

Datación mediante liquenometría del Molino Hidráulico Astete

Lichenometric dating of the Astete Hydraulic Mill

Juan Carlos Astete Mendoza

Departamento Académico de Arqueología

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5882-7834>

Recibido: Setiembre 2023 | Aceptado: Junio 2024

Resumen

En este estudio se describe cómo se utilizó la liquenometría para determinar la antigüedad del Molino Hidráulico Astete, que se encuentra en Challhuahuacho, Cotabambas, Apurímac (Perú). Se emplearon diferentes métodos como la recopilación y revisión de la literatura especializada, análisis de datos geospaciales mediante un sistema de información geográfica (SIG), datación absoluta mediante líquenes (liquenometría) y fotogrametría. Se utilizó el método directo para elaborar la curva de crecimiento liquénico, basándose en datos recolectados durante un año de trabajos de campo.

Palabras clave: *Datación liquenométrica, fotogrametría, molino hidráulico antiguo.*

Abstract

This study describes how lichenometry was used to determine the age of the Astete Hydraulic Mill, located in Challhuahuacho, Cotabambas, Apurimac (Peru). Different methods were used, such as the compilation and review of specialized literature, geospatial data analysis using a geographic information system (GIS), absolute dating using lichens (lichenometry) and photogrammetry. The direct method was used to elaborate the lichen growth curve, based on data collected during one year of field work.

Keywords: *Lichenometric dating, photogrammetry, ancient hydraulic mill.*

INTRODUCCIÓN

Durante muchas décadas, la liquenometría ha sido utilizada en estudios de datación para mejorar nuestro entendimiento sobre la edad de las superficies donde crecen distintas especies de líquenes. Entre ellas, *Rhizocarpon geographicum* destaca por sus cualidades únicas, convirtiéndose en un elemento fundamental en los estudios liquenométricos.

Se emplearon distintas metodologías para recopilar información, tales como la revisión de literatura especializada, análisis de datos geospaciales mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG), la medición de líquenes con el propósito de determinar un fechado absoluto y la fotogrametría para realizar un registro detallado del estado de conservación actual. Se decidió realizar un muestreo por conveniencia para establecer la muestra, la cual consistió en un molino hidráulico antiguo. Se utilizó la datación a través del estudio de líquenes para conocer la antigüedad de los bloques de piedra tallados utilizados en la construcción del molino y del patio contiguo. El estudio reveló la fecha en que se construyó el Molino Hidráulico Astete utilizando la técnica de liquenometría. Se seleccionaron los cinco líquenes más grandes (5LL) de *Rhizocarpon geographicum*, con forma circular y encontrados en distintas áreas de la estructura del molino hidráulico. Además, se registraron otros líquenes que crecen en múltiples áreas de esta construcción y en rocas cercanas a esta edificación histórica.

A partir de la información recolectada durante las investigaciones de campo, se generó la curva de crecimiento de *Rhizocarpon geographicum* utilizando el método directo y de ahora en adelante, a esta especie de líquen en este artículo se abreviará como “RG”. Se llevó a cabo un seguimiento mensual de estos datos, desde el 01/07/2020 al 31/07/2021. Se empleó un método de medición de los talos de líquenes mediante un calibrador digital para luego ser registrados a través de fotografías digitales con escalas adecuadas. Estos líquenes seleccionados fueron posteriormente medidos en un ordenador con programas informáticos para obtener resultados más precisos en este estudio. De manera similar, se realizó un detallado registro de la estructura hidráulica utilizando fotografías aéreas capturadas por un dron profesional. A través de la fotogrametría, se crearon modelos tridimensionales del Molino Hidráulico Astete para obtener datos clave sobre su estado de conservación actual.

Se recolectaron datos relevantes en este estudio utilizando diferentes instrumentos y se procesaron con diversos programas informáticos según la etapa de análisis correspondiente. En este estudio, la etapa de análisis estadístico de los datos recolectados a lo largo de un año durante las distintas fases de los trabajos de campo fue fundamental, empleando programas especializados para este fin. Sobre la base de estas etapas, se logró obtener la datación absoluta de la muestra analizada a través de la técnica de liquenometría.

Se exponen detalladamente los hallazgos vinculados con el propósito de la

investigación, incluyendo todos los aspectos significativos del estudio. Los estudios de campo realizados con un dron han proporcionado una descripción detallada de la condición física y cultural del molino hidráulico que fue datado. Esta tecnología permitió capturar diversos detalles estructurales y de conservación, especialmente en la fachada que presentaba dificultades de acceso. Con la ayuda de la fotogrametría, se logró crear modelos tridimensionales con el fin de obtener un registro digital detallado de la estructura donde se llevó a cabo la técnica de liquenometría. El método de datación utilizado para determinar la antigüedad de la estructura hidráulica es vital para preservar el Patrimonio Cultural del distrito y la región, ya que se consideró una rigurosidad técnica para garantizar una correcta datación.

La aplicación de liquenometría es apropiada para estructuras hidráulicas específicas siempre y cuando se den las condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento de especies como RG. Esto resulta relevante en investigaciones sobre molinos. En este estudio, la técnica de la liquenometría permitió determinar que el Molino Hidráulico Astete fue construido alrededor del año 1840 d.C. Esta muestra arquitectónica del siglo XIX, ubicado en el distrito de Challhuahuacho tiene el potencial de generar desarrollo sostenible a corto, mediano y largo plazo si se realiza una planificación adecuada.

Este estudio es importante porque proporciona un fechado absoluto de un molino hidráulico y también nos hace reflexionar sobre la importancia de

reconocer y apreciar nuestro patrimonio cultural. Según el autor, respetar nuestra propia cultura nos lleva a respetar las culturas de los demás. Para poder respetar otras culturas es importante que primero se respete la propia cultura. Esto se logra educando a las personas para que valoren y respeten su legado ancestral (Astete, 2022).

LA IMPORTANCIA DE LOS MOLINOS HIDRAULICOS EN EL PASADO

En tiempos antiguos, los molinos hidráulicos eran utilizados para moler granos y realizar diversas tareas gracias a la fuerza del agua.

El estilo de vida del hombre en la Prehistoria era muy distinto al de hoy en día. En la prehistoria, los hombres vivían de cazar, pescar, recolectar y buscar comida, moviéndose de un lugar a otro junto a los animales que cazaban. Con el paso del tiempo, comenzaron a observar cómo las plantas crecían y se daban cuenta de que podían cultivar alimentos. Se dice que fue la mujer la que inventó la agricultura (Bachofen, 1861), y hoy en día siguen teniendo un rol fundamental en este campo. Y según el Banco Mundial (2008), podrían ser casi la mitad de los trabajadores agrícolas a nivel mundial.

