveles de coloración pardo grisáceo. De acuerdo con las características del depósito, el estilo eruptivo asociado es de tipo estromboliano, lo que pudo haber sido generado en una erupción fisural del volcán Michinmahuida, de acuerdo al relato de Mr. Douglas a C. Darwin, quien señala "...cinco pequeñas llamaradas rojas dispuestas en línea, equidistantes una de la otra..." (Darwin, 1840). Aunque se reconocen, mediante la visualización de imágenes satelitales, dos estructuras fisurales en los bordes noreste y suroeste de la caldera del volcán Michinmahuida, es probable que la fuente del depósito escoriaéreo de la sección epóxica 1 sea la fisura suroccidental, pues las observaciones descritas por Mr. Douglas fueron realizadas desde la isla Cauahue, ubicada al este de la isla grande de Chiloé, a la latitud del poblado de Quemchi, desde donde se ve preferentemente el borde suroccidental del volcán Michinmahuida. No obstante, mayores antecedentes son necesarios para establecer con certeza el origen de tales escorias.

La sección epóxica 1 fue replicada tres veces, quedando un ejemplar (de mejor estado) en el Museo de Sitio de Chaitén para su exhibición, un ejemplar de condiciones aceptables a disposición de SERNAGEOMIN para uso en ferias de divulgación volcánica, y un ejemplar de menor tamaño y con más defectos fue trasladado a la Universidad de Cambridge para uso en clases de volcanología y ciencias cuaternarias.

Sección epóxica 2: Erupciones MICH-1 y CHA-2.

La sección epóxica 2 está conformada por los depósitos de dos erupciones explosivas de los volcanes Michinmahuida y Chaitén (Figura 5), denominadas MICH-1 y CHA-2, respectivamente (Naranjo & Stern, 2004; Watt et al., 2013; Amigo et al., 2013).

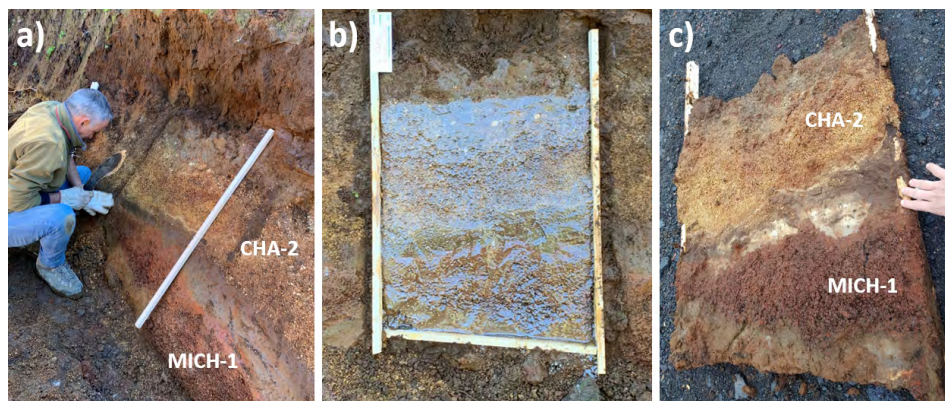


Figura 5. Extracción de sección epóxica 2 a un costado de ruta W-887: a) depósitos de interés; b) sección epóxica enmarcada durante el secado y c) resultado final
Fuente: C. Perales, 2023.

La más antigua de ellas corresponde a la erupción MICH-1, de edad cercana a los 7.500 años AP (~7,6 ka AP, Amigo et al., 2013; 7,5-7,1, Moreno et al., 2015; 7,42-7,02, Naranjo & Stern, 2004). Los depósitos de caída asociados a esta erupción se caracterizan por una coloración pardo rojiza, y está compuesta por escorias angulosas en fábrica clasto-soportada. Los piroclastos de mayor tamaño predominan al centro de las capas, indicando que la erupción, de carácter sub-pliniano, fue aumentando en explosividad en el tiempo, para luego decrecer su intensidad. No obstante, en algunos sectores se han reconocido depósitos de corriente de densidad piroclástica sobre la caída de MICH-1, evidenciando el colapso de la columna eruptiva al término de la erupción. Watt et al. (2013) estimaron un volumen de tefra emitido de 1,5 km³.

Posteriormente, y hace 5,3-4,9 ka AP (Amigo et al., 2013; Moreno et al., 2015; Naranjo & Stern, 2004) ocurre la erupción pliniana CHA-2 del volcán Chaitén, con un volumen de tefra emitida tres veces mayor que la erupción MICH-1, siendo 4,7 km³ según Watt et al. (2013). Los depósitos de caída de la erupción CHA-2 se caracterizan por estar compuestos de pómez de coloración pardo amarillenta, en fábrica clasto-soportada. La dispersión de tefra fue hacia el este del volcán Chaitén (Amigo et al., 2013), encontrándose depósitos de 120 cm de potencia a 26 km de la fuente.

En este sector se obtuvo un ejemplar de la sección epóxica 2 que abarca los depósitos de MICH-1 y CHA-2, y otro ejemplar que comprende sólo el depósito de la erupción CHA-2, los que se exhibirán en el Museo de Sitio de Chaitén para mostrar eventos eruptivos antiguos de los volcanes principales de la zona y cómo se observan en lugares de acceso público.

