

# MACHUPICCHU

INVESTIGACIONES INTERDISCIPLINARIAS

TOMO II

FERNANDO ASTETE y JOSÉ M. BASTANTE, editores.



PERÚ

Ministerio de Cultura

Dirección  
Desconcentrada de Cultura  
de Cusco

# MACHUPICCHU

## INVESTIGACIONES INTERDISCIPLINARIAS

TOMO II

FERNANDO ASTETE y JOSÉ M. BASTANTE. editores



PERÚ

Ministerio de Cultura

Dirección  
Desconcentrada de Cultura  
de Cusco

© MACHUPICCHU. INVESTIGACIONES  
INTERDISCIPLINARIAS / TOMO II  
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: 978-612-4375-14-9  
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 Puellas 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
Acerca 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 llaqta 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

## El calendario solar de Machupicchu y otras incógnitas

Eulogio Cabada<sup>1</sup>

**E**l Santuario Histórico de Machupicchu es un conglomerado de valores y cada uno en su ámbito resalta de manera excepcional. El espacio natural es un enorme y accidentado territorio, con geología, flora y fauna propias, en el que se ubica un apasionante santuario natural, circundado por un inmenso “anfiteatro de montañas”<sup>2</sup> que es, a la vez, custodiado por un río sagrado, el Vilcanota.

El espacio donde se ubica la ciudad inca de Machupicchu ha sido implementado con un bello conjunto constructivo, levantado con una objetiva conjunción de disciplinas a las que hoy llamamos urbanismo, arquitectura e ingeniería, aplicadas variando solo en lo estrictamente necesario el terreno original; es decir, respetando al máximo el material *in situ*, inclusive en muchos casos dejándolo aflorar si excedía al piso horizontal.

<sup>1</sup> El presente artículo resume el libro del ingeniero Eulogio Cabada Hildebrandt (1926-2017), titulado *El calendario solar de Machupicchu y otras incógnitas*, publicado por su autor. Eulogio Cabada fue ingeniero civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Realizó trabajos de restauración y consolidación en distintos sectores de la *llaqta* de Machupicchu y un estudio analítico de la arquitectura del conjunto 28 (Tres Portadas)

<sup>2</sup> “Anfiteatro de los montes” fue la expresión usada por el licenciado Adolfo López Mateos, presidente de México, en su visita a Machupicchu (1960).

A la obra urbana mencionada, debe agregarse el sistema de caminos, que se distingue por su trazo de sección amplia, segura y regular, el cual en muchos tramos hasta ahora se encuentra en buen estado. Asimismo, se debe mencionar el abastecimiento de agua, cuyas fuentes aún están en condición de funcionar.

La agrupación humana que ocupaba la ciudad inca de Machupicchu actualmente no tiene rostro definido; pero, por su obra física visible, provenía de una desarrollada cultura, en la que se vislumbra claramente su respeto y preferencia por el mundo espiritual, lo cual, a partir de su enunciado, ya genera expectativas sobre detalles de su modo de vivir.

Confirman lo antedicho la mayoría de estructuras, como el Mausoleo; el Torreón, por sí mismo y por su Ventana Ceremonial; la Plaza Sagrada, con el Templo Principal y el de las Tres Ventanas; el Intihuatana y su colina *ad hoc*; y el Templo de la Luna detrás del Huaynapicchu. Todos ellos sugieren ser objetos de culto o de uso general.

Además, se observan singulares estructuras que parecen haber sido dedicadas a algún culto

especial, como la Roca Sagrada o el conjunto del Cóndor, la llamada Sala de los Espejos, el Deslizadero y, quizá, el Inca Yacente, sin contar aquellas cuyo motivo o simbología aún pueden pasar inadvertidos. Ante tal inmensidad y con tanta incógnita a la vista, este estudio es un tímido atisbo, con el cual se intenta escudriñar algunos, muy pocos, de los mil y un recónditos misterios que presenta la ciudad inca de Machupicchu.

El tema central de este trabajo consiste en las observaciones realizadas a partir del solsticio de invierno del año 2006, que fueron confirmadas en el equinoccio de primavera del mismo año. El área de estudio es el recinto denominado por Bingham como Sala de los Morteros, que ahora es llamado Recinto de Espejos de Agua, en alusión a los discos pétreos empotrados en el suelo.

Desde la década de 1950 y como parte de mis labores en la Corporación de Reconstrucción y Fomento del Cusco (CRYF), la denominación de morteros para estos elementos líticos me resultaba cuestionable, por lo que propuse que tendrían la función de marcadores de solsticios y equinoccios.

La primera tentativa de explicar la función de dichos elementos se desarrolló gráficamente, considerando como marcador de cada fecha un punto del falso horizonte, con una altura estimada, por el cual habría de ocurrir, supuestamente, el orto del evento respectivo, evocando los relatos del Inca Garcilaso de la Vega. La regularidad del resultado de ese primer ensayo llevó a plantear la hipótesis y, luego, a esbozar el método que se ha seguido hasta el momento.

Por una parte, este método contemplaba graficar el estático escenario físico formado por la ventana y los discos adyacentes, aplicando sobre el mismo un haz

de luz solar –como hipotético puntero que indicara los eventos del estudio– ingresando por la ventana y que coincidiera axialmente sobre cada disco pétreo. El solsticio de junio lo marcaría el disco sur; el equinoccio, el disco norte; y señalaría el solsticio de verano la interrupción, solo ese día, del paso del haz de luz solar por la ventana, resultante de la tangencia simultánea del alineamiento del haz con las aristas verticales externa sur e interna norte.

Por otra parte, se tenía que plantear el dinámico escenario sideral representado por sendas tablas matemáticas que indicaran, en forma sucesiva, la posición del sol, cada cierto lapso –en las fechas de cambio de estación y con intervalos horarios– en que es posible registrar cada uno de los eventos referidos. Cumplidos los pasos anteriores, había que confrontar los dos esquemas para determinar si en cada fecha se hallaba alguna posición común para ambos escenarios, lo que fue comprobado luego de algunos intentos.

Actualmente, es posible afirmar el cumplimiento de la hipótesis en los dos primeros casos, junio y setiembre. Y aunque en diciembre no se logró confirmación, no es factible descartar de inmediato la prevista solución. En este último aspecto, luego de observar la secuencia fotográfica cabe pensar que el desvío se debe más a una variación de la estructura que a una incoherencia de la primera apreciación. Al explicar los primeros pasos de la investigación, debo hacer referencia a los cálculos y tablas derivadas conforme se iban haciendo necesarias. Los planos y dibujos auxiliares resultan todos del primer esquema utilizado en la investigación inicial, que se han venido actualizando según los conceptos a explicar.



Figura 1. El Torreón en primer plano, frente sureste; 1956.

### 1. Identificación de lugares

#### El Torreón, el Mausoleo Real y la Ventana Ceremonial

El Torreón resalta por la curvatura de su muro externo, que da al este, y por la óptima calidad de su mampostería perimétrica complementaria. También porque en su ámbito, en vez de piso, sobresale un túmulo de conformación monolítica con la roca principal (figura 1).

El Mausoleo Real es un ambiente subterráneo finamente revestido de piedra tallada, ubicado bajo la gran pieza lítica que soporta al Torreón, integrante del Caos Granítico (figura 2). Esta roca, trabajada *in situ*, forma un ámbito inferior que ha sido revestido con un delicado manto pétreo de fino acabado.

En el mismo Torreón, mirando al norte, y muy cerca del cruce de las escalinatas principales –punto de confluencia de todos los caminos que cruzan



Figura 2. El Mausoleo Real.



Figura 3. Ventana Ceremonial; hacia 1960.

Machupicchu—, se encuentra la Ventana Ceremonial, cuya ubicación y forma singular dicen de una importante finalidad ritual (figura 3). Presenta, en el frontis de su alféizar, una parte rebajada y sin pulir, con horadaciones poco usuales, que evocan a las del Ccoricancha del Cusco, allá utilizadas para fijar las láminas de oro que, según las crónicas, lucían algunos muros de ese recinto.

De esa parte rebajada, que —por eso— sugiere haber estado cubierta con fina lámina metálica, resalta la forma escalonada del contorno, símbolo inca, una de cuyas imágenes, divulgada en los últimos años, era la chacana (figura 4).

