

Capítulo 1

Ingeniería Maya: ciencia, territorio y cosmos en una civilización del agua y la piedra

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos

Resumen

Este capítulo examina la ingeniería maya como expresión de un conocimiento tecnológico sofisticado, ecológicamente equilibrado y profundamente integrado a la vida cultural. El análisis se organiza en tres dimensiones centrales: los sistemas hidráulicos que permitieron gestionar el agua en regiones de clima variable y sostener grandes centros urbanos; la arquitectura monumental planificada con criterios matemáticos y astronómicos de alta precisión; y los modelos agrícolas diversificados que garantizaron estabilidad alimentaria, conservación del suelo y regeneración ambiental mediante prácticas adaptativas de largo plazo. El estudio se desarrolla desde un enfoque cualitativo, histórico-interpretativo y analítico, sustentado en un paradigma humanista y un diseño narrativo de tópico. Los resultados muestran que la ingeniería maya no fue solo material o funcional, sino también simbólica, comunitaria y estrechamente vinculada al paisaje y al orden cósmico. Se concluye que su legado ofrece claves relevantes para pensar formas de habitabilidad sostenible ante la crisis climática actual.

Palabras clave:
Ingeniería maya;
Sostenibilidad
ecológica;
Arquitectura
mesoamericana;
Sistemas
agrícolas
prehispánicos;
Gestión hídrica.

Álvarez Sepúlveda, H. A., & Benoit Ríos, C. G. (2025). Ingeniería Maya: ciencia, territorio y cosmos en una civilización del agua y la piedra. 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 II). (pp. 19-32). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religionpress.387. c732>



Introducción

La civilización maya —extendida por lo que hoy corresponde a México, Guatemala, Belice, Honduras y El Salvador— se caracterizó por un desarrollo científico y tecnológico que permitió el florecimiento de ciudades complejas y la creación de redes políticas y comerciales de larga duración. Los mayas, lejos de ser únicamente una cultura ritual y astronómica, lograron avances significativos en ingeniería aplicada al manejo del agua, la agricultura, la arquitectura monumental y la planificación territorial. Investigaciones de los últimos treinta años (Freidel, 1993; Demarest, 2004; Lucero, 2006; Harada, 2024), muestran que esta civilización desarrolló sistemas constructivos y urbanos altamente adaptados a la ecología tropical, demostrando que ciencia y espiritualidad operaban como dimensiones complementarias del conocimiento. Como indican Coe y Houston (2015), la sofisticación de sus ciudades no puede comprenderse sin el conocimiento experimental acumulado durante siglos en torno a la observación climática, la cartografía del terreno y la experimentación constructiva. La ingeniería maya fue, por tanto, una expresión integral de su cosmovisión: una tecnología al servicio de la vida colectiva, el equilibrio ecológico y el orden simbólico del universo.

Lo anterior se vuelve aún más notable considerando que los mayas no contaban con herramientas metálicas de hierro, poleas, ruedas de tracción ni animales de carga para la movilización de materiales pesados, lo que los obligó a perfeccionar estrategias de talla, transporte manual y estabilización estructural (Demarest, 2004). Su capacidad de transformar materiales disponibles —piedra caliza, madera, estuco, obsidiana y arcillas— evidencia un dominio científico que, según Sharer y Traxler (2006), se basó en el conocimiento empírico acumulado y en una planificación urbana que articulaba infraestructura, astronomía y poder político. La alineación geométrica de sus ciudades con eventos celestes, la estandarización de patrones constructivos y la optimización de recursos naturales revelan una ingeniería orientada no solo a la funcionalidad, sino también a la mo-

numentalidad estética y simbólica (Schele & Mathews, 1998; Inomata & Houston, 2001).