Descripción de la implementación en el museo

El Museo de Sitio de Chaitén está ubicado en la manzana 8 de la ciudad, junto al lecho del Río Blanco, exactamente en las nacientes del nuevo cauce que atraviesa la ciudad y la divide en dos. Debido a su ubicación, es posible observar los depósitos laháricos y de ceniza en los bancos del río, funcionando como un atractivo que complementa a la puesta del museo. El museo cuenta con restos de nueve viviendas dañadas por los lahares secundarios y la caída de ceniza, productos de la erupción de 2008, más una construcción nueva donde se realizan exhibiciones y actividades bajo techo, asociadas a la reducción del riesgo volcánico. Dentro de dicha construcción, la exposición permanente incluirá:

- » una línea de tiempo que mostrará la evolución de la erupción desde las perspectivas sociales y volcanológicas, relatando cronológicamente desde los precursores sísmicos en 2008 hasta el regreso de la población en 2011;

- » un muestrario litológico de las rocas formadas durante la erupción de 2008 con una reseña que explique su formación, propiedades y usos;
- » un segmento sobre el monitoreo sísmico del volcán, en tiempo real;
- » una cámara de inmersión con proyección de las Cuevas del Vilcún que forman parte del patrimonio gearqueológico local (Labarca et al., 2021);
- » un muro de pantallas táctiles que permite a los visitantes experimentar distintas vistas del territorio en fotografías de 360 grados (proyecto Voces de Volcanes descrito brevemente anteriormente; Morin et al., 2022);
- » y las secciones epóxicas (Figura 6) que contarán con un mapa de los puntos de extracción, más una reseña que explique la estratigrafía observada (montaje final aún en desarrollo) y una pantalla táctil con el contenido audiovisual.

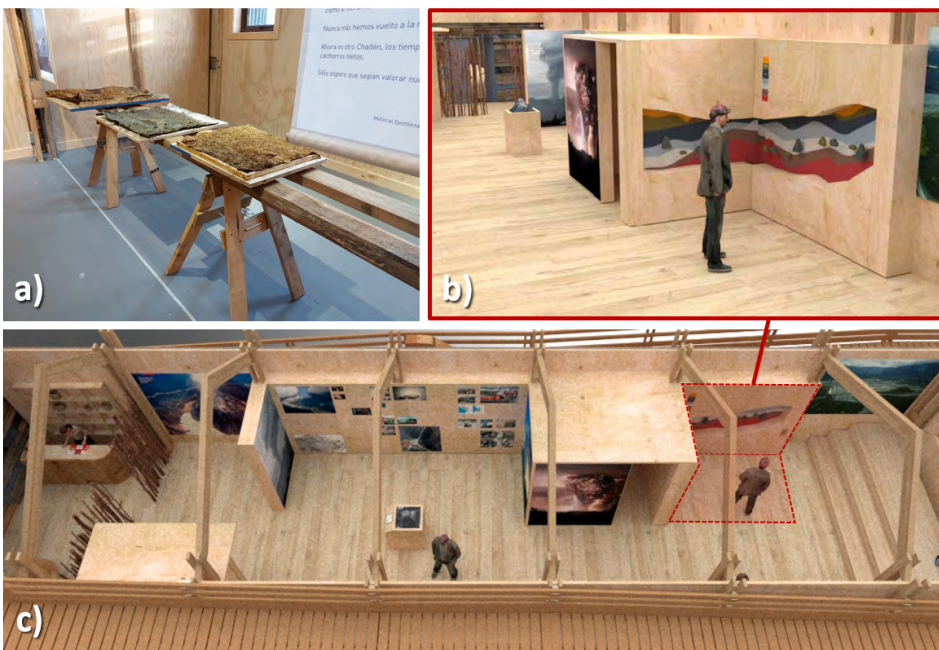


Figura 6. Implementación de las secciones en el Museo de Sitio de Chaitén: a) exposición temporaria, b y c) previsualización de los espacios dedicados a las secciones estratigráficas
Fuente: a) D. Castillo, b) y c) Fundación Procultura, 2023.

Estos diferentes entornos temáticos se complementan entre sí para proporcionar información sobre la historia eruptiva, los peligros, los riesgos, la mitigación de riesgos y la gestión de crisis (incluidas el monitoreo, las alertas, y las medidas de prevención), con el fin de sensibilizar a la población local y a los turistas.

Contenido audiovisual

El contenido audiovisual, proporcionado tanto en español como en inglés, se presentará en una pantalla situada cerca de los archivos, y estará disponible en línea a través de un código QR. La descripción de las secciones se facilitará al público con dos niveles de complejidad: un nivel simplificado sin tecnicismos, para público general, y un nivel con una descripción más profunda y técnica (como la presentada en los párrafos anteriores y en Figura 3-c) para un público más informado. La idea actual de estos contenidos podría evolucionar en función de las necesidades que se identifiquen en el público objetivo.

Conversatorio con la comunidad

Se planea realizar una actividad inaugural, que reúna a los ejecutores del proyecto y a la comunidad local en el museo, para captar las primeras reacciones de los lugareños, su discurso, sus expectativas en términos de información, y preguntarles si la exhibición les permite percibir el riesgo de forma diferente. Esto se llevará a cabo mediante un debate de grupo focal, lo que ayudará a ajustar los contenidos audiovisuales según las necesidades expresadas.

La Fundación Procultura, administradora actual del Museo de Sitio, ha conseguido financiamiento para garantizar el carácter permanente de la exposición y su mantenimiento a lo largo de los años, de modo que los resultados del proyecto se mantengan mucho tiempo después de su finalización.

DISCUSIÓN

Vemos las secciones epóxicas (y el contenido audiovisual asociado) como un objeto estético que permite a la ciencia ser accesible al público de una manera original y tangible. Como las secciones epóxicas han sido duplicadas para su exhibición fuera de Chaitén -en Chile y en el extranjero- el proyecto llegará a públicos amplios y diversos. Su implementación también es asociada a potenciales transferencias de conocimiento y mejoras metodológicas que podrían ser útiles para los actores involucrados en el geopatrimonio, el geoturismo, la investigación y la educación en distintos niveles.

