

Molinología andina: un caso de estudio de arquitectura hidráulica sostenible del siglo XIX en el Perú

Andean molinology: a case study of sustainable hydraulic architecture of the 19th century in Peru

Juan Carlos Astete Mendoza

Cómo citar: Astete, J. (2025). Molinología andina: un caso de estudio de arquitectura hidráulica sostenible del siglo XIX en el Perú. En Alfaro Aucá, C., Aguirre Zamalloa, C. (Eds). (2025). *Arquitectura Andina y Peruana. Tomo I: Historia, Patrimonio y Territorio*. Universidad Andina del Cusco/High Rate Consulting. <https://doi.org/10.36881/ARQ2025I.1>

Resumen

Este estudio analiza la arquitectura hidráulica andina del siglo XIX en el Perú, tomando como un caso interesante el molino hidráulico Astete, ubicado en el distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, región Apurímac. Mediante un enfoque metodológico multidisciplinario que combina sistemas de información geográfica (SIG), análisis factorial de correspondencia (AFC) y estudios de materiales constructivos, se caracteriza la arquitectura molinera como un sistema tecnológico sostenible, basado en el aprovechamiento eficiente de recursos locales, la adaptación al entorno natural y el conocimiento empírico acumulado. Los resultados muestran que el uso de materiales autóctonos, técnicas constructivas tradicionales y la armonía con las condiciones geográficas garantizaron la funcionalidad duradera de estas infraestructuras, constituyéndolas en ejemplos destacados de sostenibilidad técnica y ecológica en su contexto histórico. Asimismo, se identifican factores ambientales, sociales y culturales que inciden en su estado actual de conservación. A partir de este diagnóstico, se propone una estrategia de conservación y restauración patrimonial que respete los principios de sostenibilidad inherentes al diseño original, con miras a recuperar su valor cultural, promover la educación ambiental, la alimentación saludable y explorar su potencial en la generación descentralizada de energía renovable. Este trabajo aporta al conocimiento de la molinología andina y ofrece un modelo metodológico transferible a otros contextos de patrimonio hidráulico tradicional.

Palabras clave: molinología andina, análisis factorial de correspondencia (AFC), arquitectura hidráulica sostenible, sistema de información geográfica (SIG), arqueología industrial.

Abstract

This study analyzes 19th-century Andean hydraulic architecture in Peru, taking as an interesting case the Astete Hydraulic Mill, located in the district of Challhuahuacho, province of Cotabambas, Apurímac region. Through a multidisciplinary methodological approach combining geographic information systems (GIS), correspondence factorial analysis (CFA), and construction materials studies, the mill architecture is characterized as a sustainable technological system based on the efficient use of local resources, adaptation to the natural environment, and accumulated empirical knowledge. The results show that the use of native materials, traditional construction techniques, and harmony with geographical conditions ensured the long-term functionality of these infrastructures, making them outstanding examples of technical and ecological sustainability within their historical context. Likewise, environmental, social, and cultural factors affecting their current state of conservation are identified. Based on this diagnosis, a heritage conservation and restoration strategy is proposed that respects the sustainability principles inherent to the original design, aiming to recover its cultural value, promote environmental education, healthy food practices, and explore its potential for decentralized renewable energy generation. This work contributes to the knowledge of Andean mill studies and provides a methodological model transferable to other contexts of traditional hydraulic heritage.

Keywords: andean molinology, factorial correspondence analysis (FCA), sustainable hydraulic architecture, geographic information system (GIS), industrial archeology.

Introducción

La molinología, como disciplina que estudia la historia, evolución y tecnología de los molinos hidráulicos antiguos, desempeña un papel fundamental en la comprensión del patrimonio cultural y técnico asociado a estos sistemas de aprovechamiento hídrico. Este campo no solo permite reconstruir las prácticas tecnológicas del pasado, sino también identificar técnicas y materiales sostenibles empleados en la construcción de estos elementos arquitectónicos, cuyo conocimiento puede contribuir al desarrollo sostenible en la sociedad contemporánea (Grano & Lazzari, 2016; Grano & Lazzari, 2017).

La molinología andina consiste en el estudio científico de evidencias arquitectónicas hidráulicas, eólicas y también manuales que fueron de utilidad en la molienda de diversos tipos de alimentos y materiales orgánicos e inorgánicos utilizados por el ser humano en los Andes, facilitando su uso. Este campo analiza cómo la tecnología constructiva, a través del uso de materiales sostenibles de estas estructuras y artefactos, se adaptó a las particularidades del entorno geográfico y cultural en los Andes, evidenciando una estrecha relación entre el ser humano, su entorno natural y su potencial en la sensibilización, concienciación y herramienta de aprendizaje sobre la importancia de los aciertos y desaciertos del pasado humano para la edificación de un mejor porvenir para todos.

Las antiguas instalaciones de molinos hidráulicos son una expresión concreta de la relación entre las personas y su entorno natural, demostrando una adaptación creativa a las particularidades hidrogeológicas de la zona. En este sentido, se han documentado diversas estrategias constructivas basadas en el uso de materiales autóctonos y técnicas tradicionales que maximizaban la eficiencia energética con mínimos impactos ambientales (Grano & Lazzari, 2018). Por ejemplo, en la región italiana de Basilicata, los molinos de rueda horizontal incorporaban soluciones estructurales específicas para resistir las condiciones climáticas extremas y la erosión fluvial, sin recurrir a materiales sintéticos ni procesos industriales intensivos (Grano & Lazzari, 2019).

La implementación de procesos que fomentan la residencialización y la valoración patrimonial de los entornos naturales en los que están ubicados estos ejemplos de arquitectura hidráulica sostenible posibilita la

transformación de un entorno productivo en uno recreativo y cultural (Barraud, 2009). El debate sobre la eliminación de presas y vertederos asociados a antiguos molinos, en el caso de que algunas de las estructuras hidráulicas pertenezcan a esta tipología arquitectónica y tecnológica específica, muestra la complejidad de equilibrar los valores ecológicos, culturales y económicos en la gestión del territorio (Barraud, 2017).

Desde el punto de vista del patrimonio cultural, los molinos hidráulicos son elementos clave dentro de los paisajes culturales históricos, ya que simbolizan la transición hacia formas de producción energética renovable y descentralizada. Además, su preservación física y funcional puede inspirar modelos de repotenciación energética basados en microcentrales hidroeléctricas que integren criterios de conservación del patrimonio (Quaranta *et al.*, 2021). Proyectos de restauración y reutilización adaptativa de molinos, como el caso del Mulino di Arignano en Turín, han demostrado que es posible mantener la integridad histórica del edificio mientras se le otorga una nueva función compatible con estándares modernos de sostenibilidad (Grano, 2020). Es importante tener presente que las transformaciones en los paisajes están en constante dinamismo y son el resultado de la interacción constante entre las fuerzas naturales y las influencias culturales que actúan en un entorno (Antrop, 2005).

En términos de análisis geográfico y geomorfológico, los estudios sobre la ubicación estratégica de los molinos muestran cómo las comunidades pasadas seleccionaron emplazamientos con base en criterios hidrológicos precisos, tales como gradientes de pendiente, caudal constante y estabilidad del cauce. Estas decisiones reflejan una gestión sostenible del recurso hídrico, lo cual tiene implicaciones directas para la planificación territorial actual (Bishop & Muñoz-Salinas, 2013; Grano *et al.*, 2016).

