



Datación por liquenometría aplicada en geomorfología, clima y arqueología

Lichenometry applied in geomorphology, climate and archaeology

Pérez-López, R.⁽¹⁾

(1) Departamento de Riesgos Geológicos y Cambio Climático. Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España IGME - CSIC, C/La Calera nº 1, Tres Cantos, Madrid 28760. España. Email: r.perez@igme.es

Resumen

La liquenometría es un método de datación calibrada de superficies rocosas expuestas, de rango temporal Holoceno, pero recomendado durante los últimos 2000 años. Esta técnica de datación consiste en calibrar la curva de crecimiento anual de un líquen, para poder medir su edad de exposición sobre cualquier superficie a partir del diámetro máximo. Mediante la liquenometría podemos fechar eventos geomorfológicos como deslizamientos, escarpes de planos de falla, exposición súbita de superficies por denudación, basculamiento, retroceso glaciar, cambios del nivel de base y fenómenos erosivos, así como eventos climáticos y aplicarse en dataciones en arqueología. El principal problema de esta técnica es la ausencia de un método estandarizado, la fuerte dependencia de las tasas de crecimiento anuales de los líquenes de la especie elegida y de las condiciones ambientales. Por este motivo, los errores de medida pueden sobrepasar el 50% del resultado obtenido. Por el contrario, es una técnica económica y fácil de usar que no depende de una tecnología compleja y costosa. Es recomendable usarla como técnica complementaria y orientativa, o bien si no es posible, utilizar otra técnica más precisa. Los resultados obtenidos deben de ser usados con extrema precaución.

Palabras clave: liquenometría, datación, geomorfología, curva crecimiento, calibración, límites.

Abstract

Lichenometry consists of a calibrated technique for dating exposed rock surfaces from the Holocene. Nevertheless, it is recommended to apply only in exposed rock surfaces during the last 2,000 years. This technique measures the maximum diameter of a lichen species and calibrates the annual growth rate from lichens measured on well-known dated rock surfaces. Commonly, this technique is used for dating geomorphic events such as landslides, rockfalls, fault scarps, recently exposed rock surfaces, glacier retreats, and variations of the water channels, climatic events, and archaeology. The main concern by applying lichenometry is the lack of a standard methodology, the strong dependency of the value of the growth rate with the lichen species, and the



environmental conditions. Accordingly, the errors could be greater than 50% of the result. On the contrary, lichenometry is a cheap and easy technique to apply, with no implication of complex and expensive laboratory technology. We recommend the application of lichenometry as a secondary or complementary technique unless there is no other technique to be applied.

Key words: lichenometry, dating, geomorphology, growth rate, calibration, limits.

1. Introducción

La liquenometría es una técnica de datación calibrada que permite fechar superficies rocosas expuestas a la intemperie, mediante el cálculo de la tasa de crecimiento anual de los líquenes que crecen sobre ellas. Esta técnica de datación se aplica en eventos geomorfológicos que conlleven la formación de una superficie de exposición, como por ejemplo las caídas de rocas, deslizamientos, escarpes de falla, exposición de superficies por denudación, basculamiento, retroceso glaciar, cambios del nivel de base y fenómenos erosivos, entre otros. La liquenometría se clasifica dentro de los métodos de geocronología como una técnica de datación química-orgánica, puesto que mide y calcula la tasa de crecimiento de un ser vivo sobre una roca.

Los trabajos pioneros establecieron las bases metodológicas actuales para la obtención de las curvas de crecimiento de diferentes especies de líquenes, a partir del cálculo de la edad de exposición de los depósitos morrénicos en zonas con clima frío (e.g. Fink, 1917; Benedict, 1967; Proctor, 1977). El bajo coste en su aplicación, la sencillez de cálculo y la nula complejidad tecnológica que acompaña dicha técnica, hizo que se extendiera rápidamente su uso de forma generalizada. Sin embargo, se asignaron edades de forma poco contrastada al no correlacionar los resultados obtenidos con otras técnicas de datación como el C^{14} .

En España los trabajos pioneros en la aplicación de la liquenometría en estudios climáticos son los de Chueca (1991) y Chueca y Julián (1992), respectivamente. Sancho y Valladares (1993) aplicaron la liquenometría

en morrenas en la Isla Livingston (Antártida). La liquenometría en el estudio de los efectos geológicos de los terremotos fue aplicada por Pérez-López *et al.* (2010; 2012), en el terremoto histórico de Lisboa de 1755 (Pérez-López *et al.*, 2019a). Hay que destacar los trabajos de Silva *et al.* (2016; 2017) sobre la datación mediante liquenometría del movimiento de la falla de Sencelles en Mallorca. A nivel internacional destacar el trabajo de Bull (1996) sobre terremotos en la Falla de San Andrés. Otros trabajos aplican la liquenometría en el estudio de paleoinundaciones en conjunción con la dendrogeomorfología (Díez-Herrero *et al.*, 2021). En cuanto a trabajos internacionales en inundaciones destacamos el de Gob *et al.*, (2007). Trabajos pioneros en la aplicación de la liquenometría en arqueología son los de Bettinger y Oglesby (1985).

Los líquenes aparecen en cualquier litología: silíceas, carbonatadas, ígneas, volcánicas, metamórficas, etc., y crecen bajo cualquier tipo de clima incluyendo los más extremófilos como los antárticos. De todas las especies de líquenes, el *Rhizocarpon geográficum* (L) es la especie más utilizada. En primer lugar, es un líquen que aparece por todo el mundo, asociado a rocas siliciclásticas, de crecimiento muy lento (0,3-0,01 mm/año, e.g. Carrara y Andrews, 1973; Gob *et al.*, 2003; Jomelli *et al.*, 2007). Además, esta especie presenta una geometría discoidal con poca excentricidad, un crecimiento continuo y suele aparecer como individuos aislados (talos). En rocas de afinidad básica, McCarthy y Smith (1996) obtienen tasas de crecimiento en las especies *Xanthorias sp.* y *Aspicillas sp.* entre 0,5 y 0,9 mm/año. Pérez-López *et al.*, (2010; 2019a) también obtiene tasas de crecimiento para *Aspicilla radiosa* entre 0,2 y 0,3 mm/año en

rocas detríticas carbonatadas. Es muy importante una correcta identificación del evento geomorfológico a datar, puesto que una interpretación equivocada o la falta de estudio de las superficies erosivas y/o rejuvenecidas de forma natural o artificial darán valores erróneos en la datación por liquenometría.

2. Metodología

La liquenometría consiste principalmente en obtener la tasa de crecimiento anual de una especie de líquen, calcular su curva de crecimiento mediante calibración en superficies de edad conocida (GR), y aplicarla a los líquenes que encontremos en la superficie rocosa que queremos datar (Noller y Locke, 2000). Para ello, introducimos el término líquen reloj como la especie de líquen utilizada para realizar la calibración y por tanto, para la datación. En primer lugar, se identifica el líquen reloj y se mide el diámetro máximo (Figura 1.A), luego se obtiene la curva GR midiendo

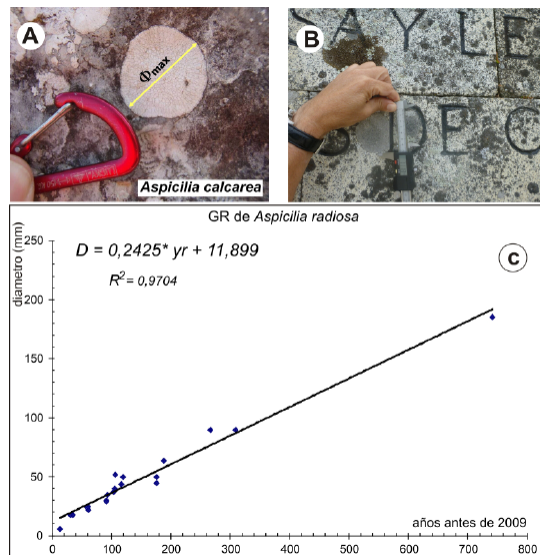


Figura 1. A. *Aspicilia calcárea* sobre una roca carbonatada. B. Medida con calibre digital de la especie *Buellia tesserata*. C. Curva de crecimiento GR de *Aspicilia radiosa* proyectando los valores de los diámetros máximos con la edad.

