

# MACHUPICCHU

INVESTIGACIONES INTERDISCIPLINARIAS

TOMO I

FERNANDO ASTETE y JOSÉ M. BASTANTE, editores.



PERÚ

Ministerio de Cultura

Dirección  
Desconcentrada de Cultura  
de Cusco

# MACHUPICCHU

## INVESTIGACIONES INTERDISCIPLINARIAS

TOMO I

FERNANDO ASTETE y JOSÉ M. BASTANTE. editores



PERÚ

Ministerio de Cultura

Dirección  
Desconcentrada de Cultura  
de Cusco

© MACHUPICCHU. INVESTIGACIONES  
INTERDISCIPLINARIAS / TOMO I  
Fernando Astete y José M. Bastante, editores

© De esta edición:  
Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco  
Área Funcional del Parque Arqueológico Nacional de  
Machupicchu  
Calle Maruri 340, Palacio Inka del Kusikancha. Cusco  
Central telefónica (051) – 084 – 582030  
1a. edición - Setiembre 2020

Corrección de estilo:  
Eleana Llosa Isenrich

Diagramación:  
Saúl E. Ponce Valdivia

Arte de portada:  
Saúl E. Ponce Valdivia  
Miguel A. Aragón Collavino

Foto de portada:  
José M. Bastante Abuhadba

Foto de solapa:  
Sandro Aguilar

Coordinación:  
Alex I. Usca Baca  
Alicia Fernández Flórez

Revisión:  
Carmen C. Sacsá Fernández  
Alicia Fernández Flórez

ISBN: 978-612-4375-13-2  
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-03378

Impreso en:  
GD Impactos  
Calle Mártir Olaya 129, Of 1905, Miraflores - Lima

Tiraje: 1000 ejemplares

Impreso en Perú  
Printed in Perú  
*Perú suyupi ruwasqa*

MINISTERIO DE CULTURA DEL PERÚ

**Ministro de Cultura**  
Alejandro Arturo Neyra Sánchez

**Viceministra de Patrimonio Cultural  
e Industrias Culturales**  
Leslie Carol Urteaga Peña

**Viceministra de Interculturalidad**  
Angela María Acevedo Huertas

**Director de la Dirección Desconcentrada  
de Cultura de Cusco**  
Fredy D. Escobar Zamalloa

**Jefe del Área Funcional del Parque Arqueológico Nacional  
de Machupicchu**  
José M. Bastante Abuhadba

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación por cualquier medio o procedimiento sin autorización expresa y por escrito de los editores.

# Índice

## TOMO I

Presentación

*Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco* 11

Prólogo

*John Hemming* 13

Introducción

*Mechtild Rössler* 21

Los trabajos de las Expediciones Peruanas de Yale en la *llaqta* de Machupicchu

*José M. Bastante* 25

Machu Picchu. Entre el cielo y la tierra

*Luis Millones* 59

Nuevos alcances científicos sobre la vida diaria en Machu Picchu

*Richard L. Burger* 77

Percepciones sobre inmigración y clase social en Machu Picchu, Perú, basadas en el análisis de isótopos de oxígeno, estroncio y plomo

*Bethany L. Turner, George D. Kamenov, John D. Kingston y George J. Armelagos* 107

Estado de la cuestión: historia y arqueología de la *llaqta* de Machupicchu

*José M. Bastante, Fernando Astete, Alicia Fernández y Alex I. Usca* 141

Machu Picchu. Monumento arqueológico

*Rogger Ravines* 237

Avances de las investigaciones interdisciplinarias en Machupicchu

*José M. Bastante y Alicia Fernández Flórez* 269

Machu Picchu: el centro sagrado

*Johan Reinhard* 289

<i>Llaqta</i> de Machupicchu: sacralidad y proceso constructivo <i>José Fernando Astete Victoria</i>	313
Aspectos constructivos en Machupicchu <i>Arminda Gibaja</i>	327
Machu Picchu: maravilla de la ingeniería civil <i>Kenneth R. Wright y Alfredo Valencia Zegarra</i>	335
Tecnomorfología de la <i>llaqta inka</i> de Machupicchu. Materiales, métodos y resultados del levantamiento arquitectónico y paisajístico <i>Adine Gavazzi</i>	353
Avances preliminares de la investigación con <i>lidar</i> en Machupicchu <i>Roland Fletcher, Nina Hofer y Miguel Mudbidri</i>	383
Lagunas sagradas de Salkantay. Investigaciones subacuáticas en el Santuario Histórico de Machu Picchu <i>Maciej Sobczyk, Magdalena Nowakowska, Przemysław Trzeźniowski y Mateusz Popek</i>	393
Ingeniería <i>inka</i> de Machupijchu <i>Jesús Puelles Escalante</i>	409
Contexto funerario bajo en el sector noreste de Machupicchu, 2002 <i>Alfredo Mormontoy Atayupanqui</i>	447
Los esqueletos humanos de Machu Picchu. Un reanálisis de las colecciones del Museo Peabody de la Universidad de Yale <i>John Verano</i>	455
<b>TOMO II</b>	
La mayoría silenciosa de Machu Picchu: una consideración de los cementerios incas <i>Lucy C. Salazar</i>	11
El cementerio de los incas <i>Christopher Heaney</i>	25
Quilcas en el Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu: análisis y perspectivas arqueológicas <i>Fernando Astete, José M. Bastante y Gori-Tumi Echevarría López</i>	35

Las quilcas del Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu: evaluación y secuencia arqueológica preliminar <i>José M. Bastante y Gori-Tumi Echevarría López</i>	59
El calendario solar de Machupicchu y otras incógnitas <i>Eulogio Cabada</i>	99
Observaciones astronómicas en Intimachay (Machu Picchu): un nuevo enfoque para un antiguo problema <i>Mariusz Ziółkowski, Jacek Kościuk y Fernando Astete Victoria</i>	131
Acercas de los instrumentos astronómicos de los incas: el mirador de Inkaraqay (Parque Arqueológico Nacional de Machu Picchu) <i>Fernando Astete Victoria, Mariusz Ziółkowski y Jacek Kościuk</i>	143
Machu Picchu: sobre su función <i>Federico Kauffmann Doig</i>	159
Machu Picchu, el mausoleo del emperador <i>Luis Guillermo Lumbreras</i>	193
Investigaciones interdisciplinarias en Machupicchu. Temporada PIAISHM 2017 <i>José M. Bastante, Alicia Fernández y Fernando Astete Victoria</i>	233
Investigaciones en el monumento arqueológico Choquesuysuy del Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu <i>José M. Bastante y Emerson Pereyra</i>	269
Investigaciones en el monumento arqueológico Chachabamba <i>José M. Bastante, Dominika Sieczkowska y Alexander Deza</i>	289
Arqueogeofísica aplicada a la arqueología inca: el caso del monumento arqueológico Chachabamba <i>Nicola Masini, Luigi Capozzoli, Gerardo Romano, Dominika Sieczkowska, Maria Sileo, José M. Bastante, Fernando Astete, Mariusz Ziolkowski y Rosa Lasaponara</i>	305
Materialización del culto al agua a través de la arquitectura hidráulica en la <i>llaqta</i> de Machupicchu <i>Alicia Fernández Flórez</i>	321