Secciones epóxicas: una primicia en el territorio chileno

Desarrollo de competencias nacionales e implicaciones para el territorio

Con sus numerosos centros volcánicos activos, Chile es un país ideal para extraer depósitos con resina epóxica con fines de investigación o educativos. La fabricación de las secciones epóxicas conlleva una adquisición permanente de conocimientos, teóricos y prácticos, para poder reproducir la metodología en otros contextos. El propósito de este artículo es entregar los antecedentes a otros grupos -científicos o no- para que utilicen este método, ya sean chilenos, latinoamericanos o hispanohablantes de otras partes del mundo.

Aunque el proyecto fue propuesto originalmente por la Universidad de Cambridge, no se trata de una transferencia de competencias desde entidades extranjeras hacia la comunidad científica y civil local, sino de un aprendizaje colectivo que se realizó mediante la ejecución conjunta del proyecto en terreno. Sin embargo, hay que destacar dos elementos relevantes:

1. En efecto, hubo una primera transferencia de conocimientos entre científicos extranjeros, basada en el artículo de Douillet et al. (2018) y a través de comunicaciones personales dadas por Guilhem Douillet y Ulrich Kueppers. No obstante, el contexto del territorio chaitenino exigió importantes adaptaciones, lo que implicó modificar el método *in situ*.
2. Además, se debe destacar que la realización *in situ* no habría sido posible sin el profundo conocimiento del terreno por parte de los miembros chilenos del proyecto y una relación de confianza con los habitantes de la zona.

Con respecto a la exhibición, la formación del personal del museo es un elemento fundamental para complementar los contenidos audiovisuales a la hora de acoger a los visitantes. En nuestro caso, el Museo de Sitio cuenta con una geóloga contratada, garantizando una comunicación fluida con los científicos, que a su vez deben priorizar el uso de un lenguaje no técnico para transmitir la información de manera comprensible y efectiva a todo público (Milch et al., 2019).

El método abre infinidad de posibilidades para exposiciones artísticas y/o científicas, induración de depósitos sedimentarios con fines de investigación, formación de estudiantes y educación en las escuelas y el público en general, con el potencial, en su caso, de concientizar sobre los peligros a los que están expuestas las personas.

Recomendaciones y necesidad de mejoras técnicas

Quien desee desarrollar el método de impregnación epoxi debe considerar las adaptaciones que se requiera según las condiciones del terreno.

El primer factor determinante es el acceso potencialmente difícil a los materiales, especialmente la resina, endurecedor y el agente diluyente. Por ejemplo, no nos fue posible adquirir acetona o diluyente epóxico para diluir la resina, y nuestros intentos de diluir con gasolina y diluyente universal no fueron efectivos. Así, la resina carente de fluidez complicaba su aplicación, obligándonos a aplicar más mezcla con paleta para que la resina fluyera de arriba a abajo y a pintar sobre la marcha antes de su endurecimiento, en lugar de hacerlo con una brocha de manera calmada y uniforme. De hecho, una vez iniciado el proceso de solidificación, el principio de capilaridad deja de funcionar para las siguientes aplicaciones de capas. Esta dificultad para

obtener una resina con la consistencia deseada a una velocidad de endurecimiento adecuado está probablemente relacionada con un segundo factor a tener en cuenta: las condiciones pedoclimáticas locales.

Las condiciones climáticas de Chaitén hacen que la construcción de las secciones epóxicas sea compleja: las temperaturas medias son relativamente frías (10,8°C en marzo, cuando se obtuvieron las secciones²), lo que constituye un problema, pues la mayoría de los epoxis disponibles en el mercado deben ser aplicados a una temperatura ambiente de unos 20°C. Además, el epoxi no puede aplicarse bajo la lluvia, situación recurrente en la zona (353 mm de media en marzo), por lo que es necesario proteger la sección de las precipitaciones (Figura 7-a), implicando desafíos en la logística del trabajo. En nuestro caso, la aparición intermitente de los rayos solares implicó una fuerte y rápida amplitud térmica (que evaluamos en unos 10°C), licuando la resina en un momento en que el proceso de gelificación ya había comenzado. Esto sugiere que cualquier sección epóxica debería estar "cubierta por sombra" y llevarse a cabo en condiciones meteorológicas favorables y estables.

Por supuesto, es esencial elegir la resina adecuada considerando estos factores, e idealmente, contar con asesoramiento oportuno de un especialista en química o ciencia de los materiales al momento de seleccionar una resina dadas ciertas condiciones ambientales de aplicación. El tipo de depósito también puede implicar adaptaciones, por ejemplo, una resina que no se haya diluido lo suficiente no funcionará sobre un depósito clastosoportado y poco consolidado, como aquellos depósitos de caída de tefra compuestos por escorias o pómez, ya que los clastos pueden pegarse a la brocha.

Un problema común que encontramos en una zona muy húmeda como la de Chaitén es la incapacidad de impregnar los depósitos de grano muy fino (arcillas), debido a su impermeabilidad, lo que impide la absorción de la resina, por lo que tales capas no están presentes en la sección epóxica 2 (Figura 7-b). No obstante, este resultado puede ayudar a explicar las diferentes naturalezas de los depósitos estratigráficos, el principio de capilaridad y el método. Sin embargo, dependiendo del objetivo de la sección, hay que tener en cuenta las implicaciones estéticas de dicha carencia. Respecto a esto último, puede ser importante seleccionar una resina que al endurecerse sea perfectamente transparente, ya que algunas resinas adquieren un tono amarillento al solidificar.