Figure 1. A. "*Aspicilia calcárea*" on a limestone. B. "*Buellia tesserata*" thallus. C. GR curve for "*Aspicilia radiosa*".

en superficies de edad conocida (Figura 1.B), y se obtiene la curva de calibración (Figura 1.C). Esta curva nos permitirá datar la fecha desde que el líquen reloj colonizó y comenzó a crecer en esa superficie. En general, la tasa de crecimiento se mide en mm/año y el diámetro se mide con un calibre digital. En la curva GR, se representa y ajusta el diámetro máximo del talo con la edad calibrada. El problema sobre la aplicación de una metodología laxa y la obtención de datos espurios ha sido ampliamente expuesto por Osborn *et al.* (2015) y Rosenwinkel *et al.* (2015).

2.1. Hipótesis de partida

Las hipótesis de partida en liquenometría son:

- Para la elección del líquen reloj, se utilizan preferentemente líquenes de geometría discoidal. Esto es debido a que son líquenes planos incrustados en la superficie de la roca y de difícil eliminación, con un crecimiento lento que permite establecer si son o no de primera generación.
- Se asume que los talos presentan un crecimiento constante en el tiempo. Sin embargo, es posible hacer ajustes en la calibración de tipo exponencial o potencial. Para grandes periodos de tiempo se ajustan curvas lineales (Benedict, 2008). Armstrog (2005) muestra un crecimiento de tipo parabólico para la especie de *Rhizocarpon geographicum*, que comienza con una fase de aceleración exponencial inicial, y acaba decreciendo en los talos más grandes.
- Es necesario llevar a cabo un estudio combinado de los líquenes, las especies que aparecen junto a la especie reloj, así como la frecuencia de los diámetros en relación a los periodos secos y húmedos. Esto puede ayudar a estimar el periodo de colonización del líquen (ecesis), así como si son de primera o segunda generación por rejuvenecimiento de la superficie rocosa.

- (d) Esta técnica permite estimar una edad calibrada y/o relativa, en función de la calidad de la calibración de la curva de crecimiento.
- (e) Esta técnica solo data eventos geomorfológicos y/o climáticos en superficies rocosas expuestas, o bien se aplica para datar estructuras y construcciones históricas en arqueología.

2.2. Especies de líquenes reloj

De las cerca de 15.000 especies de líquenes que se han estimado en la Tierra, destacamos el *Rhizocarpon geographicum* (L.) como la especie más utilizada por su distribución global en todo el planeta, su presencia en ambientes fríos y extremos, y su lenta tasa de crecimiento (Bradwell y Armstrong, 2007, Figura 2). Sin embargo, varias subespecies de rhizocarpon presentan distintas tasas de crecimiento y comparten ecosistema (Mathews y Trenbith, 2011). El líquen más común utilizado para datar sobre rocas carbonatadas es el *Aspicilia calcarea* (Hoffm.) y *Aspicilia radiosa* (Hoffm.) (Figura 2, Pérez-López *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2017). Es una especie común en la zona mediterránea. También es muy común el uso del *Lecanora muralis* (Schreb.), el cual aparece sobre construcciones de cemento y piedra natural (Figura 2). Otras especies que se han

utilizado son (Figura 2): *Caloplaca aurantia* (A. Massal), *Arctoparmelia centrifuga* (L.), *Lecanora rupícula* (L.), *Verrucaria nigrescens* (Pers.) y *Xanthoria parietina* (L.).

2.3. Medida del diámetro máximo del líquen reloj

Innes (1986) ya introdujo el problema en la medida del talo del líquen y existen dudas sobre cuál es la mejor estrategia de medida (Jomelli *et al.*, 2007; Osborn *et al.*, 2015). Según estos autores, el diámetro máximo es la medida con menor error frente al uso de la media de los cinco talos mayores. Hoy por hoy, la medida del diámetro máximo permite afirmar que esa superficie no ha estado cubierta durante un mínimo de 5 años (Benedict, 1990) hasta que comenzó el crecimiento de ese talo. El diámetro máximo se mide sobre talos completos o en individuos con más de tres cuartas partes de circunferencia. En talos elípticos se mide el diámetro máximo y en talos irregulares podemos circunscribir el círculo máximo (Figura 3).

2.4. Calibración y curva de crecimiento anual (GR)

La curva de crecimiento anual se obtiene mediante el ajuste del diámetro máximo del talo en relación a la fecha de la superficie rocosa. El ajuste se hace mediante modelos lineales, exponenciales o parabólicos, en función del mejor coeficiente de correlación. De la curva GR es posible estimar la tasa de crecimiento anual y se expresa en mm/año. Se aplican cuatro técnicas:

- (1) Uso de cementerios para medir diámetro máximo del talo (D_{max}) sobre superficies bien datadas. La edad calibrada abarca un rango temporal entre los 500 y 700 años BP en función de la edad de la tumba más antigua. Como regla general, se miden los diámetros de los talos sobre tumbas con fecha y se distingue si son superficies horizontales o verticales. En el caso de superficies verticales se indica además

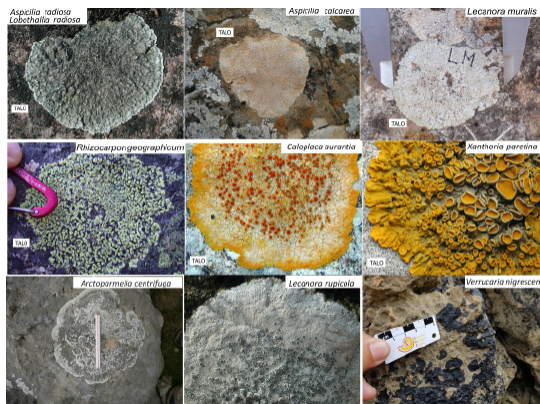


Figura 2. Diferentes especies de líquenes reloj más populares en liquenometría. Los nombres de cada especie vienen sobre cada fotografía.

Figure 2. Photography of the most used lichen species in lichenometry.