La Reforma Agraria en el Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu <i>Alex Usca Baca</i>	337
La ciudad de San Francisco de Victoria de Vilcabamba y el pueblo antiguo del Ynga nombrado Huaynapicchu <i>Donato Amado Gonzales</i>	361
Biodiversidad anotada del Santuario Histórico de Machupicchu: especies endémicas y amenazadas <i>Julio Gustavo Ochoa Estrada</i>	375
Reportes anotados de mamíferos silvestres del Santuario Histórico de Machupicchu <i>Julio Gustavo Ochoa Estrada</i>	395
Quinquenio orquidáceo del Santuario Histórico de Machu Picchu. Géneros, especies nuevas y nuevos reportes <i>Benjamín Collantes</i>	407
<i>Vasqueziella</i> boliviana, conocida desde hace tiempo y de amplia distribución, pero muy poco frecuente <i>Benjamín Collantes y Günter Gerlach</i>	411
Una vista desde la bóveda: fotos de las expediciones a Perú de la National Geographic Society-Yale University <i>Sara Manco, Renée Braden y Matthew Piscitelli</i>	421
Autenticidad de Machupicchu, 100 años después <i>Ricardo Ruiz Caro y Fernando Astete Victoria</i>	427
<b>ANEXOS</b>	
Anexo 1. Relación de monumentos arqueológicos en el Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu y la Zona Especial de Protección Arqueológica	439
Anexo 2. Términos en quechua en los artículos	456

# Machu Picchu: maravilla de la ingeniería civil<sup>1</sup>

Kenneth R. Wright<sup>2</sup> y Alfredo Valencia Zegarra<sup>3</sup>

## **P**lanificación con criterios de ingeniería. Planificación de la ciudadela

Una vez que el inca aprobó el emplazamiento de Machu Picchu para su predio real, los ingenieros civiles tuvieron que analizar con mayor detenimiento las características de la cumbre donde la ciudadela iba a ser construida. Al iniciarse la obra, ellos sabían que existía allí un arroyo permanente, que la presencia de un denso bosque tropical en el lugar hacía ver que la irrigación era innecesaria y que había abundante buena roca fracturada que podía ser utilizada para la construcción. Debido a que el emperador deseaba disfrutar de vistas grandiosas de las montañas y del río, sería necesario ubicar y orientar estructuras especiales para este propósito.

El sitio estaba localizado en una zona de transición entre el Cusco, la sede del poder imperial, y la agreste y no colonizada selva baja. En este emplazamiento, el inca podía sentirse seguro por las defensas naturales que constituyen el río Urubamba y las pendientes que rodean el lugar por tres lados.

Puesto que el lugar seleccionado tenía pendientes muy pronunciadas y podía sufrir deslizamientos de tierra, la abundancia de rocas partidas permitía vislumbrar que iba a ser posible construir muchas terrazas.

<sup>1</sup> Se publican aquí los capítulos dos y cinco del libro *Machu Picchu: maravilla de la ingeniería civil*, editado en 2006 (Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; pp. 9-16, 36-46; publicado originalmente en inglés en el año 2000).

Traducción de la autorización de publicación concedida por la American Society of Civil Engineers y la Universidad Nacional de Ingeniería: "La American Society of Civil Engineers (ASCE) tiene el agrado de conceder licencia de uso por una vez del siguiente trabajo original en inglés con copyright, traducido y publicado en español por la Universidad Nacional de Ingeniería: Machu Picchu: A Civil Engineering Marvel / Machu Picchu: maravilla de la ingeniería civil, de los autores Kenneth R. Wright, Alfredo Valencia Zegarra, Ruth M. Wright y Gordon McEwan, con traducción del magister Hugo Pereyra".

Por razones de espacio, no se ha podido incluir todas las fotos que estaban en el libro original.

<sup>2</sup> Ingeniero civil (krw@wrightwater.com).

<sup>3</sup> Arqueólogo y antropólogo cusqueño; falleció en 2009.

Luego de que este lugar densamente cubierto de árboles y malezas fue desbrozado, los ingenieros civiles pudieron apreciar que era posible establecer un área dedicada a la agricultura, separada de una zona urbana situada hacia el norte (figura 1).

Por seguridad, debería construirse tanto una muralla externa, que incorporara la topografía natural, como una muralla interna, que dividiera el área agrícola y el área urbana con solo una puerta para el paso del camino incaico que venía desde la ciudad capital del Cusco (figura 2).

Cerca de la ciudadela, sobre el Camino del Inca, una casa de vigilancia con tres paredes haría posible el control del ingreso al lugar, con una *kallanka* para el alojamiento de visitantes locales. También existía un estrecho ramal de este camino incaico. La seguridad para dicho ramal sería facilita-

da por el uso de una estructura análoga a un puente levadizo situada en la empinada pared de la falla Machu Picchu (figura 3).

La puerta sagrada (y principal), la única puerta para atravesar la muralla interna, estaría orientada de tal manera que, cuando los visitantes la cruzaran, quedarán impresionados por una visión enmarcada en piedra de la montaña sagrada Huayna Picchu (figura 4). Almacenes y corrales para llamas justo detrás de la puerta, que estaría cerrada, facilitarían el envío y la descarga de bienes.