Por último, identificamos algunos problemas en la práctica que otros equipos podrían evitar:

- » Comprobamos que "enmarcar" la sección (Figura 5-b) no facilita necesariamente la operación, incluso puede favorecer el rompimiento de la resina durante la extracción. Es necesario realizar pruebas con un marco completo, con tacos laterales solamente, o sin marco, para encontrar la solución más adecuada al contexto estratigráfico.
- » En dos ocasiones, nos encontramos con un problema de endurecimiento total de la resina al cabo de unos segundos con un intenso desprendimiento de calor, dejando la mezcla inutilizable (Figura 7-c). Dado que se tomaron correctamente los resguardos en cuanto a las proporciones de resina y endurecedor, con un pesaje exacto, es posible que las condiciones externas y el exceso de energía al momento de mezclar hayan generado la reacción exotérmica instantánea, pues el epoxi es un polímero termoestable.

Una última dificultad que encontramos fue la recuperación de las secciones sin estropearlas, especialmente en un contexto de alta humedad con depósitos pesados. Un error fue cavar alrededor de la sección para facilitar su recuperación (Figura 7-d), lo que provocó su derrumbe. Por lo tanto, recomendamos limitar el tamaño de cada sección para limitar también su peso y su recuperación, y despegarlas gradualmente desde la parte superior sin excavar alrededor.

También, es pertinente mencionar que recibimos asesoramiento directo de colegas (com. pers. G. Douillet y U. Kueppers) que nos advirtieron de la importancia de utilizar materiales compatibles (por ejemplo, brochas de pelo natural y recipientes de metal o vidrio para las mezclas de resina y endurecedor), ya que el epoxi puede corroer los plásticos. El proveedor de epoxi sugirió que nunca se utilizaran destornilladores o elementos cilíndricos para mezclar, sino que sólo paletas. Dada la diversidad de resinas presentes en el mercado, es altamente recomendable tener conocimiento de las indicaciones y contraindicaciones del producto a utilizar, para asegurar un resultado óptimo y resguardando la seguridad de quienes lleven a cabo el proyecto.

2. Medias 1991-2021, según el sitio <https://en.climate-data.org/south-america/chile/x-region-de-los-lagos/chaiten-21737/>



Figura 7. Ejemplos de desafíos técnicos en la realización de secciones epóxicas
Fuente: J. Morin, 2023.

Por último, animamos a los colegas que se embarquen en este método a conectar siempre con la comunidad local. Desde el punto de vista ético, es fundamental contar con el permiso de los propietarios del terreno en el que se extrae la sección epóxica (y garantizar la preservación del medio ambiente). Por otro lado, en términos de impacto, puede ser interesante presentar una sección epóxica en actividades de una región ajena a los procesos volcánicos (u otros) si el objetivo es explicar en qué consiste un estudio estratigráfico. Sin embargo, si el objetivo es concientizar a los ciudadanos de los riesgos volcánicos, sólo podemos aconsejar que haya una sección local, para apelar al sentimiento de pertenencia hacia el territorio de las personas.

Reforzar la conexión de la comunidad con su entorno volcánico

Influencia en las percepciones sobre la erupción de 2008 y futuras respuestas ante peligros volcánicos

Como señalan Stoof et al. (2019), la visualización a través de 'collages' de sedimentos puede mejorar en gran medida la comprensión de los conceptos y procesos geológicos. Uno de los resultados esperados a través de la visualización de las secciones epóxicas es la concientización de los peligros y riesgos volcánicos en la zona de Chaitén, y por tanto la posibilidad de impactar en la respuesta de la población ante el riesgo. Esto es crucial en Chaitén, dados los problemas identificados en la encuesta social preliminar realizada en octubre-noviembre de 2021 en esta zona (datos no publicados, proyecto Imagine). En primer lugar, la progresiva renovación demográfica de Chaitén hace que cada vez haya más habitantes que no vivenciaron la erupción de 2008. Además, la comunidad local generalmente considera la erupción de 2008 como un evento único e insuperable, lo que inherentemente sesga su percepción del riesgo, ya que se han reportado erupciones de Chaitén de mayor magnitud que la erupción de 2008 (Alloway et al., 2017; Amigo et al., 2013).

Sin embargo, es crucial proporcionar explicaciones claras junto a las secciones epóxicas, ya que su visualización por sí sola podría inducir a error sobre la naturaleza de los procesos volcánicos. De hecho, en la sección epóxica 1, la capa blanca asociada al evento de 2008 se generó en el paroxismo de la erupción. Los procesos que siguieron, con el crecimiento y el colapso parcial de los domos o la generación de lahares secundarios, no se encuentran en los depósitos distales, a pesar de que fueron una amenaza importante posterior a la erupción. Por lo tanto, la secciones epóxicas obtenidas en este trabajo (y los respectivos depósitos distales) sólo evidencian una parte de la totalidad de procesos ocurridos en una erupción: el peligro por caída de cenizas. De hecho, en lo que respecta a la reducción de riesgos, es esencial comentar en los contenidos audiovisuales también la parte no visual de la sección epóxica y enfatizar en los mayores peligros durante un evento eruptivo.