Según el análisis de las evidencias arqueológicas, en el continente americano se desarrollaron cultivos importantes como el ají, oca, porotos, papa y maíz entre 8000 a.C. - 7000 a.C., de acuerdo a Krapovickas (2016). Para abastecerse de

alimentos, las personas pasaron de ser nómadas a sedentarias, abandonando su forma de vida en las cavernas. En el Área Andina, este cambio ocurrió durante la Fase Arcaica, alrededor del año 5000 a.C. - 1800 a.C., de acuerdo a lo que indica Eiroa (2002). Comenzaron a domesticar animales para usarlos como alimento y obtener proteínas necesarias para una dieta equilibrada. Así, los humanos empezaron a ser más independientes de su entorno y en los Andes la domesticación de camélidos se produjo aproximadamente entre los años 6200 y 3500 AP en el Holoceno Medio, según lo precisan Yacobaccio y Vilá (2013). El ser humano ha progresado a lo largo de los siglos gracias a la cultura y al aprendizaje gradual de su entorno. Este proceso de adaptación ha llevado a un desarrollo cultural, pasando de estadios simples a otros más complejos que se van desarrollando con el paso del tiempo. Comenzó a fabricar herramientas de piedra y luego utilizó diferentes materiales para ayudarlo en sus tareas diarias. Para poder comer granos, es necesario triturarlos con utensilios líticos, ya sean naturales o modificados. Con el paso del tiempo, se desarrollaron utensilios como los molinos de mano, que fueron útiles para moler los granos que eran parte importante de la dieta del hombre antiguo. En la prehistoria, existieron diferentes paleodietas según el lugar y la época, no hubo una única dieta ancestral, de acuerdo a Basulto (2018). En la prehistoria, usar herramientas de piedra y moler cereales eran actividades comunes que influían en las interacciones sociales según Raack (2008), lo que se producía en diferentes áreas geográficas.

Luego, las personas construyeron molinos más avanzados para moler granos, lo que facilitó la tarea y redujo las horas de trabajo. Esto benefició a las comunidades rurales gracias al desarrollo tecnológico como lo afirma Gómez (2007). Los diferentes tipos de molinos, como los de mano, de agua o de viento, mejoraron la calidad de vida al disminuir el tiempo de molienda, aumentar la obtención de harina y proteger la salud dental, un aspecto aún poco estudiado. En el análisis bioarqueológico de Wright y White en 1996, en el sitio arqueológico Maya de Lamanai en Belice, se encontró que el consumo constante de maíz estaba relacionado con la formación de caries, según estudios de isótopos estables. Los distintos tipos de molinos creados por el ser humano tenían diferentes funciones y no solo servían para moler granos. Por ejemplo, los molinos de viento eran utilizados para la extracción de agua y en la minería en diferentes lugares. Los primeros intentos de mecanización de actividades humanas fueron los molinos de agua y viento. Estos objetos fueron fundamentales para ayudar a las personas a realizar sus tareas de manera más efectiva y mejorar su calidad de vida en diversas épocas.

Los molinos de rueda horizontal son más antiguos que los de rueda vertical en la tecnología hidráulica. Según estudios, se cree que estos molinos tienen su origen en Bizancio, mientras que el molino de rueda vertical posiblemente fue inventado en Alejandría alrededor del año 240 a.C., según se precisa en un estudio realizado por Lewis en 1997. Y según Wikander

(2000), los molinos hidráulicos fueron inventados alrededor del año 270 - 260 a.C., los que tendrían su origen en el periodo helenístico. Tiempo después, los romanos, bizantinos, merovingios y visigodos también los utilizaron. En la Edad Media alcanzaron su punto más alto en términos de uso y expansión en Europa, como lo muestran las investigaciones de Palomo y Fernández (2007). Filón de Bizancio mencionó por primera vez un molino hidráulico, lo que sugiere que fue inventado en la época helenística en el siglo III a.C., según una publicación de Lewis en 1997.

Vitruvio, un destacado arquitecto del siglo I a.C., mencionó a los molinos hidráulicos en su obra "De architectura". En este libro, que ahora se conoce como "Los Diez Libros de Arquitectura", hizo una breve descripción de cómo funcionan los molinos hidráulicos, tal como se comenta en una publicación de 1995. En su obra Geographica, Strabon menciona en el libro XII, Capítulo III, que Mithridates, Rey de Ponto, tenía un molino de agua en su palacio de Cabeira durante los primeros años de su reinado, que se extendió desde el 120 hasta el 63 a.C., según Strabo (1961). Otra fuente de información es la que proporcionó Antipater de Tesalónica, quien vivió entre el c. 20 a.C. – 10 d. C., quien elogió los molinos hidráulicos por la liberación que suponían para las mujeres al sustituir los pesados trabajos que antes realizaban, permitiéndoles despreocuparse de esas labores gracias a dicha maquinaria. Pompinus Sabinus hace referencia a los molinos de agua durante el periodo 101 – 44 a.C. Plinio mencionó que al norte de

Italia había molinos de agua que utilizaban la fuerza del agua para hacer girar sus ruedas. Desde la época de Plinio, no existen referencias entre los siglos II y III d.C., pero hay ciertas inscripciones presentes.

LA IMPORTANCIA DE LA MOLINOLOGÍA EN EL ESTUDIO DE MOLINOS HIDRAULICOS

El estudio de la molinología ha permitido analizar cómo los molinos han influenciado de manera positiva en la mejora de las condiciones de vida en Europa y América, tanto a nivel productivo como económico. Gracias a ello, ahora se conoce mejor el funcionamiento de estas maquinarias. Esta ciencia se enfoca en el análisis detallado de los elementos utilizados en las estructuras de molienda como lo indica Pérez (2015). Los molinos de agua preceden en antigüedad a los molinos de viento.

Los molinos de este tipo eran conocidos en el siglo I y II a.C. y comenzó a utilizarse de forma sistemática y frecuente a partir del siglo III y IV d.C. En zonas con ríos de corriente suave, las instalaciones de molienda operan de manera eficiente debido a que el flujo del agua facilita el movimiento adecuado de las muelas.

En la Península Ibérica se han encontrado registros del molino hidráulico en el Código Visigótico, lo que indica que este tipo de molino era utilizado en el siglo VIII d.C. y los árabes promovieron el uso de dos tipos de molinos hidráulicos: el de rueda horizontal y el de rueda vertical. En esta región, se seguirán mencionando en la

historia el uso de estas estructuras fundamentales para las sociedades antiguas, las cuales eran clave en la molienda de cereales para hacer pan, un alimento esencial en aquel entonces. En la Península Ibérica, los molinos hidráulicos estaban asociados a privilegios concedidos a determinadas personas que conformaban la nobleza, grupos eclesiásticos y consejos. Los molinos en algunos municipios eran administrados por un solo grupo, controlando así toda la producción. En caso de que el molino perteneciera a un noble o a un monasterio, el propietario lo arrendaba a personas de la comunidad o interesados a cambio de una compensación en forma de productos o dinero. En el pasado, la gente solía pagar por la molienda con una parte de los granos que se molían. Los registros históricos lo confirman. A esta forma de pago se le conocía con varios nombres, como maquila, molinagium, molinaria, molta y molitura.