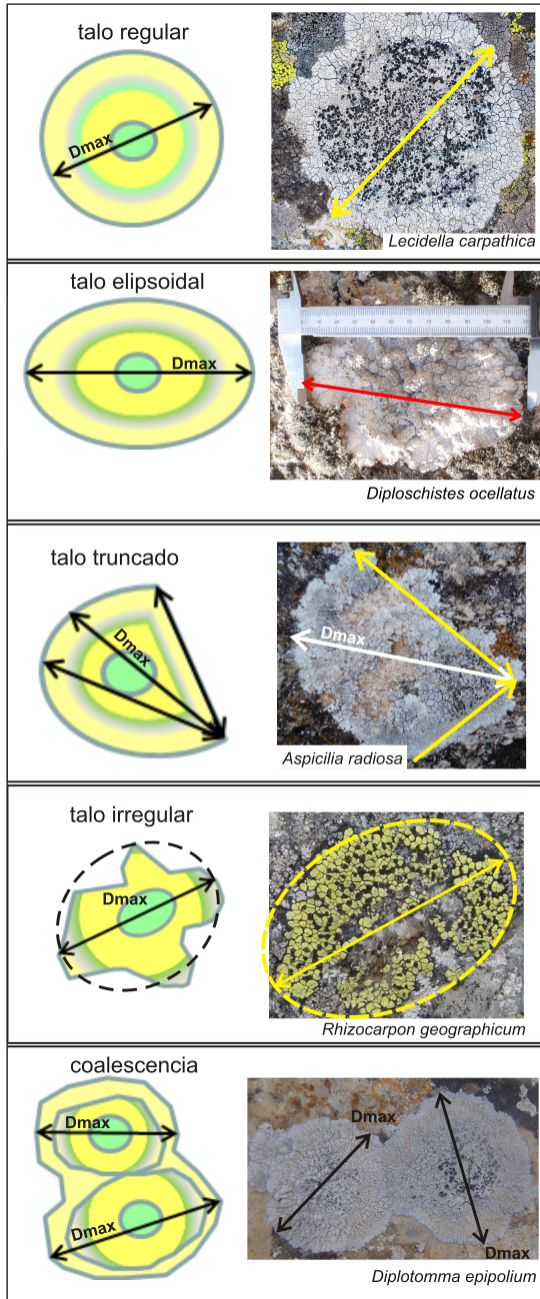


Figura 3. Diferentes geometrías de los talos de los líquenes reloj y medida del diámetro máximo.
 Figure 3. Geometry of the thallus and maximum lichen diameter.

la orientación de la superficie (norte, sur, este, oeste). Además, solo se debe aplicar una curva de crecimiento por cada litología donde aparece el líquen. Evitar medir

líquenes sobre lápidas de rocas exóticas (rocas de procedencia externa al entorno cercano como mármoles italianos o granitos de otros países). Condicionantes a tener en cuenta para obtener una calibración en cementerios: (1a) evitar sepulturas que muestren arreglos recientes o enterramientos múltiples. (1b) presencia de árboles y setos cubriendo las sepulturas que proporcionen nutrientes adicionales a los líquenes. (1c) en España el uso de cementerios solo es aplicable desde el año 1800, puesto que en 1804 se generaliza la construcción de cementerios a extramuros de las ciudades. (1d) Es conveniente que el ajuste de la curva se use un mínimo número de puntos de 10.

- (2) Medición de un mismo líquen cada año (Figura 4). Se ha medido entre 2011 y 2021 la especie de *Lecanora muralis* sobre cemento y *Ochrolechia parella* sobre granitos. La tasa de crecimiento anual de *Lecanora m.* de 1.97 mm/año (Figura 5.A), mientras que para *Ochrolechia p.* es de 1.25 mm/año (Figura 5.B). Observando los datos de precipitación (mm) y de tem-



Figura 4. Detalle del crecimiento del talo de *Lecanora muralis* (2011 y 2020), y de *Ochrolechia parella* (2015 y 2020).

Figure 4. Different photographs of thallus of "*Lecanora muralis*" (2011-2020), and "*Ochrolechia parella*" (2015 - 2020).

peratura (°C), se observa una tendencia neutra entre los años de medida (Figura 5.C). Además, la relación entre las horas de insolación diarias anuales y de la humedad relativa media (Figura 5.D), muestra una oscilación armónica bianual cuya media sería también un valor bastante constante.

- (3) Calibración de la curva de crecimiento mediante datos obtenidos en restos arqueológicos y en estructuras arquitectónicas. En este caso, se miden los D_{max} del líquen reloj en puentes, iglesias, castillos, restos de fortificaciones, etc. Hay que tener mucho cuidado con las diferentes fases de reconstrucción y mantenimiento de dichas estructuras para poder reconocer las partes originales y las reconstruidas. Mediante la calibración arqueológica es posible aplicar la líquenometría para intervalos temporales

entre 500 y 4.000 años BP. Sin embargo, raramente se puede aplicar en estructuras más allá de 2000 años BP, debido al deterioro de las mismas. Asumiendo una tasa global de erosión de 0,001 mm/año en granitos, 0,01 - 0,001 mm/año en carbonatos, 0,01 mm/año en pizarras y 0,1 y 10 mm/año en rocas detríticas (Sunamura, 1983), es poco probable que sobrevivan líquenes sobre superficies en edificios más de 2000 años.

- (4) Correlación entre las edades obtenidas de los diámetros de los líquenes sobre superficies que pueden datarse con otros métodos con edades numéricas: C^{14} , cosmogénicos, etc., o bien mediante dendrocronología. En este caso sería posible alcanzar los 10.000 años (Briner et al., 2009). El error de la curva de calibración sería el error de la técnica numérica utilizada.

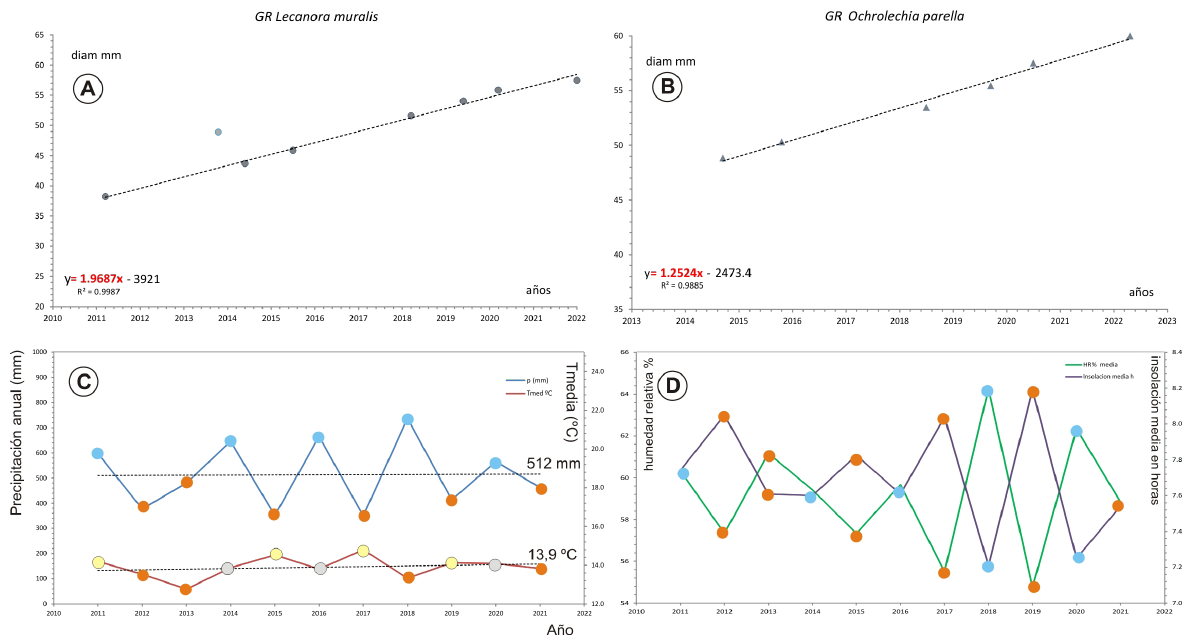


Figura 5. A. Curva de calibración GR para *Lecanora muralis* (2011-2022), con una tasa de crecimiento lineal de 1,97 mm/año. B. Curva de calibración GR de *Ochrolechia parella* (2015-2022), con un valor de 1,25 mm/año. C. Curva de precipitación media anual (mm) y de temperatura media anual (°C). D. Valores de insolación media anual (horas) y humedad relativa (%).