Impactos potenciales y su medición

Actualmente, unos 10.000 turistas visitan el museo de Chaitén cada año (com. pers. Fundación Procultura). Como será ampliamente publicitada, esperamos que la mayoría de los habitantes de Chaitén acudan a la exposición en los 12-18 meses siguientes a la inauguración. A largo plazo, la asistencia de visitantes externos también debería aumentar gracias al "boca a boca", ya que el desarrollo del museo lo hará más atractivo. Además, el seguimiento de la asistencia por parte del museo otorgará cifras en el futuro. Así, el pueblo de Chaitén se vería beneficiado del proyecto por dos razones: (1) el desarrollo del Museo puede atraer a más turistas e influir para que pernocten en el pueblo, y (2) la conciencia de peligro debería aumentar, lo cual es fundamental para mejorar las

reacciones y estar más seguros en caso de una futura alerta volcánica. El minidocumental sobre el proceso de investigación transdisciplinar también puede contribuir a que los jóvenes que visitan el museo se interesen por estudiar ciencias.

Por su parte, SERNAGEOMIN ahora tiene una nueva herramienta de comunicación para mostrar la frecuencia de las erupciones explosivas en Chaitén y discutir las posibles erupciones futuras y cómo prepararse ante ellas. SERNAGEOMIN utilizará un ejemplar del archivo como herramienta educativa para enseñar sobre los procesos volcánicos y los peligros fuera de Chaitén, en sus actividades de divulgación volcánica. Además, como se ha mencionado, SERNAGEOMIN u otra entidad pueden replicar el método en todo Chile, que cuenta con decenas de volcanes activos y a veces de difícil acceso. La diversificación de secciones epóxicas en varios lugares permitirá realizar más actividades de investigación y divulgación en el país, con impactos indirectos en la gestión del riesgo y la concientización pública.

En ocasiones, la gente tiene un conocimiento detallado del entorno estratigráfico sin ser necesariamente consciente de ello, especialmente en las zonas rurales alrededor de Chaitén (datos no publicados, proyecto Imagine). De esta manera, la visualización de secciones epóxicas aporta en el diálogo entre poblaciones y científicos, pudiendo la comunidad indicar a los científicos dónde encontrar depósitos similares en el territorio. Así, la estratigrafía podría afinarse mediante la participación ciudadana.

La pequeña sección llevada a Cambridge permitirá realizar actividades docentes a los aproximadamente 35 estudiantes de último año del curso anual de volcanología del Departamento de Geografía, y potencialmente para cualquier otro estudiante del departamento. A esta asistencia física se suman las personas que accedan a los contenidos *online*, por lo que un público amplio y diverso conocerá este proyecto y se acercará a él desde distintos ángulos.

Los socios podrán aportar cifras sobre la acogida del público y *feedbacks* cualitativos recibidos durante los cursos o a través de posibles comentarios recibidos en línea³.

Vemos el proyecto como una investigación-acción que inicia un proceso sociocultural que se extenderá gradualmente a la comunidad local, con un mayor interés por su patrimonio natural. Una vez creada la exposición, corresponderá al museo comprometerse con la comunidad local, y a la propia comunidad alimentar los debates que surgirán de la información recibida y actuar con base en estos debates para mitigar los riesgos asociados a una futura erupción. Sin embargo, aunque pueda considerarse un trabajo de esta índole se genere sólo como una iniciativa, es recomendable que cualquier proyecto de sección epóxica enfocado en la gestión del riesgo de desastre incluya un estudio de cómo generar comprensión y apropiación en la comunidad. En nuestro caso, el nivel de comprensión y apropiación se logrará mediante breves entrevistas semiestructuradas con la población local en 2023, y en el largo plazo mediante conversaciones entre los visitantes y el personal del museo.

Navegantes y erupciones del pasado: hacia una narrativa ideal para transmitir la historia volcánica de Chaitén de forma más lúdica

Para complementar la comprensión de la historia eruptiva histórica en la zona de Chaitén, se planea obtener una sección epóxica del depósito asociado a la erupción del siglo XVII (Lara et al., 2013, Amigo et al., 2013; Alloway et al., 2017). Aunque este evento eruptivo se reconoce en el registro geológico, de acuerdo con Lara et al. (2013) es probable que haya sido registrado en mapas náuticos de la época. Como evidencia de ello está el mapa contemporáneo, robado por el pirata Henry Morgan, en el cual se observa una topografía elevada con llamaradas en la cumbre (Guarda & Moreno, 2008 in Lara et al., 2013), lo que puede representar a la erupción del volcán Chaitén del siglo XVII (Fig. 8). Además, se pueden incorporar segmentos de los relatos recopilados por Darwin (1840) sobre los avistamientos de eventos eruptivos en el volcán Michinmahuida, por parte habitantes de Chiloé durante el siglo XIX.

Exhibir el depósito de un evento volcánico que haya sido observado por antiguos navegantes del mar patagónico y cuya evidencia cartográfica contemporánea haya sido recuperada a partir del botín de corsarios, genera particular interés en la historia de un acontecimiento geológico, al incorporar componentes narrativos de índole sociocultural a un aspecto físico natural.

3. Para orientaciones sobre el impacto de los proyectos asociados a museos, ver, por ejemplo, los consejos proporcionados en: <http://www.museumassociation.org>



Figura 8. Depósito de erupción histórica del volcán Chaitén ocurrida en el siglo XVII en: a) sector río Turbio Chico; b) valle del río Amarillo en Parque Nacional Pumalín Douglas-Tompkins
Fuente: a) y b) C. Perales, c) cartografía náutica que data de mediados del siglo XVII (Guarda & Moreno, 2008, in Lara et al., 2013).

CONCLUSIONES

El método de impregnación epóxica en depósitos piroclásticos permite visualizar la tefroestratigrafía, ayudando a comprender el entorno y los riesgos asociados a las erupciones volcánicas explosivas. También, se pueden considerar depósitos sedimentarios asociados a otros procesos: tsunamis, tormentas, inundaciones, desprendimientos, etcétera. Por lo tanto, las secciones epóxicas pueden desempeñar un papel importante en la educación sobre el medio ambiente y los riesgos. Además, esta técnica tiene múltiples beneficios en términos de investigación y preservación del geopatrimonio. Por eso hemos previsto elementos técnicos que permitan su replicabilidad.