Estudiar la ingeniería maya permite reconstruir su historia material y reflexionar sobre cómo las sociedades humanas pueden alcanzar equilibrio entre tecnología y naturaleza. En un mundo actual marcado por crisis hídricas, erosión de suelos y urbanización acelerada, los modelos ingenieriles mayas ofrecen lecciones sobre sostenibilidad, uso racional del territorio y convivencia ecológica. Reconocer la profundidad técnica de esta cultura implica también cuestionar la idea de progreso lineal, pues el desarrollo científico no siempre se expresa a través de maquinaria industrial, sino mediante conocimiento integrado a la tierra y al cosmos.

En consecuencia, el objetivo de este ensayo es analizar y poner en valor los avances de la ingeniería maya en tres dimensiones fundamentales —hidráulica, urbanística-arquitectónica y agrícola— para demostrar que se trata de un sistema tecnológico complejo, sostenible y culturalmente integrado, cuyas soluciones ofrecen claves interpretativas y aprendizajes vigentes para enfrentar desafíos ambientales y urbanos actuales. Así, la ingeniería maya constituye una referencia epistemológica que interpela el presente y abre posibilidades para el futuro.

Metodológicamente, este ensayo se construye a partir de una revisión de alcance de literatura arqueológica, historiográfica y antropológica centrada en la ingeniería de la civilización maya. Se analizaron fuentes provenientes de bases académicas como Scopus, Web of Science y Google Académico, además de obras clásicas de referencia. El estudio se sitúa en un enfoque cualitativo, histórico-interpretativo y analítico, sustentado en un diseño narrativo de tópico y un paradigma humanista que prioriza la comprensión del vínculo entre tecnología, ecología y cosmovisión, antes que la medición cuantitativa del desarrollo material. Esta estrategia permitió identificar patrones de diseño, técnicas constructivas y principios ecológicos presentes en la infraestructura maya, así como interpretar su función sociopolítica y

su pertinencia actual. A la vez, posibilita reflexionar sobre las proyecciones del modelo ingenieril maya para diseñar propuestas actuales orientadas a la sostenibilidad hídrica, urbana y agroecológica.

Ingeniería hidráulica: control del agua como fundamento del poder urbano

El agua fue el eje estructural de la supervivencia maya. En regiones como Petén y la península de Yucatán, la ausencia de ríos permanentes exigió la creación de sistemas de captación pluvial y almacenamiento a gran escala. Las ciudades mayas desarrollaron aguadas artificiales, chultunes subterráneos, estanques escalonados, suelos impermeabilizados con estuco y complejos drenajes que permitían retener agua incluso en temporadas de sequía prolongada. Scarborough (1998), sostiene que los mayas no solo gestionaron el recurso hídrico, sino que diseñaron auténticas redes hidráulicas urbanas capaces de abastecer a decenas de miles de habitantes. Este manejo hídrico fue especialmente determinante en centros urbanos con densidades poblacionales altas, donde el suministro periódico del recurso implicó un control social deliberado.

En Tikal se han encontrado reservorios interconectados, filtrados por capas de arena y grava, que mantenían el agua limpia durante meses, lo cual evidencia una comprensión avanzada sobre filtración y purificación. Palenque, por su parte, desarrolló acueductos abovedados que conducían agua mediante gravedad, demostrando dominio técnico sobre presión hidráulica, declive controlado y resistencia estructural en piedra (López y López, 2006). En Calakmul se ha documentado una red de 13 reservorios conectados, con canales de entrada y salida que regulaban el flujo en temporadas de lluvias extremas, evitando desbordamientos y desperdicio del recurso (Folan et al., 1995). La ingeniería maya fue, así, tanto preventiva como distributiva, orientada a la eficiencia y a la sostenibilidad urbana.

El agua también poseía profundas implicancias políticas y cosmológicas: quien controlaba los reservorios controlaba la vida misma, regulaba el tiempo agrícola y legitimaba su autoridad dentro del orden social. La élite gobernante supervisaba la construcción, mantenimiento y distribución del agua, asociando la gestión hidráulica al prestigio dinástico y al poder ritual (Demarest, 2004). Las ceremonias ligadas a Chaac, dios de la lluvia, reforzaban esta relación entre ingeniería y espiritualidad, pues el ciclo hídrico no se concebía únicamente como fenómeno natural, sino como fuerza divina que debía ser honrada para asegurar fertilidad y estabilidad territorial (Freidel, 1993). La infraestructura hidráulica operaba, así, como tecnología y como símbolo: un sistema material y ritual que articulaba ciudadanía, alimento, subsistencia y gobierno.