Con la imagen de abajo de la figura 4 se ha tratado de asociar el contorno escalonado de la referida parte baja de la ventana, dando el resultado que se aprecia en la figura 5. Siendo el signo una figura cuadrangular, se ha tratado de compensar la distorsión óptica de las medidas verticales, que apa-

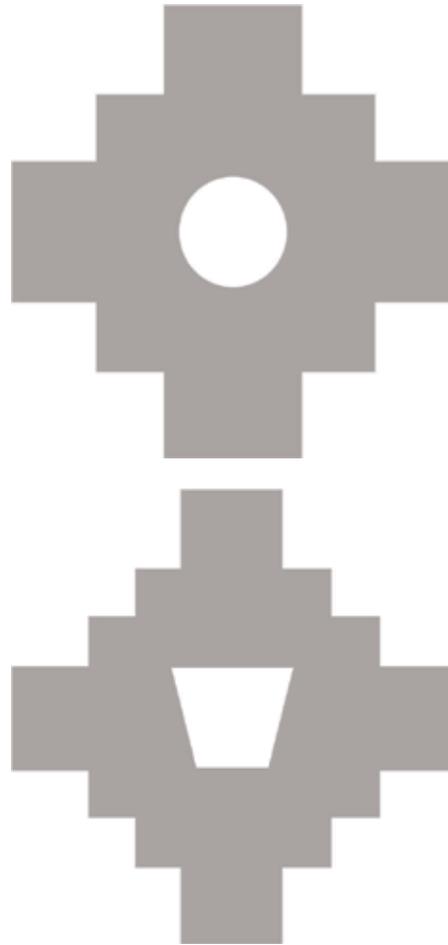


Figura 4. Arriba: chacana, signo escalonado; abajo: adaptación tentativa al campo estudiado.

recen reducidas en función de la inclinación de la visual; estando en este caso el ocular más bajo que el alféizar y la línea visual bastante inclinada respecto al plano graficado.

### La Plaza Sagrada

En este espacio, la presencia monumental del Templo Principal (figura 6) y la edificación cercana del Templo de las Tres Ventanas hablan con mayor claridad acerca de su finalidad ritual más que cualquier descripción interpretativa.

Este lugar ofrece interesante evidencia del proceso constructivo: la esquina suroeste del único recinto adosado, por la parte posterior al Templo

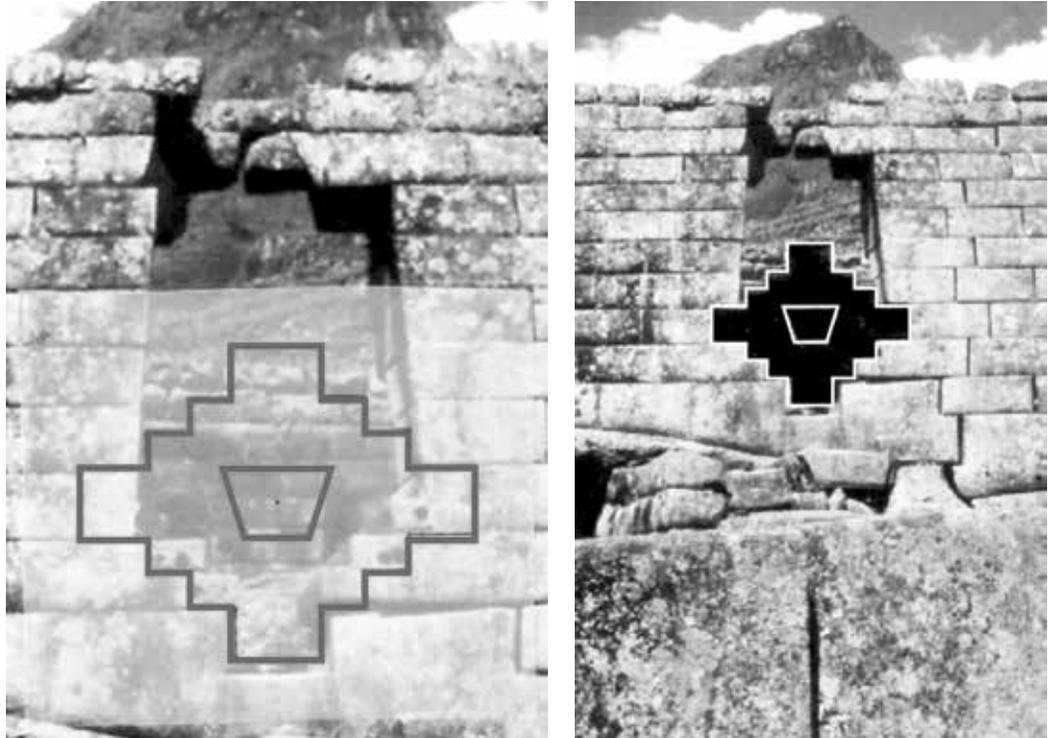


Figura 5. Izquierda: coincidencia de trazos; derecha: emblema hipotético.



Figura 6. Templo Principal; 1958.

Principal, presenta en el muro oeste, que quedó inconcluso, un espacio que debía ser rellenado con una pieza lítica de estereotomía compleja, ya casi terminada de labrar y que debe subsistir muy cerca, fuera de la estancia. Los muros laterales del Templo, al igual que los del Torreón, mantienen sus juntas muy regulares y precisas, lo cual sugiere que prevalecen intactas desde su origen las finas capas de arcilla que amortiguan el contacto, cara a cara, entre las piezas líticas de los muros de ese tipo.

Los relieves existentes en el paramento interno de ambos muros laterales indican que los mismos quedaron a medio proceso de rebaje con el uso de cantos rodados. Es decir, este sector del monumento se encontraba en pleno trabajo de acabado de muros cuando se interrumpió la ocupación de la ciudad inca. Otra particularidad, comprobada en el muro derecho, es su cimentación especial que, a diferencia de la generalidad de los muros de la ciudadela, luce como una base ensanchada, compacta y de aspecto monolítico, formada con piedras y arena fina cementados con un material cohesivo no identificado. Esta contextura sin duda ha contribuido a la buena conservación del muro en mención, pese al asentamiento de 0.40 m soportado.

### **La cantera**

Ubicada entre el Torreón y la Plaza Sagrada, la cantera es un conjunto de bloques heterogéneos de granito, remanentes del Caos Granítico citado anteriormente, que se encontraba en proceso de explotación para las construcciones en la ciudad inca cuando esta fue abandonada.

### **2. Estructuras del sector Oriental**

También en el lado este, se encuentra un buen número de estructuras de carácter simbólico: unas

con evidente sentido ritual, otras no explicadas, y puede haber algunas que por su aparente simpleza sigan pasando desapercibidas. Las apreciaciones anteriores obedecen a consideraciones surgidas tras contemplar estas estructuras directamente por varios años y tras meditar durante casi medio siglo sobre el significado de tales obras.

La evidencia en algunos casos sugiere la siguiente interpretación: una estructura simple o compleja que ha sido objeto de evidente ornamentación, como la Roca Sagrada o el Grupo del Cóndor, no requiere de mucho análisis para ser reconocida como símbolo de algún rito.

En efecto, el Grupo del Cóndor, antes de su dedicación, debe haber sido solo un par de grandes rocas, típicas del sitio; pero una vez reconocido y asociado a las figuras estilizadas del collar y la cabeza del ave en el piso, se genera toda la alegoría que integra y da vida al monumento. Sin embargo, sigue incógnito el ritual con que se cumplía el culto a esta alegoría y a las otras que se pueda mencionar.

La Roca Sagrada, una pieza lítica quizá hallada *in situ* con un lado plano de gran tamaño, proviene de un gran plano de diaclasa, cuya silueta sugiere una imagen dada, que la hace objeto de culto. Fue estabilizada con un zócalo perimétrico de piedra labrada y flanqueada por dos templetes o huayrana, haciéndosele reconocible como nuevo ícono.

Finalmente, otras estructuras requieren de observación metódica y estudio para determinar si en realidad eran en su tiempo objetos de atención especial. Por otra parte, es notorio que en áreas aparentemente destinadas a actividades comunes –habitación o trabajo cotidiano– existen piezas líticas de regular tamaño, emergentes del piso, de uso no dilucidado, que se han mantenido *in situ* como muda compañía de los ocupantes.

### El grupo de las Tres Puertas

Este conjunto recibió mi atención en el artículo “Arquitectura de las construcciones del grupo de las Tres Puertas en la ciudadela de Machu Picchu”, publicado en la *Revista del Museo e Instituto Arqueológico* de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco en diciembre de 1963. Los aspectos antedichos se definen como sigue.