Asimismo, se ha señalado que muchos de estos sitios podrían reconvertirse hoy en pequeñas centrales hidroeléctricas, aprovechando infraestructuras existentes y minimizando nuevas intervenciones (Grano & Lazzari, 2017), o asignarles otras utilidades de acuerdo con el contexto sociocultural y geográfico del entorno en el que estén ubicados. El uso de diferentes herramientas tecnológicas es muy importante en el registro y estudio de las diversas tipologías de molinos, así como lo menciona Amici *et al.* (2017), quienes destacan que el uso de sistemas de información

geográfica (SIG) es crucial para analizar patrones de cambio en paisajes culturales en vías de desaparición, permitiendo identificar áreas prioritarias para la conservación y el desarrollo ecoturístico-cultural.

Estos enfoques pueden facilitar la integración de datos arqueológicos, arquitectónicos, etnográficos, históricos y ambientales para diseñar políticas públicas que respeten tanto el patrimonio arquitectónico como las dinámicas naturales de los ecosistemas fluviales.

Por otro lado, el estudio de los paisajes molineros también revela una dimensión social importante: los molinos fueron espacios de encuentro comunitario, fomentando la cooperación en torno al manejo del agua y generando redes de colaboración que persisten en ciertos contextos actuales (Brykała & Podgórski, 2020). Esta perspectiva subraya la necesidad de integrar dimensiones culturales y sociales en las políticas de desarrollo sostenible, especialmente en áreas rurales donde el legado histórico puede ser un motor para revitalizar economías locales. Por lo cual, la molinología no solo es una herramienta para reconstruir el pasado tecnológico y cultural de las sociedades, sino que también ofrece valiosas lecciones sobre técnicas constructivas sostenibles, gestión responsable del agua y formas de organización social. Su relevancia trasciende el ámbito académico y puede orientar prácticas contemporáneas de desarrollo sostenible, especialmente en lo referente a la integración de energía renovable, conservación del patrimonio y participación comunitaria.

Arquitectura de molinos hidráulicos: materiales constructivos y su relevancia para el desarrollo sostenible contemporáneo

El estudio de los molinos hidráulicos ofrece una perspectiva clave para comprender cómo las sociedades del pasado lograron aprovechar recursos naturales de forma responsable. Estas estructuras no solo representan un legado tecnológico, sino también un modelo temprano de integración entre infraestructura productiva y medio ambiente (Badillo, 2023). El análisis de los materiales empleados en su construcción revela prácticas basadas en la sostenibilidad, fundamentadas en el uso de recursos locales y técnicas tradicionales.

Uso de materiales locales y sostenibles en la edificación

Uno de los aspectos más destacados en la construcción de molinos hidráulicos es el uso extensivo de materiales disponibles en el entorno inmediato, lo cual minimizaba la huella ecológica asociada al transporte y garantizaba la durabilidad en función de las condiciones específicas del lugar.

En Ecuador, por ejemplo, se han identificado molinos contruidos con adobe, tapial, madera local y piedra sin labrar, combinando técnicas vernáculas que respondían a necesidades funcionales y climáticas (Badillo, 2023). Este enfoque reflejaba una conciencia temprana de sostenibilidad, similar a lo observado en otras regiones europeas, donde los maestros canteros y carpinteros empleaban piedra y madera autóctonas en la edificación de molinos medievales (Reyes, 2006). En el Perú, en Challhuahuacho (Apurímac), área de estudio de este artículo, también se muestra este mismo hábito constructivo de utilizar materiales sostenibles, tales como el uso de diferentes tipos de piedra tallada, mortero de barro, madera, ichu (*Stipa ichu*), una variedad de pasto característico del entorno geográfico en el que se encuentra ubicado el molino hidráulico Astete, y técnicas constructivas tradicionales y ecoamigables (Astete, 2024a). Son diversos materiales sostenibles, provenientes principalmente del mismo entorno y algunos traídos de lugares alejados, empleados en la edificación de esta estructura hidráulica, de la cual se comentará en este estudio.

Integración de la madera durable en componentes estructurales y mecánicos

Además de los materiales pétreos y arcillosos, la madera jugó un papel fundamental en la fabricación de elementos móviles, como ejes, engranajes y ruedas hidráulicas. La elección de especies resistentes a la humedad y al desgaste (como el roble, castaño y algunas variedades de madera nativa) fue crucial para asegurar la funcionalidad prolongada de estos sistemas mecánicos sin necesidad de mantenimiento frecuente (Reyes, 2006). Esta práctica constructiva, combinada con técnicas de tallado y ensamblaje sin clavos ni adhesivos sintéticos, reflejaba un profundo conocimiento del comportamiento de los materiales naturales bajo condiciones de operación continuas.

Sostenibilidad en sistemas constructivos mixtos

En algunos casos, los molinos incorporaban sistemas constructivos mixtos, adaptándose a las características geográficas y económicas del entorno. En Ecuador se han documentado estructuras en bahareque, combinadas con piedra en cimientos y maderas resistentes en cubiertas, lo que permitía flexibilidad ante movimientos sísmicos y una regulación térmica natural (Badillo, 2023). Estas soluciones constructivas demostraban un equilibrio entre eficiencia, economía y respeto al medio ambiente, principios que hoy, en la sociedad moderna, son reconocidos como pilares del diseño sostenible.

Es importante comprender que la sostenibilidad está estrechamente relacionada con el respeto que ha de existir entre los seres humanos, el entorno natural y todos los seres con los que coexistimos en este planeta. En esta interrelación, el estudio de las estructuras hidráulicas como los molinos nos recuerda que el desarrollo implica respetar esa relación armónica para el beneficio de todos.

Relevancia actual: lecciones del pasado para el desarrollo sostenible

En la sociedad contemporánea, los principios empleados en la construcción de los molinos hidráulicos antiguos (uso de materiales locales, integración con el paisaje y aprovechamiento eficiente de fuentes renovables) son ampliamente reconocidos como modelos viables de desarrollo sostenible. En contextos rurales y de baja densidad, estas técnicas pueden inspirar nuevas soluciones arquitectónicas que minimicen el impacto ambiental y promuevan la reutilización de recursos (Canale *et al.*, 2015). Además, la rehabilitación de antiguos sitios molineros puede contribuir a la revitalización económica mediante ecoturismo cultural y generación de energía renovable.

Casos actuales de continuidad tecnológica y cultural

En algunas regiones del mundo, los molinos tradicionales siguen siendo parte del paisaje cultural y económico. Se ha estudiado cómo ciertas modificaciones técnicas surgieron desde la experiencia cotidiana de los molineros, mejorando la eficiencia sin alterar los principios de sostenibilidad (Reyes, 2006).

Aunque muchos molinos en diversos países están en estado de deterioro, existe interés en recuperar su valor cultural, simbólico y funcional como espacios de producción local y memoria histórica (Badillo, 2023). También contribuyen a los núcleos culturales en los que están ubicados y a la conservación del entorno natural. Todo ello posibilitará la mejora de la calidad de vida de las personas desde un punto de vista integral que englobe lo económico, social, cultural, ambiental y espiritual (es muy importante recordar que el ser humano, en su complejidad, no solo está conformado por una parte física o material; la complejidad es mucho más amplia y trascendental), lo que nos hace seres únicos, con un sentido de responsabilidad y reflexión que posibilita una mejora continua del entorno cultural y natural.