Desde una perspectiva actual, los sistemas hidráulicos mayas revelan un modelo de ingeniería resiliente frente a climas irregulares, capaz de equilibrar demanda urbana y disponibilidad natural. El diseño multiescalar —desde depósitos domésticos hasta reservorios urbanos masivos— anticipa principios modernos de gestión hídrica descentralizada y sustentabilidad territorial (Lucero, 2006; Inomata et al., 2021). Por ello, estudiar estos sistemas permite comprender cómo una civilización sin metalurgia avanzada ni maquinaria pesada diseñó soluciones hidráulicas comparables, en complejidad funcional, a infraestructuras modernas. Su legado ilumina un pasado extraordinario que ofrece orientaciones valiosas para enfrentar los desafíos del futuro.

Arquitectura, planificación urbana y matemática constructiva

Las ciudades mayas pueden ser leídas como organismos interconectados: pirámides-templo, palacios, canchas de juego de pelota, sacbeob y observatorios formaban un plano urbano alineado con ciclos astronómicos y con una racionalidad espacial vinculada al movimiento del sol, la luna y Venus. La disposición de los edificios fue el resultado de una concepción matemática que integraba concepcio-

nes cosmogónicas y medición empírica del espacio. Schele y Mathews (1998), explican que muchas edificaciones responden a patrones matemáticos basados en proporción, simetría modular y orientación solar, siendo la pirámide de Kukulkán en Chichén Itzá el ejemplo más célebre. En los equinoccios, el efecto lumínico que simula el descenso de la serpiente emplumada revela un dominio geométrico y astronómico que trasciende la decoración: es arquitectura como calendario viviente y como discurso visual del tiempo (Aveni, 2001).

La relación entre arquitectura y cálculo se refleja también en el uso del calendario tzolk'in y en la concepción numerológica del espacio sagrado. Se han identificado patrones proporcionales que replican múltiplos del 13 y del 20 —números fundamentales en el conteo mesoamericano— en la disposición de plataformas, escalinatas y paneles decorativos. No se trató solo de construir ciudades habitables, sino de materializar el cosmos en piedra. De acuerdo con Houston et al. (2006), los edificios mayas funcionaban como “fijadores del tiempo”, espacios donde el pasado, el presente y el devenir se hacían visibles en sombra, luz y orientación.

Sharer y Traxler (2006), sostienen que la construcción con piedra caliza tallada, estuco y mortero implicó conocimiento avanzado de peso, fricción, distribución del esfuerzo y estabilidad estructural. Las bóvedas de aproximación —a diferencia del arco romano— permitieron cubrir espacios amplios mediante bloques inclinados que convergían en un vértice sin necesidad de cimbra metálica. Este recurso ingenieril, presente en Uxmal, Palenque y Copán, evidencia experimentación con cargas laterales y con técnicas de contrapeso. La monumentalidad no fue un acto improvisado: requirió planificación volumétrica, cálculo del peso y un conocimiento profundo del comportamiento mecánico de la piedra.

Los sacbeob —calzadas elevadas— integraron ciudades distantes mediante ingeniería vial que resistió humedad, raíces y erosión. Algunos alcanzaron más de 100 km de longitud, con capas de grava

compactada y revestimientos de cal que mantenían la superficie estable incluso bajo intensa lluvia tropical. Más que simples caminos, fueron arterias que conectaron centros ceremoniales, promoviendo circulación política, comercial y militar. La urbanística maya fue, por tanto, un entramado de conexiones rituales y estratégicas: cada espacio poseía un rol funcional dentro de un sistema mayor.

