

El registro de tsunamis en costas áridas: 100 años después del tsunami de 1922 de Atacama en el norte de Chile

Tsunami record on arid coasts: 100 years of the 1922 Atacama tsunami in northern Chile

Manuel Abad^{1,2,3}, Tatiana Izquierdo^{1,3*}, Maximiliano Forch⁴, Perla Cortés³, Gabriel Easton⁴, José González-Alfaro⁴, Ana Alvarado-Justo³ y Francisco Ruiz⁵

¹ Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica, Universidad Rey Juan Carlos, c/Tulipán s/n, 28933 Móstoles, Madrid (España).
manuel.abad@urjc.es; tatiana.izquierdo@urjc.es

² Corporación para la Investigación y Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama (CIAHN), Avenida Prat, 58, Caldera (Chile)

³ Grupo de investigación en Dinámica de la Tierra y Evolución del Paisaje de la Universidad Rey Juan Carlos (DYNAMICAL), c/Tulipán s/n, 28933 Móstoles, Madrid (España).
cortespradoperla@gmail.com; a.alvarado.2021@alumnos.urjc.es

⁴ Departamento de Geología, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago (Chile).
mforch@gmail.com; geaston@uchile.cl; josgonal@uchile.cl

⁵ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva, Campus del Carmen, 21007, Huelva (España).
ruizmu@uhu.es

*Corresponding author

ABSTRACT

The Atacama earthquake of November 11, 1922 (Mw 8.5 – 8.6) is the second largest earthquake in Chile in the 20th century. In this paper we review the deposits associated with this tsunamigenic event and present new evidence of its record on the coast of the Atacama Desert. Its geological evidence appears punctually and heterogeneously due to the scarcity of environmental contexts suitable for its preservation on the coast, highlighting the good potential for preservation of boulder fields in cliff areas. It is likely that large tsunamigenic events that have taken place during the Present Interglacial on arid coasts, such as that of the Atacama Desert, have gone unnoticed to date by the scientific community, being necessary multidisciplinary studies and focused on very specific scenarios for their correct identification and analysis.

Key-words: 1922 tsunami, arid coasts, geological record, Atacama, Chile.

RESUMEN

El terremoto de Atacama del 11 de noviembre de 1922 (Mw 8,5 – 8,6) es el segundo mayor terremoto ocurrido en Chile en el siglo XX. En este trabajo revisamos los depósitos asociados a este evento tsunamigénico y presentamos nuevas evidencias de su registro en la costa del desierto de Atacama. Las evidencias geológicas aparecen de manera muy puntual y heterogénea debido a la escasez de contextos ambientales adecuados para su conservación, destacando el buen potencial de preservación de los campos de bloques en zonas acantiladas. Es probable que grandes eventos tsunamigénicos ocurridos durante el Presente Interglacial en costas áridas, como la del desierto de Atacama, hayan pasado desapercibidos hasta la fecha, siendo necesarios estudios multidisciplinarios y enfocados a escenarios muy concretos para su correcta identificación y análisis.

Palabras clave: 1922 tsunami, costas áridas, registro geológico, Atacama, Chile.

Geogaceta, 74 (2023), 47-50

<https://doi.org/10.55407/geogaceta98277>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 04/02/2023

Fecha de revisión: 20/04/2023

Fecha de aceptación: 26/05/2023

Introducción

Los grandes terremotos (Mw 8,5 – 9,5) a lo largo del margen de subducción chileno ocurren en segmentos de cientos de km (Molina et al., 2020; Philibosian y Meltzner, 2020) con períodos de recurrencia de 300-500 años (Klein et al., 2017). El segmento de Atacama, en el norte de Chile, ha sido identificado como una brecha sísmica madura (p. ej., Métois et al., 2016) que rompió por última vez en 1922 (Fig. 1). El terremoto de Atacama del 11 de noviembre de 1922 (Mw~8,5-8,6, Carvajal et al., 2017, Kanamori et al., 2020) es el segundo mayor terremoto ocurrido en Chile en el siglo XX, tras el terremoto Mw 9,5 de Valdivia de 1960 (Ruiz y Madañaga, 2018).