En forma consistente con las prácticas incaicas de planificación, habría sectores altos y bajos en el área urbana, con una gran plaza al medio. Todo esto iba a requerir, sin lugar a dudas, un intensivo trabajo en el lugar, así como la construcción de gruesas murallas y rellenos considerables con el propósito de

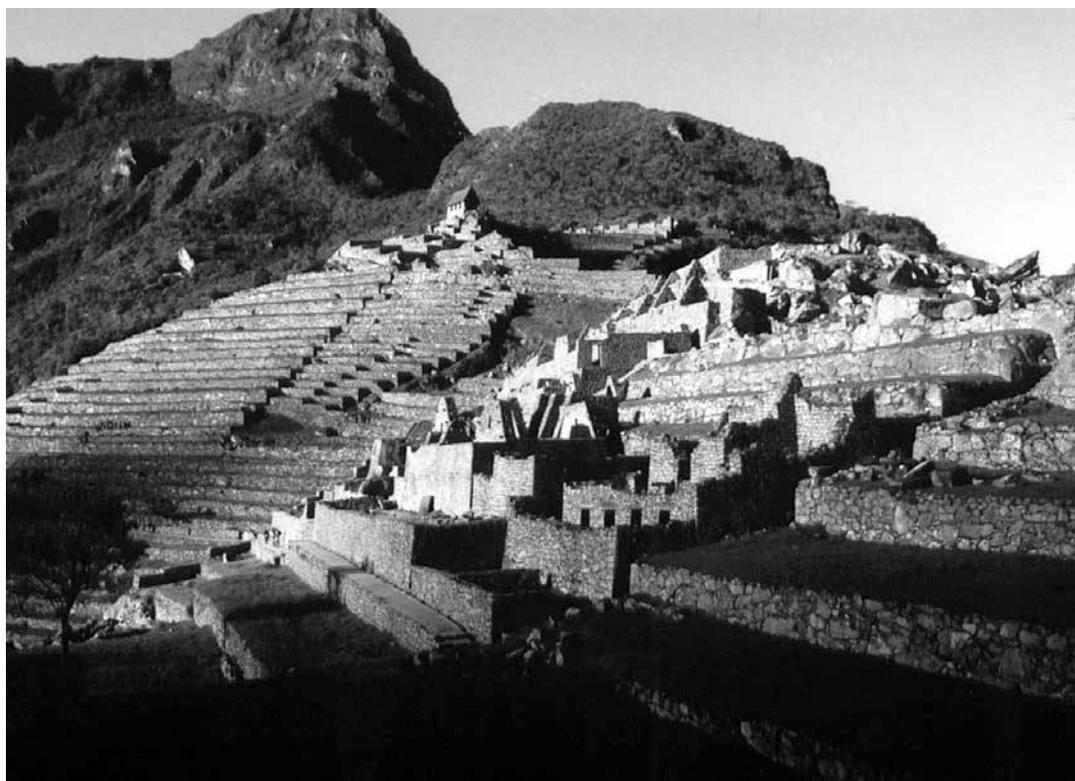


Figura 1. El amplio sector agrícola se sitúa hacia el sur del sector urbano, separado por el largo canal principal de drenaje que corre en dirección este-oeste. El camino incaico que venía desde el Cusco puede apenas ser apreciado arriba a la izquierda. Se observa en primer plano el sector urbano norte.



Figura 2. La única puerta de entrada a Machu Picchu se muestra abajo a la izquierda. Hay dos aberturas estrechas localizadas más allá de la puerta que dirigen a espacios para el cuidado de las llamas que servían como bestias de carga, en tanto que a lo largo del sendero se encuentran depósitos para el despacho y almacenaje de alimentos.

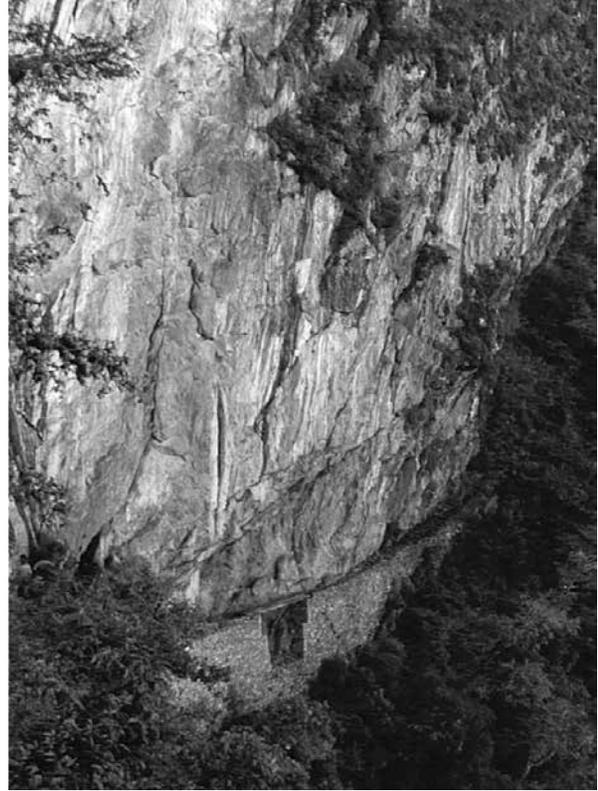


Figura 3. Un ramal del Camino del Inca pasaba por la escarpada cara de la falla Machu Picchu sobre un recubrimiento de piedras construido junto con un paso movable hecho de troncos. El diseño en forma de puente levadizo proporcionaba a Machu Picchu mayor seguridad.

crear lugares llanos para las construcciones y para la plaza central (figura 5).

Los templos mayores y la residencia real estarían localizados en el sector urbano alto, situado hacia el occidente. Afortunadamente, el agua del perenne arroyo situado en la ladera norte del cerro Machu Picchu podía ser llevada por flujo de gravedad hacia el centro del sector urbano situado en la parte alta, en tanto que la pendiente del canal fuera cuidadosamente controlada. El trecho final del canal descargaría agua en la primera fuente (figura 6).

La Residencia Real estaría ubicada adyacente a esta fuente. Una gran roca de granito que sobresale en las inmediaciones de esta primera fuente sería el

sitio para el importante Templo del Sol (figura 7).

Una serie de dieciséis fuentes ubicadas en forma paralela a una larga escalera (figura 8) continuaría hacia abajo por la escarpada pendiente, sirviendo tanto al sector urbano alto como al bajo con abastecimiento de agua doméstica. La Residencia Real sería elegante y privada, solo tendría una entrada hacia los ambientes reales que, además, serían seguros y bien drenados. El perenne arroyo y la inclinación del canal condicionaban la localización de la primera fuente y de la Residencia Real.

La cumbre, en sí misma, sería el lugar lógico para los principales templos, pues proporcionaba incomparables vistas. Aquí habría una Plaza Sagrada,



Figura 4. La única puerta de acceso a Machu Picchu estuvo cuidadosamente diseñada para proporcionar a los visitantes una impresionante vista enmarcada en el cerro Huayna Picchu.