En este sentido, la arquitectura maya debe comprenderse como síntesis de tres racionalidades: técnica, simbólica y astronómica. La ciudad se convirtió en una herramienta de observación del cielo, un escenario político y un lugar habitable, confirmando que la ingeniería fue un vehículo para monumentalizar la memoria colectiva. Como indica Aveni (2001), la arquitectura maya fue una ciencia de la orientación, una manera de leer el firmamento mediante piedra, forma y proporción. Su sofisticación no emerge únicamente de la grandeza visible, sino del pensamiento matemático y cosmológico que la hizo posible.

Ingeniería agrícola, ecología y sostenibilidad productiva

Una civilización de tal magnitud solo pudo sostenerse mediante sistemas agrícolas eficientes y diversos. Aunque tradicionalmente se ha vinculado la agricultura maya al sistema de roza, tumba y quema, hoy se ha demostrado la existencia de agroecosistemas altamente complejos basados en camellones elevados (*raised fields*), huertos forestales (*forest gardens*) y terrazas en pendiente, los cuales permitieron optimizar la producción incluso en entornos ecológicamente adversos. Turner y Harrison (1983), documentaron en Pultouser Swamp una infraestructura agrícola hidráulica capaz de transformar pantanos en terrenos fértiles, permitiendo cultivos continuos en condiciones de humedad extrema. Los canales permitían regular el flujo del agua, mientras que el sedimento acumulado aportaba nutrientes que renovaban de manera natural la fertilidad del suelo y prevenían su degradación.

Lucero (2006), argumenta que la agricultura maya fue un sistema de manejo forestal sustentable que equilibraba extracción y regeneración vegetal mediante técnicas de rotación, diversidad de cultivo y aprovechamiento vertical del ecosistema. Los huertos milperos integraban maíz, frijol, calabaza, tubérculos, plantas medicinales, árboles frutales y maderas duras, disminuyendo riesgo de agotamiento del suelo y aportando diversidad alimentaria; un modelo agroecológico que hoy se considera precursor de prácticas sustentables actuales. Además, la combinación de cultivos generaba relaciones simbióticas: el frijol fijaba nitrógeno, la calabaza protegía la humedad del suelo y el maíz actuaba como soporte estructural. La milpa funcionó, así, como sistema de autosuficiencia nutricional y regeneración ecológica simultánea.

El manejo agrícola maya no se limitó a la producción alimentaria, sino también a la construcción del paisaje. En zonas montañosas, como en la Sierra de los Cuchumatanes, la presencia de terrazas agrícolas permitió evitar la erosión y retener humedad en suelos inclinados, lo que muestra conocimiento avanzado sobre conservación edáfica. En otras regiones, como el norte de Belice o el Petén guatemalteco, se han encontrado campos elevados extensivos que constituyen auténticos paisajes agrohidráulicos, diseñados para absorber, drenar o retener agua según la temporada. La ingeniería agrícola maya fue, por tanto, adaptativa: modificó el ecosistema sin destruirlo, integrando infraestructura productiva con regeneración natural.

Esta ingeniería ecológica de carácter regenerativo permite afirmar que los mayas fueron pioneros en sostenibilidad agrícola, mucho antes de que el concepto existiera como categoría contemporánea (Houston et al., 2006; Inomata et al., 2021). Su lógica productiva contrasta con modelos actuales de monocultivo intensivo, que degradan suelos, reducen biodiversidad y exigen altos insumos químicos. La evidencia bibliográfica analizada indica que los sistemas mayas producían abundancia con resiliencia, manteniendo estabilidad ecológica durante siglos. Este legado abre aprendizajes relevantes frente al

cambio climático y la crisis alimentaria actual: la ingeniería agrícola puede sostener poblaciones sin comprometer el futuro del ecosistema. De este modo, la agricultura maya alimentó a una civilización y, a la vez, configuró un horizonte sostenible de relación con el territorio.