MOLINO HIDRAULICO DE RUEDA HORIZONTAL O DE RODEZNO

Estos molinos no contaban con engranajes ni dispositivos de transmisión, por lo que eran fáciles de instalar en zonas montañosas para aprovechar los desniveles. Si no existían suficientes desniveles, se debía desviar el agua por canales a lo largo de las corrientes para su funcionamiento. Se utilizaban dos sistemas para esta tarea: a. Utilizando un cubo o embalse y b. El agua caía por un

canal estrecho que hacía girar la rueda hidráulica.

MOLINO HIDRAULICO DE RUEDA VERTICAL O DE ACEÑA

Este tipo de molinos se caracterizaban por utilizar engranajes y había dos variantes en su diseño: a. Impulsado por la base, las paletas sumergidas se movían gracias a la fuerza del agua. Y b. El flujo de agua impulsaba los cangilones desde arriba, lo que a su vez hacía girar la rueda vertical. Una característica técnica que distingue a este molino de otros es la manera en que convierte la fuerza vertical en movimiento horizontal para hacer girar la rueda. Esto se logra utilizando engranajes. Otro aspecto técnico importante es la sincronización de la rueda hidráulica y la piedra volandera para que giren a la misma velocidad y tengan las mismas revoluciones. Dos barcazas usaban este tipo de molino con una rueda vertical accionada por la corriente del agua para moler los cereales.

MOLINO HIDRAULICO ASTETE

Un tipo de molino hidráulico que contaba con una rueda horizontal o rodezno, construido en la margen derecha del río Challhuahuacho.

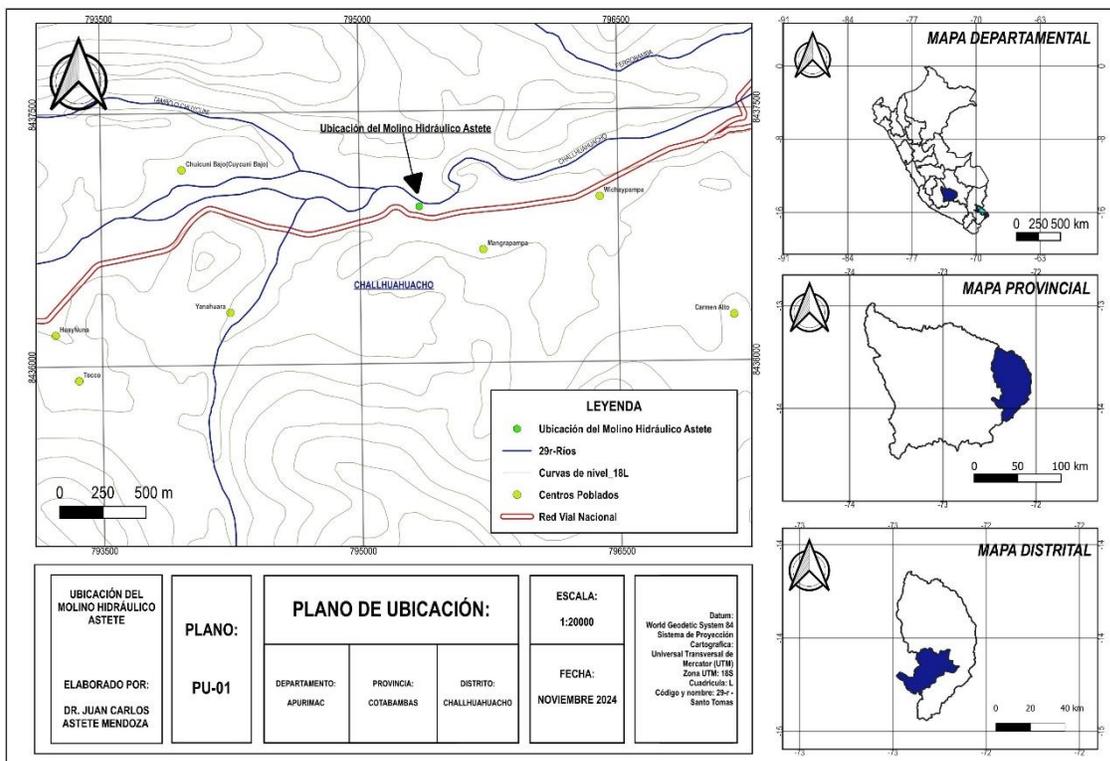
Ubicación:

Esta estructura hidráulica (Fig. 1) está ubicada en Challhuahuacho, Cotabambas, Apurímac (Perú).

El Sistema de coordenadas se detalla en el plano de ubicación (Fig. 1).

Figura 1

Plano que muestra la ubicación del Molino Hidráulico Astete en Challhuahuacho (Elaboración propia).



BREVE COMENTARIO SOBRE LA TIPOLOGÍA ARQUITECTÓNICA Y EL ENTORNO NATURAL

El Molino Hidráulico Astete es una estructura antigua con rueda horizontal o rodezno, cuya antigüedad fue determinada mediante la datación liquenométrica. Está ubicado en un entorno forestado con diferentes especies arbóreas: pino, ciprés, eucalipto, entre otras. También se ha conservado la flora nativa, como los

arbustos denominados tastas. Las fotografías aéreas tomadas desde un dron muestran estas características singulares a nivel arquitectónico, tecnológico, cultural y paisajístico, como lo describe Astete en el año 2022.

La estructura hidráulica se encuentra en un entorno de matorral andino, lo que configura un ambiente de particular belleza paisajística, mientras que a mayor altitud se encuentra un ecosistema de pajonal de puna húmeda (Fig. 2).

Figura 2

Uso del suelo y ecosistemas en Challhuahuacho (Elaboración propia).