Hacia una reinterpretación crítica del pasado

El análisis de los materiales constructivos empleados en los molinos hidráulicos antiguos muestra cómo las sociedades preindustriales lograron desarrollar infraestructuras productivas con un impacto mínimo sobre los ecosistemas. La piedra, el adobe, la madera y otros fueron elementos clave en este proceso, seleccionados no solo por su disponibilidad, sino por sus propiedades físicas y su capacidad de adaptación al entorno. Hoy, en un contexto global marcado por la crisis climática y la búsqueda de alternativas sostenibles, estos modelos históricos ofrecen valiosas lecciones tanto desde el punto de vista técnico como desde principios universales, demostrando que la sostenibilidad puede estar profundamente arraigada en la tradición constructiva local.

Molino hidráulico Astete: caracterización geográfica, materiales constructivos y relevancia cultural

Ubicación geográfica y características del área de Challhuahuacho

El molino hidráulico Astete se encuentra ubicado en el distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas,

en la región Apurímac, Perú (Astete, 2022). Este lugar se encuentra en una zona andina con una altitud promedio de 3716 metros sobre el nivel del mar (figura 1).

La región se caracteriza por un clima variado, con precipitaciones estacionales que permiten el flujo constante del río Challhuahuacho, condición esencial para el funcionamiento hidráulico del molino hace siglos. El entorno natural incluye vegetación arbórea como pino, ciprés, eucalipto y especies nativas como los arbustos denominados «tastas», que le dan una particularidad al paisaje de esta zona (Astete, 2024a).

Este tipo de paisaje cultural refleja una interacción compleja entre las prácticas humanas y el medio ambiente en los Andes peruanos, que han sido modelados por actividades productivas sostenibles a lo largo de siglos, integrando tecnología y recursos locales en armonía con el entorno natural.

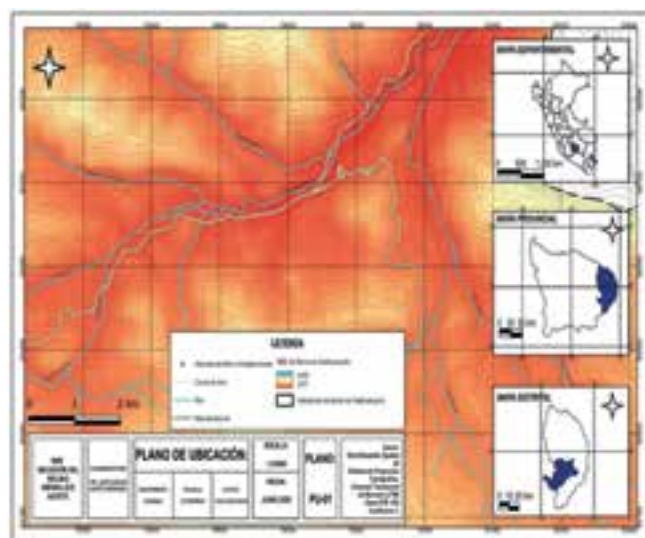


Figura 1. Modelo Digital de Elevación (MDE) del distrito de Challhuahuacho y la ubicación del molino hidráulico Astete.
Fuente: Elaborado por el autor en QGIS.

Tipología arquitectónica del molino hidráulico Astete

El molino hidráulico Astete es un ejemplo de tipología de molino de rueda horizontal o rodezno, tecnología típica de los sistemas hidráulicos tradicionales empleados en los Andes del Perú. Su diseño permite aprovechar la energía cinética del agua mediante una rueda dispuesta horizontalmente, accionando directamente el mecanismo de molienda.

Tabla 1.
Principales características técnicas del Molino Hidráulico Astete

Característica	Descripción
Tipo de molino	Rueda horizontal / Rodezno
Año estimado de construcción (a partir de datación mediante liquenometría)	1840 d.C.
Altitud	3716 m.s.n.m.
Sistema hidráulico	Canal de derivación lateral
Estado actual	Deterioro moderado
Recomendación para la conservación de la estructura arquitectónica	Restauración

Este tipo de molino hidráulico era utilizado en diversos lugares del mundo donde se requería procesar granos como maíz, trigo, quinoa y otros, sin necesidad de combustibles fósiles (Astete, 2022). Además, su diseño representa un modelo temprano de infraestructura productiva sostenible, similar al estudio realizado por Quaranta *et al.* (2021) en relación con la repotenciación de molinos verticales manteniendo su valor patrimonial.

Materiales constructivos sostenibles utilizados

Los materiales empleados en la construcción del molino hidráulico Astete reflejan un uso eficiente y responsable de los recursos naturales disponibles en la región. Se utilizaron principalmente:

- Piedra local labrada: para la construcción de muros estructurales y canales.
- Madera resistente al agua: probablemente proveniente de especies autóctonas como las tastas y especies exóticas.
- Estructura del techo: de madera.
- Cubierta del techo: probablemente de ichu (*Stipa ichu*), material vegetal tradicional usado en techumbres rurales andinas por su ligereza, aislamiento térmico y fácil disponibilidad (aún no se ha realizado un estudio detallado sobre este aspecto).

Esta combinación de materiales locales y biodegradables reduce significativamente la huella ecológica

asociada a su construcción, cumpliendo principios básicos de sostenibilidad ambiental (Astete, 2024b). Como señalan Angelakis *et al.* (2022), estos sistemas de molienda tradicional no solo representan un legado tecnológico, sino también un modelo viable de desarrollo regenerativo aplicable a contextos rurales actuales. La altitud en la que se ubica esta estructura hidráulica es un factor muy importante en el uso de diversos materiales propios de su entorno natural, lo que posibilitó su coexistencia armónica con el medio ambiente



Figura 2.
Rio Challhuahuacho y entorno en el que se ubica el molino hidráulico Astete.
Fuente: Fotografía personal.

La figura 3 muestra un mapa de rangos altitudinales del área donde se ubica el molino hidráulico Astete, en el distrito de Challhuahuacho, provincia de Cota-

Tabla 2.
Zonificación altitudinal del área de estudio

Zona	Altitud (m.s.n.m.)	Área (km²)	Ubicación	Características
1	3500–3999	154.48	Zonas bajas y valles del mapa, área en el que se ubica el molino hidráulico Astete (representado por un triángulo de color azul)	Territorios con menor elevación, mayor concentración de actividades humanas y vegetación más densa
2	4000–4499	240.75	Área que circunda la zona 1	Altura media de la región, relieve montañoso moderado y microclimas andinos
3	4500–4999	57.53	Linderos norte y oeste del mapa, áreas más elevadas	Zonas de mayor altitud, pendientes pronunciadas y presencia de ecosistemas de puna

Nota. Área total analizada: 452.76 km².

bambas, región de Apurímac. Los datos se presentan mediante una clasificación cromática y numérica, como se detalla a continuación:

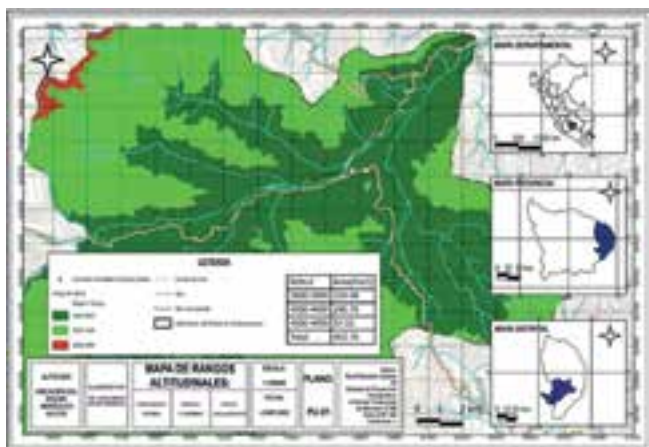


Figura 3.