Conclusión

La ingeniería maya constituye uno de los logros tecnológicos más notables del continente americano. Lejos del estereotipo primitivista que dominó la historiografía durante décadas —que redujo su complejidad cultural a ritualismo o misticismo—, la literatura especializada demuestra que los mayas desarrollaron soluciones sofisticadas en hidráulica, urbanismo y agricultura sin depender de metales pesados, poleas, ruedas de tracción ni animales de carga. Su grandeza radica no solo en la monumentalidad de sus ciudades, sino en la racionalidad ecológica que integró observación ambiental, experimentación empírica y sentido espiritual del cosmos, configurando una tecnología que era al mismo tiempo científica y sagrada.

Comprender su legado invita a reflexionar sobre la relación de la sociedad con el territorio. El modelo hidráulico demuestra que es posible regular el agua con eficiencia sin devastar cuencas ni ríos; la arquitectura demuestra que la planificación urbana puede dialogar con el movimiento solar y no solo con la expansión económica; la agricultura maya confirma que la producción alimentaria puede sostenerse a largo plazo mediante diversidad ecológica y no mediante monocultivo intensivo. En un mundo tensionado por crisis climáticas, migración ambiental, desertificación y colapso hídrico, la ingeniería maya emerge como alternativa epistemológica y como advertencia civilizatoria.

Su modelo —sostenible, adaptativo, simbólico y comunitario— recuerda que la tecnología puede ser compatible con la naturaleza y que el progreso no exige sacrificar biodiversidad, equilibrio ecológico ni cohesión social. Redescubrir su ciencia implica recuperar una re-

lación con el entorno en la que el conocimiento no se impone sobre la tierra, sino que dialoga con ella. La ingeniería maya, vista desde el presente, actúa a la vez como espejo y como horizonte: muestra lo que la humanidad fue capaz de construir y, al mismo tiempo, aquello que todavía podría llegar a lograr.

El estudio de la ingeniería maya abre un campo fértil para investigaciones venideras, especialmente en un contexto global que exige repensar los modelos de habitabilidad y producción alimentaria. Una proyección relevante consiste en profundizar el análisis comparativo entre infraestructura maya y tecnologías actuales de aprovechamiento hídrico, evaluando la pertinencia de aplicar modelos descentralizados de almacenamiento y filtración en zonas con stress hídrico. Asimismo, futuras investigaciones podrían ampliar el estudio geoarqueológico de campos elevados y huertos forestales para reconstruir con mayor precisión los ciclos productivos, tiempos de rotación y resiliencia ecológica ante eventos climáticos extremos. Otro eje emergente corresponde a la modelización 3D y simulación computacional de redes hidráulicas y urbanas, lo que permitiría evaluar su eficiencia en escenarios hidrometeorológicos diversos. Finalmente, se vuelve imprescindible explorar el vínculo entre ingeniería y cosmología para comprender cómo la racionalidad maya integró matemáticas, astronomía y territorialidad en un mismo sistema productivo y simbólico. Avanzar en estas líneas permitirá no solo ampliar el conocimiento científico sobre esta civilización, sino también incorporar sus lógicas tecnológicas como insumo para diseñar políticas públicas sostenibles en el presente y en el futuro.