**Arquitectura.** En la arquitectura del Cusco inca no se conoce el cruce de bloques constructivos como el de la perspectiva de la figura 7, cruce consistente en la compenetración volumétrica entre una hilera de recintos, muy angostos, orientada del

sureste al noroeste; y una huayrana doble, con muro central normal a dicha orientación, que se encuentra por partida doble en el grupo de las Tres Puertas, cuya planta se muestra en el plano, resaltando en achurado la parte comentada (figura 8). La perspectiva precedente corresponde al bloque sur.

En las imágenes precedentes se muestra, desde ambos lados, el muro central de la huayrana y su prolongación, que hace de separador de los recintos aledaños. En la vista izquierda aparece el material de derrumbe de dicho muro central. Nótese, por otra parte, que el talud que aparece en la prolongación del muro derruido es una superficie de fractura dejada

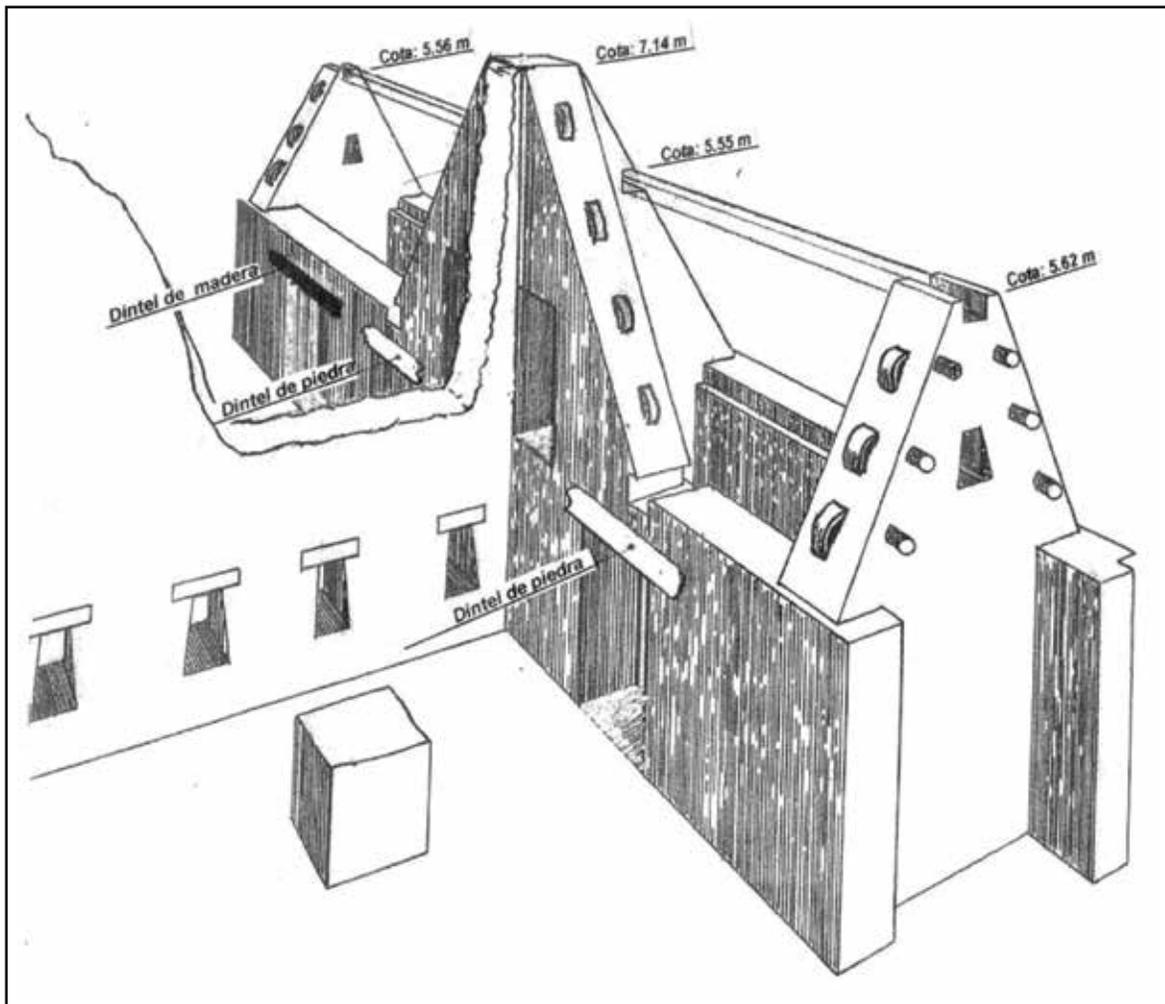


Figura 7. Cruce de bloques constructivos, perspectiva; 1963.



Figura 8. Muro central de la huayrana mostrando la superficie de fractura en su prolongación; 1969.



Figura 9. Mojinete mostrando clavija y argolla para fijación de la cubierta, 2006.

por el derrumbe y no el talud normal de un hastial, como es el hastial opuesto a este muro central en cada uno de los recintos adyacentes.

El lomo de un mojinete normal presenta, además de las clavijas por su cara externa, la argolla característica que aparece en la figura 9.

Da consistencia al acápite inicial de este apartado, el arquitecto Santiago Agurto Calvo en su obra *Cusco, la traza urbana de la ciudad inca* (1980), que expone la amplia investigación que realizó para

el Proyecto PER 39, comprendiendo múltiples aspectos de la habitación y uso territorial del Cusco inca, inclusive su arquitectura e ingeniería.

En efecto, en el apartado “El patrón de agrupamiento arquitectónico” (Agurto Calvo 1980: 144), el arquitecto deja sentado, descriptiva y gráficamente, que la planta de los bloques constructivos era unicelular, evitándose en general el contacto entre bloques.

Inclusive, explica el arquitecto Agurto Calvo, los patios esquineros, de una manzana, se originaban por el respeto estricto a esa condición cuando en el uso del terreno dos bloques constructivos integrados a sendos linderos se aproximaban a una esquina.

Es claro que de haberse aplicado tal rigidez en el conjunto aquí tratado, en vez del muro divisorio 3-4, que ahora existe, aparecería un patio separador cuadrangular, hacia el cual darían cara los hastiales de fachada de cada uno de los recintos 3 y 4 y de la doble huayrana 11-12. Es la situación mostrada en planta la que resulta exótica a la luz de los comentarios anotados.

Pero lo que motiva mayor expectativa es el encuentro de cubiertas en la techumbre, pues la gran diferencia de anchos de base entre piñones y

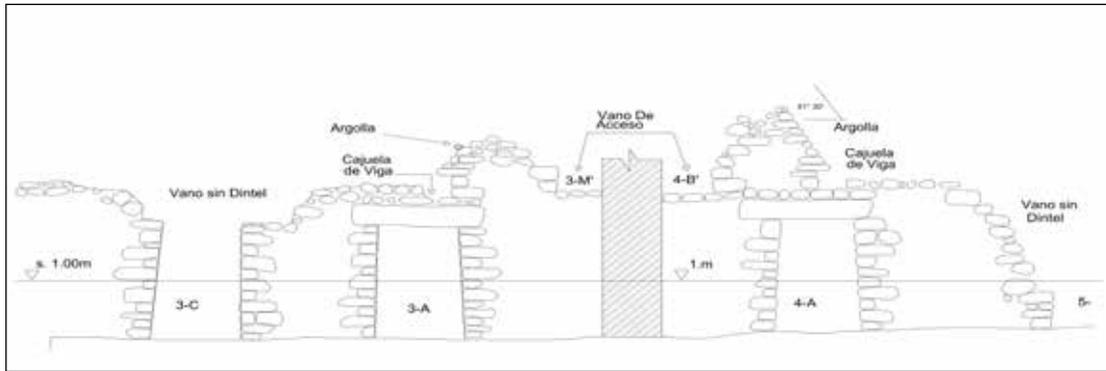


Figura 10. Dinteles de granillo y de madera; 1963.

la escasa diferencia de inclinación entre vertientes motivan que las cumbreras no coincidan al mismo nivel, derivando de ello un juego, no bien definido, de planos de vertiente y líneas divisorias que resulta inesperado para su época y lugar. Cualquier conclusión sobre el tema expuesto queda a consideración de los arquitectos y otros especialistas que se pudieran interesar.

**Ingeniería.** En este aspecto, la singularidad radica en la exhibición, casi emblemática, del concepto social de ingeniería, cuyo conocimiento y dominio real no puede regatearse a los constructores del Incaico en muchos aspectos y por múltiples trabajos. Sin embargo, es improbable encontrar en edificaciones del Cusco y alrededores una serie de vanos iguales en área libre, pero con estructuras diferentes, como es dable apreciar en la figura 10.