Mapa de zonificación altitudinal del distrito de Challhuahuacho que muestra el entorno geográfico en el que se encuentra ubicado el molino hidráulico Astete.

Fuente: elaborado por el autor en QGIS.

El mapa refleja una topografía variada. Esta información es clave para diseñar estrategias de conservación y restauración del molino hidráulico basadas en el contexto físico de la zona 1.

Estado actual de conservación del molino hidráulico Astete

Actualmente, el molino hidráulico Astete presenta un estado de conservación moderadamente deteriorado. Los factores que han influido negativamente en su preservación incluyen:

1. Erosión fluvial: causada por el caudal del río Challhuahuacho, especialmente durante las temporadas de lluvias.
2. Falta de mantenimiento continuo: tras su desuso funcional, ha quedado expuesto a condiciones climáticas extremas.
3. Pérdida de la estructura del techo: vigas principales, vigas secundarias, viguetas, columnas, correas, tablas y tablones. Lo mismo sucede con la cubierta, posiblemente de origen vegetal.

Sin embargo, a pesar del paso natural del tiempo y gracias al cuidado realizado por su propietario, aún se conservan elementos clave como la estructura arquitectónica principal, el ambiente de recepción, el canal de derivación de piedra labrada, el canal construido sin piedra labrada que corresponde al tramo más extenso, una rueda de molienda, los elementos líticos de la estructura de alojamiento o posada denominada también como tambo, construida de manera contemporánea al molino hidráulico, y el paisaje natural en el que se construyó en 1840 d. C. (Astete, 2022). Según estudios recientes sobre reconstrucción tecnológica de molinos antiguos (Rivero-Lamela & Ramos-Carranza, 2021), el deterioro observado podría revertirse mediante intervenciones basadas en técnicas tradicionales y materiales sostenibles, garantizando así la preservación del patrimonio histórico sin alterar su integridad estructural

Relevancia del molino Astete en estudios de molinología

El estudio de este molino hidráulico contribuye significativamente al campo de la molinología, disciplina que aborda el análisis histórico, técnico y cultural de los sistemas de molienda hidráulica. Es el primer caso documentado en la bibliografía científica donde se aplicó la datación liquenométrica para determinar la antigüedad de un molino hidráulico antiguo. La técnica de datación permitió establecer que el molino fue construido alrededor de 1840 d.C., basándose en el crecimiento de líquenes *Rhizocarpon geographicum* sobre las piedras talladas utilizadas en su edificación (Astete, 2022, 2024a, 2024b).

Este enfoque científico representa un avance metodológico importante, ya que previamente no existían registros en la literatura especializada sobre la aplicación de esta técnica en molinos hidráulicos antiguos.

Patrimonio cultural y valor simbólico

El molino hidráulico Astete constituye un elemento central del patrimonio cultural arquitectónico del distrito de Challhuahuacho. En el pasado no solo era un espacio de producción de alimentos, sino también un punto de reunión social donde se intercambiaban productos alimenticios, conocimientos y experiencias comunitarias. Su presencia física en el paisaje y su historia oral lo convierten en un símbolo identitario para la comunidad local, reforzando la necesidad de su protección y divulgación como testimonio de una época preindustrial de desarrollo sostenible (Astete, 2022).

Los testimonios del pasado son un registro documental del cual podemos aprender, y dichos conocimientos ponerlos en práctica en el presente para una mejor coexistencia en este planeta. Podemos aprender de los aciertos y desaciertos del pasado para no cometer los mismos errores. Esa es la importancia del estudio arqueológico y de estructuras arquitectónicas como el molino hidráulico Astete.

Como destacan Quaranta *et al.* (2021), la rehabilitación de este tipo de estructuras puede convertirse en un motor para revitalizar economías locales como el ecoturismo y también el patrimonial, sin perder de vista la importancia de preservar su integridad histórica y cultural.

Es importante considerar que todas estas actividades turísticas tienen que realizarse respetando también a todos los integrantes de una sociedad; me refiero a los grupos sociales que no están relacionados de manera directa con el ámbito turístico. El respeto a todos los integrantes de la sociedad es importante para desarrollar actividades sostenibles en el tiempo y evitar posteriores problemáticas sociales como las que se observan en diferentes países.

Potencial para el desarrollo sostenible contemporáneo

La integración del molino hidráulico Astete dentro de estrategias de desarrollo sostenible puede tener múltiples beneficios:

1. Ecoturismo, turismo cultural y educativo: promoción de visitas guiadas, talleres sobre técnicas tradicionales de molienda y sensibilización ambiental.
2. Rehabilitación energética: posibilidad de adaptarlo como microcentro de generación de energía renovable, manteniendo su integridad histórica.
3. Desarrollo económico local: impulso de emprendimientos relacionados con artesanías, agricultura orgánica y servicios turísticos.

Todas estas actividades pueden preservar los saberes ancestrales que muestren una coexistencia armónica entre la sociedad, con todos los seres que coexisten con los seres humanos en este planeta y con el entorno ambiental, con el propósito de compartirlos con los visitantes locales, nacionales y extranjeros. De este modo, todos podemos tener la oportunidad de descubrir la buena esencia que toda persona tiene. Cada segundo es una nueva oportunidad para mejo-

rar en todos los aspectos que el ser humano realiza, si están relacionados con los principios universales.

Estas acciones se alinean con las recomendaciones de Angelakis *et al.* (2022), quienes proponen la recuperación de molinos antiguos como ejemplos prácticos de tecnologías sostenibles aplicables a diferentes actividades, ayudando a mitigar las crisis energéticas y hídricas actuales.

El molino hidráulico Astete no solo representa una muestra de arquitectura hidráulica ancestral, sino también un modelo temprano de desarrollo sostenible basado en el uso racional de recursos naturales. Su estudio, mediante técnicas innovadoras como la liquenometría, permitió ampliar el horizonte metodológico en el ámbito de la arqueología ambiental, la arqueología industrial y la molinología en contextos latinoamericanos.

Metodología

La presente metodología tiene como objetivo establecer un enfoque científico y tecnológico para el estudio del molino hidráulico Astete. Este enfoque se centra en los siguientes aspectos clave:

1. Caracterización de materiales constructivos sostenibles.
2. Valoración del patrimonio cultural.
3. Evaluación del potencial de desarrollo sostenible.
4. Diseño de una propuesta técnica de conservación y restauración.