Figure 5. A. Growth curve of “*Lecanora muralis*” (2011-2022) showing 1.97 mm/yr. of annual growth rate. B. Growth curve of “*Ochrolechia parella*” (2015-2022) showing 1.25 mm/yr. of annual growth rate. C. Average annual precipitation and temperature. D. Average isolation hours by year and relative humidity.

2.5. Periodo de colonización líquen (ecesis)

Se desconoce el periodo de colonización de los líquenes más allá de algunos casos particulares (Kristinsson y Heiðmarsson, 2009), donde los primeros líquenes que se encontraron en la isla volcánica de Sursey (Islandia) aparecieron a los 3 años de la erupción. Según Fink (1917), los líquenes crustosos colonizan las superficies en periodos comprendidos entre 4 y 8 años en ambientes polares. Luckman (1986) aumenta este valor de colonización a 10 años para esos mismos ecosistemas, mientras que Pérez-López *et al.*, (2019a) lo reduce a 4 años en la zona de Albacete para líquenes calcícolas en clima mediterráneo. Benedict (1990) lo sitúa en un mínimo de 5 años para líquenes calcícolas en climas continentales y mediterráneos.

2.6. Errores y limitaciones en la liquenometría

Como error directo sería una colocación errónea del calibre sobre el talo. Si usamos un calibre digital la resolución del calibre suele ser ± 0.01 mm, pero este error es inferior al error de apreciación del ojo humano y que suele ser de 1 mm. Para obtener el error de medida es posible medir varias veces talos de diferentes tamaños y estimar la desviación estándar de la población. Pérez-López *et al.* (2019a) determinó un error de medida de 1.6 mm, que para la tasa anual de crecimiento del líquen reloj supuso un error de ± 8 años. Por otro lado, para calcular el error en el ajuste exponencial y lineal, este autor obtuvo un error de 33 años utilizando la distribución σ y 2σ . Para minimizar el error en liquenometría se recomienda: (1) No aplicar la liquenometría en intervalos temporales superiores al intervalo de la curva de calibración. (2) Medir el líquen mayor en la zona, el cual mostrará el rango máximo de edad que podremos obtener. (3) No obtener la curva GR a partir de un solo dato. (4) No dividir individualmente el diámetro de un líquen con una edad. (5) No mezclar en una misma curva líquenes de diferentes especies o bien la misma especie sobre

diferentes litologías. (6) No usar una curva GR en líquenes medidos sobre superficies verticales y aplicar los datos de crecimiento anual sobre líquenes en superficies horizontales y viceversa.

2.7. Tasas de crecimiento anual de líquenes reloj más comunes

La Tabla 1 muestra las tasas de crecimiento anual de las especies de líquenes reloj más utilizadas en liquenometría. *Aspicilia radiosa* y *Aspicilia calcicola* muestran tasas anuales entre 0,21 y 0,57 mm/año en climas mediterráneos, *Verrucaria nigrescens* con tasas de 0,38 mm/año en clima continental. *Rhizocarpon geographicum*, presenta un amplio intervalo de tasas de crecimiento, entre 0,02 y 0,75 mm/año, dependiendo de la zona climática donde aparecen. Esta especie de líquen consta de más de doscientas especies y subespecies (Roca-Valiente *et al.*, 2016), con lo que constituye un grupo polifilético. Los valores de crecimiento son más bajos en condiciones extremas de clima (Tabla 1). También se muestran valores para *Lecanora muralis*, con valores entre 0,57 y 1,97 mm/año. Los valores de la Tabla 1 deben de ser tomados como valores orientativos y en ningún caso como valores absolutos aplicables en otras zonas donde aparezcan las mismas especies. Si representamos las tasas de crecimiento por especie, se puede observar que algunas especies presentan una mayor dispersión de valores con relación al clima (Figura 6), lo que sugiere que es necesario siempre obtener la curva de GR y tasa de crecimiento anual en cada zona.

3. Intervalo temporal de aplicación de la liquenometría

Un estudio de toda la bibliografía aquí citada y la experiencia del autor muestra que la liquenometría se aplica en el rango temporal máximo del Holoceno (11.700 años, Figura 7). Sin embargo, el uso de la liquenometría para valores de más de 5000 años conlleva un error de medida superior al 50%, y por ello no

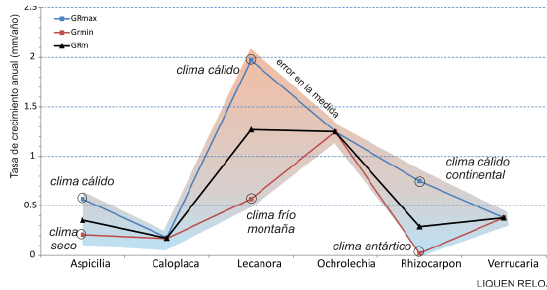


Figura 6. Tasas de crecimiento anual de las especies de líquenes reloj (Tabla 1). Los valores con círculo indican el clima. La superficie azul rojiza indica la zona de error de la medida. Para una mayor explicación consulte el texto.

Figure 6. Annual growth rates of different lichens from Table 1. Circles indicates the climate description. Blue-red area shows the error. See text for further explanation.

se recomienda su uso más allá de 5000 años BP. Un límite de aplicación aceptable en climas cálidos/húmedos serían los 2000 años BP (Figura 7). En este caso, el error dependerá de la sistemática de aplicación y de la calidad de

medida. El intervalo con error igual o inferior al 10% oscila entre 150-500 años, intervalo recomendable para el estudio de efectos geológicos de sismicidad histórica y de eventos climáticos recientes.

4. Ejemplos de aplicación de la liquenometría en la península ibérica

4.1. Liquenometría aplicada en terremotos históricos: Terremoto de Lisboa 1755

Pérez-López *et al.*, (2019a) aplicó la liquenometría en el desprendimiento rocoso (2300 m³) del Tolmo de Minateda (Albacete, Figura 8.A, B), atribuido por fuentes documentales al terremoto de Lisboa de 1755. Pérez-López *et al.* (2010) calibró la tasa de crecimiento anual para *Aspicilia radiosa* en 0,25 mm/año (Tabla 1, Figura 8.C, D). Obtuvieron una fecha de 1733 ± 33 CE, lo que se ajusta con la fecha del terremoto de Lisboa, 1755 CE.