Existen incógnitas sobre la localización exacta de su epicentro (latitud ~28,5°S), aunque se sabe que su zona de ruptura no fue menor de 500 km, desde La Serena (30°S) hasta Chañaral (26,3°S) y que tuvo una duración estimada de 75 s. Fue sentido de forma importante desde Iquique (20,2°S) hasta Concepción (36,8°S) (2.000 km) y percibido en gran parte del sur del continente sudamericano. Además, se generó un tsunami transoceánico con alturas de ola registradas de hasta 7–9 m (Bobilier, 1926; Willis, 1929), que causó daños a lo largo de la costa chilena, Perú, Hawái, Islas Samoa, Taiwán y Japón (Soloviev y Go, 1975).

A pesar de la magnitud del terremoto y de los daños que generó el tsunami en las costas del norte de Chile, ningún estu-

dio reciente se ha centrado en recopilar y analizar su registro geológico. En este trabajo revisamos los depósitos asociados a este tsunami y presentamos nuevas evidencias de su registro morfoosedimentario en la costa del desierto de Atacama.

Las crónicas históricas

Bobilier (1926) y Cáceres (2016) recopilaron las descripciones históricas del tsunami. La primera ola tardó entre 20 y 30 minutos en impactar los principales puertos localizados frente a la zona de ruptura. Chañaral fue el más dañado por el impacto de 3 grandes olas que alcanzaron un *run-up* (cota máxima de inundación hacia tierra) de 9 m sobre el nivel del mar (s.n.m.) y penetraron 200 m