El diseño metodológico aplicado en este estudio combina métodos cualitativos y cuantitativos, apoyados por herramientas tecnológicas como el uso de siste-

Tabla 3.
Tipos de métodos utilizados en la investigación

Método	Tipo	Finalidad
Revisión bibliográfica	Cualitativo	Contexto teórico y antecedentes
Análisis de materiales constructivos	Cuantitativo	Identificación de recursos locales
SIG (QGIS)	Tecnológico	Análisis espacial y topográfico
Análisis factorial de correspondencia (AFC)	Estadístico	Relación entre variables de técnicas constructivas sostenibles, factores ambientales y la arquitectura del molino hidráulico

mas de información geográfica (SIG), análisis estadístico de variables mediante análisis factorial de correspondencia (AFC), análisis y procesamiento de datos geoespaciales en QGIS y revisión sistemática de la literatura especializada.

Como señalan Moya-Muñoz & Pinto-Puerto (2022), el uso de modelos digitales de información permite estandarizar procesos de análisis tipológico y facilitar la generación de modelos paramétricos útiles para la intervención patrimonial.

Herramientas tecnológicas y su aplicación: Sistema de Información Geográfica (SIG)

Se utilizó el *software* QGIS v3.38.3 para procesar datos geoespaciales relacionados con la ubicación del molino y su contexto natural:

1. Imágenes satelitales.
2. Modelo Digital de Elevación (MDE).
3. Red hidrográfica local.
4. Curvas de nivel y relieve topográfico.
5. Redes viales.
6. Rangos altitudinales.

Este enfoque permitió identificar las condiciones morfológicas y altitudinales del área, facilitando el análisis de la relación entre el emplazamiento del molino y las características hidrológicas del río Challhuahuacho (Astete, 2024a, 2024b; Bitelli *et al.*, 2019). Además, estas herramientas son esenciales para valorizar y visualizar sitios patrimoniales de forma precisa y replicable, tal como lo demuestran Di Stefano *et al.* (2023) en el estudio de molinos históricos en la región Marche, Italia.

La figura 4 presenta un mapa topográfico integrado que combina datos geográficos, hidrológicos y administrativos del área donde se ubica el molino hidráulico Astete.

Elementos clave del mapa:

- Relieve y altitud:
- La topografía ondulada sugiere un entorno montañoso, coherente con la geología andina del sur de Perú.
- Red hidrológica:
- Los ríos configuran un sistema de drenaje que influyó en la ubicación estratégica del molino hidráulico. La cercanía al río Challhuahuacho

(eje central del mapa) indica que el agua fue un factor determinante para su funcionamiento.

- Infraestructura y contexto humano:
- La red vial nacional muestra un acceso óptimo al molino hidráulico.

Este mapa no es únicamente una herramienta cartográfica, sino un documento de arqueogeografía aplicada que integra datos naturales y culturales. Su análisis

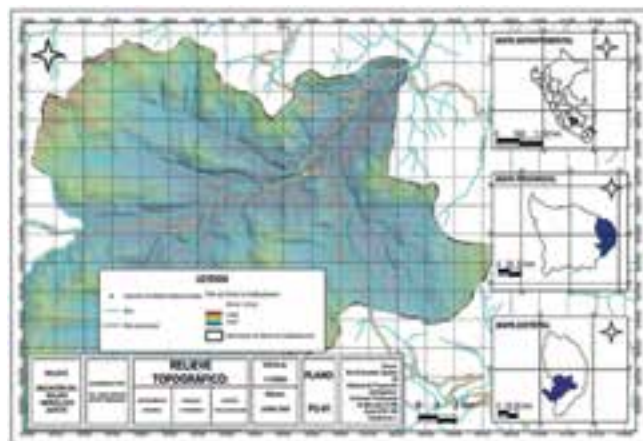


Figura 4.

Mapa del relieve topográfico en el que se encuentra ubicado el Molino Hidráulico Astete.

Fuente: elaborado por el autor en QGIS.

contribuye a comprender cómo la geografía física moldeó la distribución de estructuras arquitectónicas como el molino hidráulico Astete, al tiempo que identifica desafíos actuales para su preservación. La combinación de métodos cuantitativos (SIG / AFC) y cualitativos (estudios de paisaje) resalta la importancia de enfoques multidisciplinarios en la gestión del patrimonio cultural.

Análisis de materiales constructivos sostenibles

En lo concerniente a los materiales utilizados en la construcción del molino hidráulico Astete, se aplicó una metodología que combina observación de campo, caracterización de materiales, sustento teórico y apoyo tecnológico (SIG y AFC), lo que permite no solo describir los materiales, sino también evaluar su relevancia en términos de sostenibilidad, durabilidad y armonía con el entorno natural, proponiendo una base sólida para futuras estrategias de conservación y restauración respetuosas del patrimonio.

Los resultados muestran el uso predominante de diferentes tipos de rocas, las que fueron labradas, y en menor número se emplearon rocas no labradas, probablemente diferentes tipos de maderas nativas y exóticas y también *ichu* (*Stipa ichu*), todos provenientes del entorno inmediato, lo que refleja un enfoque sostenible en la construcción (Angelakis *et al.*, 2022; Astete, 2024a).



Figura 5.
Imágenes del canal de piedra tallada que conducía el agua que accionaba el molino hidráulico (a; b; c; d).
Fuente: Fotografías del autor.



Figura 6.
Imágenes del interior del segundo nivel del molino hidráulico (e; f).
Fuente: Fotografías del autor.



Figura 7.
(g) Detalles del primer vano de acceso al interior del molino hidráulico; (h) sección de un muro de la estructura del molino; (i) segundo vano de acceso al ambiente de molienda y (j) muro del ambiente contiguo al área de molienda.
Fuente: Fotografías del autor.



Figura 8.
(k) Imagen aérea del molino hidráulico; (l) ubicación de la estructura arquitectónica sobre un peñasco; (m) detalle de la fachada.
Fuente: Fotografías del autor.

Además, según estudios recientes sobre arquitecturas tradicionales, el uso de materiales autóctonos reduce significativamente la huella ecológica asociada al transporte y aumenta la longevidad de las estructuras. Como destacan Di Stefano *et al.* (2023), la integración de estos datos en un SIG permite desarrollar estrategias de intervención más eficientes y ajustadas a las particularidades del lugar. Y este mismo enfoque fue el que se utilizó en este estudio.

Análisis estadístico: Análisis Factorial de Correspondencia (AFC)

El análisis factorial de correspondencia (AFC) es una técnica estadística multivariada que permite identificar y visualizar asociaciones entre variables categóricas, especialmente en tablas de contingencia. Su utilidad radica en la capacidad para sintetizar información compleja en un número reducido de dimensiones o factores, facilitando la interpretación de patrones ocultos en los datos (Benzécri, 1973; Robert, 1981; Bertin & Atanassova, 2015).

En el contexto del estudio sobre el molino hidráulico Astete, el AFC se emplea para examinar las interacciones entre técnicas constructivas tradicionales y diversos indicadores de sostenibilidad. Este enfoque permite identificar agrupamientos entre variables, como el uso de materiales locales como la piedra labrada, la madera y el ichu, y dimensiones como materiales renovables, potencial cultural y bajo impacto ambiental. Al representar estas relaciones en un espacio factorial, el AFC ayuda a visualizar cómo ciertas

prácticas constructivas están más estrechamente vinculadas con principios de sostenibilidad que otras, facilitando así decisiones informadas en procesos de restauración y conservación.