especie	localización	zona	intervalo (a)	GR (mm/a)	ajuste	roca	Dmax (cm)	calibración	elevación msnm	temp. anual °C	precip. anual mm	clima	Köppen-Geiger	referencia
<i>A. contorta</i>	Lanzarote, I. Canarias	Europa	1000	0.270	linear	VOL	50	tumb+arqueo		19.5	115	oceanico	BWh	este trabajo
<i>A. radiosa (Hoffm.)</i>	Mallorca Baleares	Europa	160	0.210	linear	CAL		tumbas		18	402	mediterraneo	BSk	Silva et al., 2016; 2017
<i>A. radiosa (Hoffm.)</i>	Mallorca Baleares	Europa	160	0.400	linear	CAL		tumbas		18	402	mediterraneo	Csa-Bsk	Silva et al., 2016; 2017
<i>A. radiosa (Hoffm.)</i>	Albacete, SE-Spain	Europa	800	0.240	linear	CAL	19.5	tumb+edif.	500	19	244.7	med	Csa-Bsk	Pérez-López et al., 2010
<i>A. calcarea</i>	Pirineos, España	Europa	200	0.450	linear	CAL	35	tumb+arqueo		4.2	1525	periglacial	Dfb	Pérez-López, 2019a
<i>A. calcarea</i>	Baleares-Mallorca	Europa	160	0.570	linear	CAL		tumb+arqueo		18	402	mediterraneo	Csa-Bsk	Silva et al., 2016; 2017
<i>B. tosserata</i>	Avila - España	Europa	600	0.160	linear	SIL	17	tumb+arqueo		12.1	575	continental	Csa	este trabajo
<i>Caloplaca cinericola</i>	Signy I. W Antartica	Antar	2	0.180	linear	SIL		sustrato		3.5	838.2	glacial	EF	Hooker, 1980
<i>Lecanora muralis</i>	C. Villalba	Europa	10	1.970	linear	cem	10	medida	875	13	689	calido-templado	Csa-Bsk	este trabajo
<i>Lecanora muralis</i>	Tien Shan (China)	Asia	220	0.570	linear	?		?		15.4	871	glacial	S y S., 1989	S. y S., 1989
<i>Ochrolechia parella</i>	C. Villalba	Europa	10	1.250	linear	SIL	6	medida	875	13	689	calido-templado	Csa-Bsk	este trabajo
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	SW Colorado USA	Am (N)	100	0.300	?	SIL		tumbas	3500				ET	Carrara y Andrews, 1973
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Greenlandia	Art	5	0.200	?	?		?					ET	Hansen, 2008
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Polonia	Europa	?	0.440	linear	?		?					continental	Jonasson et al., 1991
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Rango Colorado, USA	Am (N)	?	0.033	?	?		?						Mahaney, 1987
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Valais, Suiza	Europa	?	0.500	no-lin.	?	350	?						Proctor, 1983
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Tien Shan (China)	Asia	220	0.207	linear	?		tumbas						S. y S., 1989
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Signy I. W Antartica	Antar	5	0.020	linear	SIL		foto		3.5	838.2	glacial		Hooker, 1980
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Corcega	Europa	200	0.250	linear	SIL		tumb+arqueo	1850			med		Gob et al., 2003
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Baffin, I.	Antar	10000	0.027	linear	?	280	?				glacial		Briner et al., 2009
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Gales, UK	Europa	75	0.670	linear	SIL		tumbas	535	9	1200-1802	humedo		Foulds et al., 2014
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Venero Claro Avila	Europa	60	0.200	no-lin.	SIL	11.7	tumbas		12.1	575	montaña	Csa	Diez-Herrero et al., 2021
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Venero Claro Avila	Europa	85	0.450	linear	SIL	11.7	tumbas		12.1	575	montaña	Csa	Diez-Herrero et al., 2021
<i>Rhizocarpon goegr.</i>	Venero Claro Avila	Europa	120	0.750	no-lin.	SIL	11.7	tumbas		12.1	575	montaña	Csa	Diez-Herrero et al., 2021
<i>Verrucaria nigres.</i>	Cantabrico, Spain	Europa	200	0.380	linear	CAL		tumbas	0	13.7	1107	costero	Cfb	Perez-Lopez et al., 2019b

Tabla 1. Valores de crecimiento anual de diferentes especies de líquen reloj, junto con la localización, continente, intervalo de años, tasa anual GR (mm/años), ajuste de la curva GR, dataciones, tipo de roca, diámetro máximo D_{max} (cm), calibración: tumb: tumbas, arqueo, arqueología, elevación sobre el nivel del mar (msnm), temperatura anual, precipitación anual, clima, clasificación de clima de Köppen y referencias de donde se obtuvo el dato. A. *Aspicilia*, B. *Buellia*, S y S *Serebryanny* and *Solomina*, VOL volcánica, SIL silíceo, CAL caliza, cem. cemento

Table 1. Annual growth rates of different lichen species used in lichenometry, location, continent, time interval, annual growth rate (mm/yr.), dating, rock type, maximum diameter D_{max} (cm), calibration, tumb: tombs, arqueo: archaeology, meters above sea level (msnm), annual temperature, annual precipitation, climate, Köppen classification and references. A. *Aspicilia*, B. *Buellia*, S y S *Serebryanny* and *Solomina*, VOL volcanic, SIL siliceous, CAL limestone, cem. concrete.

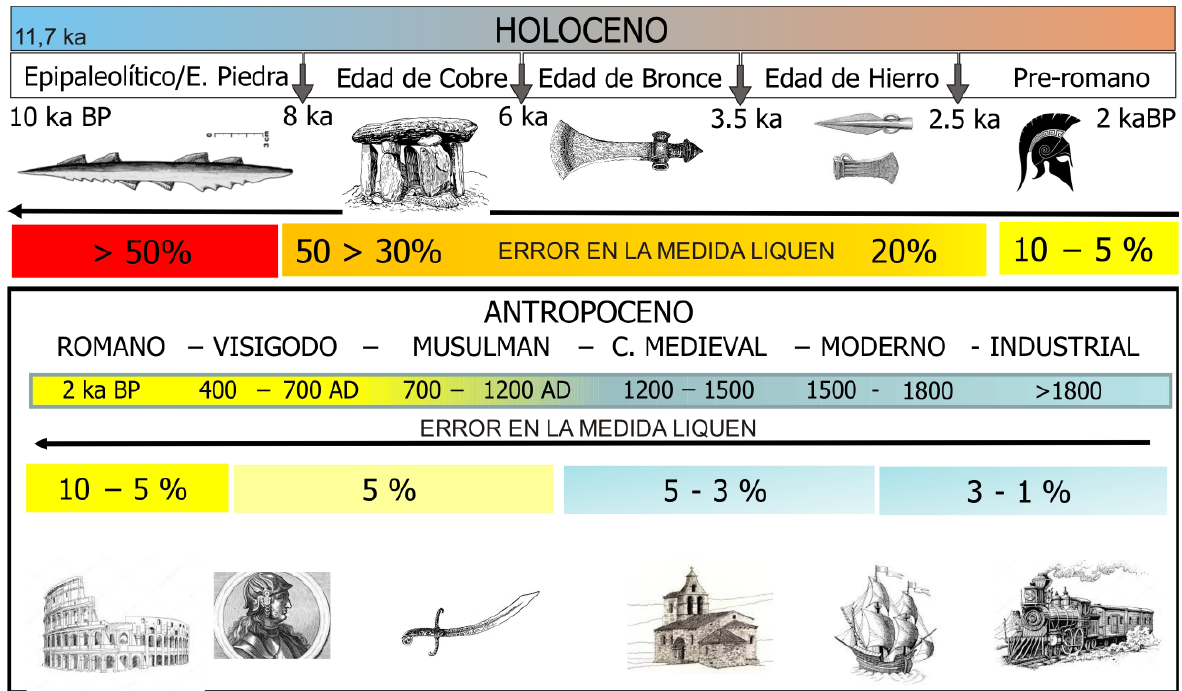


Figura 7. Intervalo temporal de aplicación de la liquenometría, error y principales periodos culturales.
 Figure 7. Temporal interval of lichenometry application, error and main Spanish cultural periods.