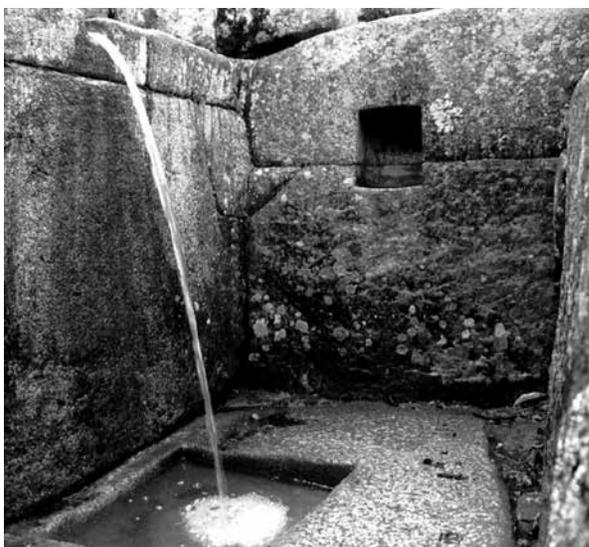


Figura 6. La primera fuente incluye una gran losa de piedra dentro de la cual fue tallado un pozuelo rectangular. Un orificio de desagüe está conectado con un canal delicadamente esculpido que transporta el agua a las fuentes situadas más abajo. El inca utilizaba esta fuente que se encuentra situada en la ubicación más alta.



Figura 5. El diseño de Machu Picchu incluía los sectores Oriental y Occidental (alto y bajo) separados por una larga plaza situada en medio. Esta vista desde el cerro Machu Picchu mira hacia el norte. El irregular camino al Huayna Picchu puede ser apreciado en el centro de la fotografía.



Figura 7. El Templo del Sol aloja una importante huaca de roca natural tallada relacionada con una ventana situada hacia el este. Las dos servían como observatorio solar. La huaca puede verse a través de la enigmática ventana situada encima de los dos indios quechuas.

con el Templo de las Tres Ventanas hacia el este, el Templo Principal hacia el norte, una vista hacia el oeste y un edificio de servicio hacia el sur.

El punto más alto del área urbana de Machu Picchu estaría reservado para el Intiwatana. Esta roca de forma piramidal necesitaría numerosas terrazas para prevenir la erosión de la capa superficial del suelo y los talladores de piedra tendrían necesidad de aplanar la parte superior para crear una plataforma. Mientras hicieran esto, tallarían la punta de la roca natural, para convertirla en un prisma rectangular que se utilizaría durante ceremonias religiosas especiales. Además, debajo de la cumbre, los talladores trabajarían otro afloramiento natural de granito para emular a las montañas sagradas Yanantin y Putucusi, que dominan la vista desde la escalera de granito que conduce a la cumbre (figura 9).

Las edificaciones más ordinarias, como alojamientos y almacenes suplementarios, estarían localizadas en el bajo sector urbano (situado hacia el este). También se encontrarían allí una serie de adoratorios situados hacia el sur, que debían ser utilizados por los residentes y por visitantes importantes (figura 10).

Directamente a través de la plaza, desde el Intiwatana, se encontrarían tres puertas de doble jamba a las que se podría acceder por medio de una larga escalera y por senderos llanos guardados por dos puertos con centinelas. De allí hacia el sur, habría toscas rocas de granito que se aprecian a la vista con el aspecto de “alas” destacadas con muros de piedra adicionales (figura 11). Abajo, una roca tallada representaría la cabeza de un cóndor, toda ella completa, incluyendo su gola.

Mirando el valle situado hacia el este, se encontraba una cueva de piedra. Aquí se construiría



Figura 8. La escalera de las fuentes desciende desde el área del Templo del Sol en forma paralela a una serie de dieciséis fuentes de abastecimiento de agua para consumo doméstico. La décima fuente, que se ve en la parte de arriba a la izquierda, es la única que tiene un surtidor de agua orientado en dirección este-oeste. La decimosexta fuente está en el extremo derecho, detrás del muro de piedra.



Figura 9. Con el propósito de mostrar el poder del inca sobre la tierra y el agua, era frecuente que se tallaran piedras con el aspecto y el perfil de montañas importantes situadas a lo lejos. Esta vista hacia el este se puede apreciar desde la escalera de granito que conduce al Intiwatana, que era un punto focal para Machu Picchu.



Figura 10. Machu Picchu tuvo muchos adoratorios y “piedras de adoración” en sectores donde se apreciaban espectaculares vistas de las escabrosas montañas.



Figura 11. La integración de rocas de granito natural y de murallas de piedra cuidadosamente construidas en el Templo del Cóndor tiene el aspecto de grandes alas. Muchos visitantes de la actualidad hallan al templo especialmente importante por la existencia, en ese lugar, de cavernas subterráneas, nichos y varios cuartos.

un observatorio solar, de modo que, por unos pocos días durante el solsticio de diciembre, los rayos del sol naciente penetrarían profundamente en la cueva.

Hacia el norte, más cerca de la montaña sagrada de Huayna Picchu, un grupo de pináculos de roca apuntan hacia arriba. Con el tiempo, podían haberse convertido en un templo importante. Más allá, y también más cerca al Huayna Picchu, una roca sagrada sería labrada con la idea de reproducir la imagen de las cadenas de montañas situadas a lo lejos.

Finalmente, la cumbre del Huayna Picchu se volvería accesible por medio de un camino de montaña cuidadosamente construido con escaleras de granito, similar al que conduce a la cumbre del cerro Machu Picchu.

Las cuevas superiores y la cumbre del Huayna Picchu serían sitios de terrazas elaboradas, pequeñas

construcciones con aspecto de templos y una flecha de piedra que apuntaría hacia el sur en dirección al Salcantay, situado a muchos kilómetros de allí, una de las montañas más relevantes reverenciadas por los incas. Todo este desarrollo de construcciones sobre la cumbre de Machu Picchu estaría por lo general conectado con pasadizos horizontales de dirección norte-sur y con empinadas escaleras de dirección este-oeste.

Los pasadizos y escaleras formarían parte de un plan general de seguridad, con pasajes adecuados, siempre teniendo en cuenta un sentido de respeto y de acceso limitado al sector Urbano de la parte superior, más identificado con la realeza, donde estarían ubicados los puntos de control y las estaciones para centinelas.

Cuando el profesor Hiram Bingham de la Universidad de Yale redescubrió Machu Picchu en 1911 y

desbrozó el lugar en 1912, halló a la ciudadela aproximadamente en el mismo estado en que se encuentra hoy día. Una de sus fotografías de 1912 de la Plaza Sagrada y del Intiwatana, proporcionada por los archivos de la *National Geographic Magazine*, se muestra en la figura 12.

