



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE



TESIS

**“LIQUENOMETRÍA EN LA DATACIÓN DE MOLINOS HIDRÁULICOS
ANTIGUOS COMO HERRAMIENTA DE SOSTENIBILIDAD DEL DISTRITO
DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA DE COTABAMBAS, APURÍMAC,
2020”**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN
MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**PRESENTADO POR: MGT. JUAN CARLOS ASTETE
MENDOZA**

ASESOR: DR. NINO VADICK DEL SOLAR VELARDE

CUSCO – PERÚ

2022



RESUMEN

Este estudio muestra como la aplicación de liquenometría en la datación de molinos hidráulicos antiguos ubicados en la capital del distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, región Apurímac, contribuye en la preservación del Patrimonio Cultural. Para explicar los objetivos planteados se utilizaron diversas técnicas como la investigación bibliográfica, datación liquenométrica y fotogrametría. En la zona de estudio existen dos molinos hidráulicos antiguos que tuvieron una especial importancia en años pasados. Se utilizó los 5 líquenes más grandes (5LL) de *Rhizocarpon geographicum*, de morfología relativamente circular y en base a los datos recogidos en los trabajos de campo, se elaboró la curva de crecimiento liquénica de *Rhizocarpon geographicum* mediante el método directo, los cuales fueron monitoreados entre julio de 2020 a julio de 2021. La datación permitió conocer que la edad de exposición a la intemperie de los diferentes lados de los bloques líticos tallados utilizados en la construcción del Molino Hidráulico Astete y el patio empezó en el año de 1840 d.C. (Siglo XIX). Asimismo se realizó un registro minucioso de las estructuras hidráulicas mediante fotografías aéreas tomadas desde un dron profesional y se aplicó la fotogrametría para la modelización 3D del Molino Hidráulico Astete que proporcionó datos importantes referidos a conocer su estado de conservación actual. Por último, es importante comentar que diversas experiencias internacionales muestran que la conservación y restauración de diferentes tipologías de molinos antiguos pueden generar desarrollo sostenible en la sociedad actual tal como se propone en esta investigación mediante la propuesta de implementación de una ruta cultural que una los molinos hidráulicos con diversos atractivos culturales y naturales del distrito de Challhuahuacho.

Palabras clave: *Liquenometría, Rhizocarpon geographicum, Molino Hidráulico Antiguo, Desarrollo Sostenible, Ruta Cultural, modelo 3D, fotogrametría, análisis estadístico.*



ABSTRACT

This study shows how the application of lichenometry in the dating of ancient hydraulic mills located in the capital of the district of Challhuahuacho, province of Cotabambas, Apurimac region, contributes to the preservation of Cultural Heritage. In order to explain the proposed objectives, several techniques were used such as bibliographic research, lichenometric dating and photogrammetry. In the study area there are two old hydraulic mills that had a special importance in the past. The 5 largest lichens (5LL) of *Rhizocarpon geographicum*, of relatively circular morphology, were used and based on the data collected in the field work, the lichenic growth curve of *Rhizocarpon geographicum* was elaborated by the direct method, which were monitored between July 2020 and July 2021. The dating allowed knowing that the age of exposure to weathering of the different sides of the carved lithic blocks used in the construction of the Astete Hydraulic Mill and the courtyard began in the year 1840 AD (19th century). Likewise, a detailed record of the hydraulic structures was made by means of aerial photographs taken from a professional drone and photogrammetry was applied for the 3D modeling of the Astete Hydraulic Mill, which provided important data referred to know its current state of preservation. Finally, it is important to comment that several international experiences show that the conservation and restoration of different types of old mills can generate sustainable development in today's society as proposed in this research through the proposed implementation of a cultural route that links the watermills with various cultural and natural attractions in the district of Challhuahuacho.

Key words: *Lichenometry, Rhizocarpon geographicum, Old Hydraulic Mill, Sustainable Development, Cultural Route, 3D model, photogrammetry, statistical analysis.*



RÉSUMÉ

Cette étude montre comment l'application de la lichénométrie dans la datation d'anciens moulins hydrauliques situés dans la capitale du district de Challhuahuacho, province de Cotabambas, région d'Apurimac, contribue à la préservation du patrimoine culturel. Afin d'expliquer les objectifs proposés, plusieurs techniques ont été utilisées telles que la recherche bibliographique, la datation lichénométrique et la photogrammétrie. Dans la zone d'étude se trouvent deux anciens moulins hydrauliques qui avaient une importance particulière dans le passé. On a utilisé les 5 plus grands lichens (5LL) de *Rhizocarpon geographicum*, de morphologie relativement circulaire, et sur la base des données recueillies dans le travail de terrain, on a élaboré la courbe de croissance lichénique de *Rhizocarpon geographicum* par la méthode directe, qui ont été suivis entre juillet 2020 et juillet 2021. La datation a permis de savoir que l'âge d'exposition aux intempéries des différentes faces des blocs lithiques taillés utilisés dans la construction du moulin hydraulique Astete et de la cour a commencé en l'an 1840 apr. J.-C. (XIXe siècle). De même, un enregistrement détaillé des structures hydrauliques a été réalisé au moyen de photographies aériennes prises par un drone professionnel et la photogrammétrie a été appliquée pour la modélisation 3D du moulin hydraulique Astete, ce qui a fourni des données importantes pour connaître son état de conservation actuel. Enfin, il est important de commenter que plusieurs expériences internationales montrent que la conservation et la restauration de différents types de vieux moulins peuvent générer un développement durable dans la société d'aujourd'hui, comme proposé dans cette recherche à travers la mise en œuvre proposée d'un itinéraire culturel qui relie les moulins hydrauliques avec diverses attractions culturelles et naturelles dans le district de Challhuahuacho.