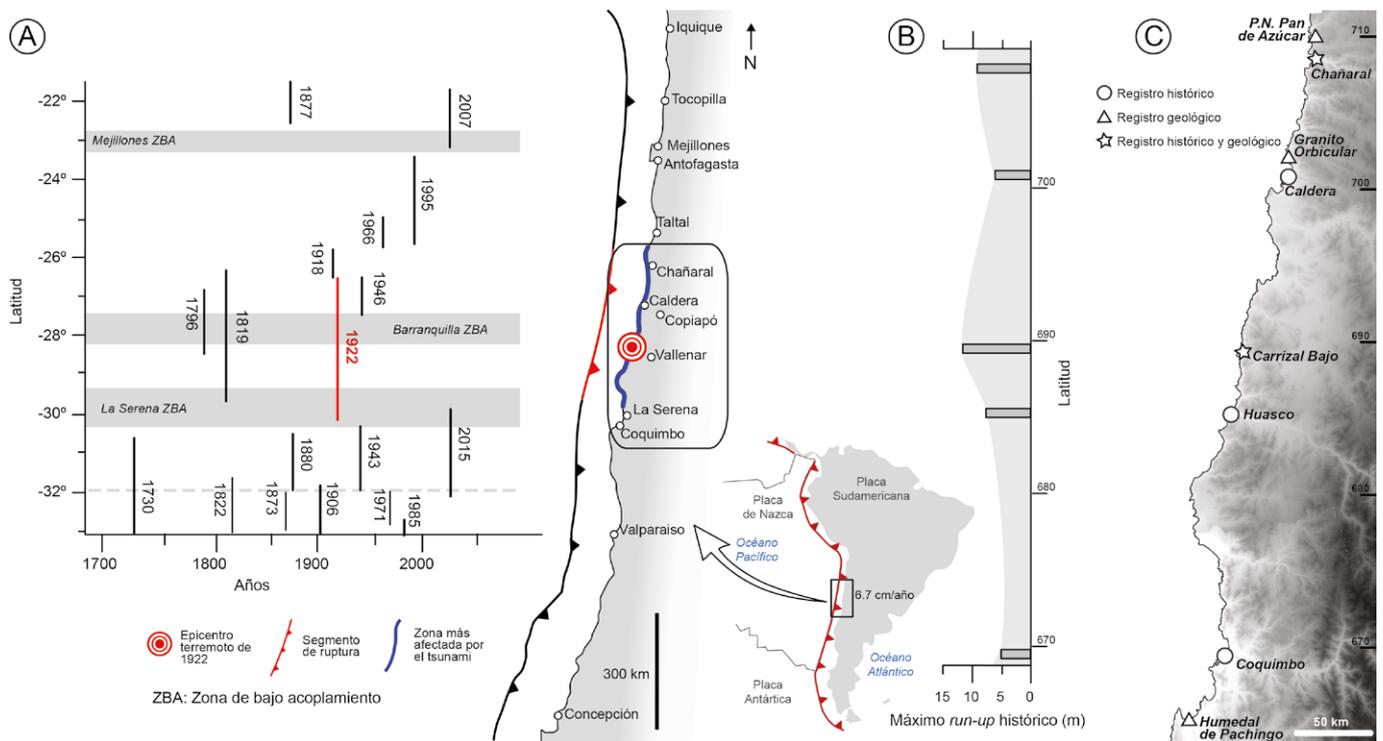


Fig. 1.- A) Localización de la zona de estudio y zonas de ruptura para los terremotos históricos más importantes del sector centro-norte de Chile; la zona recuadrada corresponde a B y C. B) Alturas máximas de run-up para el tsunami de 1922 mencionadas en las crónicas históricas. C) Localización de los diferentes tipos de registros de los tsunamis de 1922 en la zona de estudio.

Fig. 1.- A) Location of the study area and rupture zones for the most important historic earthquakes in central-north Chile; the squared area corresponds to B and C. B) Maximum run-up heights for the 1922 tsunami mentioned in the historical chronicles. C) Location of the different records for the 1922 tsunami in the study area.

tierra adentro, generando la destrucción de la zona baja de la ciudad y 20 fallecidos. En Caldera, las olas alcanzaron un *run-up* de 5,5 m s.n.m. inundando la estación y la maestranza de ferrocarriles, así como el edificio de la aduana, que llegó a separarse de los cimientos y flotar, chocando contra otras estructuras. En el refluo quedó al descubierto un naufragio localizado 25 m bajo el agua en la bahía. En Carrizal Bajo el mar se internó 2 km siguiendo el valle y destruyendo a su paso el muelle del ferrocarril, la maestranza y la estación. Las instalaciones de la fundición *Smelting Co.*, junto al muelle, fueron arrasadas y una locomotora junto con sus vagones fueron arrastradas y sepultadas por las olas. Finalmente, el puerto de Huasco también fue impactado por el tsunami que destruyó los muelles, la bodega y la aduana. Las olas penetraron 1,5 km por la desembocadura del río y un barco naufragado frente a la costa fue arrastrado hasta la playa.