### Diseño de la infraestructura

El plan maestro para Machu Picchu incluía también criterios de durabilidad, ya que sin una vida perpetua para la ciudadela el emperador no habría sido bien servido. Por el saber tecnológico obtenido de

imperios precedentes y de otros pueblos conquistados desde el norte hasta el sur, los ingenieros civiles de Machu Picchu comprendían la importancia de realizar una infraestructura sólida y bien concebida. Era muy importante que ella reposara en el conocimiento entonces existente en hidrología, hidráulica, agricultura, drenaje urbano, criterios sanitarios, tecnologías de suelos y de cimientos, ingeniería estructural y un variado “repertorio” de métodos de construcción, junto con un buen control topográfico de las elevaciones, distancias y alineamientos.



Figura 12. En 1912, el profesor de Yale Hiram Bingham tomó esta fotografía en placa de vidrio de la Plaza Sagrada con el Intiwatana al fondo. El Templo Principal que mira la cámara y el Templo de las Tres Ventanas hacia la derecha estaban entonces tal como se encuentran en la actualidad (fotografía proporcionada por la *National Geographic Magazine*).

## I**n**fraestructura de drenaje

Frecuentemente, la sofisticación de una civilización puede juzgarse por la atención que le presta a la infraestructura de drenaje, puesto que es precisamente esta la que más se deteriora cuando los estándares de cuidado en ingeniería son bajos. La infraestructura incaica de drenaje fue una de las maneras que tuvieron los incas de mostrar que ellos construían ciudades para que perduraran.

Los sistemas de drenaje agrícola y urbano de Machu Picchu fueron notables en cuanto a su minuciosidad y perdurabilidad. El cuidado demostrado por los ingenieros civiles y los trabajadores incaicos fue lo suficientemente esmerado como para preservar Machu Picchu para la investigación moderna y para el turismo.

### Logros en los trabajos públicos

La infraestructura de drenaje construida por los incas en el viejo Machu Picchu representa un significativo logro en trabajos públicos. Las difíciles limitaciones del lugar, junto con los cerca de 2000 mm de lluvia anual, las cuestas empinadas, los deslizamientos de tierras y la lejanía fueron

factores que determinaron, en conjunto, considerables retos en las tareas de drenaje que los incas superaron exitosamente. El análisis técnico de los trabajos incaicos de drenaje muestra que los criterios usados en este ámbito fueron razonables, pero también indescifrables en lo que se refiere a su implementación.



Figura 13. Las terrazas de Machu Picchu, visualmente impactantes, fueron diseñadas tanto con criterios de belleza como de funcionalidad. El agua de lluvia se infiltraba dentro de la tierra vegetal. La Casa del Vigilante se encuentra arriba a la derecha.

Tal parece que los ingenieros incaicos tenían un manual de drenaje urbano equivalente al “Manual de prácticas N° 77” de la ASCE (1992), aunque los incas carecieron de lenguaje escrito.

### Terrazas agrícolas

Las terrazas agrícolas del refugio real de Machu Picchu saltan mucho a la vista (figura 13). Tanto física como estéticamente, ellas complementan las magníficas estructuras de este santuario situado en la parte superior de un cerro. Las terrazas también dan protección contra las excesivas escorrentías y perviven a la erosión de las laderas. Esto demuestra que los incas pusieron en práctica criterios de desarrollo sustentable hace aproximadamente 500 años, lo que sienta un buen precedente para el mundo de hoy en el ámbito de la administración de suelos (Wright y Loptien 1999).

Las antiguas y numerosas terrazas agrícolas ocupan un total de 4.9 ha. Están formadas por muros de contención de piedra, contienen una gruesa capa de tierra vegetal y están bien drenadas (Valencia y Gibaja 1992). Los análisis de suelos mostraron que la arenosa tierra vegetal era muy gruesa. Los estratos I y II, que son más profundos, eran más granulados que la tierra vegetal del estrato I, lo que daba mayor permeabilidad para mejorar el drenaje subterráneo. En los estratos más profundos, los obreros incaicos formaron excelentes vías de flujo subterráneo con rellenos de grandes piedras sueltas y, algunas veces, con fragmentos que quedaban como restos en las tareas de tallado de piedras.

Llevamos a cabo investigaciones de campo con el propósito de determinar las características del drenaje agrícola. En ellas, encontramos que el canal que suministraba agua para las fuentes del área urbana de Machu Picchu atraviesa el sector agrícola, pero no hay ramales hacia las terrazas. También desarrollamos investigaciones de campo para determinar si el



Figura 14. Fuentes recientemente descubiertas en la parte baja de la cuesta oriental de Machu Picchu indican que se captaba y utilizaba un flujo constante de drenaje de agua subterránea.

agua superficial de drenaje era reutilizada para riego. No encontramos ninguna evidencia de ello dentro de las ruinas de Machu Picchu. La descarga del agua doméstica de las fuentes tampoco fue directamente reutilizada para irrigaciones, sino que simplemente iba al drenaje principal. Sin embargo, descubrimos evidencias de que el agua de drenaje del subsuelo era captada para abastecer varias fuentes formadas con piedras entre las terrazas inferiores, cuesta abajo de Machu Picchu (figura 14).

El estudio técnico prosiguió a medida que evaluamos los datos climatológicos modernos y los suelos, con lo cual estimamos el posible clima antiguo y estudiamos el sistema de drenaje agrícola de este predio real (Wright *et al.* 1997).

Los canales superficiales de drenaje de las terrazas agrícolas se ajustan al contorno de las laderas provistas de terrazas que son adecuadas para que el agua de escorrentía se derrame en el drenaje adyacente. La inspección que hicimos de las terrazas y el examen de fotografías tomadas en 1912 por Hiram Bingham indicaron poca erosión debida a la escorrentía, incluso después de cerca de cuatro siglos de falta de mantenimiento y de lluvias significativas.

La infiltración de agua de lluvia desde la superficie hacia el sistema de drenaje del subsuelo fue altamente eficaz. Además, el sistema paralelo de drenaje de superficie para las terrazas agrícolas proveyó, en la mayor parte de los casos, protección redundante y constituyó un factor de seguridad de drenaje para los casos de fuertes lluvias.