4.2. Lichenometría aplicada en inundaciones: VENERO CLARO

Díez-Herrero *et al.* (2021) estudiaron los depósitos torrenciales de la cuenca de Venero Claro (Ávila, España, Figura 9.A, B), y la posibilidad de medir paleoavenidas en la misma zona. Para ello calibraron la curva GR de *Rhizocarpon geographicum* con un valor lineal de crecimiento anual de 0,45 mm/año (Tabla 1, Figura 9.B, C). Además, correlacionan la curva de frecuencia de *Rhizocarpon g.* con la curva de lluvias en la zona, mostrando un desfase de 4 años, lo que equivaldría al error en los últimos 200 años.

4.3. Lichenometría aplicada en arqueología: TOROS DE GUISSANDO

La aplicación de la liquenometría en arqueología presenta ventajas pero también inconvenientes. Como ventaja, es posible de correlacionar con periodos históricos bien conocidos y cruzar con fechas obtenidas por

otras técnicas de datación en arqueología. Por el contrario, es difícil aplicarla en periodos de tiempo superiores a 500-800 años de antigüedad. En este trabajo hemos aplicado la

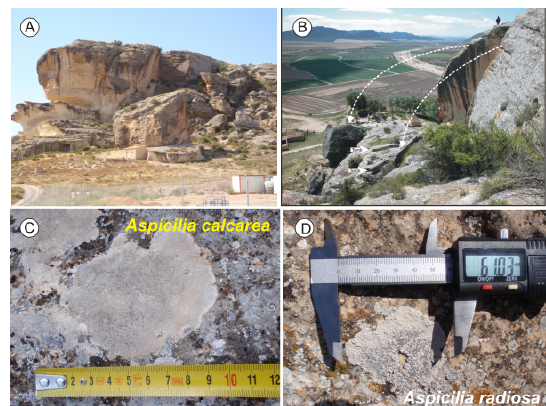


Figura 8. A. Desprendimiento rocoso del Tolmo de Minateda (Albacete). B. Detalle del deslizamiento afectando tumbas antropomórficas de edad visigoda en el Tolmo. C. Detalle de *Aspicilia calcarea*. D. detalle de *Aspicilia radiosa*.

Figure 8. A. Rockfall Tolmo de Minateda (Spain). B. Rockfalls affecting Visigothic tombs. C. "*Aspicilia calcarea*". D. "*Aspicilia radiosa*".

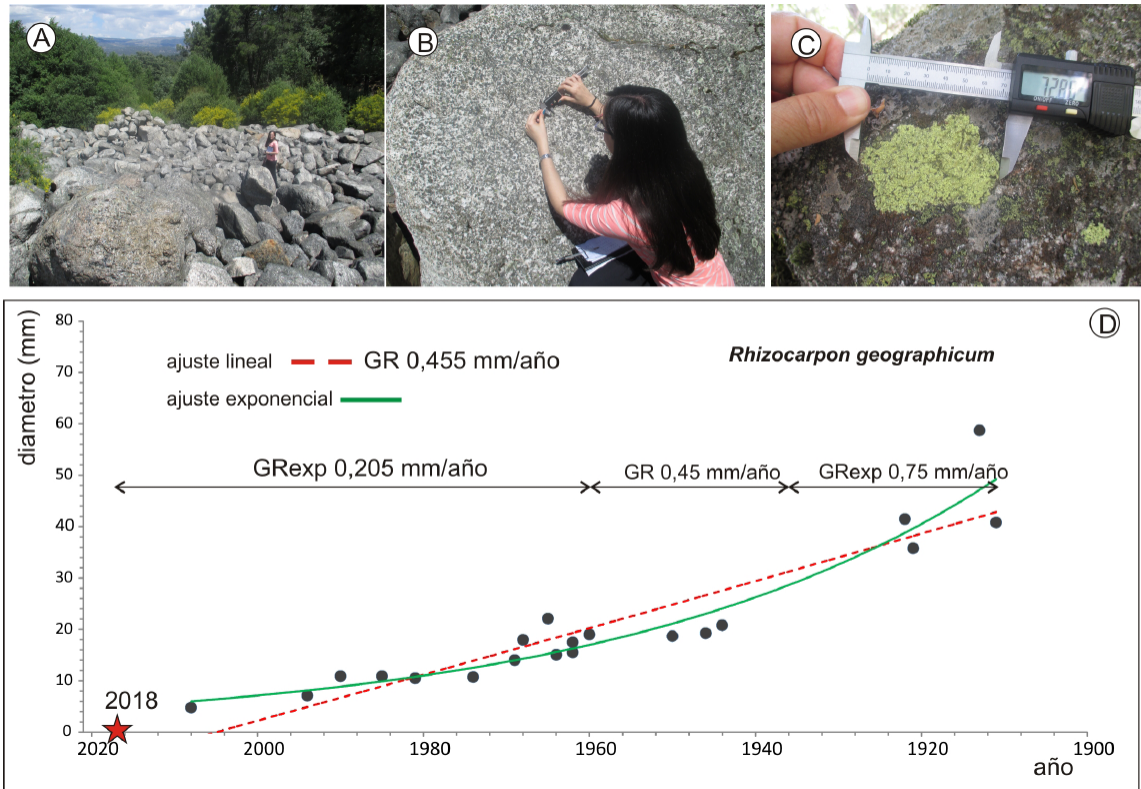


Figura 9. A. Campo de bolos de Venero Claro (Ávila, España). B. Detalle de toma de datos de campo. C. Mayor diámetro medido sobre *Rhizocarpon geographicum*. D. Curva GR de crecimiento de *Rhizocarpon geographicum* (modificada de Díez-Herrero *et al.*, 2021).

Figure 9. A. Boulder fan of Venero Claro (Spain). B. Taking data on fieldwork. C. Maximum measured diameter of "*Rhizocarpon geographicum*". D. Growth curve of "*Rhizocarpon geographicum*" (modified from Díez-Herrero *et al.*, 2021).

liquenometría para estimar la edad de exposición de los Toros de Guisando (Ávila, Figura 10.A), calibrando *Buellia tesserata*. Los Toros de Guisando consisten en la escultura zoomorfa de 4 verracos alineados, de 2,5 m de longitud y tallados en granito, con una edad entre la segunda edad de Hierro y la época prerromana (Álvarez-Sanchis, 1994). Se obtuvo una tasa de crecimiento de 0,15 mm/año (Figura 10.B). El diámetro máximo encontrado fue de 169 mm, lo que indica una edad de 563 años (1446 CE), medidos en el año 2009 (Figura 10.C). Una inscripción en el muro cercano (Figura 10.D) indica que está fechada en el año 1468 CE. El resultado sugiere que las esculturas permanecieron a la intemperie desde el siglo XV.