En el caso de las secciones epóxicas de Chaitén, la visualización demuestra que el evento de 2008 no fue único, ni de magnitud excepcional en la historia del volcán y de la zona. La concientización sobre la recurrencia de las erupciones de gran magnitud en la región podría permitir a la población reaccionar adecuadamente en caso de una futura reactivación del volcán u otro centro eruptivo, en particular no oponiéndose a una posible evacuación ordenada por las autoridades tras la traumática experiencia de la evacuación relacionada con la erupción de 2008.

Por su parte, SERNAGEOMIN ya ha decidido desarrollar otro proyecto de secciones epóxicas en los depósitos del volcán Hudson, ubicado más al sur en la Patagonia chilena, en colaboración

con el Museo local de Coyhaique. También, en Arequipa, Perú, el conocimiento de este proyecto ha llevado a la rápida implementación de un proyecto similar por parte de INGEMMET en una sección única de la historia eruptiva de los últimos 30.000 años del Misti⁴. Las aplicaciones potenciales en términos de concientización y educación sobre el riesgo, como de conservación y estudio de depósitos, en las Américas y en otros lugares, son inmensas.

Para alcanzar sus objetivos, las secciones epóxicas deben ir necesariamente acompañadas de contenidos explicativos, cualquiera que sea su forma. El contenido audiovisual interactivo por el que hemos optado nos permite formular distintos niveles de explicación, más o menos técnicos, adaptados a distintos tipos de público, y ofrecer tanto la visión de los científicos como la de la población para dar cuenta de la variedad de representaciones de lo que significan los depósitos volcánicos en términos de riesgo. Además del contenido audiovisual creado, es esencial capacitar a las personas que reciben al público donde se exponen las secciones para que puedan explicar el método, así como describir las diferentes secciones creadas. En estas condiciones, el método descrito en detalle en Douillet et al. (2018) y en este artículo merece ser considerado en otros contextos geográficos por especialistas en geopatrimonio, geoturismo y educación, u otras disciplinas.

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a Guilhem Douillet y Ulrich Kueppers, cuyo trabajo inspiró este proyecto, y que se tomaron el tiempo de aconsejarnos sobre varios aspectos técnicos durante la concepción y la realización del proyecto. Gracias también a Martin Lucas-Smith, responsable del desarrollo técnico del contenido audiovisual. Gracias a los habitantes de Chaitén, por la hospitalidad e interés en este proyecto. Por último, agradecemos a los dos revisores anónimos su tiempo y sus constructivos comentarios. Este trabajo fue financiado en parte por el proyecto Imagine, subvención del ERC N°804162, y por el ESRC Impact Accelerator Account de la Universidad de Cambridge.

NOTA ÉTICA

Esta investigación ha sido autorizada mediante una evaluación ética del Departamento de Geografía de la Universidad de Cambridge. Hemos realizado las secciones epóxicas de forma no destructiva – sólo limpiando la superficie de los afloramientos ya existentes -, con la aprobación previa de los propietarios de las propiedades donde se encuentran los afloramientos. No se ha dejado ningún producto químico ni rastro de nuestro trabajo en el entorno. Se ha pedido el consentimiento a todos los participantes en los contenidos audiovisuales y se les ha informado sobre el uso y manejo de los datos.

REFERENCIAS

- Albornoz, C., Salgado, M., Molina, G., Castro, F., & Rodríguez, A. (2014). Conocimiento local y percepción del riesgo volcánico de la población joven en la localidad de Chaitén (Chile). *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 17–23.
- Alfano, F., Bonadonna, C., Volentik, A., Connor, C., Watt, S., Pyle, D., & Connor, L. (2011). Tephra stratigraphy and eruptive volume of the May, 2008, Chaitén eruption, Chile. *Bulletin of Volcanology*, 73(5), 613–630. <https://doi.org/10.1007/s00445-010-0428-x>
- Alloway, B., Pearce, N., Moreno, P., Villarosa, G., Jara, I., De Pol-Holz, R., & Outes, V. (2017). An 18,000 year-long eruptive record from Volcán Chaitén, northwestern Patagonia: Paleoenvironmental and hazard-assessment implications. *Quaternary Science Reviews*, 168, 151–181. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.05.011>
- Amigo, Á. (2021). Volcano monitoring and hazard assessments in Chile. *Volcanica*, 4(S1), 1–20. <https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.0120>
- Amigo, Á., Lara, L., & Smith, V. (2013). Holocene record of large explosive eruptions from Chaitén and Michinmahuida Volcanoes, Chile. *Andean Geology*, 40(2), 227–248. <https://doi.org/10.5027/andgeoV40n2-a03>
- Arteaga, C., & Ugarte, A.M. (2015). Identidades en emergencia: la otra cara de la reconstrucción. El caso de Chaitén. *Magallania (Punta Arenas)*, 43(3), 107–123. <https://doi.org/10.4067/S0718-22442015000300009>
- Berezin B., A.D. (2018). Chaitén: Una historia en el lugar. *Magallania (Punta Arenas)*, 46(2), 47–62. <https://doi.org/10.4067/s0718-22442018000200047>

4. <https://imaginingfutures.world/projects/archiving-30000-years-of-eruptive-history-to-raise-volcanic-risk-awareness-in-arequipa-peru/>