### Sector Urbano

El sector Urbano de Machu Picchu cubre 8,5 ha y contiene aproximadamente 172 edificaciones, la mayoría de las cuales estaban cubiertas con techo de paja. El área residencial y la de templos estuvieron interconectadas por medio de escaleras de granito y senderos, muchos de las cuales son también rutas para los canales de drenaje. Cuando se las une con los canales de drenaje y con las cuevas subterráneas, las salidas de drenaje superficial, localizadas en los muros de contención y en las paredes de las construcciones en todo el desarrollo urbano, definen la red de drenaje superficial. La densidad de las edificaciones con techos de paja (figura 15) daba lugar a un coeficiente de escorrentía generalmente alto con un corto tiempo de concentración para la relación local entre lluvia y escorrentía.

La infraestructura de drenaje de Machu Picchu y sus características especiales contiene el secreto de su perdurabilidad. Por largo tiempo, los arqueólogos y los científicos han pasado por alto este hecho, ya



Figura 15. El agua que caía de los techos de paja era a veces captada por canales de piedra a lo largo de la línea de goteo, canales análogos a las canaletas para lluvia. El doctor Valencia Zegarra señala el alineamiento que tuvo el borde del techo de paja. La Casa del Guardián, con techo de paja, se ve en la parte superior de la foto.

que sin un buen drenaje y cimientos bien construidos no habría quedado mucho del predio real del emperador Pachacuti. Las edificaciones se habrían desplomado y muchas de las terrazas se habrían derrumbado por las fuertes lluvias, las cuevas empinadas, los suelos resbaladizos y la ocupación humana.

Los ingenieros incaicos dieron una gran prioridad al drenaje superficial y subterráneo de Machu Picchu durante su diseño y construcción. Se podría decir entonces que el milagro de Machu Picchu no



Figura 16. El drenaje principal centralizado separaba los sectores agrícolas y urbano. La montaña con cima redondeada que se ve al fondo es el Putucusi; el sector Urbano se encuentra a la izquierda.

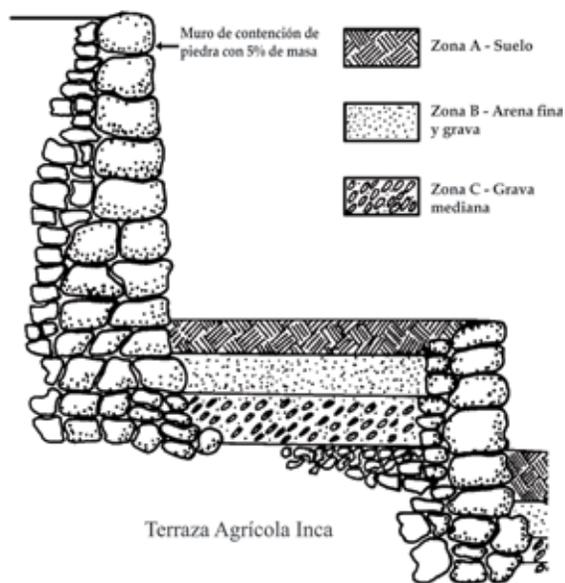


Figura 17. Las terrazas agrícolas fueron construidas con el objeto de proporcionar un buen drenaje del subsuelo. Gran parte del agua de lluvia se filtraba hacia las zonas permeables situadas debajo.

solamente reside en sus bellos edificios, sino también en las características de las obras de ingeniería que yacen invisibles debajo de la superficie, en las cuales se empleó un 60% del esfuerzo incaico de construcción.

Estudios sobre Machu Picchu han identificado diez componentes principales en su sistema de drenaje:

1. Drenaje principal centralizado que separaba el sector agrícola del urbano (figura 16).
2. Drenaje superficial para las terrazas agrícolas con adecuadas pendientes longitudinales, que conducen a canales de superficie integrados con escaleras de acceso a las terrazas o al drenaje principal.



Figura 18. El recorrido de la escalera de granito era una ruta conveniente para transportar con seguridad el agua que caía desde la parte superior de la pirámide del Intiwatana.



Figura 19. Miles de fragmentos de roca provenientes de los trabajos de corte de piedras que se efectuaron en Machu Picchu proporcionaron drenaje al subsuelo de una forma muy parecida al moderno drenaje francés.



Figura 20. Salidas de drenaje del sector urbano situadas en 129 lugares en todo Machu Picchu; ellas aseguraban la buena eliminación de la escorrentía. La salida de drenaje de la izquierda está en el Muro de los Artesanos.

3. Drenaje agrícola del subsuelo, típicamente consistente en piedras grandes con una capa de grava y, encima de ella, otra capa de material un tanto arenoso (figura 17).
4. Administración y control del drenaje de agua doméstica no usada.
5. Eficiente drenaje superficial del suelo sembrado con pasto corto para evacuar el agua que caía de los techos de paja de las numerosas construcciones y el agua de escorrentía de las plazas. En algunos lugares existen canales de goteo para los techos de paja.
6. Canales de drenaje urbanos y agrícolas combinados con escaleras, senderos o interiores de templos (figura 18).
7. Profundos estratos de fragmentos de roca y piedras bajo las plazas (figura 19) para hacer posible que reciban e infiltren la escorrentía de las áreas tributarias.
8. Un bien concebido y estratégicamente localizado sistema para el área urbana, consistente en 129 salidas de desagüe ubicadas en los numerosos muros de contención y las paredes de los edificios (figura 20).
9. Cuevas subterráneas con un flujo relativamente libre del agua bajo tierra a través de depósitos permeables naturales de granito descompuesto y rocas.
10. Sistemas concebidos para interceptar el drenaje de agua subterránea en la parte inferior del flanco oriental del cerro para el abastecimiento de fuentes ceremoniales y utilitarias.

### Necesidad anual de agua

Se hizo un cálculo para estimar la posible escorrentía, tanto en la superficie como en el subsuelo, usando los siguientes parámetros aproximados:

- Promedio del antiguo periodo de lluvias: 1940 mm/año.

- Evapotranspiración de la vegetación agrícola: 1200 mm/año.
- Unidad combinada de evaporación en el área urbana y evapotranspiración: 600 mm/año.

Las terrazas agrícolas producían agua de drenaje a una tasa de 7400 m<sup>3</sup>/ha/año). Se estima que el drenaje del área urbana producía 13 400 m<sup>3</sup>/ha/año.

Basándonos en un examen de la topografía, la ausencia de erosión, el tipo de suelos, la probable cobertura de vegetación y el potencial de drenaje del subsuelo, estimamos que cerca del 90% de la producción anual de aguas de las terrazas agrícolas correspondía al flujo subterráneo y 10% a la escorrentía. De otro lado, el área de construcción urbana en Machu Picchu podía haber tenido aproximadamente 60% del flujo de superficie y 40% de salida subterránea debido a la naturaleza impermeable de los techos de paja y de los suelos compactos. Sin embargo, gran parte del flujo superficial era dirigido hacia las áreas centralizadas de las plazas y las cavernas para su filtración.