Hace más de medio siglo, el ingeniero Eugenio Dorca transmitía a sus alumnos de Ingeniería Económica el concepto de ingeniero con la “definición de Monroe”: ingeniero es una persona que, con un dólar, hace lo que cualquier otra haría con dos dólares.

Generalizando esa definición y, a la vez, sintetizando la frase dentro de su trascendencia socioeconómica, se puede enunciar: ingeniería es el manejo equilibrado del diseño entre la seguridad y la economía. Tal concepto está materializado en la



Figura 11. Vano con dintel de piedra; 1963.

figura 11, pues, por una parte, la seguridad estaba dada por la gran resistencia de los dinteles líticos y su larga duración, ante el peso de la viga transversal de la huayrana, cuya cajuela de apoyo aparece sobre cada dintel. Por otra parte, el vano sin dintel representa la economía de trabajo y material,

pues la evidencia fotográfica permite deducir que los faltantes dinteles eran fabricados de madera, por no recibir carga importante y por requerir su reposición; además ese material era más simple de preparar y suponía la manipulación de solo un par de hiladas de livianas piezas pétreas.

La figura 11 muestra uno de los vanos con dintel de piedra, mostrando en su parte superior la cajuela que recibía la carga concentrada de la viga inferior del techado de la huayrana transversal.

### 3. Otros ambientes fuera del perímetro central de la ciudad inca

No solo dentro de los límites de la ciudadela se encuentran ambientes y estructuras que llaman la atención sea por la belleza de su diseño o el esmero puesto en el trabajo de la piedra de los muros. Además del Templo de la Luna, cuya imagen está a la vista, pueden mencionarse entre muchos otros

trabajos de conjunto –como los de la parte alta del Huaynapicchu–, trabajos simples –como esa especie de puente levadizo que aparece en uno de los caminos de entrada– o la misma Portada Principal, que solo con verla se reconoce su función.

### El Templo de la Luna

Se reconoce con este nombre al conjunto que se emplaza a media altura en la falda norte del Huaynapicchu, cuya expresión más conocida es la caverna que está a la vista, formada bajo un techo rocoso que supera los cien metros cuadrados de área y, como puede apreciarse en la figura 12, se encuentra revestido en su perímetro por una capa de piedra de fino acabado.

Las dimensiones de los nichos y su estilo, de doble jamba, indican que el ambiente tenía una importancia notoria. El conjunto comprende además otros edificios distribuidos en un ambiente de tupida vegetación.



Figura 12. Ambiente subterráneo principal del Templo de la Luna; hacia 1960.

### La sala de los Morteros o de Espejos de Agua

Caso especial y motivo de este estudio es el ambiente denominado sala de Espejos de Agua (o de los Morteros), cuyo plano de planta se utiliza en este trabajo (figura 13).

Su estudio tiene por objeto verificar que la denominada Sala de los Morteros de Machupicchu cumple la función de calendario solar, pues los discos pétreos incrustados en su piso, con la ventana inmediata a ellos, que da hacia el este, presentan marcada relación con la posición solar en solsticios y equinoccios. Aunque falta definir detalles sobre el momento y forma de identificación de “la señal” de cada uno de los fenómenos, la realidad ha venido mostrando concordancias efectivas con la observación inicial de 1959. Aquí se tratará de exponer los pasos fundamentales efectuados desde el surgimiento de la idea.

Las medidas interiores del ambiente (longitud media 11.75 m; ancho 6.50 m), así como la calidad

de su mampostería, ubican al recinto entre los de mejor factura del Sector Oriental: piedras grandes de cara labrada y juntas bien ajustadas hasta media altura de ventanas y nichos, tal como se ve en la fotografía de la Expedición Bingham de 1912 (figura 14). Esta imagen, que acusa efectos de vegetación e intemperie, sobre todo en la parte superior de la estructura, hace ver también que la cohesión entre las piezas líticas de la parte inferior se ha mantenido en buena forma, pese a la fuerza agresiva del medio. Además del interés que pudiera despertar la imagen en general, el recinto presenta, con especial notoriedad, los dos discos pétreos que aparecen en la esquina inferior derecha de la foto, cuya identificación como “morteros” explica el nombre del lugar.

Sin embargo, la función atribuida a los discos generaba cierta duda, pues, por su propio aspecto –cara plana y reborde de acentuado perfil– es difícil admitir su operatividad funcional como morteros

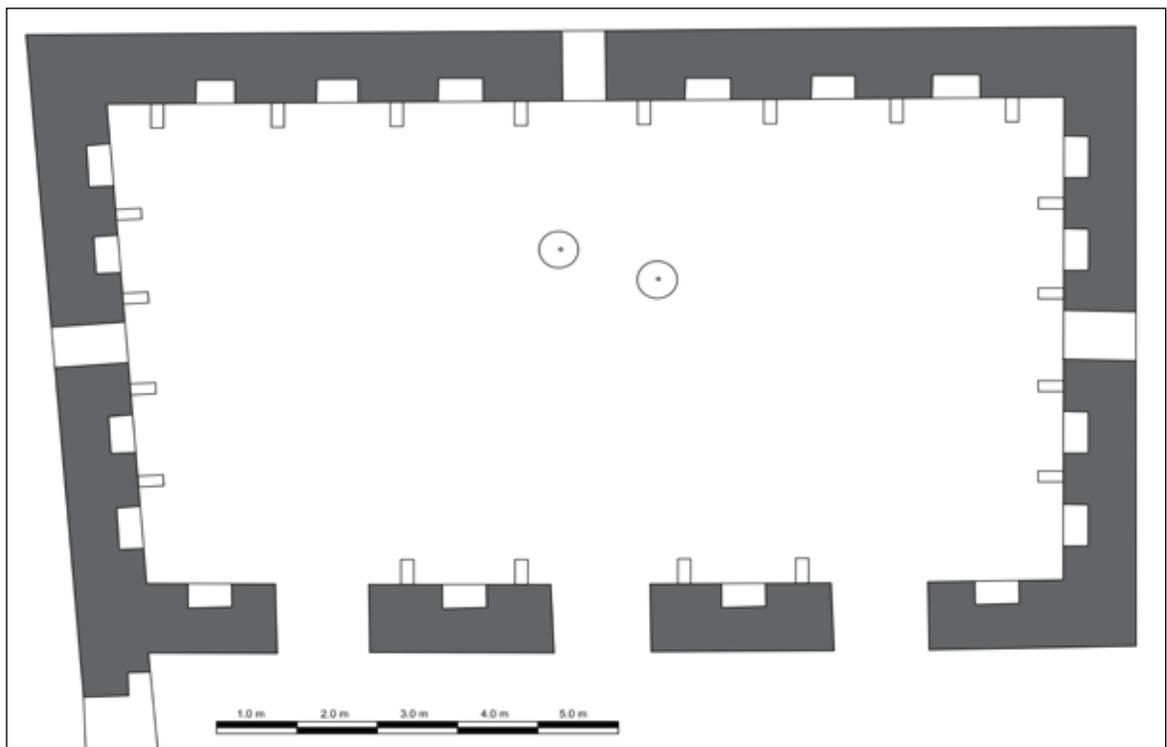


Figura 13. Sala de los Morteros o de Espejos de Agua.



Figura 14. Sala con presuntos morteros, según Bingham, 1912.

–escenificada inclusive por Bingham en esta fotografía–. Resulta además incomprensible el hecho de que, tratándose de elementos “simplemente utilitarios”, ocuparan en posición “poco funcional” un sitio preponderante en uno de los locales principales del conjunto urbano. Esta sola circunstancia podía sugerir un fin ritual, algo que se presentía ya en ese tiempo.

Los hechos anotados generaban, en quienes participaban por rutina en la investigación, las visitas y/o el mantenimiento de la ciudadela, la sensación de que faltaba una explicación acerca de la presencia e inusual ubicación de tales objetos. Por otra parte, acudía a su mente la narración del Inca Garcilaso de la Vega, en sus *Comentarios reales de los incas*, sobre el seguimiento de solsticios y equinoccios que se practicaba en la ciudad del Cuzco. Y,

más cercanamente, el estudio de Posnanski, en su obra *Tiuanacu* sobre el mismo tema, con respecto al monumento boliviano.

