

Capítulo 2

Machu Picchu y la ingeniería inca: saberes ancestrales de sostenibilidad y resiliencia

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos

Resumen

Este capítulo presenta un análisis crítico de la construcción de Machu Picchu como expresión del conocimiento ingenieril desarrollado por los incas. Para ello, aborda cuatro dimensiones fundamentales: la historia y el descubrimiento de la ciudadela; la ingeniería arquitectónica en piedra, destacada por su sofisticada resistencia antisísmica; los sistemas hidráulicos y agrícolas que garantizaron la sostenibilidad en un entorno geográfico desafiante; y la planificación urbana concebida como réplica del cosmos y espacio de poder político-religioso. El ensayo se sustenta en una revisión de alcance de literatura especializada, bajo un enfoque cualitativo, humanista e interpretativo, con un diseño narrativo de tópico. Se sostiene que Machu Picchu no debe entenderse únicamente como patrimonio arqueológico, sino también como un modelo de resiliencia y sostenibilidad vigente frente a los desafíos constructivos contemporáneos. En conclusión, recuperar y proyectar los saberes ancestrales incas resulta imprescindible para repensar en el presente la relación entre ingeniería, naturaleza y sociedad.

Palabras clave:
Machu Picchu;
Ingeniería inca;
Arquitectura
andina;
Conocimiento
ancestral;
Patrimonio
cultural.

Álvarez Sepúlveda, H. A., & Benoit Ríos, C. G. (2025). Machu Picchu y la ingeniería inca: saberes ancestrales de sostenibilidad y resiliencia. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *Convergencia de las Ingenierías: Enfoques Interdisciplinarios y Soluciones Innovadoras para los Retos Contemporáneos en Industria, Energía, Automatización y Producción (Volumen I)*. (pp. 32-45). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.362.c655>



Introducción

La construcción de Machu Picchu, enclavada en la cordillera de los Andes a más de 2.400 metros sobre el nivel del mar, continúa despertando admiración en la sociedad actual. Este santuario histórico, atribuido al emperador Pachacútec en el siglo XV, se ha convertido en un símbolo de la grandeza del Tawantinsuyo y de la sofisticación alcanzada por los incas en campos como la arquitectura, la ingeniería hidráulica y la planificación urbana (Valcárcel, 1984; Niles, 1999; Bingham, 2002; Ziółkowski et al., 2021). No se trata únicamente de una obra monumental, sino de un proyecto que sintetiza el conocimiento acumulado durante siglos por las sociedades andinas, que aprendieron a convivir y dialogar con un medio ambiente hostil y complejo.

En el contexto previsto, una pregunta emerge inevitablemente: ¿cómo fue posible que una civilización que carecía de hierro, rueda o escritura alfabética diseñara y construyera una ciudad capaz de resistir terremotos, lluvias torrenciales y procesos de erosión propios de la montaña? Gasparini y Margolies (1980), Reinhard (2007) y Abarca (2025), sostienen que la clave estuvo en la combinación entre observación empírica, técnicas constructivas innovadoras y una cosmovisión que integraba el espacio natural con el orden social y religioso. Desde este punto de vista, Machu Picchu fue un espacio privilegiado de experimentación arquitectónica y de representación simbólica del poder inca.

Asimismo, autores como Burger y Salazar (2004) y Ziółkowski et al. (2022), plantean que Machu Picchu no solo cumplía funciones ceremoniales o residenciales, sino que también tenía un carácter estratégico dentro de la red de caminos y centros administrativos del imperio. Esta perspectiva refuerza la idea de que la ciudadela era, al mismo tiempo, una obra de ingeniería y un instrumento político-religioso al servicio de la consolidación del poder del gobernante inca.

Este ensayo tiene como objetivo analizar la construcción de Machu Picchu desde cuatro dimensiones interrelacionadas: la historia y descubrimiento de la ciudadela, que permite contextualizar su historicidad; la ingeniería arquitectónica en piedra, que demuestra un conocimiento sofisticado de la cantería y la resistencia antisísmica; los sistemas hidráulicos y agrícolas, que constituyen ejemplos tempranos de sostenibilidad y eficiencia tecnológica; y la planificación urbana vinculada a la cosmovisión andina, que integra la dimensión material con la espiritual. A través de este itinerario, se busca valorar a Machu Picchu como patrimonio cultural y arqueológico, y como un modelo de conocimiento ingenieril ancestral que aún hoy puede ofrecer lecciones frente a los patrones urbanísticos de sostenibilidad.