El AFC (figura 9) muestra cómo se relacionan las técnicas constructivas tradicionales empleadas en la construcción del molino hidráulico Astete con distintos indicadores de sostenibilidad, representando visualmente las asociaciones más fuertes entre ellos.

1. Las técnicas utilizadas en el tallado de la rueda horizontal y el canal simple sin presa están muy cercanas al indicador «eficiencia en el uso del agua», lo que refleja su importancia para aprovechar el recurso hídrico de manera efectiva y con bajo impacto.
2. Los materiales locales como “piedra local”, “madera local” y la “cubierta vegetal» aparecen agrupados junto a los indicadores “materiales renovables” y «potencial cultural”, mostrando su relevancia desde el punto de vista del uso sostenible de recursos y el valor patrimonial.
3. El indicador “bajo impacto ambiental” se encuentra cerca del centro del gráfico, compartiendo espacio con varias técnicas, lo que sugiere que la mayoría de las prácticas constructivas son respetuosas con el entorno natural en el que se ubica el molino hidráulico Astete.
4. Las técnicas “sin engranajes complejos” están vinculadas principalmente a «facilidad de mantenimiento» y “reversibilidad de intervenciones”, destacando por su sim-



Figura 9. Análisis Factorial de Correspondencia (AFC) que muestra la relación entre las variables técnicas constructivas tradicionales e indicadores de sostenibilidad del molino hidráulico Astete.
Fuente: Elaborado por el autor.

plicidad operativa y potencial para restauraciones sostenibles.

El AFC demuestra que las técnicas constructivas tradicionales no solo tienen valor histórico, sino también un alto potencial de sostenibilidad ambiental, social y cultural, lo cual es clave para la conservación del patrimonio y la promoción de modelos de desarrollo local responsables.

El gráfico de la figura 10 muestra cómo se relacionan diferentes aspectos del entorno natural con las características arquitectónicas del molino hidráulico Astete, así como su vinculación con distintos indicadores de sostenibilidad. En color azul se muestran variables del entorno natural; en color verde las características arquitectónicas del molino hidráulico, y en color rojo los indicadores de sostenibilidad.

1. El AFC muestra que la variable “canal simple” y “rueda horizontal” están cerca de variables naturales como “tipo de río”, lo que significa que el diseño hidráulico está muy influenciado por el entorno natural.
2. “Materiales líticos”, “cubierta vegetal” y “potencial cultural” están cercanos entre sí y evidencian un uso sostenible de recursos locales y alto valor patrimonial.
3. “Facilidad de mantenimiento” y “reversibili-



Figura 10. Análisis Factorial de Correspondencia (AFC) que muestra la relación entre las variables: entorno natural y arquitectura del molino hidráulico Astete.
Fuente: Elaborado por el autor.

dad” aparecen hacia abajo y estas son características operativas importantes para la restauración o conservación del molino hidráulico Astete.

4. “Integración paisaje” está cerca de “Cubierta vegetal” y ambas contribuyen a que el molino se integre visualmente al entorno sin alterarlo, lo que muestra una coexistencia armónica entre el entorno natural y la estructura hidráulica.

Esta metodología ha sido utilizada con éxito en otros contextos patrimoniales, donde se requiere establecer relaciones complejas entre múltiples variables físicas y ambientales (Di Stefano *et al.*, 2023). El AFC y su aplicación en el análisis de arquitectura sostenible, como en el caso del molino hidráulico Astete, permiten integrar dimensiones técnicas, ambientales y culturales en un marco interpretativo coherente, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia empírica y teórica sólida (Benzécri, 1973; Robert, 1981; Bertin & Atanassova, 2015; Astete, 2024a, 2024b).

Evaluación del estado actual de conservación del molino hidráulico Astete

El molino hidráulico presenta un estado de conservación moderadamente deteriorado. A continuación, se detalla su condición actual:

Daños estructurales críticos

1. Erosión fluvial: el río Challhuahuacho, especialmente en su tramo más caudaloso, está erosionando el macizo rocoso sobre el que se asienta el molino. Esta erosión ha provocado el colapso parcial de áreas previamente transitables frente a la fachada, como se menciona en Astete (2022, 2024a, 2024b).
2. Fisuras en muros: los muros de piedra labrada, aunque resistentes, muestran grietas y pérdida de material estructural debido al tiempo transcurrido desde 1840 hasta la actualidad y la humedad a causa de las intensas precipitaciones pluviales en algunos meses del año.
3. Ausencia de la techumbre primigenia: la estructura de madera y la cubierta vegetal (posiblemente Stipa ichu) desapareció por el paso del tiempo y expone el interior a la intemperie.

Factores que contribuyen al deterioro

1. Proximidad al río: la ubicación estratégica para aprovechar el caudal del río Challhuahuacho ha resultado en una exposición prolongada a la erosión y humedad constante.
2. Falta de mantenimiento técnico: tras su

Tabla 4.

Zonas críticas y acciones propuestas de restauración

Área del molino	Estado actual	Acciones prioritarias
Canales de derivación (piedra labrada y sin labrar)	Colapso parcial por sedimentación y cambios de caudal	Rehabilitación con piedra local labrada y arcilla para evitar filtraciones
Muros de piedra	Fisuras y pérdida de bloques	Refuerzo con mortero compatible con la estructura original
Techumbre	Ausencia de la estructura de madera y de la cubierta vegetal	Reposición de la techumbre
Macizo rocoso	Erosión avanzada	Construcción de muro de contención y drenaje
Arco de medio punto	Estructura intacta, pero con microgrietas	Consolidación con técnicas tradicionales y refuerzo interno

desuso funcional, el molino ha acelerado su deterioro. Se realizan diversos esfuerzos por parte del propietario para conservar la estructura hidráulica, limpiar la maleza y reforestar áreas circundantes para conservar el entorno natural.

3. Factores climáticos: las condiciones climáticas del distrito, combinadas con temporadas de lluvias intensas, han generado ciclos de expansión y contracción en los materiales, exacerbando las fisuras.

Áreas prioritarias de intervención

Valor patrimonial y esfuerzos de preservación

1. Memoria colectiva: a pesar de su deterioro, este molino hidráulico continúa siendo una muestra de la arquitectura hidráulica sostenible del siglo XIX en los Andes del Perú. Sin embargo, declarar su significado simbólico como un testimoniante histórico no es suficiente. La memoria colectiva no se trata simplemente de un recuerdo inmutable, sino que es un fenómeno social, vibrante y en constante cambio, que se forja,

se comparte y se actualiza a través de prácticas, narrativas orales, utilización del espacio y representaciones comunitarias.

En este contexto, es crucial explorar de qué manera el molino hidráulico Astete se integra de manera concreta en la memoria de la comunidad de Challhuahuacho. Esto abarca el estudio de los relatos orales de los ancianos de la localidad, la continuidad de las prácticas asociadas a su uso histórico, su inclusión en las narrativas locales sobre la identidad del lugar y su reconocimiento como un punto de referencia en la estructura social y productiva del pasado.

Examinar estas distintas facetas no solo permite apreciar su importancia en el patrimonio cultural de esta zona desde un enfoque técnico, sino que también ofrece una perspectiva sociocultural que considera a las comunidades como participantes activas en la creación y difusión de la memoria colectiva.