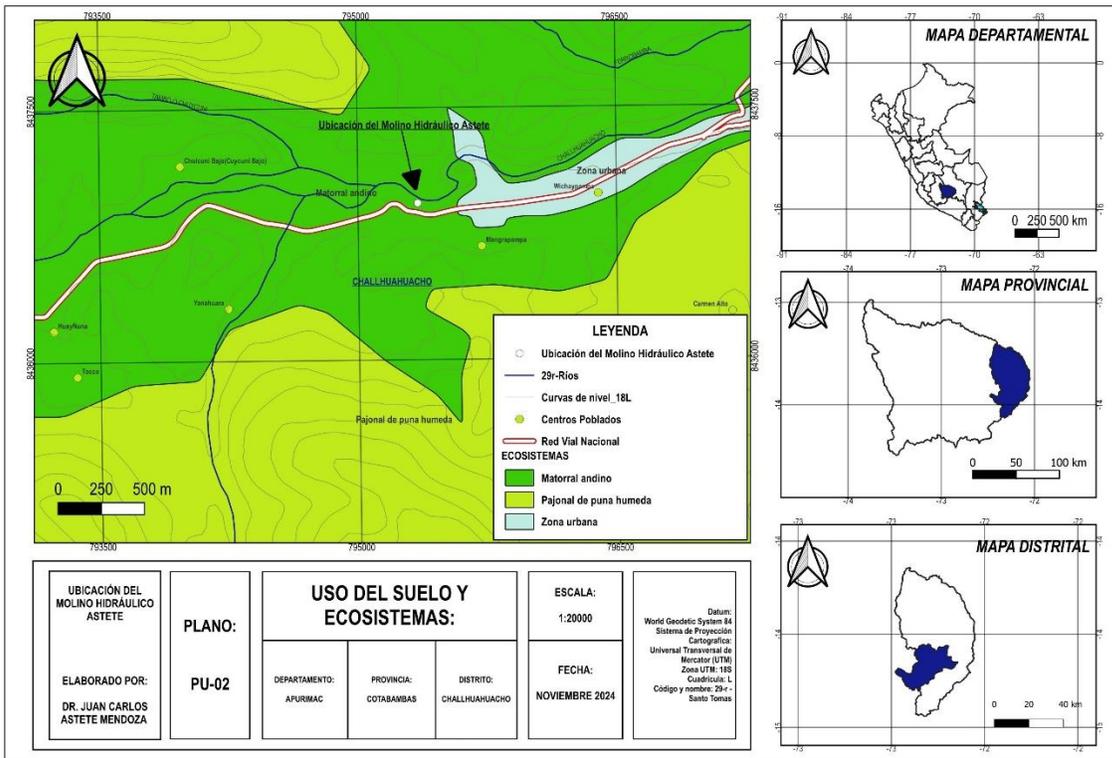
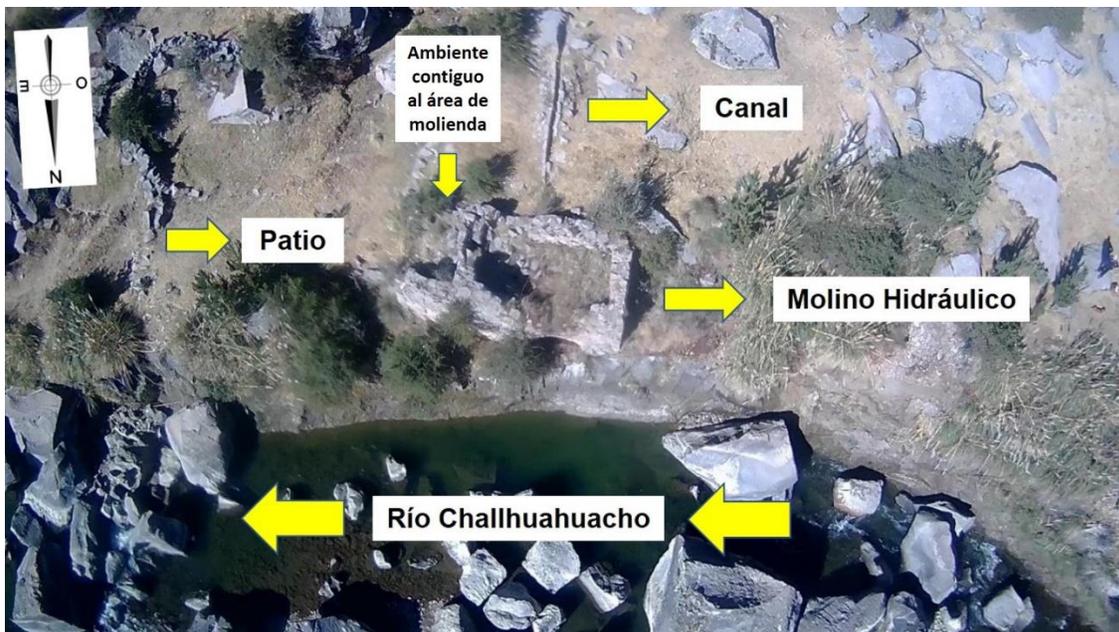


Figura 3

Fotografía aérea del Molino Hidráulico Astete en el lado derecho del río Challhuahuacho (Elaboración propia).



ESTADO ACTUAL DE CONSERVACIÓN

Este molino hidráulico de rueda horizontal se encuentra en una zona rocosa junto al río Challhuahuacho, conocido antiguamente como Phahuayro Pata en idioma quechua por el sonido fuerte que produce el agua al chocar con las rocas. En documentos antiguos y contemporáneos se encuentra evidencia de la denominación de ese sector, ya que aún se conserva el nombre original.

En la zona donde se encuentra el Molino Hidráulico Astete, la fuerza del río ha provocado que una parte de la roca sobre la que se construyó se deslice, afectando el camino que lleva al primer nivel del molino donde se encuentra el rodete o rodezno, una rueda hidráulica de madera de aproximadamente 1.20 a 1.40 metros de diámetro. Aunque este deslizamiento no ha dañado la estructura del molino directamente, sí ha afectado el acceso a la zona. En el ámbito europeo se usaba madera de haya, encina o roble.

En el Molino Astete, el rodete o rodezno estaba hecho de un número de paletas unidas a una pieza circular de madera, que a su vez se conectaba a la maza del árbol o eje. Este dispositivo funcionaba con la fuerza del agua que fluía a través de un canal de piedras, el cual se mantiene en buen estado de conservación y aún es visible. No se sabe qué tipo de madera se usó en las partes del molino.

El nivel superior del molino hidráulico se encuentra en estado regular, sin embargo, no es accesible debido a su cercanía al

acantilado y al río Challhuahuacho que corre con gran fuerza varios metros abajo.

El derrumbe parcial de los muros en el segundo piso del molino es evidencia de los bloques de piedra que alguna vez fueron parte de ellos. El techo del molino no resistió al tiempo y al clima. Por tanto, la estructura del molino se está viendo afectada debido a la lluvia. El conducto que llevaba el agua al rodezno está construido con bloques de piedra meticulosamente tallados y pulidos, los cuales se conservan en óptimas condiciones. Hay un muro en regular estado que separa el molino de una construcción de piedra ubicada en un nivel más alto. Esta construcción solía alojar a personas de diferentes lugares que venían a moler sus cereales, tanto cercanos como lejanos. En idioma quechua, era conocido como *tambo*. El *tambo* fue derrumbado por algunas personas malintencionadas, según la verificación de las autoridades locales. A pesar de esto, los bloques de piedra que formaban la estructura del *tambo* todavía están presentes. Afortunadamente, la justicia prevaleció y los responsables no lograron su objetivo. Con los bloques de piedra disponibles, es posible reconstruir la antigua edificación que solía ser utilizado por las personas que visitaban el molino hidráulico para moler sus variados cereales.

Es importante mencionar que la arquitectura hidráulica se integra armoniosamente con el paisaje cultural y geográfico de la zona, posibilitando que las personas utilicen la energía del agua para elevar su bienestar. Gracias a esto, era

factible moler cereales necesarios para elaborar diversos alimentos típicos de la sierra del Perú, donde hay más similitudes que diferencias. Según lo indicado por el autor en el año 2022, el Molino Hidráulico Astete es un ejemplo de la arquitectura hidráulica de la sierra del Perú, que se ha integrado de manera excepcional en su entorno único.