4.4. Lichenometría aplicada en climatología: LIA EN CANTABRIA

Perez-López *et al.*, (2019b) trabajaron sobre la aplicación de la liquenometría en la datación de bloques carbonatados que aparecen a lo largo de las playas entre Santander y Bilbao, en el litoral cantábrico. La presencia de ventifactos en la superficie de estos megabloques, indica variaciones en los procesos erosivos físico-químicos. Sobre los ventifactos se pueden observar líquenes de la especie *Verrucaria nigrescens* (ver Figura 2). Esta colonización aparece asociada al cambio en el mecanismo de erosión y que puede asignarse al final del LIA en dicha costa (1855 ± 6 CE). Calibraron una curva GR con una tasa de crecimiento anual de 0,44 - 0,5 mm/año (Tabla 1).

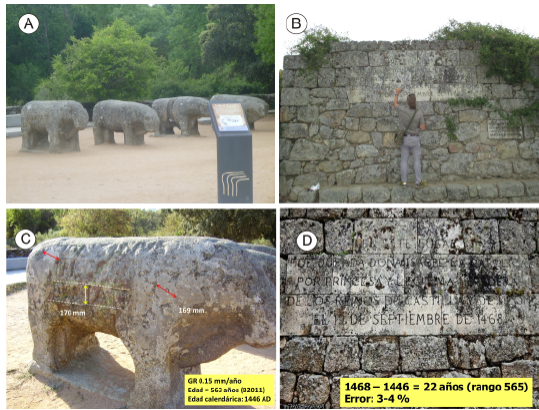


Figura 10. **A** Esculturas de los Toros de Guisando (Ávila, España). **B**. Toma de datos de líquenes *Buellia tesserrata*. **C**. Detalle del liquen de mayor diámetro. **D**. Inscripción en el muro sobre la coronación de Isabel de Castilla, 1468.

Figure 10. **A**. Bull sculpture of Toros de Guisando (Spain). **B**. Measuring “*Buellia tesserrata*”. **C**. Maximum thallus measured on the stone Bulls. **D**. Stone inscription of the Crown ceremony of the queen Isabel of Castilians, 1468.

5. Resumen y Conclusiones

La liquenometría es una técnica calibrada para fechar superficies rocosas, relativamente sencilla de aplicar pero sistemáticamente compleja. Esto es debido a que sin una metodología sistemática y con la elevada probabilidad de introducir datos espurios, es fácil obtener edades incorrectas. Se diferencia de las demás técnicas de datación porque se fundamenta en el crecimiento de un ser vivo con crecimiento constante en el tiempo. Es una técnica de datación biológica similar a la dendrocronología. El intervalo temporal que comprende esta técnica es el Holoceno, siendo recomendable aplicarla como máximo en el periodo de los últimos 1000 años. Esta técnica se aplica con relativo éxito para intervalos temporales de los últimos 300 años con errores en la medida $< 10\%$. Entre 300 y 800 años el error es $\geq 10\%$, siendo $> 50\%$ entre 1000 y 5000 años.

El ámbito de aplicación son los eventos geomorfológicos como deslizamientos, caídas de rocas, escarpes de falla, cambios de nivel de base de caudales de agua, erupciones volcá-

nicas, etc. También se aplica en arqueología y eventos climáticos con reflejos geomorfológicos.

Es necesario obtener la calibración y la curva GR en superficies expuestas en cementerios sobre mismas litologías y misma orientación de superficie para asegurar la misma insolación. Se recomienda calibrar en rocas cercanas al evento geomorfológico a datar (dentro de unos 50 km de diámetro), para asegurar que el clima local afecta por igual a los líquenes. Sería conveniente intentar cruzar con otros métodos de datación, realizar el cálculo de errores, y ser los primeros críticos con los resultados preliminares obtenidos. Por último, no extrapolar las dataciones con líquenes más allá de la edad obtenida del máximo liquen observado en la zona.

Agradecimientos

Este trabajo está dedicado a Caridad Zazo que me animó hace mucho tiempo a adentrarme en la liquenometría para aplicarla en la Geología de Terremotos. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el proyecto FAMRAD, PID2020-113407RB-I00, del Plan Nacional del Ministerio de Ciencia e Innovación. Este trabajo es una contribución del grupo QTECT de AEQUA. Gracias al Dr. Juan Antonio Ballesteros (CSIC) y al Profesor Julio Garrote (UCM) por sus excelentes comentarios y acertadas revisiones.

Bibliografía

- Álvarez-Sanchís J.R. (1994). Zoomorphic Iron Age Sculpture in Western Iberia: Symbols of Social and Cultural Identity? *Proceedings of the Prehistoric Society*, 60, 403-416. <https://doi.org/10.1017/S0079497X00003492>
- Armstrong, R.A. (2005). Radial growth of Rhizocarpon Section Rhizocarpon lichen thalli over six years at Snoqualmie Pass in the Cascade Range, Washington State. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 37(4), 411-415. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2005\)037\[0411:RGO RSR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2005)037[0411:RGO RSR]2.0.CO;2)