Metodológicamente, este ensayo se fundamenta en una revisión de alcance de literatura especializada sobre la ingeniería inca y la construcción de Machu Picchu, a partir de fuentes disponibles en bases de datos como Scopus, Scielo, Web of Science, Google Académico y Google Libros. El estudio se inscribe en un enfoque cualitativo e interpretativo, que posibilita un análisis riguroso de los aportes provenientes de la arqueología y de la historiografía reciente. Asimismo, se adopta un diseño narrativo de tópico orientado a articular los saberes técnicos, culturales y simbólicos que confluyen en la ciudadela. Finalmente, bajo un paradigma humanista e inductivo, se busca comprender de qué manera los incas integraron conocimientos empíricos, soluciones ingenieriles y cosmovisión andina en la edificación de Machu Picchu, ofreciendo claves para reflexionar sobre los vínculos entre pasado y presente en torno a la sostenibilidad y la resiliencia arquitectónica.

Historia y descubrimiento de Machu Picchu

La historia de Machu Picchu se remonta al apogeo del Tawantinsuyo y a la figura del Inca Pachacútec, quien, según Valcárcel (1984), habría impulsado la construcción de la ciudadela en la primera mitad del siglo XV. Tras la irrupción de los españoles en el

territorio andino, Machu Picchu fue progresivamente abandonada y absorbida por la vegetación, hecho que permitió su preservación casi intacta al no haber sido saqueada ni destruida de manera sistemática durante la colonia.

El redescubrimiento moderno de Machu Picchu ocurrió en 1911, cuando el explorador estadounidense Hiram Bingham, acompañado de pobladores locales, accedió a las ruinas y las dio a conocer internacionalmente. Si bien las comunidades campesinas de la zona ya conocían el lugar, las publicaciones de Bingham y, en particular, la difusión de sus fotografías y relatos en *National Geographic* en 1913, consolidaron la imagen de Machu Picchu como la “ciudad perdida de los incas” (Bingham, 2002). Este episodio marcó un hito en la proyección mundial del sitio, aunque también generó tensiones en torno a la narrativa del “descubrimiento”, que invisibilizó el rol de los habitantes locales en la preservación del conocimiento sobre la ciudadela.

La extracción de piezas arqueológicas realizada por la expedición de Yale entre 1911 y 1915 añadió un componente de controversia. Miles de objetos fueron trasladados a Estados Unidos bajo acuerdos temporales de préstamo que no siempre se cumplieron, lo que derivó en reclamos diplomáticos y en un prolongado proceso de restitución que culminó en gran parte recién en el siglo XXI (MacQuarrie, 2007; Abarca, 2025). Este hecho evidencia que la historia de Machu Picchu está atravesada por disputas entre la memoria local, la investigación académica y los intereses internacionales.

La declaración de Machu Picchu como Patrimonio Mundial por la UNESCO en 1983 consolidó su valor universal y situó el debate en torno a la conservación del sitio frente al turismo masivo y los riesgos de degradación ambiental (UNESCO, 1983). Así, la historia y el descubrimiento de Machu Picchu no solo remiten a su origen incaico, sino también a los procesos de reapropiación, disputa y resignificación cultural que han acompañado su trayectoria reciente.

Ingeniería arquitectónica en piedra

Los incas desarrollaron una técnica de cantería única, conocida como sillar poligonal, en la que las piedras eran talladas con precisión hasta encajar perfectamente sin necesidad de argamasa (Protzen, 1993). Esta maestría en la manipulación de la piedra se evidencia en los muros de Machu Picchu, donde bloques de granito de diferentes formas y tamaños se entrelazan con una exactitud que asombra a la ingeniería actual. Este método garantizaba estabilidad estructural y confería una notable resistencia antisísmica, adaptándose a un territorio marcado por constantes movimientos telúricos.