- Berroeta, H., Ramoneda, Á., & Opazo, L. (2015). Sense of community, participation and place attachment in post disasters displaced and nondisplaced communities: Chaitén and constitución. *Universitas Psychologica*, 14(4), 1221–1234. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.up14-4.scpa>
- Carn, S., Pallister, J., Lara, L., Ewert, J., Watt, S., Prata, A., Thomas, R., & Villarosa, G. (2009). The Unexpected Awakening of Chaitén Volcano, Chile. *Eos*, 90(24), 205–206. <https://doi.org/10.1029/2009EO240001>
- Crovetto, G.D. (2015). Antropología y Catástrofes: intersecciones posibles a partir del caso Chaitén. *Revista Justiça Do Direito*, 29(1), 131–144. <https://doi.org/10.5335/rjd.v29i1.5181>
- Darwin, C. (1840). On the connexion of certain volcanic phenomena in South America; and on the formation of mountain chains and volcanos, as the effect of the same power by which continents are elevated. *Transactions of the Geological Society of London*, 5.
- De Rosa, R., Frazzetta, G., & La Volpe, L. (1992). An approach for investigating the depositional mechanism of fine-grained surge deposits. The example of the dry surge deposits at “La Fossa di Vulcano.” *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 51(4), 305–321. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(92\)90105-M](https://doi.org/10.1016/0377-0273(92)90105-M)
- Dhavamani, R., Marián, G., Dušan, S., & Radovan, P. (2020). Dehydration and stabilization of unconsolidated laminated lake sediments using gypsum for the preparation of thin sections. *Open Geosciences*, 12(1), 1486–1496. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0211>
- Douillet, G. A., Kueppers, U., Mato, C., Chaffaut, Q., Bouysson, M., Reschetizka, R., Hoelscher, I., Witting, P., Hess, K.U., Cerwenka, A., Dingwell, D. B., & Bernard, B. (2018). Revisiting the lacquer peels method with pyroclastic deposits: Sediment plates, a precise, fine scale imaging method and powerful outreach tool. *Journal of Applied Volcanology*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s13617-018-0080-2>
- Duhart, P., Moreno, H., Basualto, D., Mella, M., & Muñoz, J. (2009). *Erupción en curso del volcán Chaitén : productos , impactos y colapso parcial de domos del 19 de febrero de 2009*. 20–23.
- Durant, A., Villarosa, G., Rose, W., Delmelle, P., Prata, A., & Viramonte, J. (2012). Long-range volcanic ash transport and fallout during the 2008 eruption of Chaitén volcano, Chile. *Physics and Chemistry of the Earth*, 45–46, 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.09.004>
- Espinoza, A. (2015). Chaitén: Aprendizajes de una experiencia de desastre socionatural en la Patagonia chilena. *Magallania (Punta Arenas)*, 43(3), 5–6. <https://doi.org/10.4067/S0718-22442015000300001>
- Espinoza, A., Espinoza, C., & Fuentes, A. (2015). Retornando a Chaitén: diagnóstico participativo de una comunidad educativa desplazada por un desastre socionatural. *Magallania (Punta Arenas)*, 43(3), 65–76. <https://doi.org/10.4067/s0718-22442015000300006>
- Holmberg, K., Burbano, A., Gomez, C., Letelier, J., Donovan, A., Morin, J., Walshe R., Dupradou, T., & Puentes P. (2023). Chaitén: Land of Volcanoes. *able journal*. <https://able-journal.org/chaiten-land-of-volcanoes>
- INE. (2017). Censo de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadísticas - Chile. https://redatam-ine.ine.cl/redbin/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=CENSO_2017&lang=esp
- Klapper, D., Kueppers, U., Castro, J., Pacheco, J., & Dingwell, D. (2010). Impregnating unconsolidated pyroclastic sequences: a tool for detailed facies analysis. *Geophys Res Abstr.*;12:EGU2010-11780.
- Labarca, R., Letelier, J., & Alloway, B. (2021). *Arqueología en el Morro Vilcún (Comuna de Chaitén , Región de Los Lagos , Chile) : Síntesis y Perspectivas*. 499–520. <https://hdl.handle.net/2292/57345>
- Lara, L. (2009). The 2008 eruption of the Chaitén Volcano, Chile: A preliminary report. *Andean Geology*, 36(1), 125–129. <https://doi.org/10.4067/s0718-71062009000100009>
- Lara, L., & Calderón, R. (2015). Peligro y riesgo específico asociado al volcán Chaitén: perspectiva geológica de la vulnerabilidad en el entorno de un volcán activo. *Magallania (Punta Arenas)*, 43(3), 27–35. <https://doi.org/10.4067/s0718-22442015000300003>
- Lara, L., Moreno, R., Amigo, Á., Hoblitt, R., & Pierson, T. (2013). Historia holoceno tardía del volcán chaitén: Nueva evidencia de una erupción en el siglo XVII. *Andean Geology*, 40(2), 249–261. <https://doi.org/10.5027/andgeoV40n2-a04>
- Larenas, J., Salgado, M., & Fuster, X. (2015). *Enfrentar los desastres sn desde los activos y recursos comunitarios*. 43(3), 125–139. <https://www.scielo.cl/pdf/magallania/v43n3/artio.pdf>
- Major, J., & Lara, L. (2013). Revisión del volcán chaitén y su erupción 2008-2009. Chile. *Andean Geology*, 40(2), 196–215. <https://doi.org/10.5027/andgeoV40n2-a01>