Otras localidades costeras al norte y al sur de la zona de ruptura también se vieron afectadas. Hacia el norte, las ciudades de Taltal y Antofagasta sufrieron el impacto de 5 olas que dañaron embarcaciones mientras que, hacia el sur, el puerto de Coquimbo y su barrio bajo se

vieron fuertemente dañados por la inundación marina, que alcanzó un *run-up* de 4,6 m s.n.m. (Fig. 1B).

El registro geológico

Parque Nacional Pan de Azúcar

En dos playas situadas dentro de los límites del Parque Nacional Pan de Azúcar (Fig. 1C), Abad *et al.* (2021) describen dos campos de bloques. El primero, situado en Playa Piqueros, es un depósito de techo de acantilado localizado entre 6 y 9,5 m s.n.m. con bloques de calcarenitas que alcanzan las 17 T. El segundo, localizado en Playa Blanca, se trata de una cresta de bloques imbricados y apilados a más de 100 m de la línea de costa y a cotas entre 5 y 8 m s.n.m. Los autores argumentan que la situación de los depósitos junto con su buen estado de preservación permite asociar estos depósitos al tsunami de 1922.

Chañaral

Grijalba (2016) describe en Playa Grande de Chañaral (Fig. 1C) una capa de arenas amarillas de 15 cm de espesor, con morfología acanalada, que interpreta

como el depósito del tsunami de 1922 al aparecer en la base de los residuos mineros acumulados en esta playa desde finales de los años 30 del siglo XX.