El principio constructivo consistía en dotar de cierta flexibilidad a los muros: en lugar de rígidos, los bloques podían absorber y disipar la energía sísmica gracias al encaje irregular de las piedras. Este sistema respondía a una necesidad estructural y, al mismo tiempo, evidenciaba un conocimiento empírico acumulado sobre el comportamiento del terreno y los riesgos propios de una geografía sísmica. De esta manera, mientras muchas edificaciones coloniales colapsaron durante terremotos históricos en los Andes, las construcciones incas, incluyendo Machu Picchu, se mantuvieron en pie (Gasparini & Margolies, 1980; Burger et al., 2021).

El traslado y talla de piedras de varias toneladas, sin animales de carga ni herramientas metálicas avanzadas, plantea interrogantes sobre los conocimientos logísticos y tecnológicos de los incas. Este desafío implicaba no solo mover grandes bloques, sino también coordinar a comunidades enteras bajo un sistema de trabajo colectivo —el ayni y la mita— que transformaba la fuerza social en capacidad técnica. Hyslop (1990), señala que se emplearon rampas, rodillos y cuerdas, en un proceso que combinaba fuerza humana organizada con un profundo entendimiento del material pétreo y de las condiciones del entorno.

Otro aspecto relevante es el valor simbólico de la piedra en la cosmovisión andina. Más que un simple recurso material, era

entendida como un elemento sagrado vinculado a la pachamama y a las montañas tutelares o apus. En este sentido, la cantería inca debe comprenderse como una técnica sofisticada y, al mismo tiempo, como una expresión cultural en la que lo arquitectónico se entrelaza con lo espiritual (Dean, 2010; Ziółkowski et al., 2021; Masini et al., 2022).

Sistemas hidráulicos y agrícolas

La ciudadela de Machu Picchu disponía de una compleja red de fuentes, canales y acueductos que aprovechaban la gravedad y el caudal de los manantiales naturales de la montaña. Este sistema hidráulico, diseñado con gran precisión, aseguraba el suministro constante de agua potable tanto para el uso doméstico como para las actividades ceremoniales (Wright & Valencia, 2000). La planificación no respondía únicamente a un cálculo técnico, sino a una concepción integral que articulaba lo práctico con lo simbólico: los canales, tallados en piedra y distribuidos jerárquicamente, evocaban la importancia sagrada del agua dentro de la cosmovisión andina, donde este elemento era representación de fertilidad, purificación y continuidad de la vida (Dean, 2010).

La ingeniería hidráulica de Machu Picchu también revela un conocimiento avanzado de la hidrología y el manejo de suelos. Diversos estudios (Ortloff, 2009; Masini et al., 2023), han demostrado que los incas diseñaron drenajes subterráneos y canales de desagüe que evitaban inundaciones en temporada de lluvias, garantizando la estabilidad de las estructuras y de los andenes agrícolas. Esta red de infraestructuras demuestra que los incas se adaptaron al medio y lo transformaron de manera respetuosa, integrando las dinámicas de la naturaleza en sus diseños. Surge aquí una pregunta crítica: ¿hasta qué punto estos sistemas pueden inspirar soluciones sostenibles para ciudades contemporáneas que enfrentan problemas de abastecimiento y gestión de aguas en contextos de crisis climática y expansión urbana descontrolada?

En estrecha relación con este manejo hídrico, el ámbito agrícola constituye otra expresión notable de la ingeniería ecológica inca. Los andenes o terrazas, concebidos como prolongación de la misma lógica de adaptación al entorno, ampliaban la superficie cultivable en terrenos empinados, mejoraban el drenaje, reducían la erosión y regulaban la humedad del suelo, generando microclimas que favorecían la diversificación de cultivos. De este modo, la producción agrícola pudo sostenerse en condiciones extremas, asegurando la autosuficiencia de la población asentada en Machu Picchu y fortaleciendo la resiliencia comunitaria frente a variaciones climáticas.

El modelo agrícola de los incas plantea interrogantes actuales: ¿qué enseñanzas ofrece este sistema frente a los desafíos globales de la agricultura sostenible? En un mundo marcado por la escasez hídrica, la degradación ambiental y el cambio climático, los andenes constituyen un ejemplo de manejo integrado del paisaje que combina productividad, conservación y equilibrio ecosistémico, aportando claves para pensar una agricultura regenerativa orientada a la seguridad alimentaria (Ortloff, 2009).