Con base en el balance calculado de agua y en las observaciones de campo del sistema de drenaje de Machu Picchu, junto al análisis de las terrazas agrícolas y el área urbana, determinamos que la capacidad y el carácter del sistema de drenaje del subsuelo era adecuado. En términos de capacidad de flujo y almacenamiento de detención temporal, el agua de subsuelo proveniente de lluvias relativamente intensas y la escorrentía de un año lluvioso superior al promedio pueden ser manejadas adecuadamente sin dar lugar a una alta capa freática.

### Escorrentía y criterios de drenaje

Usando técnicas que se basan en el método de prueba y error y otras que pasaron de una generación a otra por tradición oral, los constructores incaicos fueron

capaces de dimensionar y diseñar empíricamente un sistema de drenaje superficial notablemente efectivo. No se puede especular sobre la manera en que este sistema fue concebido o en que fueron desarrollados los criterios empíricos; sin embargo, el largo periodo de construcción que fue llevado a cabo por los imperios andinos preincaicos, tales como Wari y Tiawanaku, pudo haber dado a los constructores incas la ocasión de juzgar y copiar aquello que podía funcionar.

Nosotros reformulamos los criterios empíricos aproximados de diseño que utilizaron los incas tras estudiar nuestro mapa de Machu Picchu, analizar las cuencas urbanas de drenaje, calcular la capacidad de las salidas y documentar el espaciamiento entre ellas. Determinamos entonces que una típica salida de drenaje de pared en la zona urbana se basó en criterios equivalentes a los de la tabla 1. Sin embargo, no asumimos que los incas tuvieron criterios formalizados. Los parámetros que desarrollamos para la tabla 1 representan sus equivalentes empíricos aproximados.

**Tabla 1**  
**Criterios primarios de escorrentía en superficies urbanas para las salidas típicas de drenaje en las paredes de Machu Picchu**

Criterios primarios	Magnitud
Área tributaria por salida de drenaje <sup>(1)</sup>	200 m <sup>2</sup>
Tamaño típico de la salida de drenaje	10 x 13 cm
Capacidad máxima de salida de drenaje	650 litros/minuto
Intensidad estimada de lluvia	200 mm/hora
C de la fórmula racional de escorrentía	0.8
Flujo estimado por salida de drenaje	500 litros/minuto

Nota

<sup>(1)</sup> Se observó que el Templo del Cóndor tiene solo una salida de drenaje para cerca de 0.045 ha. Sin embargo, debajo de este templo hay cuevas subterráneas que drenan la mayor parte de la escorrentía.



Figura 21. Se encontró un antiguo muro de piedra enterrado bajo una terraza, el cual probablemente fue hecho en el periodo inicial de construcción de la ciudadela. Nótese los fragmentos de piedra de desecho que se utilizaron para rellenos y drenajes del subsuelo.

### Drenaje del subsuelo de la plaza

Una arqueóloga del Instituto Nacional de Cultura (INC) dirigió excavaciones para nosotros en seis lugares con el objeto de obtener muestras de suelo para pruebas de laboratorio. Ella hizo tres descubrimientos notables en el pozo de prueba 6, que medía 2 x 2 m. Estos fueron:

1. Un antiguo y enterrado muro de piedra que representaba ya fuera un temprano cambio (1450 d. C.) en los planes de construcción o un muro de contención temporal hecho con propósitos de construcción (figura 21).

2. Una capa de rocas sueltas y de fragmentos de piedras debajo de la superficie, para drenaje subterráneo. Esos fragmentos constituían solo una parte del reciclaje de miles de metros cúbicos de fragmentos de desechos originados por el trabajo de los picapedreros.
3. Un brazalete de oro que había sido colocado cuidadosamente entre dos rocas guardianas, aparentemente como una ofrenda.

La capa de fragmentos de roca localizada en el subsuelo tenía cerca de 1 m de espesor y un coeficiente estimado de permeabilidad de 160 m/día. La transmitividad de la roca fragmentada es entonces de 160 m<sup>2</sup>/día, con una almacenabilidad aproximada de 0.15. Como resultado de ello, la percolación profunda de una lluvia copiosa podía ser temporalmente almacenada en la capa de fragmentos de roca del subsuelo, desde donde drenaría lentamente, a una modesta tasa, hacia el punto de descarga de la corriente subterránea, sin ocasionar una alta capa freática. De otro modo, la estructura de la plaza y sus suelos habrían sido inestables.

Las áreas de las plazas se utilizaron también para recibir y evacuar el drenaje de las copiosas lluvias desde las adyacentes cuencas urbanizadas tributarias por medio de infiltración y escorrentía. Nuevamente, como un factor de seguridad, los ingenieros incaicos construyeron también sistemas de drenaje superficial para las plazas.

### Recursos especiales de drenaje

Las descripciones de las características y criterios generales de drenaje de Machu Picchu apoyan la opinión de Hiram Bingham sobre la capacidad de los incas para realizar obras de ingeniería. La investigación de las características específicas del drenaje demuestra el cuidado especial que los antiguos dise-



Figura 22. El área de baño de la Residencia Real tenía un desagüe individual que se conectaba con el canal de drenaje que corría de izquierda a derecha.

ñadores tuvieron con respecto a los rasgos específicos del lugar. A continuación, se describen algunas instalaciones específicas.

### Residencia del Emperador

En forma muy parecida a la entrada de un moderno centro ceremonial, donde un buen drenaje de superficie es vital, la entrada a la Residencia del Emperador en Machu Picchu estaba bien drenada. Para lograrlo, se construyó un pequeño canal de oeste a este en la única entrada a la Residencia Real. El canal pasaba entonces a través de un muro de contención por medio de una salida de desagüe donde el agua podía caer cerca de 0.7 m hacia otro canal, con 2% de inclinación, donde el agua fluía de oeste a este. Después de 5 m, una salida de desagüe y un



Figura 23. Con el objeto de evitar que el agua que caía de los techos de paja se infiltrara en la zona de cimentación, se utilizó un canal de goteo para interceptar el agua. Aquí, en la *wayrana* de la Roca Sagrada, el techo de paja original era mucho más denso que el reconstruido por el doctor Valencia Zegarra.

canal del área de baño del emperador se unían al canal principal (figura 22). Este, entonces, penetraba en otro muro exterior y continuaba hacia otra salida de desagüe que descargaba en un canal situado en el borde de una senda principal.