PARTICULARIDADES DE LA ARQUITECTURA

El molino está hecho de bloques de piedra tallada y está junto al río Challhuahuacho. En la parte inferior de la edificación hay un antiguo arco de medio punto hecho de bloques de piedra, pero debido a un deslizamiento en el camino, no se puede acceder a esta área del molino. Aquí es donde pasaba el agua del canal para hacer girar las piedras que molían los granos. En el segundo nivel del viejo molino todavía quedan algunos muros de piedra en buen estado, pero el techo no se conserva. A pesar de esto, ha resistido a lo largo del tiempo las fuertes lluvias, heladas y nevadas esporádicas que ocurren en la zona.

La entrada principal de la estructura hidráulica se encuentra en el noreste, pero las puertas de madera se han deteriorado debido al paso del tiempo y al clima adverso, especialmente durante la temporada de lluvias. Este marco de entrada está hecho totalmente de bloques de piedra, destacando su dintel tallado en una sola pieza de roca. En el segundo nivel todavía se pueden ver algunos bloques de piedra que se desprendieron de los muros.

El canal está hecho de partes de piedra talladas y pulidas por donde el agua fluía desde arriba hasta abajo. La forma en que se tallaron y pulieron los bloques de piedra del canal es muy notable. Estos detalles fueron clave para que el agua fluyera más rápido al disminuir la fricción con la superficie de la piedra. Esto sugiere que los constructores de la estructura sabían cómo construir molinos de rueda horizontal o rodezno utilizando técnicas de arquitectura hidráulica. Este canal tiene una inclinación adecuada que permite producir más fuerza debido a su pronunciada pendiente, por lo que es ideal para la molienda. Este aspecto técnico es muy importante y asegura que funcione correctamente en la realidad.

En el exterior de la estructura todavía se puede ver parte del muro de piedra que separaba la edificación que era utilizada para albergar a los visitantes. Consistía en una estructura arquitectónica de un nivel y en la fachada se observaban dos contrafuertes. En el pasado, esta estructura se usaba para alojar a personas que venían de lejos a moler sus cereales. Se conocía como *tambo*, un término quechua utilizado en la época inca para designar lugares donde los viajeros podían descansar, comer y seguir su camino. Antiguamente, el Molino Hidráulico Astete cumplía la función de moler cereales por lo que era concurrido por muchas personas quienes venían desde diferentes lugares por lo que también era un lugar de encuentro donde amigos se reunían y conversaban mientras el grano era molido, según lo menciona el autor en el año 2022.

Figura 4

Vista de la Fachada y del arco de medio punto del Molino Hidráulico Astete (Elaboración propia).

**Figura 5**

Vista del ambiente contiguo al molino y su actual estado de conservación (Elaboración propia).



LIQUENOMETRÍA

Inicios de la datación liquenométrica

La liquenometría es un método de datación que comenzó a ser desarrollado a partir de 1950 por Roland Beschel, quien explicó las ventajas del método en sus primeros trabajos (Beschel, 1950, 1961). Posteriormente, otros investigadores han contribuido al mejor entendimiento de esta técnica de datación (Beschel, 1961; Innes, 1981, 1985; Cook-Talbot, 1991; Bull, 1998, 2003; Armstrong y Bradwell, 2010, 2011; Trenbirth, 2010). Roland Beschel es un investigador nacido en Salzburgo, Austria, el 9 de agosto de 1928. En su tesis doctoral, titulada "Stadtflechten und ihr Wachstum", estudió la ecología de los líquenes en Innsbruck, Salzburgo y otras ciudades austriacas. Se investigó la utilidad de los líquenes como bioindicadores y para establecer dataciones de sustratos rocosos, creando el concepto de liquenometría.

Este método fue muy útil para ambientes árticos y alpinos. Fue el pionero en demostrar que los líquenes son útiles para calcular la edad de los glaciares y otras actividades en el ámbito geomorfológico (Webber; Andrews, 1973). Según Locke et al. (1979), la liquenometría se puede utilizar para datar diversos elementos geomorfológicos como canales fluviales, depósitos de inundación, costas lacustres, playas elevadas, desprendimientos de rocas, flujos de escombros y morrenas. Posteriormente, en 1985, Innes publicó un estudio, seguido por Matthews en 1994, Noller y Locke en 2000, Benedict en 2009, y finalmente Armstrong y Bradwell en

2010, todos estos investigadores concuerdan en lo inicialmente planteado en 1979.

Estos entornos son difíciles de datar usando otros métodos (Andrews et al., 1971), pero también son muy útiles en disciplinas como la arqueología (McCarthy, 2013; Astete, 2019, 2022). En este método se mide el crecimiento de ciertas especies de líquenes, como RG, que crecen en rocas. Al aplicar este método se puede determinar la antigüedad de los materiales depositados sobre estos sustratos (Chueca, 1994).

Según Beschel (1950), la medición debe enfocarse únicamente en el talo circular. Este método busca determinar la edad de un líquen a través del estudio del ejemplar de mayor tamaño de una especie en particular, el cual se considera el más antiguo y que ha crecido bajo condiciones ambientales favorables, principalmente el clima. También se tiene en cuenta la edad de la superficie donde se encuentra el líquen, así como lo mencionan Cook-Talbot en su estudio publicado en 1991; Innes en 1981 y 1985a. Algunas especies de líquenes pueden crecer rápidamente en diferentes tipos de superficies rocosas y sustratos, según lo indicado por Beschel en 1973. Actualmente, la técnica de datación llamada liquenometría es muy popular y se usa en muchos estudios, y sigue mejorando con el tiempo (McCarthy, 2013).

Líquenes crustáceos: particularidades y su importancia en liquenometría

Para realizar estudios de liquenometría, es importante clasificar adecuadamente las especies del género *Rhizocarpon*. Algunas

de las categorías utilizadas incluyen *Rhizocarpon geographicum s.l.*, Sección *Rhizocarpon*, Grupo *Geographicum*, *Rhizocarpon geographicum agg.*, *Rhizocarpon geographicum coll.*, *Rhizocarpon geographicum (L.) DC.*, o *Rhizocarpon geographicum indif.*

Es importante tener en cuenta que las especies de *Rhizocarpon* crecen a diferentes velocidades. Algunos taxones se desarrollan más rápido que otros, lo que les permite colonizar y competir de manera más agresiva en una comunidad de líquenes. Según el estudio realizado por Runemark (1956 a y b) y otros autores sobre el género *Rhizocarpon*, se ha dividido en dos subgéneros, a. El subgénero *Phaeothallus Thoms.*; b. Y el Subgénero *Rhizocarpon*.

Este subgénero se divide en cuatro secciones y contiene 37 especies comunes

en Europa. Es fácil identificar el subgénero en los trabajos de campo debido a la presencia de ácido rhizocárpico, que le da un color amarillo-verdoso distintivo. Este rasgo lo diferencia claramente de otros subgéneros, como *Phaeothallus Thoms.*, que carece de este compuesto.