En suma, los sistemas hidráulicos y agrícolas de Machu Picchu reflejan un conocimiento técnico que entrelazaba utilidad, estética y espiritualidad. Su vigencia trasciende el pasado: representan un legado vivo que interpela a la ingeniería, la agronomía y las políticas ambientales actuales, desafiando a repensar modelos de desarrollo que no enfrenten a la naturaleza como obstáculo, sino que dialoguen con ella en clave de sostenibilidad y resiliencia.

Planificación urbana y cosmovisión andina

La distribución de los espacios en Machu Picchu no era aleatoria ni simplemente funcional. Niles (1999) y Masini et al. (2023), argumentan que los sectores residenciales, agrícolas y ceremoniales respondían a un principio de orden simbólico vinculado a la cosmovisión inca, en la cual la ciudad debía reflejar la armonía del

cosmos y el equilibrio entre lo humano, lo natural y lo divino. De este modo, la planificación urbana integraba geografía, astronomía y religiosidad, configurando un espacio que era, al mismo tiempo, material y espiritual, capaz de articular la vida cotidiana con las prácticas rituales y el poder político.

Uno de los ejemplos más claros de esta relación es el Intihuatana, conocido como “piedra sagrada” o “reloj solar”, cuya ubicación revela un dominio avanzado de la observación astronómica. Este monumento no solo permitía marcar solsticios y equinoccios, sino también legitimar la autoridad del Inca al vincular su figura con el ciclo solar y el orden cósmico. Así, el calendario agrícola y ceremonial quedaba articulado con el poder político, reforzando la unidad entre los aspectos natural, divino y social. La disposición de templos, plazas y residencias confirma que Machu Picchu fue concebida como un centro de poder político-religioso, diseñado para reforzar la hegemonía inca y proyectar la imagen de un imperio sostenido en un orden trascendente (Burger & Salazar, 2004; Ziolkowski et al., 2021; Abarca, 2025).

La integración de la ciudad con el paisaje circundante es igualmente significativa. El emplazamiento de Machu Picchu no fue casual: se construyó en un punto estratégico de la red vial del Qhapaq Ñan, rodeado por montañas consideradas apus o deidades tutelares, lo que subraya el carácter simbólico de la ubicación (Reinhard, 2007; Masini et al., 2022). La arquitectura se fundía con el relieve natural, generando un diálogo constante entre la obra humana y el entorno, donde cada muro, terraza o plaza adquiría sentido en relación con el paisaje sagrado. Esta concepción invita a pensar en un urbanismo que no fragmenta el territorio, sino que lo integra en un tejido de significados colectivos.

Este enfoque lleva a plantear la siguiente interrogante: ¿hasta qué punto la ingeniería actual ha perdido el vínculo espiritual y simbólico en la construcción del espacio humano, privilegiando la eficiencia técnica y la maximización del suelo urbano por sobre la integración

cultural y ambiental? Mientras el urbanismo contemporáneo tiende a reproducir lógicas de explotación y fragmentación, Machu Picchu ofrece un ejemplo de planificación que situaba a la naturaleza y a lo sagrado en el centro de la organización espacial.

La planificación urbana de Machu Picchu, entonces, revela una visión holística de la arquitectura. No se trataba únicamente de diseñar una ciudad habitable, sino de construir un microcosmos en el que se expresara la relación entre sociedad, naturaleza y divinidad. Esta concepción constituye una invitación a cuestionar las prácticas arquitectónicas y urbanísticas recientes, con el propósito de recuperar un sentido más integral que supere la lógica estrictamente utilitaria y dialogue con las dimensiones simbólicas, espirituales y ambientales de los territorios.

Conclusión

La construcción de Machu Picchu demuestra que la ingeniería inca combinó precisión técnica, adaptación ambiental y sentido espiritual. La ciudadela constituye la evidencia de que el conocimiento ancestral podía articularse con la naturaleza en lugar de someterla, generando un modelo de armonía entre lo humano y el entorno. Su planificación revela que las ciudades pueden responder simultáneamente a criterios funcionales, simbólicos y culturales, integrando lo material con lo espiritual y lo político con lo natural.