Por su fina construcción y su trabajo en piedra, cabe suponer que el sistema de drenaje de la entrada a la residencia del emperador iba a ser una fuente adicional abastecida, de alguna manera, por un conducto subterráneo desde la primera fuente. Incluso hoy, los científicos y los guías turísticos se refieren algunas veces a él como si fuera una fuente. Este drenaje de superficie constituye un buen ejemplo del cuidado especial que se tuvo para asegurar que la entrada a la Residencia del Emperador estuviera siempre libre de agua empozada.

### Roca Sagrada

La Roca Sagrada está flanqueada por dos edificaciones con techo de paja y tres paredes, llamadas *wayrana* (Valencia Zegarra 1977). Aquí, la mayor parte del agua proveniente de los dos techos de paja cae en la pequeña plaza situada entre las *wayrana*, donde los canales periféricos conducen el agua de lluvia en dirección oeste, hacia un muro de contención bajo tres salidas de agua. Desde allí, el drenaje descarga hacia la gran plaza que separa los lados oriental y occidental del sector Urbano, evitando así encharcamientos de agua.

Un canal de goteo y drenaje fue tallado en una roca grande situada detrás de la *wayrana* sur (figura 23). El agua proveniente del techo caía sobre la roca y era transportada lejos de los cimientos de esa *wayrana*.



Figura 24. Este largo canal de drenaje de gran capacidad, que iba hacia el drenaje principal, fue construido en un área donde los ingenieros incaicos sufrieron un temprano deslizamiento de tierra que fue satisfactoriamente estabilizado. El Canal del Inca está a la derecha.

### Drenaje horizontal de las terrazas agrícolas

Los constructores incaicos experimentaron deslizamientos de tierra cuando se encontraba en construcción el área de las terrazas agrícolas, zona adyacente al drenaje principal, y durante su ocupación. El suelo fue estabilizado en forma satisfactoria, pero no antes de que los trabajadores incaicos dieran pasos inusuales para controlar la escorrentía de manera muy parecida a la que emplean los modernos constructores de carreteras.

Ellos construyeron un canal interceptor con sección transversal grande, de sur a norte, en la base de una larga cuesta e inmediatamente encima del canal de abastecimiento de agua doméstica (figura 24).

Este drenaje protegió al canal de potenciales flujos contaminantes. El empinado drenaje interceptor, de

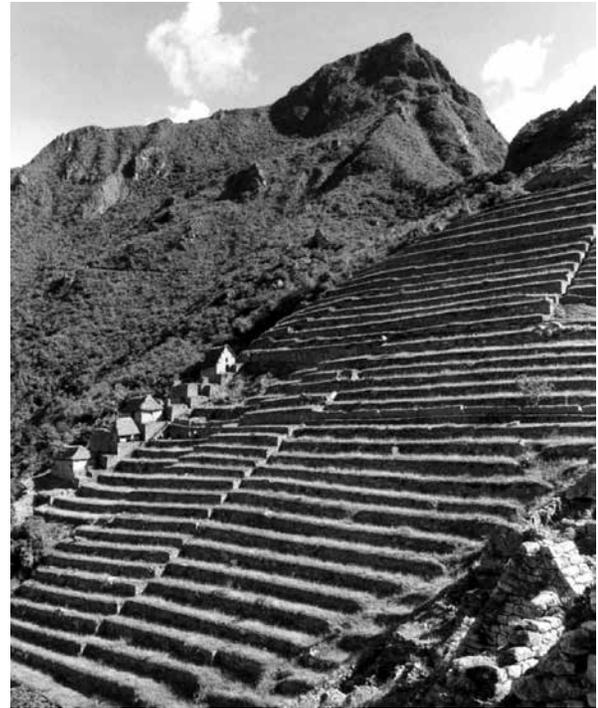


Figura 25. Las terrazas agrícolas que se ven en la parte de abajo, en primer plano, tienen un corte de separación cuyo ancho varía entre 1 y 2 m, mientras que la adyacente escalera de granito carece de dicha separación, lo cual indica que un deslizamiento de tierra paralelo al drenaje principal fue estabilizado durante el proceso de construcción. El cerro Machu Picchu se encuentra en la parte de atrás.

aproximadamente 42 m de largo, terminaba en el drenaje principal después de pasar a través de la muralla sur. Una apreciable parte de la cuesta, situada hacia arriba de la colina de esta área y que inicialmente fue inestable, carece de terrazas agrícolas, lo que indica que los constructores de Machu Picchu pospusieron su construcción en el área hasta que estuvieron seguros de la estabilidad de las cuestas empinadas. De otro lado, pudieron haber optado por no construir terrazas allí para evitar la infiltración hacia el subsuelo.

Las disposiciones tomadas por los constructores incaicos fueron exitosas, pues las terrazas se establecieron y el movimiento fue detenido (figura 25). Una larga escalera de granito situada hacia el lado norte de las terrazas, casi directamente sobre las fallas geológicas, no muestra signos de separación o de daño, lo que indica que la escalera fue construida después de que el deslizamiento de tierra fue corregido.

## Referencias bibliográficas

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, ASCE

1992 *Design and Construction of Urban Stormwater Systems*. ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice N° 77. Nueva York: ASCE.

BINGHAM, Hiram

1913 "In the Wonderland of Peru". En: *National Geographic Magazine*, 23 de abril, pp. 387-574.

1930 *Machu Picchu: A Citadel of the Incas*. New Haven, CT: Yale University Press.

VALENCIA ZEGARRA, Alfredo

1977 *Excavaciones arqueológicas en Machu Picchu: sector de la Roca Sagrada*. Cusco: INC.

VALENCIA ZEGARRA, Alfredo y Arminda GIBAJA OVIEDO

1992 *Machu Picchu: la investigación y conservación del monumento arqueológico después de Hiram Bingham*. Cuzco: Municipalidad del Qosqo.

WRIGHT, Kenneth R.; Jonathan. M. KELLY y Alfredo VALENCIA ZEGARRA

1997 "Machu Picchu: Ancient Hydraulic Engineering". En: *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 123, N° 10, pp. 834-843.

WRIGHT, Kenneth R. y Kurt. A. LOPTIEN

1999 "Machu Picchu Soil Stewardship". En: *Erosion Control*, vol. 6, N° 2, pp. 60-67.



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura

**Comisión  
Nacional  
Peruana**  
de Cooperación  
con la UNESCO



PERÚ

Ministerio de Cultura

Dirección  
Desconcentrada de Cultura  
de Cusco