Santuario de la Naturaleza del Granito Orbicular

En la playa localizada en este punto (Fig. 1C, 2) aparece a 3 m s.n.m. un *cluster* de grandes bloques de brechas y areniscas fuertemente cementadas. El peso del mayor es de 167 T. Su zona de procedencia se localiza a menos de 15 m de su posición actual, donde aflora extensamente una terraza marina en la zona intermareal. La edad del evento que erosionó y movilizó este conjunto de bloques se ha estimado a partir de la datación por radiocarbono de un fisurélido (*Lottia orbigny*) muestreado en una capa de arena de 15 cm bajo este grupo de bloques (muestra MB-15). La edad calibrada obtenida es de 1447 a 1513 AD, predatando el evento (Fig. 2). Desde esta fecha hasta 1922 no hay registro histórico de eventos tsunamigénicos con las características necesarias para generar este tipo de depósitos (Abad *et al.*, 2020), por lo que este *cluster* de bloques debió formarse durante ese evento.

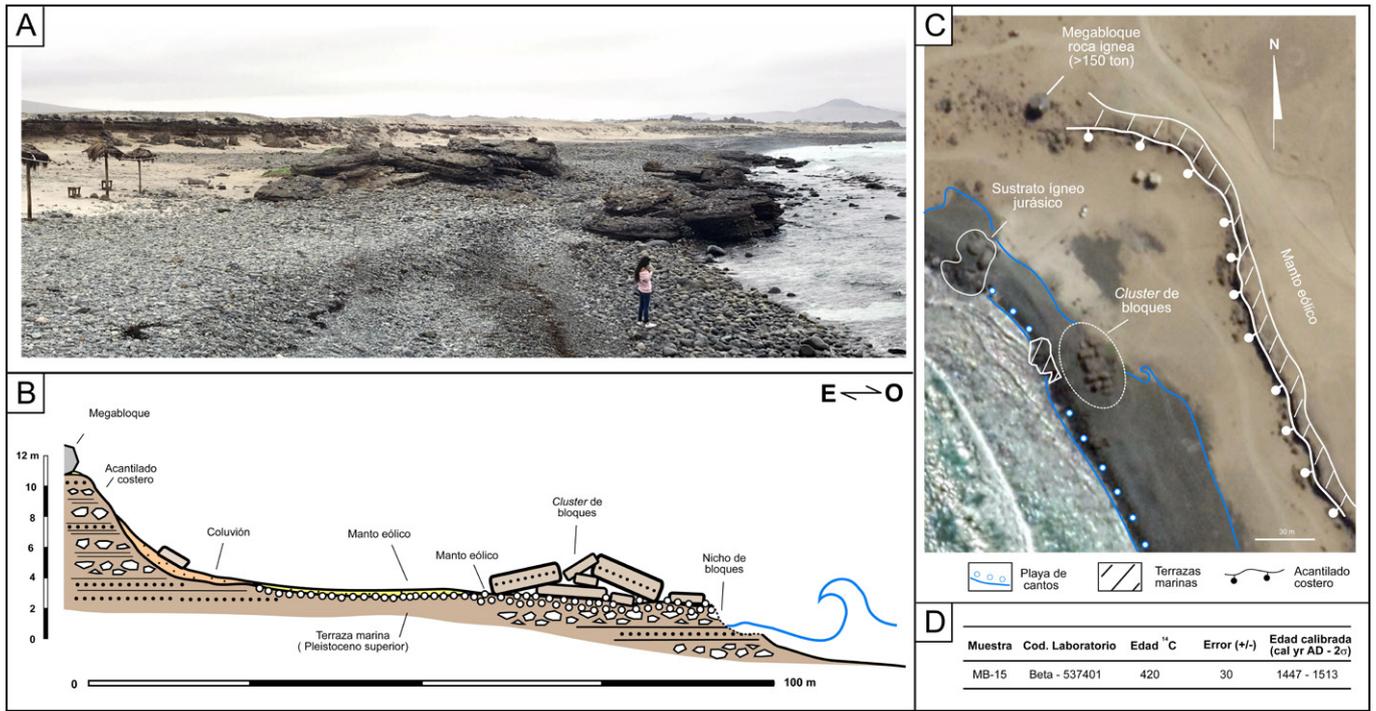


Fig. 2.- A) Visual desde el norte del cluster de bloques en la playa del Santuario de la Naturaleza del Granito Orbicular. **B)** Corte esquemático donde se ilustra la relación del campo de bloques, el acantilado costero y la altura del nivel del mar. **C)** Esquema geomorfológico de la zona. **D)** Tabla con los resultados de la datación por radiocarbono de la muestra MB-15.

Fig. 2.- A) View from the north of the boulder cluster at Orbicular Granite Nature Sanctuary beach. *B)* Schematic profile showing the relationship between the boulder field, the marine cliff, and the sea level. *C)* Geomorphological schema of the study area. *D)* Table showing the radiocarbon dating results for sample MB-15.

Humedal de Carrizal Bajo

En la superficie del margen oriental del humedal costero de Carrizal Bajo,

a 550 m de la línea de costa y a 1,5 m s.n.m., se ha identificado un nivel de arenas que aparece intercalada entre depósitos aluviales y eólicos recientes (Fig.

3). Son arenas medias grises con grano-clasificación normal, pasando a techo a arenas limosas. Posee base erosiva y un espesor de 12 cm, aunque tiende a acuñarse rápidamente hacia tierra. Son frecuentes en su parte basal y media restos dispersos de escorias de fundición. Lateralmente, este nivel alberga restos ferroviarios, en ocasiones muy bien conservados y de grandes dimensiones. Su contenido micropaleontológico es abundante y diverso, compuesto por taxones marinos (foraminíferos: *Quinqueloculina seminula* y *Cibicides ornatus*; ostrácodos: *Hermanites firma*, *Caudites clathratus*, *Xestoleberis chilensis* y *Paracytheridea longicaudata chilensis*; y espículas de esponja silíceas); salobres (foraminíferos: *Buccella peruviana*; y ostrácodos: *Cyprideis beaconensis*); y de agua dulce (girogonitos de carófitas). Las características sedimentológicas y microfaunísticas de este nivel, junto con su posición estratigráfica cerca de la superficie del humedal, y la presencia de artefactos, como las escorias de fundición y restos del ferrocarril, permite asociar sin dudas este depósito a un evento de alta energía que tuvo lugar durante el periodo de actividad minera del puerto (mediados del siglo XIX y principios del XX).