El análisis de su historia, la arquitectura en piedra, los sistemas hidráulicos y agrícolas, y la planificación urbana vinculada a la cosmovisión andina permite concluir que Machu Picchu fue mucho más que un asentamiento. Representó un microcosmos político, social y religioso, en el que la técnica se subordinaba a un proyecto comunitario y a una concepción de vida en equilibrio con la tierra. Esta visión contrasta con los modelos urbanos actuales, muchas veces orientados al crecimiento ilimitado, al consumo de recursos y a la fragmentación social.

A más de cinco siglos de su construcción, Machu Picchu constituye un patrimonio cultural de la humanidad y un modelo de sostenibilidad y resiliencia frente a los desafíos urbanísticos contemporáneos. Sus lecciones resultan pertinentes para la ingeniería en desarrollo, que enfrenta la urgencia de diseñar ciudades más seguras, inclusivas y respetuosas con el medio ambiente en el contexto del cambio climático y la crisis ecológica global. El legado inca interpela a replantear la relación entre técnica y naturaleza, mostrando que la innovación puede surgir de la observación empírica, la espiritualidad y el compromiso comunitario.

De cara al futuro, se abren diversas líneas de investigación. Por un lado, resulta clave profundizar en estudios interdisciplinarios que vinculen arqueología, ingeniería, arquitectura y ciencias ambientales, con el fin de comprender cómo los saberes andinos pueden inspirar soluciones para la gestión del agua, la agricultura sostenible y la construcción antisísmica. Asimismo, es necesario explorar de manera comparativa cómo otras culturas ancestrales enfrentaron entornos extremos, generando un diálogo global entre conocimientos tradicionales y tecnologías de vanguardia. Finalmente, se vuelve urgente indagar en cómo las comunidades actuales pueden recuperar, resignificar y aplicar estos saberes en proyectos de desarrollo territorial, educación patrimonial y sostenibilidad urbana, de modo que Machu Picchu no sea solo una memoria del pasado, sino una fuente viva de aprendizaje para un futuro más equilibrado y justo.

Referencias

- Abarca, A. (2025). Geotechnics in the preservation of Machu Picchu, Cusco, Peru. *Built Heritage*, 9(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s43238-025-00192-1>
- Bingham, H. (2002). *Lost city of the Incas*. Phoenix Press.
- Burger, R., & Salazar, L. (2004). *Machu Picchu: Unveiling the mystery of the Incas*. Yale University Press.
- Burger, R., Salazar, L., Nesbitt, J., Washburn, E., & Fehren, L. (2021). New AMS dates for Machu Picchu: Results and implications. *Antiquity*, 95(383), 1265-1279. <https://doi.org/10.15184/aqy.2021.99>
- Dean, C. (2010). *A culture of stone: Inka perspectives on rock*. Duke University Press.
- Gasparini, G., & Margolies, L. (1980). *Inca architecture*. Indiana University Press.
- Hyslop, J. (1990). *Inka settlement planning*. University of Texas Press.
- MacQuarrie, K. (2007). *The last days of the Incas*. Simon & Schuster.
- Masini, N., Abate, N., Scavone, M., & Lasaponara, R. (2022). Machu Picchu in context: The Inca building culture. In *Machu Picchu in context: Interdisciplinary approaches to the study of human past* (pp. 135-165). Springer International Publishing.
- Masini, N., Romano, G., Sieczkowska, D., Capozzoli, L., Spizzichino, D., Gabellone, F., & Lasaponara, R. (2023). Non invasive subsurface imaging to investigate the site evolution of Machu Picchu. *Scientific Reports*, 13(1), 16035. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43361-x>
- Niles, S., (1999). *The shape of Inca history: Narrative and architecture in an Andean empire*. University of Iowa Press.
- Ortloff, C., (2009). *Water engineering in the ancient world: Archaeological and climate perspectives on societies of ancient South America, Mesoamerica, the Middle East, and South-East Asia*. Oxford University Press.
- Protzen, J., (1993). *Inca architecture and construction at Ollantaytambo*. Oxford University Press.