2. Documentación 3D: el levantamiento digital del molino hidráulico mediante fotogrametría en el estudio realizado por Astete (2022) ha permitido registrar su estado actual, y esta información también será de utilidad para labores posteriores de planificación de intervenciones de conservación y restauración sin alterar su integridad histórica.

3. Reforestación local: la plantación de especies arbóreas como pino, sauce, eucalipto y la conservación de flora nativa en zonas circundantes ha sido una enorme labor realizada por el propietario para mitigar la erosión y proteger el entorno natural.

El molino hidráulico Astete, aunque muestra signos de deterioro relacionados con la erosión fluvial y el paso natural del tiempo desde el siglo XIX hasta la actualidad, aún conserva muchos de los elementos clave de su estructura original. Su restauración bajo criterios de sostenibilidad y respeto a su esencia arquitectónica es viable. La integración de materiales autóctonos, tecnologías sostenibles y asistencia multidisciplinaria son esenciales para garantizar su preservación a largo plazo.

Resultados

Análisis de materiales constructivos sostenibles

El molino hidráulico Astete utiliza materiales autóctonos que reflejan una estrategia de sostenibilidad ancestral:

1. Piedra labrada y no labrada: dominante en muros y canales, resistente a la intemperie y extraída de la zona circundante.
2. Madera nativa y exótica: empleada en vigas y estructuras superiores, aprovechando su durabilidad natural.
3. *Ichu* (*Stipa ichu*): cubierta en la techumbre, biodegradable y renovable, adaptado al clima andino.

Integración con el entorno natural

- Topografía y altitud

El molino se ubica en un rango altitudinal de 3500–3999 m.s.n.m., según el Mapa de Rangos Altitudinales (figura 3). La pendiente suave del relieve facilita la captación de agua del río Challhuahuacho, pero expone la estructura a procesos de erosión fluvial (Astete, 2022, 2024a, 2024b).

Análisis Factorial de Correspondencia (AFC)

El AFC reveló correlaciones clave:

1. Técnicas vs. indicadores: la «rueda horizontal» y el «canal simple» se asocian con un «bajo impacto ambiental», mientras que «materiales renovables» y «potencial cultural» están vinculados a la sostenibilidad (figura 9).
2. Entorno natural vs. arquitectura: la «vegetación circundante» y el «tipo de río» influyen en la «integración paisajística» del molino (figura 10).

Amenazas y diagnóstico de conservación

1. Erosión fluvial: el río Challhuahuacho, principalmente en la temporada de fuertes precipitaciones pluviales, genera el aumento en su caudal y está debilitando el macizo rocoso sobre el que se asienta el molino.
2. Degradación de materiales: las precipitaciones pluviales y el paso del tiempo desde su construcción en el año 1840 produjeron la descom-

posición de la madera y el ichu (materiales orgánicos frágiles).

3. Falta de mantenimiento multidisciplinar: ausencia de intervenciones técnicas desde su desuso funcional.

Conclusiones

El presente estudio, centrado en el molino hidráulico Astete ubicado en Challhuahuacho (Apurímac, Perú), logra cumplir con los objetivos planteados al caracterizar una forma de ingeniería ancestral andina como modelo de arquitectura hidráulica sostenible, profundizando en sus materiales constructivos, técnicas tradicionales, contexto geográfico y valor patrimonial. A través de un enfoque metodológico multidisciplinario, el trabajo no solo describe el estado actual del molino, sino que también genera conocimiento relevante desde las dimensiones teórica, metodológica y práctica, aportando significativamente al campo de la molinología andina y a la gestión del patrimonio cultural sostenible.

Desde el punto de vista teórico, el estudio reafirma que las tecnologías tradicionales no deben ser vistas únicamente como reliquias del pasado, sino como sistemas funcionales basados en principios de sostenibilidad ambiental, social y cultural. La integración armoniosa del molino con su entorno natural (evidenciada mediante el análisis de materiales autóctonos, orientación topográfica y aprovechamiento racional del flujo hídrico) demuestra un profundo conocimiento ecológico acumulado por las comunidades andinas. Este hallazgo refuerza el concepto de que el desarrollo sostenible no es exclusivo de la contemporaneidad, sino que tiene raíces profundas en las prácticas preindustriales, tal como lo señalan autores como Angelakis *et al.* (2022) y Badillo (2023). Además, el trabajo contribuye a la consolidación de la molinología andina como disciplina científica emergente, al articular conocimientos de la arqueología, la arquitectura, la geografía y la ingeniería ambiental. En este estudio, se propone una definición de este campo.

En términos metodológicos, el estudio representa un avance innovador al combinar técnicas tradicionales con herramientas tecnológicas. La aplicación del análisis factorial de correspondencia (AFC) permite identificar patrones significativos entre variables categóricas (como tipos de materiales, técnicas constructivas e indicadores de sostenibilidad), revelando asociacio-

nes clave, como la vinculación entre “materiales renovables” y “potencial cultural”, o entre «rueda horizontal» y “bajo impacto ambiental”. Asimismo, el uso del sistema de información geográfica (SIG) mediante QGIS posibilita un análisis espacial riguroso del entorno natural, integrando datos de relieve, red hidrográfica y vegetación circundante para comprender la lógica de ubicación y diseño del molino. Un hito metodológico particular fue la primera aplicación de la liquenometría para datar la construcción de un molino hidráulico antiguo; en este caso, esta técnica de datación posibilitó conocer la fecha de construcción del molino hidráulico Astete en torno a 1840 d.C. (Astete, 2022), una técnica novedosa en el contexto de la arqueología industrial andina, lo que constituye un aporte original tanto para la molinología.

Desde una perspectiva práctica, los resultados del estudio sientan las bases para estrategias de conservación y restauración sostenible del molino hidráulico Astete. Se demuestra que su restauración es viable sin comprometer su integridad histórica, siempre que se respeten los materiales autóctonos, las técnicas tradicionales y los principios de reversibilidad y mantenimiento sencillo. El molino no solo puede recuperarse como patrimonio arquitectónico, sino también como un modelo vivo de sostenibilidad aplicable al presente, con potencial para fomentar la educación ambiental, la generación de energía renovable y el turismo cultural comunitario.

Es importante comprender que la restauración no debe ser solo una operación técnica aislada, sino un proceso social, cultural y ambiental que reactive el patrimonio como agente de transformación y sensibilización de la sociedad.

Este trabajo no solo valida al molino hidráulico Astete como un ejemplo interesante de arquitectura sostenible ancestral, sino que también propone un modelo metodológico integrado (que combina SIG, AFC, liquenometría y análisis de materiales) aplicable a otros contextos en los que existan molinos hidráulicos o de otras tipologías arquitectónicas. Uniendo el rigor científico y la sensibilidad cultural, el estudio abre nuevas vías para la conservación del patrimonio técnico, demostrando que las tecnologías del pasado pueden inspirar soluciones sostenibles para los desafíos del presente. Podemos aprender de los aciertos y desaciertos del pasado para edificar un mejor porvenir para todos.