USO DE FOTOGRAMETRÍA EN EL MOLINO HIDRÁULICO ASTETE

Generación de una nube de puntos densa y modelos tridimensionales

Se crearon una nube de puntos densa y modelos tridimensionales utilizando fotografías tomadas desde un dron con una cámara de alta resolución según Astete (2022), y las que se observan en las figuras 6 a 9

Figura 6

Generación de la nube de puntos densa del Molino Hidráulico Astete (Elaboración propia).

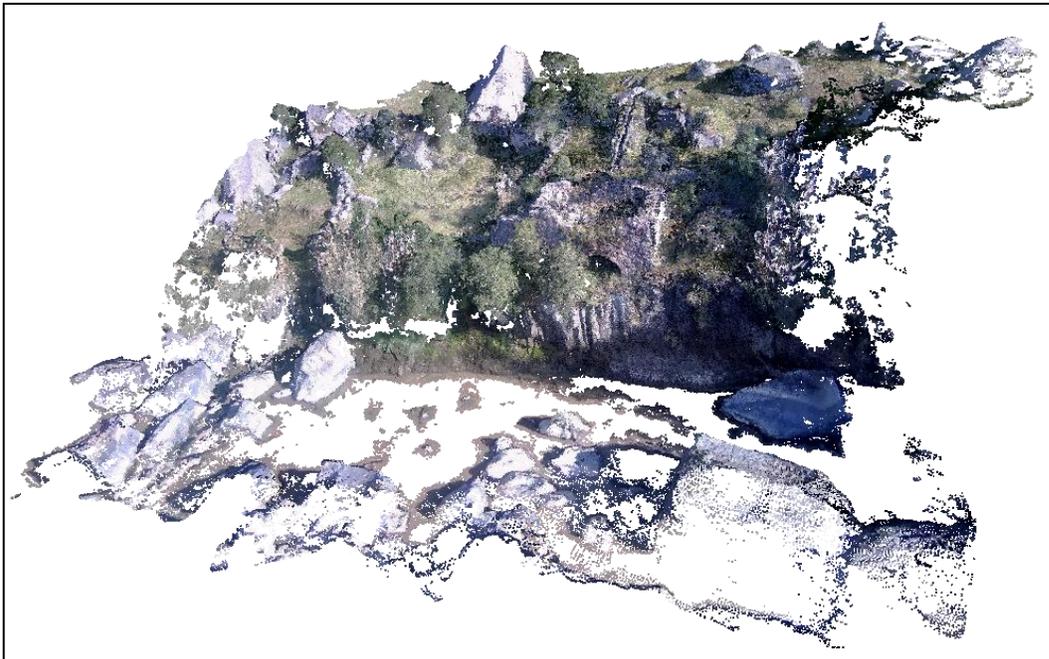


Figura 7

Vista en planta de la nube de puntos densa (Elaboración propia).

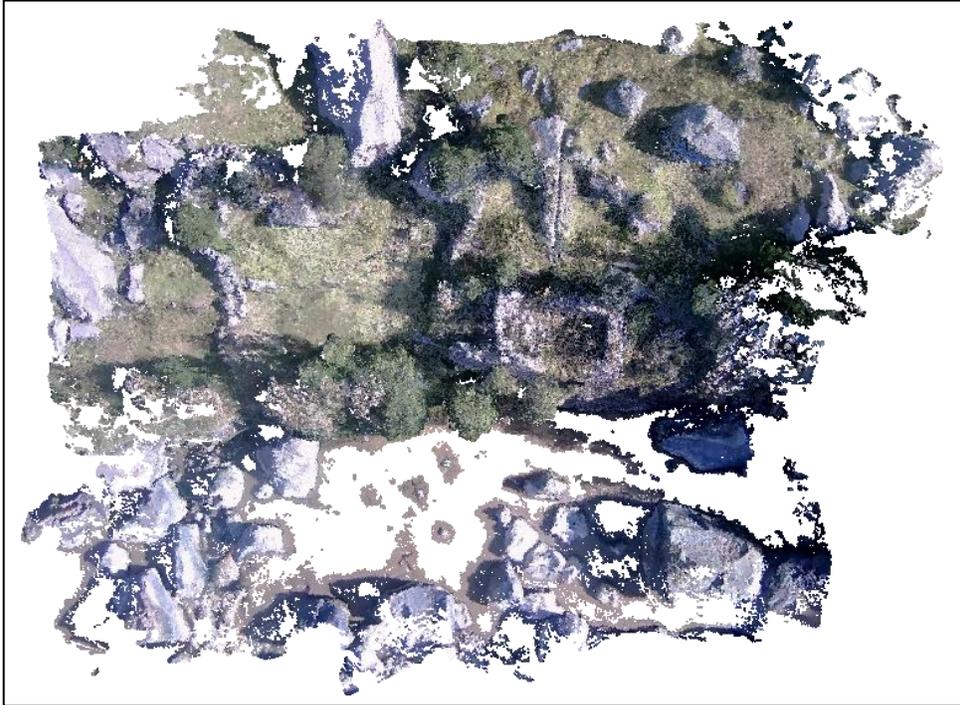


Figura 8

Vista de una parte de la fachada en el modelo tridimensional del Molino Hidráulico Astete (Elaboración propia).



Figura 9

*Modelo tridimensional en el que se observa el canal de piedra tallada que conducía el agua hacia el interior del molino (**Elaboración propia**).*

**RESULTADOS**

Se utilizó la liquenometría para determinar la antigüedad del Molino Hidráulico Astete, ya que es un método de datación apropiado para las características específicas de esta edificación histórica. Se investigó el crecimiento de RG en este

lugar y los resultados se muestran en la tabla 1. Se encontraron varios líquenes de crecimiento circular que son útiles para estudios de liquenometría. Se midieron y seleccionaron los 5 líquenes más grandes en el trabajo de campo y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 1.

Detalles del diámetro de los cinco líquenes más grandes (5LL) hallados en el Molino Hidráulico Astete.

Zona	Nº de líquen	Tipo de líquen	Altitud (m.s.n.m.)	Orientación	Diámetro de los 5 mayores talos (mm)	Edad de exposición
Challhuahuacho	RG1	Rhizocarpon geographicum	3716	N	64.28	1840 d.C.
Challhuahuacho	RG2	Rhizocarpon geographicum	3716	E	30.18	1936 d.C.
Challhuahuacho	RG3	Rhizocarpon geographicum	3716	E	14.23	1981 d.C.
Challhuahuacho	RG4	Rhizocarpon geographicum	3716	E	9.15	1995 d.C.
Challhuahuacho	RG5	Rhizocarpon geographicum	3716	E	6.47	2003 d.C.

Nota. El diámetro máximo se indica en milímetros junto con la edad de exposición (Elaboración propia).

El primer líquen en crecer en este molino hidráulico es el de mayor tamaño y ha continuado su desarrollo de manera constante. En este estudio, se nombró a este líquen como RG1 y tiene una forma

aproximadamente circular, lo cual es relevante en los estudios de liquenometría. Se utilizó un calibrador digital para realizar las mediciones en los trabajos de campo y se observa en la figura 10.