- Reinhard, J. (2007). *Machu Picchu: Exploring an ancient sacred center*. Cotsen Institute of Archaeology Press at UCLA.
- UNESCO. (1983). Historic Sanctuary of Machu Picchu. World Heritage List. <https://whc.unesco.org/en/list/274>
- Valcárcel, L., (1984). *Macchu Pichu: El más famoso monumento arqueológico del Perú*. Eudeba.
- Wright, K., & Valencia, A. (2000). *Machu Picchu: A civil engineering marvel*. American Society of Civil Engineers.
- Ziółkowski, M., Abuhadba, J., Hogg, A., Sieczkowska, D., Rakowski, A., Pawlyta, J., & Manning, S. (2021). When did the Incas build Machu Picchu and its satellite sites? New approaches based on radiocarbon dating. *Radiocarbon*, 63(4), 1133-1148. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.79>
- Ziółkowski, M., Pawlyta, J., Sieczkowska, D., & Rakowski, A. (2022). Machu Picchu in the context of the expansion of the Inca State: Between historical and radiocarbon chronologies. In *Machu Picchu in context: Interdisciplinary approaches to the study of human past* (pp. 59-133). Springer International Publishing.

Machu Picchu and Inca engineering: Ancestral knowledge of sustainability and resilience

Machu Picchu e a Engenharia Inca: Saberes Ancestrais de Sustentabilidade e Resiliência

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

<https://orcid.org/0000-0001-5729-3404>

halvarez@ucsc.cl

Académico de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile). Doctor en Sociedad y Cultura por la Universidad de Barcelona (España). Autor de diversos capítulos de libros y artículos sobre educación histórica publicados en revistas científicas indexadas a Wos, Scopus y Scielo.

Claudine Glenda Benoit Ríos

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

<https://orcid.org/0000-0002-1791-2212>

cbenoit@ucsc.cl

Académica del Departamento de Didáctica de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción (Chile). Doctora en Lingüística, por la Universidad de Concepción. Investigadora en didáctica de la comprensión y producción del lenguaje, y estrategias colaborativas durante el procesamiento.

Abstract

This chapter presents a critical analysis of the construction of Machu Picchu as an expression of the engineering knowledge developed by the Incas. It addresses four fundamental dimensions: the history and discovery of the citadel; architectural engineering in stone, noted for its sophisticated seismic resistance; the hydraulic and agricultural systems that ensured sustainability in a challenging geographical environment; and urban planning conceived as a replica of the cosmos and a space of political and religious power. The essay is based on a scoping review of specialized literature, using a qualitative, humanistic, and interpretive approach, with a topical narrative design. It argues that Machu Picchu should not be understood solely as archaeological heritage, but also as a model of resilience and sustainability that prevails in the face of contemporary construction challenges. In conclusion, recovering and projecting ancestral Inca knowledge is essential for rethinking the relationship between engineering, nature, and society in the present.

Keywords: Machu Picchu; Inca engineering; Andean architecture; Ancestral knowledge; Cultural heritage.

Resumo

Este capítulo apresenta uma análise crítica da construção de Machu Picchu como expressão do conhecimento de engenharia desenvolvido pelos incas. Para isso, aborda quatro dimensões fundamentais: a história e a descoberta da cidadela; a engenharia arquitetônica em pedra, destacada por sua sofisticada resistência antissísmica; os sistemas hidráulicos e agrícolas que garantiram a sustentabilidade em um ambiente geográfico desafiador; e o planejamento urbano concebido como uma réplica do cosmos e espaço de poder político-religioso. O ensaio se sustenta em uma revisão de escopo de literatura especializada, sob uma abordagem qualitativa, humanista e interpretativa, com um delineamento narrativo de tópico. Sustenta-se que Machu Picchu não deve ser entendida apenas como

patrimônio arqueológico, mas também como um modelo de resiliência e sustentabilidade vigente perante os desafios construtivos contemporâneos. Em conclusão, recuperar e projetar os saberes ancestrais incas é imprescindível para repensar, no presente, a relação entre engenharia, natureza e sociedade.

Palavras-chave: Machu Picchu; Engenharia Inca; Arquitetura Andina; Conhecimento Ancestral; Patrimônio Cultural.