- Maldonado, L., Kronmüller, E., & Gutiérrez Crocco, I. (2020). Apego al Lugar en Áreas Post-Desastre: el Caso de la Reocupación de la Ciudad de Chaitén, Chile. *Psykhé (Santiago)*, 29(1), 1–18. <https://doi.org/10.7764/psykhe.29.1.1327>
- Mandujano, F., Rodríguez, J. C., Reyes, S. E., & Medina, P. (2015). La erupción del volcán Chaitén. *Universum*, 30(2), 153–177. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-23762015000200010&lng=n&nrm=iso&tlng=es
- Mardones, R., Rueda, S., & Guzmán, Ma. (2010). Tejiendo vínculos: Una mirada a la organización “Renacer de Chaitén” de la tercera edad en un contexto de posdesastre. *Cuadernos de Crisis y Emergencias*. http://www.cuadernosdecrisis.com/docs/2011/Numiovol2_2011_tejendo_vinculos.pdf
- Milch, K.F., Perry, S.C., & Bruce, J.L. (2019). *Communicating Hazards - A Social Science Review to Meet U. S. Geological Survey Needs, Circular 1449*. 67. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1449>
- Moreno, P.I., Alloway, B. V., Villarosa, G., Outes, V., Henríquez, W.I., De Pol-Holz, R., & Pearce, N.J.G. (2015). A past-millennium maximum in postglacial activity from Volcán Chaitén, southern Chile. *Geology*, 43(1), 47–50. <https://doi.org/10.1130/G36248.1>
- Morin, J., Amigo, Á., Barría, K., Donovan, A., Gomez, C., Jorquera Flores, C., Lucas-Smith, M., Perales Moya, C., & Walshe, R. (2022). StorySpheres, a fun and inclusive tool to share knowledge on volcanic environments. *Conference Cities on Volcanoes*, Session 3.17 Strategies and tools for communication.
- Naranjo, J.A., & Stern, C.R. (2004). Holocene tephrochronology of the southernmost part (42°30'–45°S) of the Andean Southern Volcanic Zone. *Revista Geológica de Chile*, 31(2), 225–240. <https://doi.org/10.4067/S0716-02082004000200003>
- Newhall, C., Solidum, R.U. (2017). Volcanic Hazard Communication at Pinatubo from 1991 to 2015. In: Fearnley, C.J., Bird, D.K., Haynes, K., McGuire, W.J., Jolly, G. (eds) *Observing the Volcano World. Advances in Volcanology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/1157_2016_43
- ONEMI, & SERNAGEOMIN. (2020). *Plano De Evacuación Ante Amenaza Volcánica Volcán Chaitén, Región de Los Lagos*.
- Pallister, J., Diefenbach, A., Burton, W., Muñoz, J., Griswold, J., Lara, L., Lowenstern, J., & Valenzuela, C. (2013). The chaitén Rhyolite lava dome: Eruption sequence, lava dome volumes, rapid effusion rates and source of the Rhyolite magma. *Andean Geology*, 40(2), 277–294. <https://doi.org/10.5027/andgeoV40n2-a06>
- Parra, V. (2016). *Terminal de intercambio marítimo-terrestre para el embarque y el desembarque de pasajeros en Chaitén*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143939>
- Pierson, T.C., Major, J.J., Amigo, Á., & Moreno, H. (2013). Acute sedimentation response to rainfall following the explosive phase of the 2008–2009 eruption of Chaitén volcano, Chile. *Bulletin of Volcanology*, 75(5), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00445-013-0723-4>
- Reyes Herrera, S., Rodríguez Torrent, J.-C., & Mandujano Bustamante, F. (2014). La Doble Destrucción De Chaitén. Consideraciones Sociales, Urbanas Y Territoriales Sobre Una Catástrofe. *Márgenes. Espacio Arte y Sociedad*, 15(11), 57–68. <https://doi.org/10.22370/margenes.2014.11.15.301>
- Sandoval, V. (2017). *The Progression of Vulnerability: A multi-scalar perspective on disasters, the case of Chaitén, Chile*. PhD Tesis, The Bartlett Development Planning Unit, University College London. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1561339>
- Schimmelmann, J., Nguyen-Văn, H., Nguyen-Thuy, D., & Schimmelmann, A. (2018). Low Cost, Lightweight Gravity Coring and Improved Epoxy Impregnation Applied to Laminated Maar Sediment in Vietnam. *Geosciences*, 8(5), 176. <https://doi.org/10.3390/geosciences8050176>
- SERNAGEOMIN. (2019). Ranking de riesgo específico para volcanes activos de Chile 2019. <https://rnvv.sernageomin.cl/que-es-ranking-de-riesgo/>
- Tapia, R. (2015). Acción del Estado y acción comunitaria en la gestión de la vivienda post erupción del volcán Chaitén, Chile: dos estrategias divergentes. *Magallania (Punta Arenas)*, 43(3), 141–158. <https://doi.org/10.4067/s0718-22442015000300011>
- Torrent, J.C.R., Herrera, S.R., & Bustamante, F.M. (2016). The new Chaitén project: Time inconsistencies among the State, academia and the community [El proyecto nueva Chaitén: La asincronía entre Estado, academia y comunidad]. *Aus*, 2016(19), 73–79. <https://doi.org/10.4206/aus.2016.19-12>
- Umazano, A., Melchor, R., Bedatou, E., Bellosi, E., & Krause, J. (2014). Fluvial response to sudden input of pyroclastic sediments during the 2008–2009 eruption of the Chaitén Volcano (Chile): The role of logjams. *Journal of South American Earth Sciences*, 54, 140–157. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.04.007>

Watt, S., Pyle, D., & Mather, T. (2013). Evidencia de erupciones riolíticas del Holoceno medio a tardío del volcán Chaitén, Chile. *Andean Geology*, 40(2), 216–226. <https://doi.org/10.5027/andgeoV40n2-a02>