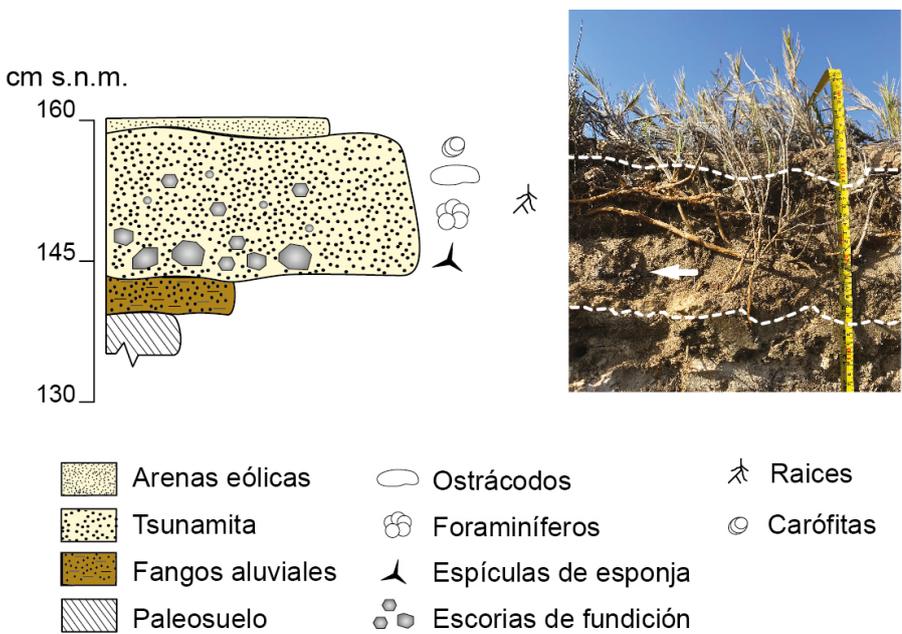


Fig. 3.- Sección estratigráfica del humedal de Carrizal Bajo, donde se registra una capa de arenas con microfauna marina y escorias de fundición depositada durante el tsunami de 1922, acompañada de la imagen del afloramiento. Las líneas blancas discontinuas delimitan techo y muro de la capa y la flecha señala varios fragmentos de escorias de fundición.

Fig. 3.- Stratigraphic section of the Carrizal Bajo wetland, where a layer of sand with marine microfauna and smelting scoria pieces deposited during the tsunami of 1922 is recorded, accompanied by the image of the outcrop in which the dashed white lines delimit the layer and the arrow points to several pieces of scoria.

Humedal de Pachingo

De Paolis *et al.* (2021) y Araya *et al.* (2022) describen en este humedal, situado al sur de la zona de ruptura del terremoto (Fig. 1), una capa de arenas grises, de finas a medias, de base erosiva, con selección moderada, que se extiende ~400 m tierra adentro y ~250 m lateralmente. Posee un espesor que varía de 15 a <1 cm, que disminuye hacia tierra. De Paolis *et al.* (2021) calculan una tasa de sedimentación en el humedal mediante ^{137}Cs y ^{210}Pb , que permite estimar que la edad del nivel de arena es posterior a 1910 AD. La capa, al igual que la de Carrizal Bajo, presenta fragmentos de escoria, lo que junto con la datación permite asociarlo al evento tsunamigénico de 1922.

Discusión y conclusiones

En este trabajo se pone en evidencia la dificultad de encontrar, analizar e interpretar el registro geológico de tsunamis en sistemas áridos y costas rocosas acantiladas, incluso en el caso de eventos especialmente destructivos, de escala regional y relativamente recientes, como es el tsunami de Atacama de 1922. Este evento alcanzó valores de *run-up* próximos a los 10 m s.n.m. y generó graves daños a lo largo de un segmento costero de más de 550 km, provocando un profundo impacto en la sociedad del norte de Chile a principios del siglo XX. Sin embargo, las evidencias geológicas que permiten reconstruirlo y profundizar en su conocimiento se han preservado de manera puntual y heterogénea, muy probablemente debido a la escasa abundancia y pequeñas dimensiones de los humedales costeros de la zona, que actúan como trampas naturales para este tipo de sedimentos. Igual o mayor importancia parecen haber tenido la actuación de procesos postdeposicionales sobre estos materiales (formación de calcretas y gypsicretas) y la erosión y transporte del viento sobre los depósitos arenosos depositados en las zonas supramareales tras la inundación marina (León *et al.*, 2023). Por el contrario, los campos de bloques en zonas acantiladas, con un amplio potencial de conservación, parecen tener especial relevancia en este contexto, así como el depósito de capas de arenas de origen marino en áreas de ocupación humana, que incluyen artefactos y facilitan su reconocimiento y fechado.

En consecuencia, es muy posible que muchos de los grandes eventos tsunamigénicos que han tenido lugar durante los últimos siglos y milenios en costas áridas, como la del desierto de Atacama, hayan pasado desapercibidos para la comunidad científica. Esto puede haber llevado a adquirir una falsa sensación de seguridad para los habitantes de estos bordes litorales o, directamente al diseño de planes de ordenación territorial y de gestión de emergencias que consideran escenarios mal dimensionados y menos peligrosos que los que, potencialmente, pueden experimentar estas zonas. Es fundamental abordar este tipo de investigación desde una perspectiva multidisciplinar, con el uso de diferentes indicadores o *proxies* que permitan desenmascarar este tipo de registros, que han permanecido camuflados en el paisaje y en las sucesiones sedimentarias durante gran parte del Holoceno.