En la figura 15 aparecen los elementos fijos del estudio –la ventana y los discos pétreos– que, en su momento, serán relacionados con los solsticios y equinoccios. Vale también la imagen para mostrar la calidad del ensamble logrado en la restauración del muro de fondo, gracias a la precisión de los contornos originales de las piezas líticas, que ofrece el estilo de mampostería aplicado por los constructores.

A esta altura del estudio, es pertinente recordar la información del Inca Garcilaso de la Vega sobre el punto mencionado. Por ello, se transcribe enseguida el capítulo XXII de sus *Comentarios reales*.

Alcanzaron la cuenta del año y los solsticios y equinoccios

Mas con toda su rusticidad, alcanzaron los Incas que el movimiento del Sol se acababa en un año, al cual llamaron *huata*: es nombre y quiere decir año, y la misma dicción, sin mudar pronunciación ni acento, en otra significación es verbo y significa atar. La gente común contaba los años por las cosechas. *Alcanzaron también los solsticios del verano y del invierno*, los cuales dejaron escritos con señales grandes y notorias, que fueron *ocho torres que labraron al oriente* y otras ocho al poniente de la ciudad del Cuzco, puestas de cuatro en cuatro, dos pequeñas de a tres estados poco más o menos de alto *en medio de otras dos grandes*: las pequeñas estaban diez y ocho o veinte pies la una de la otra; a los lados, otro tanto espacio, estaban las otras dos torres grandes, que eran mucho mayores que las que en España servían de atalayas, y estas *grandes servían de guardar y dar viso para que descubriesen mejor las torres pequeñas*.



Figura 15. Elementos fijos del estudio: ventana y dos discos.

El espacio que entre las pequeñas había, *por donde el Sol pasaba al salir y al ponerse, era el punto de los solsticios*; las unas torres del oriente correspondían a las otras del poniente del solsticio vernal o hiemal.

Para verificar el solsticio se ponía un Inca en cierto puesto *al salir el Sol* y al ponerse, y miraba a ver si salía y se ponía *por entre las dos torres pequeñas* que estaban al oriente y al poniente. Y con este trabajo se certificaban en la Astrología de sus solsticios. Pedro de Cieza, capítulo noventa y dos, hace mención destas torres; el Padre Acosta también trata dellas, libro sexto, capítulo tercero, aunque no les dan su punto. Escribiéronlos con letras tan groseras

porque no supieron fijarlos con los días de los meses en que son los solsticios, porque contaron los meses por lunas, como luego diremos, y no por días, y, aunque dieron a cada año doce lunas, como el año solar exceda al año lunar común en once días, *no sabiendo ajustar el un año con el otro, tenían cuenta con el movimiento del Sol por los solsticios*, para ajustar el año y contarlo, y no con las lunas. Y desta manera dividían el un año del otro rigiéndose para sus sembrados por el año solar, y no por el lunar. Y aunque haya quien diga que ajustaban el año solar con el año lunar, le engañaron en la relación, porque, *si supieran ajustarlos, fijaran los solsticios en los días de los meses que son y no tuvieran necesi-*

*dad de hacer torres* por mojoneras para mirarlos y ajustarlos por ellas con tanto trabajo y cuidado como cada día tenían, *mirando el salir del Sol y el ponerse por derecho de las torres*; las cuales dejé en pie el año de mil quinientos y sesenta, y si después acá no las han derribado, se podría verificar por ellas el lugar de donde miraban los Incas los solsticios, a ver si era de una torre que estaba en la casa del Sol o de otro lugar, que yo no lo pongo por no estar certificado dél. También alcanzaron *los equinoccios* y los solemnizaron muy mucho. En *el de marzo* segaban los maizales del Cuzco con gran fiesta y regocijo, particularmente el andén de Collcampata. que era como jardín del Sol. En el equinoccio de septiembre hacían una de las cuatro fiestas principales del Sol, que llamaban Citua Raimi, r sencilla: quiere decir fiesta principal; celebrábase como en su lugar diremos. Para verificar el equinoccio tenían columnas de piedra riquísimamente labradas, puestas en los patios o plazas que había ante los templos del Sol. Los sacerdotes, *cuando sentían que el equinoccio estaba cerca, tenían cuidado de mirar cada día la sombra que la columna hacía*. Tenían las columnas puestas en el centro de un cerco redondo muy grande, que tomaba todo el ancho de la plaza o del patio. Por medio del cerco echaban por hilo, *de oriente a poniente, una raya*, que por larga experiencia sabían dónde habían de poner el un punto y el otro. Por la *sombra que la columna hacía* sobre la raya *veían que el equinoccio se iba acercando*; y cuando la sombra tomaba la raya de medio a medio desde que salía el Sol hasta que se ponía, y que a medio día bañaba la luz del Sol toda la columna en derredor, sin hacer sombra a parte alguna, decían que *aquel día era el equinoccial*.

Entonces adornaban las columnas con todas las flores y yerbas olorosas que podían haber, y ponían sobre ellas la silla del Sol, y decían que aquel día se asentaba el Sol con toda su luz, de lleno, en lleno, sobre aquellas columnas. Por lo cual en particular adoraban al Sol aquel día con mayores ostentaciones de fiesta y regocijo, y le hacían grandes presentes de oro y plata y piedras preciosas y otras cosas de estima. Y es de notar que los Reyes Incas y sus amautas, que eran los filósofos, así como iban ganando las provincias, así iban experimentando que, cuanto más se acercaban a la línea equinoccial, tanto menos sombra hacía la columna al medio día, por lo cual fueron estimando más y más las columnas que estaban más cerca de la ciudad de Quito; y sobre todas las otras estimaron las que pusieron en la misma ciudad y en su paraje, hasta la costa de la mar, donde, por estar el sol a plomo (como dicen los albañiles), no hacía señal de sombra alguna a medio día. Por esta razón las tuvieron en mayor veneración, porque decían que aquéllas eran asiento más agradable para el Sol, porque en ellas se asentaba derechamente y en las otras de lado. Estas simples y otras semejantes dijeron aquellas gentes en su Astrología, porque no pasaron con la imaginación más adelante de lo que veían materialmente con los ojos. *Las columnas de Quito* y de toda aquella región derribó el gobernador Sebastián de Benalcázar muy acertadamente y las hizo pedazos, porque idolatraban los indios en ellas. Las demás que por todo el reino había fueron derribando los demás capitanes españoles como las fueron hallando.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Inca Garcilaso de la Vega, *Comentarios reales de los incas* (1960; Cuzco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco). Se resalta lo relativo al caso presente.



Figura 16. Machupicchu: restauración de la portada principal; junio de 1959.

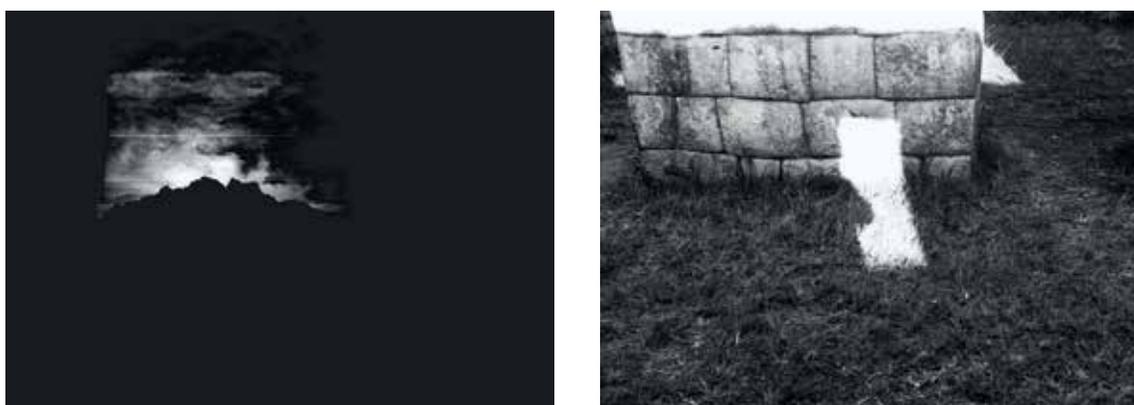


Figura 17. Izquierda: Machupicchu, preludio del orto, 21 de junio de 1959. Derecha: Machupicchu, sala de los morteros, primera proyección del haz de luz solar; 21 de junio de 1959.