Referencias | References

- Amici, V., Maccherini, S., Santi, E., Torri, D., Vergari, F., & Del Monte, M. (2017). Long-term patterns of change in a vanishing cultural landscape: A GIS-based assessment. *Ecological Informatics*, 37, 38–51. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.11.008>
- Angelakis, A. N., Valipour, M., Dietrich, J., Voudouris, K., Kumar, R., Salgot, M., Mahmoudian, S. A., Rontogianni, A., & Tsoutsos, T. (2022). Sustainable and regenerative development of water mills as an example of agricultural technologies for small farms. *Water*, 14(10), 1621. <https://doi.org/10.3390/w14101621>
- Antrop, M. (2005). Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning*, 70(1–2), 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.002>
- Astete, J. C. (2022). *Liquenometría en la datación de molinos hidráulicos antiguos como herramienta de sostenibilidad del distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, Apurímac, 2020* (Lichenometry in the Dating of Ancient Water Mills as a Sustainability Tool in the District of Challhuahuacho, Province of Cotabambas, Apurímac, 2020) [Tesis de doctorado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional UAC. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4900>
- Astete, J. C. (2024a). Datación mediante liquenometría del Molino Hidráulico Astete (Dating by Lichenometry of the Astete Water Mill). *El Antoniano*, 9(1), 85–106. <https://doi.org/10.51343/anto.v9i1.1580>
- Astete, J. C. (2024b). *Un método de datación amigable en arqueología y arquitectura llamado liquenometría* (A Friendly Dating Method in Archaeology and Architecture Called Lichenometry). Amazon KDP.
- Badillo, J. D. (2023). La rehabilitación de los molinos rurales como propuesta sostenible de desarrollo local, Ecuador (The Rehabilitation of Rural Mills as a Sustainable Proposal for Local Development, Ecuador). *Memorias del Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra - SIACOT*, (19), 392–408. <https://revistas.udelar.edu.uy/OJS/index.php/msiacot/article/view/1215>
- Barraud, R. (2009). La rivière aménagée et le moulin à eau. Un héritage en déshérence? Trajectoires, modèles et projets de paysage. Exemple des vallées sud-armoricaines. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 86(1), 32–45. <https://doi.org/10.3406/bagf.2009.2652>
- Barraud, R. (2017). Removing mill weirs in France: The structure and dynamics of an environmental controversy. *Water Alternatives*, 10(3), 796–818. <http://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol10/v10issue3/382-a10-3-8/file>
- Benzécri, J. P. (1973). *L'analyse des données: L'analyse des correspondances*. Dunod.
- Bertin, M. & Atanassova, I. (2015). Factorial Correspondence Analysis Applied to Citation Contexts. *Conference: 2nd International Workshop on Bibliometric-enhanced Information Retrieval (BIR2015) at the 37th European Conference on Information Retrieval (ECIR-2015)*, mar 2015, Vienne, Austria. 22-29. hal-01940804.
- Bishop, P., & Muñoz-Salinas, E. (2013). Tectonics, geomorphology and water mill location in Scotland, and the potential impacts of mill dam failure. *Applied Geography*, 42, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.04.010>
- Bitelli, G., Girelli, V. A., Mandanici, E., & Tini, M. A. (2019). Geomatic technologies to valorize historical watermills. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(12), 541. <https://doi.org/10.3390/ijgi8120541>
- Brykała, D., & Podgórski, Z. (2020). Evolution of landscapes influenced by watermills, based on examples from Northern Poland. *Landscape and Urban Planning*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103798>
- Canale, G., Bellone, L., Beluzo, N., Nocetti, F., & Piccirilli, J. (2015). *Manual de materiales para la sustentabilidad: Materialoteca, perfil ambiental y ciclo de vida de los materiales* (Manual of Materials for Sustainability: Material Library, Environmental Profile, and Life Cycle of Materials). Ediciones Universidad de Buenos Aires.
- Di Stefano, F., Sanità, M., Malinverni, E. S., & Doti, G. (2023). Geomatic technologies to valorize historical watermills. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2-2023, 511–518. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-511-2023>
- Grano, M. C. (2020). Gualchiere, mulini idraulici e cisterne. L'uso dell'acqua e le trasformazioni del paesaggio in Basilicata/Hydraulic fullers, cereal mills and tanks. Use of water and landscape transformation in Southern Italy. *Agri Centuriati*, 17, 47–57. <https://doi.org/10.19272/202009101004>
- Grano, M. C., & Lazzari, M. (2016). Fonti cartografiche per l'analisi del paesaggio fluviale e dei mulini ad acqua in Basilicata: Criticità e vantaggi della Carta Idrografica del Regno d'Italia. *Bollettino Associazione Italiana di Cartografia*, 157, 4–18. DOI:10.13137/2282-472X/13567.
- Grano, M. C., & Lazzari, M. (2017). Il contributo delle fonti cartografiche storiche per lo studio delle dinamiche fluviali: Dalle controversie legali per l'uso delle acque ad una gestione partecipata delle risorse idriche. In *Il progetto del territorio nelle fonti d'archivio* (pp. 203–227). Collana del Laboratorio Geocartografico "Giuseppe Caraci", 2. <https://www.ageiweb.it/gruppi-di-lavoro/storia-della-cartografia-e-cartografia-storica/>
- Grano, M. C., & Lazzari, M. (2018). Mulini idraulici a ruota orizzontale. Costruzione, principali danni e manutenzione nella Basilicata del XIX secolo. *Geologia dell'Ambiente. Tecniche di Idraulica Antica*, 3, 208–215. https://www.researchgate.net/publication/329013979_Mulini_idraulici_a_ruota_orizzontale_Costruzione_principali_danni_e_manutenzione_nella_Basilicata_del_XIX_secolo
- Grano, M. C., Del Monte, M., Bishop, P., & Lazzari, M. (2016). Fluvial dynamics and watermills location in Basilicata (Southern Italy). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 39(2), 149–160. DOI: <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2016.39.14>
- Lazzari, M. (2019). Watermill technological historical adaptation in different hydrogeological contexts in the Basilicata region, Southern Italy. In *Strategie di adattamento alla domanda e alla disponibilità di risorse idriche* (pp. 161–172). Bardi Edizione.
- Moya-Muñoz, J., & Pinto-Puerto, F. (2022). Digital models applied to the typological analysis of the olive oil mills with beam and weight presses in Écija. *Virtual Archaeology Review*, 13(26), 116–134. <https://doi.org/10.4995/var.2022.15077>

- Quaranta, E., Pujol, T., & Grano, M. C. (2021). The repowering of vertical axis water mills preserving their cultural heritage: Techno-economic analysis with water wheels and Turgo turbines. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 13(2), 269–287. <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-03-2021-0040>
- Reyes Mesa, J. M. (2006). *Los molinos hidráulicos harineros de la provincia de Granada (The Hydraulic Flour Mills of the Province of Granada)*. Diputación Provincial de Granada.
- Rivero-Lamela, G., & Ramos-Carranza, A. (2021). Antiguas arquitecturas productivas en la activación de entornos rurales. Los molinos hidráulicos de la Sierra de Cádiz (Ancient Productive Architectures in the Activation of Rural Environments: The Hydraulic Mills of the Sierra de Cádiz). *Ciudades*, (24), 145–165. <https://doi.org/10.24197/ciudades.24.2021.145-165>
- Robert, J.-L. (1981). L'analyse factorielle des correspondances: Ses bases. In *Le médiéviste et l'ordinateur* [n° 5, printemps 1981]. <https://doi.org/10.3406/medio.1981.949>