Contribución de los autores

Todos los autores han contribuido en la conceptualización del trabajo, revisión de información previa, trabajo de campo, interpretación y discusión de resultados, y en la redacción del presente artículo.

Agradecimientos y financiación

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos DIUDA Programa Inserción N°22365 de la Universidad de Atacama, TSUARA (M2615) de la Universidad Rey Juan Carlos, TRAMPA (PID2021-127268NB-100) de investigación financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033/ y por FEDER y FONDECYT Regular 1201387 de ANID Chile. Los autores agradecen la labor de los revisores, así como el apoyo en campo a Grisel Rivera, Ian Pai Alarcón, Luciano Travella y Heinrich Zora.

Referencias

- Abad, M., Izquierdo, T., Cáceres, M., Bernárdez, E. y Rodríguez-Vidal, J. (2020). *Sedimentology*, 67(3), 1505-1528. <https://doi.org/gfvkd8>
- Abad, M., Izquierdo, T., Carrasco, G., Rodríguez-Vidal, J. y Ruiz, F. (2021). *Geogaceta*, 70, 11-14.
- Araya, K., Muñoz, P., Dezileau, L., Maldonado, A., Campos-Caba, R., Rebolledo, L., Cardenas, P. y Salamanca, M. (2022).

Geosciences, 12, 135.

<https://doi.org/jvm7>

Bobilier, C. (1926). *Boletín del Servicio Sismológico de Chile XVI. Terremoto de Atacama*. Talleres El Diario Ilustrado, Santiago de Chile, 44 pp.

Cáceres, M. (2016). *El terremoto que destruyó Atacama*. Ediciones On Demand, Santiago, 93 p.

Carvajal, M., Cisternas, M., Gubler, A., Catalán, P.A., Winckler, P. y Wesson, R.L. (2017). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(1), 4-17.

<https://doi.org/f9twdx>

De Paolis, J.M., Dura, T., MacInnes, B., Ely, L.L., Cisternas, M., Carvajal, M., Tang, H., Fritz, H.M., Mizobe, C., Wesson, R.L., Figueroa, G., Brennan, N., Horton, B.P., Pilarczyk, J.E., Corbett, D.R., Gill, B.C. y Weiss, R. (2021). *Quaternary Science Review*, 266, 107052.

<https://doi.org/gqv858>

Grijalba, V.M. (2016). *Geología y análisis histórico-meteorológico del aluvión de marzo de 2015 en Chañaral, Atacama*. Tesis de Titulación, Univ. de Chile, 110 p.

Kanamori, H., Rivera, L., Ye, L., Lay, T., Murotani, S. y Tsumura, K. (2020). *Geophysical Journal International*, 219(1), 645-661. <https://doi.org/jvm8>

Klein, E., Vigny, C., Fleitout, L., Grandin, R., Jolivet, R., Rivera, E. y Métois, M. (2017). *Earth and Planetary Science Letters*, 469, 123-134. <https://doi.org/gbhjmw>

León, T., Lau, A., Easton, G. y Goff, J. (2023). *Earth Science Reviews*, 236, 104273. <https://doi.org/jvm6>

Métois, M., Vigny, C. y Socquet, A. (2016). *Pure and Applied Geophysics*, 173(5), 1431-1449. <https://doi.org/f8mxmt>

Molina, D., Tassara, A., Mapuero, J.P. y Melnick, D. (2020). *In: EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020, EGU2020-12150*

Philibosian, B. y Meltzner, A.J. (2020). *Quaternary Science Review*, 241, 106390. <https://doi.org/gg44c3>

Ruiz, S. y Madariaga, R. (2018). *Tectonophysics*, 733, 37-56. <https://doi.org/gdcdjx>

Soloviev, S.L. y Go, C.N. (1975). *A Catalogue of Tsunamis on the Eastern Shore of the Pacific Ocean*. Nauka Publishing House, Moscow, 285 p.

Willis, B. (1929). *Studies in comparative seismology: Earthquake conditions in Chile*, Carnegie Institution of Washington, Washington, 382 p.