De la rica y verosímil narración citada, en cuanto a los solsticios se rescata para este estudio que se establecían los días de solsticio observando directamente la posición del sol, referida a marcadores físicos prefijados al terreno, lo que ocurría al momento del orto solar, estando, por ello, los marcadores del fenómeno materializados en el falso horizonte. La determinación de los equinoccios se hacía por marcadores ubicados en el punto de observación, no claramente detallados por el cronista.

La circunstancia referida a cuando: “a medio día bañaba la luz del sol toda la columna en derredor, sin hacer sombra en parte alguna, aquel día era el equinoccial”, no rige para el Cusco, solo corresponde a una columna ubicada en la línea ecuatorial, como

bien lo refiere el mismo Garcilaso al mencionar las columnas cercanas a la ciudad de Quito.

Para la ciudad de Cusco, tal circunstancia se daría alrededor del 28 de octubre y del 12 de febrero: o sea, cuando la declinación solar iguala a la latitud del sitio (aproximadamente  $15,5^\circ$ ).

#### 4. Análisis y actualización del estudio

##### Impulso inicial

El impulso para el presente estudio nace en 1959 al tiempo que en la ciudad inca se efectuaba la restauración de la Portada Principal y en la zona próxima se iniciaban las obras de la toma de la central hidroeléctrica de Machupicchu. Testimonio de esa época son las fotos siguientes, que registran esos trabajos,

incluyendo el momento del orto solar del 21 de junio de 1959 (figuras 16 y 17).

Las fotos de la figura 17 corresponden a una vista del falso horizonte previo al orto y a la primera proyección del haz de luz solar en el solsticio de invierno –junio de 1959– sobre el interior del campo de estudio.

### **Fijación del norte**

En todo trabajo que implique comparación direccional en el espacio, es urgente contar con la señalización del norte geográfico, para que sirva como base única de referencia a las diversas alternativas. Para el caso, se trasladó al área de análisis el norte verdadero aproximado señalado en el plano de la expedición Bingham de 1912. Esta línea del norte verdadero del plano Bingham hace un ángulo de  $16^\circ$  con el paramento externo del muro este en que se ubica la ventana, y así se ha materializado en el dibujo de la figura 18.

Es coincidencia muy significativa la proximidad entre esa línea norte y la que une el centro de los discos pétreos, ya que ello podría indicar la utilización del norte geográfico en la conformación de las observaciones de Bingham, pese a no ser requerido para el fin aquí buscado. Como quiera que Machupicchu está rodeado por montañas mucho más altas que su propio nivel, se estimó para el cálculo preliminar un falso horizonte de  $15^\circ$  sobre la horizontal para el orto solar del solsticio de invierno, que se tiene como el más significativo pues su ocurrencia estaba directamente relacionada a la celebración del Inti Raymi.

### **Primer análisis**

El primer análisis se efectuó en forma gráfica, trazándose separadamente plantillas del curso solar: una para los equinoccios y otra para cada solsticio. El resultado de esa prueba inicial se muestra en la figura 19, para la que, luego, se reseñan los azimutes (del norte hacia el este).

- Azimut del solsticio de invierno:  $60^\circ 38'$
- Azimut de los equinoccios:  $86^\circ 30'$
- Azimut del solsticio de verano:  $111^\circ 42'$

Este resultado, anterior a junio de 1959, se acerca notablemente a una solución verosímil, vista la ligera y uniforme desviación de los haces trazados respecto a una posible coincidencia total con los discos pétreos y con la arista interior izquierda de la ventana. Esto, en cualquier caso, sustentaba la necesidad de seguir buscando una solución más precisa.

### **Diferencia de planos**

En el análisis, al comparar el plano de 1959 del recinto de Espejos de Agua con el mismo ambiente del plano de la expedición Bingham, se detectó una gran diferencia en la ubicación de los discos pétreos entre uno y otro dibujo, diferencia que se detalla enseguida.

El inserto de la esquina superior derecha de la figura 20 muestra la cercanía de los discos pétreos a la esquina sureste del recinto. La diferencia con el plano actual es obvia y se tomó como punto fundamental por aclarar, pues a primera vista parecía que los discos pudieran haber sido movidos. Por otra parte, en la fotografía de Bingham inserta antes (figura 14) se ve una persona en actitud de “moler” con una piedra de batán sobre uno de los discos, lo que denota claramente el sentido doméstico que se asignó a estos discos al momento de registrarlos. El hecho de presentar formalmente uno de los discos funcionando como objeto utilitario sugiere una explicación del porqué no fueron ambos considerados por el topógrafo en su correcta ubicación, siendo posiblemente ubicados de memoria en el gabinete de dibujo.

### **Anastilosis**

El recinto materia de análisis fue restaurado en 1956, surgiendo con ello otro punto por esclarecer ante la inquietud de algunas personas, enteradas del estu-

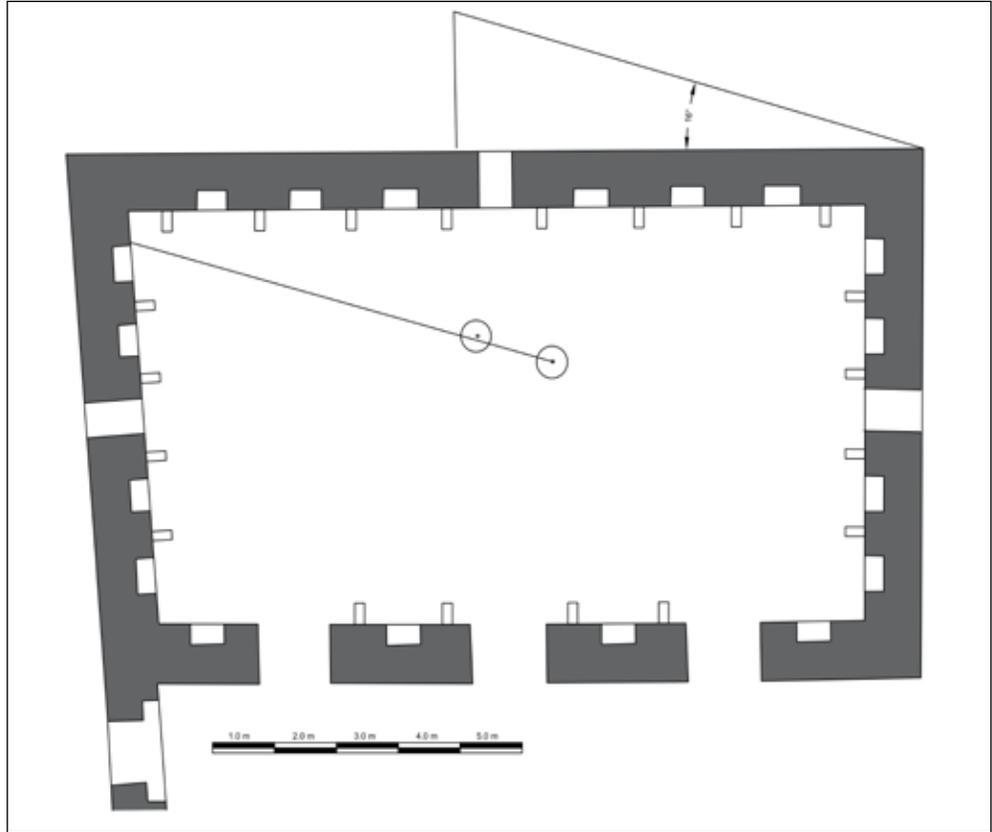


Figura 18. Norte del plano de Bingham; 1912.