Figura 10

Detalle de la medición del diámetro de RG1 (Elaboración propia).



Nota. Durante el estudio se observó que RG1 presenta un crecimiento con forma aproximadamente circular adecuada y fue monitoreado continuamente.

La curva de crecimiento de los líquenes identificados en distintas áreas del Molino Hidráulico Astete, medidos entre el 01/07/2020 al 31/07/2021, reveló su antigüedad, situando la construcción de esta estructura arquitectónica en el año 1840 d.C., vale decir en el siglo XIX, de

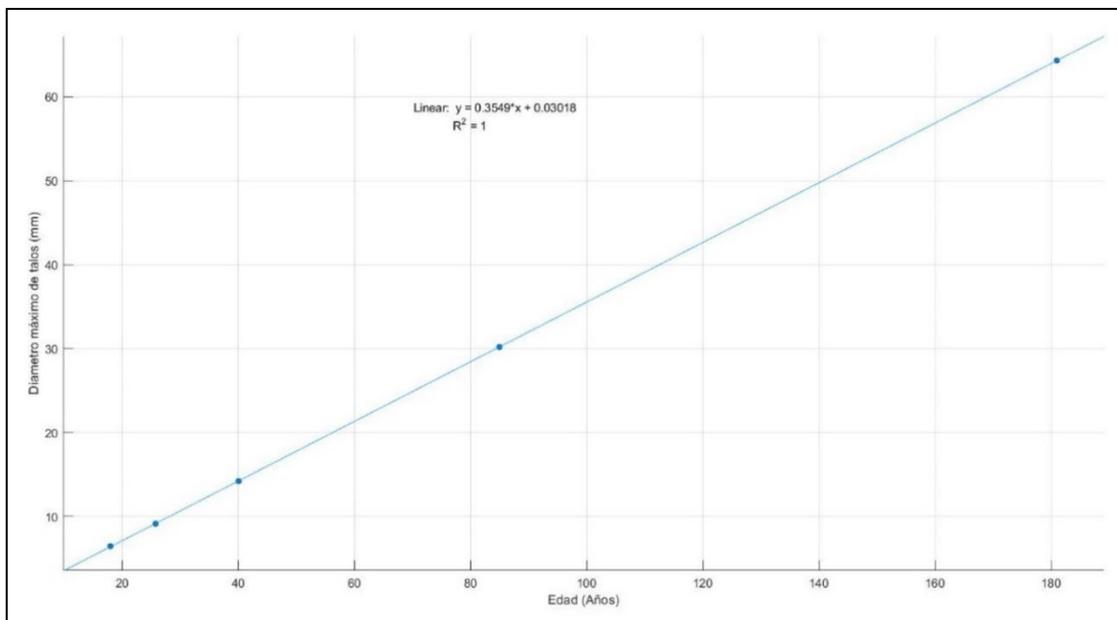
acuerdo a lo indicado por Astete en el año 2022. Este proceso de monitoreo permitió establecer con mayor precisión la fecha de creación del molino. Esto se logró mediante la elaboración de la curva de crecimiento de los líquenes y se observan en las figuras 11 y 12.

Figura 11

Uso de un calibrador digital para medir los talos liquénicos en los trabajos de campo (Elaboración propia).

**Figura 12**

La curva de crecimiento del liquen RG en Challhuahuacho (Elaboración propia).

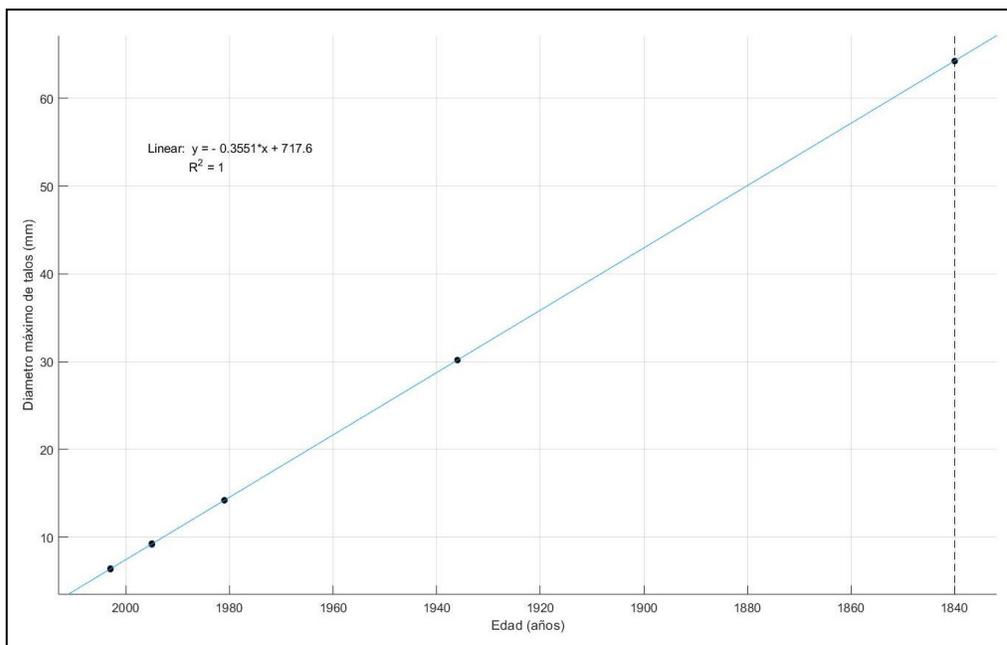


Nota. En la gráfica se muestra cómo aumenta el tamaño de los talos en milímetros a medida que pasan los años de exposición de los bloques líticos tallados, junto con la ecuación correspondiente.

Figura 13

Curva de crecimiento de RG (Elaboración propia).

Nota. La curva de crecimiento y la correspondiente ecuación muestra el diámetro de los talos en milímetros y la fecha de construcción del molino en 1840 d.C.



CONCLUSIONES

Según la datación con líquenes, se determinó que el Molino Hidráulico Astete fue construido en el año 1840 d.C. utilizando bloques de piedra tallados. En la construcción se utilizaron piedras del entorno, como se puede ver en las fotos aéreas tomadas con un dron. Esta zona es única por sus bloques líticos de enormes dimensiones, lo que la hace diferente de otros entornos de este distrito. La exposición a la intemperie de los bloques tallados para la construcción del molino hidráulico y del patio, fueron entornos favorables para el crecimiento de líquenes RG, los cuales han continuado desarrollándose hasta la actualidad en la estructura hidráulica. Los resultados de la

liquenometría se relacionan con documentos históricos y con los comentarios de algunas personas de avanzada edad que presenciaron su funcionamiento. La datación obtenida a través de la liquenometría también se ha contrastado con distintas fuentes para fortalecer su validez.