- Benedict, J.B. (1967). Recent Glacial History of an Alpine Area in the Colorado Front Range, U.S.A. I.: Establishing a Lichen Growth Curve. *Journal of Glaciology* 6(48), 817-832. <https://doi.org/10.3189/S0022143000020128>
- Benedict, J.B. (1990). Lichen Mortality Due to Late-Lying Snow: Results of a Transplant Study. *Arctic and Alpine Research*, 22(1), 81-89. <https://doi.org/10.2307/1551722>
- Benedict, J.B. (2008). Experiments on Lichen Growth, III. The Shape of the Age-Size Curve. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 40 (1), 15-26 [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(06-030\)\[BENEDICT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(06-030)[BENEDICT]2.0.CO;2)
- Bettinger, R. L., Oglesby, R. (1985). Lichen Dating of Alpine Villages in the White Mountains, California. *Journal of California and Great Basin Anthropology* 7(2), 202-24. <http://www.jstor.org/stable/27825237>.
- Bradwell, T., Armstrong, R.A. (2007). Growth rates of Rhizocarpon geographicum lichens: a review with new data from Iceland. *Journal of Quaternary Science* 22(4), 311-320. <https://doi.org/10.1002/jqs.1058>
- Briner, J.P., Davis, P.T., Miller, G.H. (2009). Latest Pleistocene and Holocene glaciation of Baffin Island, Arctic Canada: key patterns and chronologies. *Quaternary Science Reviews*, 28(21-22), 2075-2087. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.09.017>
- Bull, W.B. (1996). Dating San Andreas Fault earthquakes with lichenometry. *Geology* 24, 111-114. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1996\)024<0111:DSAFEW>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<0111:DSAFEW>2.3.CO;2)
- Carrara, P E., Andrews, J. T. (1973). Problems and application of lichenometry to geomorphic studies, San Juan Mountains, Colorado. *Arctic and Alpine Research*, 5, 373-384. <https://doi.org/10.2307/1550129>
- Chueca, J. (1991). Pautas de flujo en un glaciar rocoso activo (Skjoldalur, Islandia): aplicación de técnicas liquenométricas. *Cuadernos I. Geográfica*, 17(1-2), 47-67.
- Chueca, J., Julián, A. (1992). Establecimiento de una curva de crecimiento para el subgénero *Rhizocarpon* en el valle de Benasque (Pirineo Central Aragonés): aspectos metodológicos y resultados. En: *Estudios de Geomorfología en España*. López Bermúdez, F.; Conesa García, C. & Romero Díaz, M.C. (eds.). Murcia: SEG., 729-739.
- Díez-Herrero, A., Ballesteros-Cánovas, J.A., Génova, M., Pérez-López, R., Garrote Revilla, J. (2021). Cambios ambientales detectados por dendrogeomorfología y liquenometría para el análisis de avenidas torrenciales en sistemas fluviales. *Cuadernos de Geografía*, 107, 93-121. <https://doi.org/10.7203/CGUV.107.21259>
- Fink, B. (1917). The Rate of Growth and Ecesis in Lichens. *Mycologia*, 9(3), 138-158. <https://doi.org/10.1080/00275514.1917.12018912>
- Foulds, S.A., Griffiths, H.M., Macklin, M.G., Brewer, P.A. (2014). Geomorphological records of extreme floods and their relationship to decadal-scale climate change. *Geomorphology*, 216, 193-207. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.003>
- Gob, F., Petit, F., Bravard, J.-P., Ozer, A., Gob, A. (2003). Lichenometric application to historical and subrecent dynamics and sediment transport of a Corsican stream (Figarella River-France). *Quaternary Science Reviews*, 22(20), 2111-2124. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(03\)00142-2](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(03)00142-2)
- Hansen, E.S. (2008). The application of lichenometry in dating of glacier deposits. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 108 (1), 143-151. <https://doi.org/10.1080/00167223.2008.10649580>
- Hooker, T.N. (1980). Factors affecting the growth of Antarctic crustose lichens. *British Antarctic Survey Bulletin*, 50, 1-19.
- Innes, J.L. (1986). Dating Exposed Rock Surfaces in the Arctic by Lichenometry. The Problem of Thallus Circularity and Its Effect on Measurement Errors. *Arctic* 39(3), 253-259. <https://doi.org/10.14430/arctic2082>
- Jomelli, V., Grancher, D., Naveau, P., Cooley D., Brunstein, D. (2007). Assessment study of lichenometric methods for dating surfaces. *Geomorphology*, 86: 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.08.010>
- Jonasson C., Kot, M., Kotarba, A. (1991). Lichenometrical studies and dating of debris flow deposits in the High Tatra Mountains, Poland. *Geografiska Annaler*, 73 A(3-4), 141-146. <https://doi.org/10.2307/521019>
- Kristinsson, H., Heiðmarsson, S. (2009). Colonization of lichens on Surtsey 1970-2006, *Surtsey Res.*, 12, 81-104.
- Luckman, B.H. (1986). Reconstruction of little ice age events in the Canadian Rocky Mountains. *Géographie physique et Quaternaire*, 40(1), 17-28. <https://doi.org/10.7202/032619ar>
- Mahaney, W.C. (1987). Tentative Growth Curve for Rhizocarpon geographicum s. l. in Stroud Basin, Wind River Range, Western Wyoming. *Northwest Science*, 61(1), 13-19. https://rex-libraries.wsu.edu/view/delivery/01ALLIANCE_WSU/12332826500001842

- McCarthy D.P., Smith D.J. (1995). Growth Curves for Calcium-tolerant Lichens in the Canadian Rocky Mountains. *Artic and Alpine Research* 27(3), 290-297. <https://doi.org/10.2307/1551960>
- Matthews, J.A., Trenbirth, H.E. (2011). Growth rate of a very large crustose lichen (Rhizocarpon subgenus) and its implications for lichenometry. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, 93(1), 27-39. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2011.00004.x>
- Noller, J., Locke, W.W. (2000). Liquenometry. En: *Quaternary Geochronology*, editores: Jay Stratton Noller, Janet M. Sowers, William R. Lettis, The American Geophysical Union, 261 - 272. <https://doi.org/10.1029/RF004>
- Osborn, G., McCarthy, D., LaBrie, A., Burke, R. (2015). Lichenometric dating: science or pseudo-science? *Quaternary Research*, 83, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.09.006>
- Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Silva, P.G., GinerRobles, J.L., Bischoff, J.L., y Owen, L.A. (2010). Calibración de la curva de crecimiento para *Aspicilia radiosia* aplicada en dataciones liquenométricas. Abstract XI Reunión Nacional de Geomorfología, Solsona (España), 503-507.
- Pérez-López, R., Martín-González, F., Martínez-Díaz J.J., Rodríguez-Pascua, M.A. (2012). Datación mediante liquenometría de los desprendimientos rocosos asociados a la sismicidad histórica en Lorca. *Boletín Geológico y Minero*, 123, 473- 485.
- Pérez-López, R., Giner-Robles, J.L., Rodríguez-Pascua, M.A., Silva, P.G., Roquero, E., Bardají, T., Elez, J., Huerta, P. 2019a. Lichenometric dating of coseismic rockfall related to the Great Lisbon Earthquake in 1755 affecting the archaeological site of "Tolmo de Minateda" (Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 62 (2), 271-293. https://doi.org/10.1127/zfg_suppl/2019/0504
- Pérez López, R., Ortega-Becerril, J.A., Elorza, J. 2019b. Erosional transition of shoreline blocks by lichen colonization in Cantabria associated to the end of the LIA. Abstract 20th Congress of the International Union for Quaternary Research (INQUA). Inqua online programme. Dublin (Irlanda). <https://app.oxfordabstracts.com/events/574/program-app/submission/91843>
- Proctor, M. C. F. (1977). The growth curve of the crustose lichen *Buellia canescens* (Dicks.) de Not. *New Phytologist*, 79, 659-663. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1977.tb02250.x>
- Proctor M.C.F. (1983). Sizes and growth-rates of thalli of the lichen *Rhizocarpon geographicum* on the moraines of the Glacier de Valsorey, Valais, Switzerland. *The Lichenologist*, 15, 249-261. <https://doi.org/10.1017/S0024282983000389>
- Roca-Valiente, B., Hawksworth, D., Pérez-Ortega, S., Sancho, L., Crespo, A. (2016). Type studies in the *Rhizocarpon geographicum* group (Rhizocarpaceae, lichenized Ascomycota). *The Lichenologist*, 48(2), 97-110. <https://doi.org/10.1017/S002428291500050X>
- Sancho, L.G., Valladares, F. (1993). Lichen colonization of recent moraines on Livingston Island (South Shetland I., Antarctica). *Polar Biology*, 13, 227-233. <https://doi.org/10.1007/BF00238757>
- Serebryanny, L.R., Solomina, O.N. (1989). Glacial changes in the Tien Shan Mountains as revealed by bioindicators: Time-Series Analysis and Interpretation. Snow Cover and Glacier Variation. Proceedings of the Baltimore Symposium, Maryland, USA, IAHS Publ. no. 183, 81.
- Silva, P.G., Roquero, E., Bardají, T., Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Giner-Robles, J.L., Perucha, M.A. (2016). Geochronology of the Sencelles fault scarp and its relationships with the AD 1851 Mallorca Earthquake (Balears Islands, Spain). *Geo-Temas*, 16 (1), 653 -656.
- Silva, P.G., Roquero, E., Bardají, T., Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Giner-Robles, J.L., Perucha, M.A. (2017). Lichenometric analysis of rocky fault scarps: The example of the Sencelles Fault (Balearic Islands, Spain). En: *8th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology* (PATA), 13 - 16 New Zealand, 354-357.
- Sunamura, T. (1983). Processes of sea cliff and platform erosion. En: *Handbook of Coastal Processes and Erosion*, Komar, P.D. (ed.), Boca Ratón, USA, CRC Press., 233-265.

Recibido el 18 de marzo de 2022

Acceptado el 29 de agosto de 2022