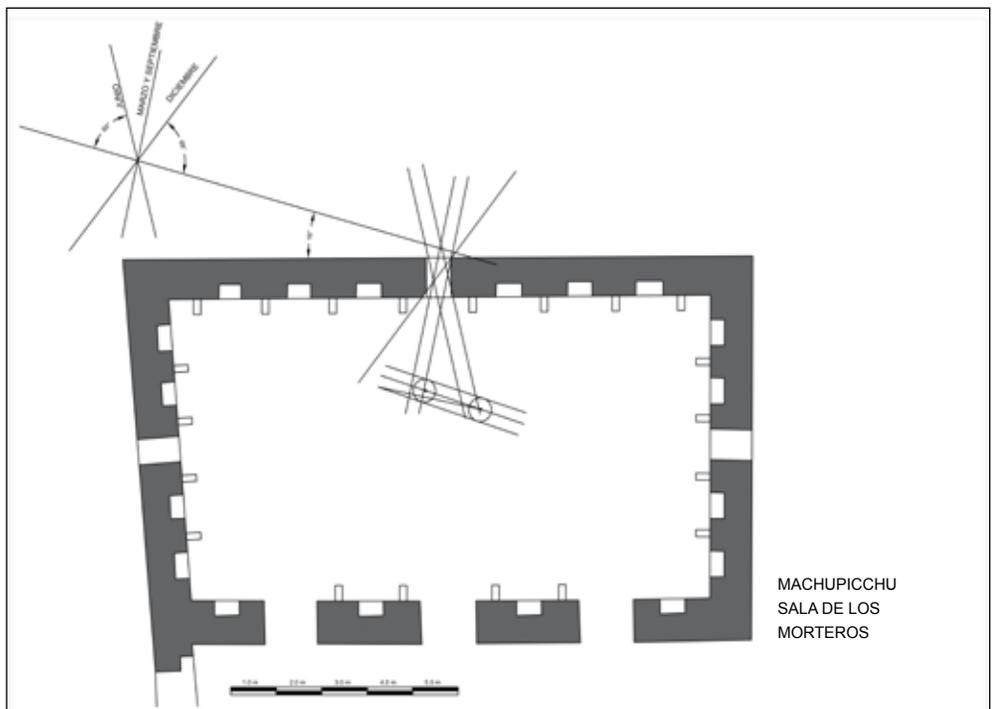


Figura 19. Resultado del primer análisis de azimutes; 1959.

dio, sobre el mantenimiento –tras la restauración– de la posición relativa original de las piezas líticas que integran la mampostería. Sobre este caso y por el momento, cabe reiterar lo expresado respecto a la fotografía de Bingham presentada, acerca de la cohesión objetiva mantenida por las diversas piezas conformantes del muro, cuyo bien definido contorno ha facilitado la ejecución de una confiable anastilosis. De todos modos, será posible acopiar, a más de las actuales, otras vistas previas a la restauración y hacer la contrastación especializada de rigor con la situación actual para aclarar cualquier duda o realizar algún eventual ajuste de valores.

### Actualización del estudio

El primer análisis se hizo aplicando, entre la ventana y los discos, los azimutes de posiciones asumidas del orto

solar en solsticios y equinoccios para detectar el grado de coincidencia, obteniéndose el resultado conocido.

Ese primer resultado señalaba que la búsqueda estaba bien encaminada y sugería actualizar la hipótesis a partir de las tendencias observadas en dicha solución.

Para seguir este estudio se planteó como estrategia: primero, tabular coordenadas y azimutes sucesivos del curso solar matutino, en solsticios y equinoccios, para la latitud y desfase horario de Machupicchu, esto es, libres de cualquier característica topográfica del sitio. Como segundo paso, graficar en el conjunto ventana-discos pétreos la interrelación entre esos elementos, así como los ángulos resultantes con el norte del plano de Bingham. Todo sin relación con el curso solar. Con estas bases de análisis, como tercer paso, cotejar ambas

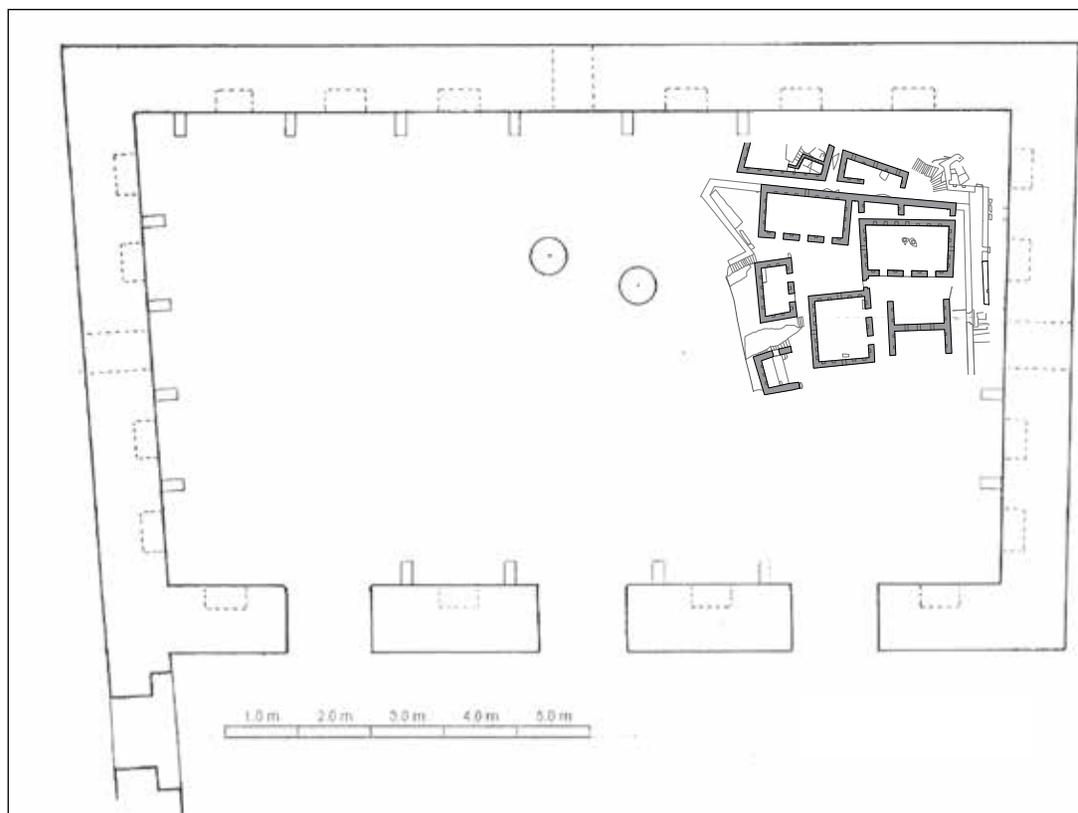


Figura 20. Diferencia entre el plano de Bingham (1912; dibujo pequeño dentro del plano, arriba a la derecha) y el del estudio (1959).

expresiones para poder detectar posibles coincidencias. La estrategia para analizar la probable relación del conjunto físico con el movimiento solar se implementa en las páginas que siguen, con los cálculos preliminares y tablas de azimutes del sol en primer término y luego con láminas separadas para cada caso hipotético.

### 5. Análisis del movimiento solar

El objeto de esta parte del análisis es establecer las ecuaciones del movimiento solar adaptadas a la latitud y longitud de la ciudad inca para los días de solsticio y equinoccio y luego fijar las coordenadas y azimutes del sol cada 30 minutos.

Mirando el horizonte hacia el este en las mañanas, el observador notará que el sol sale por un punto diferente cada día, avanzando hasta los  $23^{\circ}27'$  desde el ecuador, ya hacia la izquierda (norte) o, al contrario, marcando estos límites de desplazamiento los solsticios: de invierno en junio y de verano en diciembre (figura 21).

Cada día, el sol, ascendiendo desde el este, recorre en las 24 horas una (aparente) circunferencia paralela al ecuador, empezando nominalmente en  $0^{\circ}$  a las 6.00 a. m. y avanzando  $15^{\circ}$  cada hora hasta completar las 24, pasando por las siguientes equivalencias angulares horarias:

$$6.00 \text{ am} = 6.00 * 15 - 90 = 0^{\circ}$$

$$12.00 \text{ m} = 12.00 * 15 - 90 = 90^{\circ}$$

y, en general:

$$N \text{ Hs} = N * 15 - 90$$

Tomando como referencia el solsticio de verano para establecer el sistema de coordenadas del movimiento solar, consideremos, primero, para el observador ubicado en la línea ecuatorial, al centro del solsticio (circunferencia paralela al ecuador), como origen de un subsistema transitorio de coordenadas, que serían:

$$\text{Abscisas } x = 0$$

$$\text{Ordenadas } y = \cos \delta \cdot \cos H$$

$$\text{Alturas } z = \cos \delta \cdot \sin H$$

Si dentro de este subsistema giramos el plano del solsticio en un ángulo de  $(-)$  con eje horizontal que pasa por su centro (para reproducir su posición dentro del sistema integral), tendremos las coordenadas modificadas:

$$\text{Abscisas } x = z \cdot \sin(-\lambda) = \cos \delta \cdot \sin H \cdot \sin(-\lambda)$$

$$\text{Ordenadas } y = \cos \delta \cdot \cos H$$

$$\text{Alturas } z = \cos \delta \cdot \sin H \cdot \cos \lambda$$

El centro del solsticio gira, a la vez, en  $(-)$ , siendo sus nuevas coordenadas:

$$x = \sin \delta \cdot \cos \lambda$$

$$y = 0$$

$$z = \sin \delta \cdot \sin \lambda$$

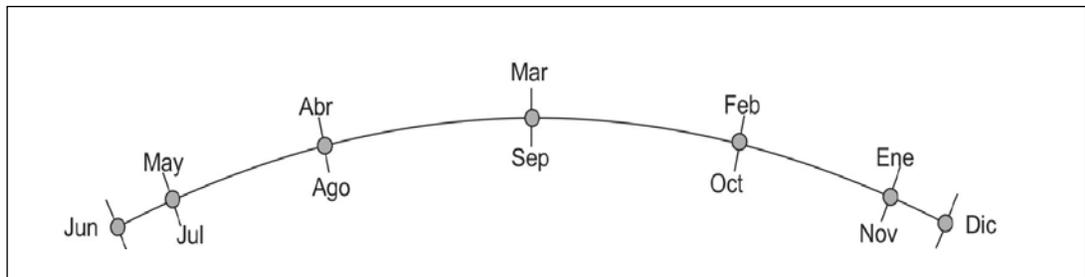


Figura 21. Desplazamiento solar al amanecer.