Es importante comparar todos los datos de la estructura a datar para establecer una datación adecuada, ya sea relativa o absoluta, como se hizo en este estudio. La datación del Molino Hidráulico Astete a través de la liquenometría arrojó una fecha precisa. Es importante seguir observando el crecimiento de los líquenes RG en esta área para continuar profundizando en esta temática.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrews, J., Ives, J., & Webber, P. (1971) Roland E. Beschel, D. Phil. (1928–1971). *Arctic and Alpine Research*, 3:2, 173–1. <https://doi.org/10.1080/00040851.1971.12003606>
- Armstrong, R.A., Bradwell, T. (2010) *Growth of crustose lichens: a review*. *Geografiska Annaler* 92 A (1): 3–17.
- (2011) *Growth of foliose lichens: a review*. *Symbiosis* 53:1–16. <https://doi.org/10.1007/s13199-011-0108-4>
- Astete, J.C. (2019) “Aplicación de la liquenometría en la datación de estructuras arqueológicas”. En: *Arqueología Peruana del COARPE. Revista del Colegio Profesional de Arqueólogos del Perú (Lima) N° 1, 2019: 143 – 148*.
- (2022). *Liquenometría en la datación de molinos hidráulicos antiguos como herramienta de sostenibilidad del distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, Apurímac, 2020* [Tesis de Doctorado, Universidad Andina del Cusco] Repositorio Institucional – Universidad Andina del Cusco.
- Bachofen, J. (1861) *Das Mutterrecht*. Verlag von Kraiss & Hoffman.
- Beschel, R. E. (1950) *Flechten als Altersmaßstab rezenter Moraˆnen*. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Geologie*. N.F. 1: 152–162. (Translated by W. Barr as ‘Lichens as a measure of the age of recent moraines.’ *Arctic and Alpine Research* 5: 303–309).
- Beschel, R. E. (1961) *Dating rock surfaces by lichen growth and its application to glaciology and physiography (lichenometry)*. In: Raasch GO (ed.) *Geology of the Arctic*, vol. 2, pp. 1044–1062. Toronto: University of Toronto Press.
- (1973) *Lichens as a Measure of the Age of Recent Moraines*. *Arctic and Alpine Research*, 5(4), 303. <https://doi.org/10.2307/1550122>
- Banco Mundial. (2008). *Agricultura para el desarrollo. Informe para el Desarrollo Mundial 2008*. Banco Mundial.
- Benedict, J. B. (2009). *A review of lichenometric dating and its applications to archaeology*. *American Antiquity* 74(1): 143–172.
- Bull, W.B. & Brandon, M.T. (1998) *Lichen dating of earthquake-generated regional rockfall events, Southern Alps, New Zealand*. *Geological Society of America Bulletin* 110: 60–84.
- Bull, W. B. (2003). *Lichenometry dating of coseismic changes to a New Zealand landslide complex*. *Annals of Geophysics*, 46(5), 1155–1168. <https://doi.org/10.4401/ag-3451>
- COOK-TALBOT, J. D. (1991) *Sorted circles, relative-age dating and palaeoenvironmental reconstruction in an alpine periglacial environment, eastern Jotunheimen, Norway: Lichenometric and weathering-based approaches*. *The*

Holocene, 1(2), 128–141.
<https://doi.org/10.1177/095968369100100205>

Chueca, J. (1994). Liquenometría. In *Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología*.

Díaz, J. M. (2003). Molinos de Agua en Gran Canaria. *Biblioteca Universitaria. Memoria Digital de Canarias*.

Eiroa, J. J. (2002). *Sobre el origen del urbanismo y el modelo de vida urbana en el viejo y nuevo mundo. Evolución Urbana y Actividad Económica En Los Núcleos Históricos*, 7–48.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1125626>

Gómez, C. (2007). *La agricultura y la sociedad rural en la obra de Julio Caro Baroja (1914-1995). Historia Agraria - Revista de Agricultura e Historia*, 42, 355–383.

Innes, J. L. (1981). “A manual for lichenometry”: Comment. *Area*.

Innes, J. L. (1985). *Dating Exposed Rock Surfaces in the Arctic by Lichenometry: The Problem of Thallus Circularity and Its Effect on Measurement Errors*.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.94.8162>

Krapovickas, A. (2016). La domesticación y el origen de la agricultura. In *European Journal of International Law*.

Lewis, M. (1997) *Millstone and Hammer: the origins of water power*, Hull, University of Hull Press.

Locke, W.W.; Andrews, J.T. & Webber, P.J. (1979) *A manual for lichenometry*. British Geomorphological Research Group: London; 47pp.

Matthews, J. A. (1994) *Lichenometric dating: a review with particular reference to ‘Little Ice Age’ moraines in southern Norway*. In *Dating in exposed and surface contexts*, Beck C. (ed). University of New Mexico Press: Albuquerque; 185-212.

McCarthy, D. P. (2013) *Origins of Lichenometry*. 565–572.

Noller, J.S. & Locke, W.W. (2000) Lichenometry. In *Quaternary Geochronology: Methods and Applications*, Noller JS, Sowers JM, Lettis WR (eds). American Geophysical Union: Washington; 261-272.

Palomo, J. & Fernández, M. P. (2007) Los molinos hidráulicos en la Antigüedad. *Espacio Tiempo y Forma. Serie II, Historia Antigua*, 0(19).
<https://doi.org/10.5944/etfii.19.2006.4465>

Perez, J. (2015) *Estudio de las azudas y obras auxiliares del molino de “Lope García” (Córdoba)*. Universidad de Córdoba.

QGIS.org, (2024). QGIS Geographic Information System. QGIS Association.
<http://www.qgis.org>

Raack, S. D. (2008) *Prácticas económicas y gestión social de recursos (macro) líticos en la prehistoria reciente (III – I milenios ac) del mediterráneo occidental*.

Runemark, H.

(1956a) Studies in Rhizocarpon I. Taxonomy of the yellow species in Europe. *Opera Botanica* 2 (1): 152.

(1956b) Studies in Rhizocarpon II. Distribution and Ecology of the yellow species in Europe. *Opera Botanica* 2 (2): 150.

Strabo (1961). The Geography of Strabo V. *The Geography of Strabo in Eight Volumes*, 541.

Trenbith, H.E., Matthews, J.A. (2010). Lichen growth rates on glacier forelands in southern Norway: preliminary results from a 25-year monitoring programme. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 92(1), 19-39. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2010.00375.x>

Vitruvio, M. (1995) *Portada: Vitruvio, en J. de Laet, M. Vitruvii Pollionis De Architectura Libri Decem*, Amsterdam, 1649.

Webber, P.J., Andrews, J.T. (1973). *Lichenometry: a commentary. Arctic and Alpine Research* 5(4): 295-302.

Wikander, Ö. (2000). «The water-mill», en Ö. Wikander (ed.), *Handbook of Ancient Water Technology, Technology and Change in History* 2, Leiden, pp. 371-400.

Wright, L. E. & White, C. D. (1996). *Human biology in the Classic Maya collapse: Evidence from paleopathology and paleodiet. Journal of World Prehistory*, 10(2), 147–198. <https://doi.org/10.1007/BF02221075>

Yacobaccio, V. (2013). *La domesticación de los camélidos andinos como proceso de interacción humana y animal. Intersecciones En Antropología*.