Referencias

- Aveni, A. (2001). *Skywatchers: A revised and updated version of Skywatchers of Ancient Mexico*. University of Texas Press.
- Coe, M., & Houston, S. (2015). *Los mayas*. Thames and Hudson.
- Demarest, A. (2004). *Ancient Maya: The rise and fall of a rainforest civilization*. Cambridge University Press.
- Folan, W. J., Marcus, J., Pincemin, S., Carrasco, M. D., Fletcher, L. A., & López, A. M. (1995). Calakmul: New data from an ancient Maya capital in Campeche, Mexico. *Latin American Antiquity*, 6(4), 310–334. <https://doi.org/10.2307/971834>
- Freidel, D., Schele, L., & Parker, J. (1993). *Maya cosmos: Three thousand years on the shaman's path*. William Morrow.
- Harada, T. (2024). Más allá de la «visión de los vencidos»: Revalorización de la perspectiva indígena en el estudio de la geografía política de los mayas. *Cuadernos CANELA*, 35, 25–42.
- Houston, S., Stuart, D., & Taube, K. (2006). *The memory of bones: Body, being, and experience among the Classic Maya*. University of Texas Press.
- Inomata, T., & Houston, S. D. (2001). *Royal courts of the ancient Maya*. Westview Press.
- Inomata, T., Triadan, D., Vázquez López, V. A., Fernandez-Diaz, J. C., Omori, T., Méndez Bauer, M. B., García Hernández, M., Beach, T., Cagnato, C., Aoyama, K., & Nasu, H. (2020). Monumental architecture at Aguada Fénix and the rise of Maya civilization. *Nature*, 582(7813), 530–533. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2343-4>
- López Austin, A., & López Luján, L. (2001). *El pasado indígena*. Fondo de Cultura Económica.
- Lucero, L. J. (2006). *Water and ritual: The rise and fall of Classic Maya rulers*. University of Texas Press.
- Scarborough, V. L. (1998). Ecology and ritual: Water management and the Maya political process. *Latin American Antiquity*, 9(2), 135–159. <https://doi.org/10.2307/971991>
- Schele, L., & Mathews, P. (1998). *The code of kings: The language of seven sacred Maya temples and tombs*. Scribner.
- Sharer, R. J., & Traxler, L. P. (2006). *The ancient Maya*. Stanford University Press.

Turner, B. L., II, & Harrison, P. D. (1983). *Pulltrouser Swamp: Ancient Maya habitat, agriculture, and settlement in northern Belize*. University of Texas Press.

Mayan engineering: Science, territory and cosmos in a civilization of water and stone

Engenharia Maia: ciência, território e cosmos em uma civilização da água e da pedra

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

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

halvarez@ucsc.cl

humalvarezsep@gmail.com

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

claudbenoit@gmail.com

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 examines Mayan engineering as an expression of sophisticated technological knowledge that was ecologically balanced and deeply integrated into cultural life. The analysis is organized into three central dimensions: the hydraulic systems that allowed water to be managed in regions with variable climates and sustained large urban centers; monumental architecture planned with highly precise mathematical and astronomical criteria; and diversified agricultural models that ensured food stability, soil conservation, and environmental regeneration through long-term adaptive practices. The study is developed from a qualitative, historical-interpretative, and analytical approach, based on a humanistic paradigm and a topical narrative design. The results show that Mayan engineering was not only material or functional, but also symbolic, communal, and closely linked to the landscape and the cosmic order. It concludes that their legacy offers relevant keys to thinking about forms of sustainable habitability in the face of the current climate crisis.

Keywords: Mayan engineering; Ecological sustainability; Mesoamerican architecture; Pre-Hispanic agricultural systems; Water management.

Resumo

Este capítulo examina a engenharia maia como expressão de um conhecimento tecnológico sofisticado, ecologicamente equilibrado e profundamente integrado à vida cultural. A análise está organizada em três dimensões centrais: os sistemas hidráulicos que permitiram gerenciar a água em regiões de clima variável e sustentar grandes centros urbanos; a arquitetura monumental planejada com critérios matemáticos e astronômicos de alta precisão; e os modelos agrícolas diversificados que garantiram estabilidade alimentar, conservação do solo e

regeneração ambiental por meio de práticas adaptativas de longo prazo. O estudo é desenvolvido a partir de uma abordagem qualitativa, histórico-interpretativa e analítica, sustentada por um paradigma humanista e um desenho narrativo de tópico. Os resultados mostram que a engenharia maia não foi apenas material ou funcional, mas também simbólica, comunitária e estreitamente vinculada à paisagem e à ordem cósmica. Conclui-se que seu legado oferece chaves relevantes para pensar formas de habitabilidade sustentável perante a atual crise climática.

Palavras-chave: Engenharia maia; Sustentabilidade ecológica; Arquitetura mesoamericana; Sistemas agrícolas pré-hispânicos; Gestão hídrica.