A estas, debe anexarse las coordenadas respectivas precedentes del subsistema para integrar el sistema de coordenadas del movimiento solar, como sigue:

$$x = \text{sen } \delta \cdot \cos \lambda - \cos \delta \cdot \text{sen } H \cdot \text{sen } \lambda$$

$$y = \cos \delta \cdot \cos H$$

$$z = \text{sen } \delta \cdot \text{sen } \lambda + \cos \delta \cdot \text{sen } H \cdot \cos \lambda$$

$\delta$  = declinación solar  
 $\lambda$  = latitud del observador  
 $H$  = ángulo de la hora

Con base en estas ecuaciones, se formulan las tablas incluidas, que marcan las posiciones del sol en estricta relación con su régimen secuencial en el ámbito sideral, independientemente de cualquier elemento topográfico o constructivo de algún punto de observación.

### Reconocimiento de un “punto notable”

Requiriéndose desde el inicio del trabajo, como referencia de partida, un indicador reconocible que señale con certeza un solsticio o equinoccio en su fecha respectiva –cuya búsqueda es precisamente parte del estudio–, se identifica en este cuadro un punto virtual, muy importante para la investigación, pues, dada su altura de 34.8°, indica el azimut del solsticio de verano sin necesidad de tenerlo fijado en el terreno. Se trata del punto de tangencia de la línea azimutal con la curva trayectoria solar de esa fecha, que coincide con el azimut solar de las 8:00 horas del cuadro, cuyo valor angular es 109.58°. Con la tabla 1 se cumple la primera parte de la estrategia, presentando analíticamente la posición del sol para diversos momentos de cada fenómeno.

**Tabla 1. Posición y azimutes del sol en los solsticios y los equinoccios, Machupicchu**

$\lambda = 13^{\circ}09.4'$ Sur 0.230			$\delta = 23^{\circ}26.5'$ Norte - 0.409 21 de junio				$\delta = 00^{\circ}00'$ 0.000 Equinoccio				$\delta = 23^{\circ}26.5'$ Sur 0.409 22 de diciembre			
Hora			x	y	z	Azimut	x	y	z	Azimut	x	y	z	Azimut
Civil	Decimal local	Radianes												
6:00	6.17	0.044	-0.397	0.917	-0.052	66.61	-0.010	0.999	0.043	89.43	0.378	0.917	0.130	112.42
6:30	6.67	0.175	-0.424	0.904	0.065	64.88	-0.040	0.985	0.169	87.70	0.351	0.904	0.246	111.24
7:00	7.17	0.306	-0.450	0.875	0.178	62.77	-0.068	0.954	0.293	85.89	0.325	0.875	0.359	110.35
7:30	7.67	0.436	-0.476	0.831	0.287	60.23	-0.096	0.906	0.412	83.94	0.299	0.831	0.468	109.78
8:00	8.17	0.567	-0.500	0.774	0.390	57.15	-0.122	0.843	0.523	81.75	0.275	0.774	0.571	109.58
8:30	8.67	0.698	-0.522	0.703	0.484	53.42	-0.146	0.766	0.626	79.19	0.253	0.703	0.665	109.81
9:00	9.17	0.829	-0.541	0.620	0.568	48.86	-0.168	0.676	0.718	76.05	0.233	0.620	0.749	110.64
9:30	9.67	0.960	-0.558	0.526	0.641	43.30	-0.186	0.574	0.798	71.99	0.216	0.526	0.822	112.35
10:00	10.17	1.091	-0.573	0.424	0.702	36.49	-0.202	0.462	0.864	66.38	0.202	0.424	0.883	115.51
10:30	10.67	1.222	-0.584	0.314	0.749	28.26	-0.214	0.342	0.915	57.97	0.191	0.314	0.930	121.35
11:00	11.17	1.353	-0.591	0.198	0.782	18.56	-0.222	0.216	0.951	44.23	0.183	0.198	0.963	132.75
11:30	11.67	1.484	-0.595	0.080	0.799	7.64	-0.227	0.087	0.970	21.01	0.179	0.080	0.981	155.99
12:00	12.17	1.615	-0.596	-0.040	0.802	-3.85	-0.227	-0.044	0.973	-10.88	0.179	-0.040	0.983	192.64

Notas

1) Hora local = Hora civil (reloj) + 10 minutos

2) Hora decimal; por ejemplo: 6.40 = 6 horas + 24 minutos

3) Azimutes: noreste 0°-360°

4) Los decimales para  $\delta$  y  $\lambda$  expresan radianes

5) x = abscisa, y = ordenada, z = altura

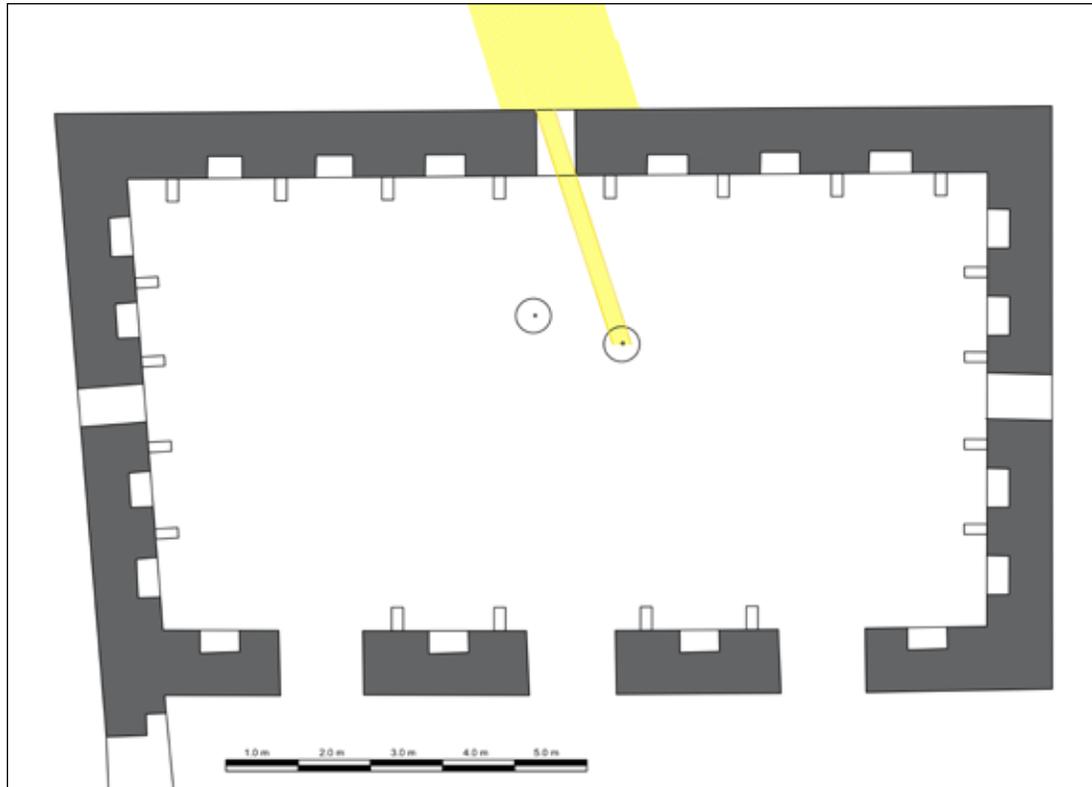


Figura 22. Solsticio de invierno, hipótesis.

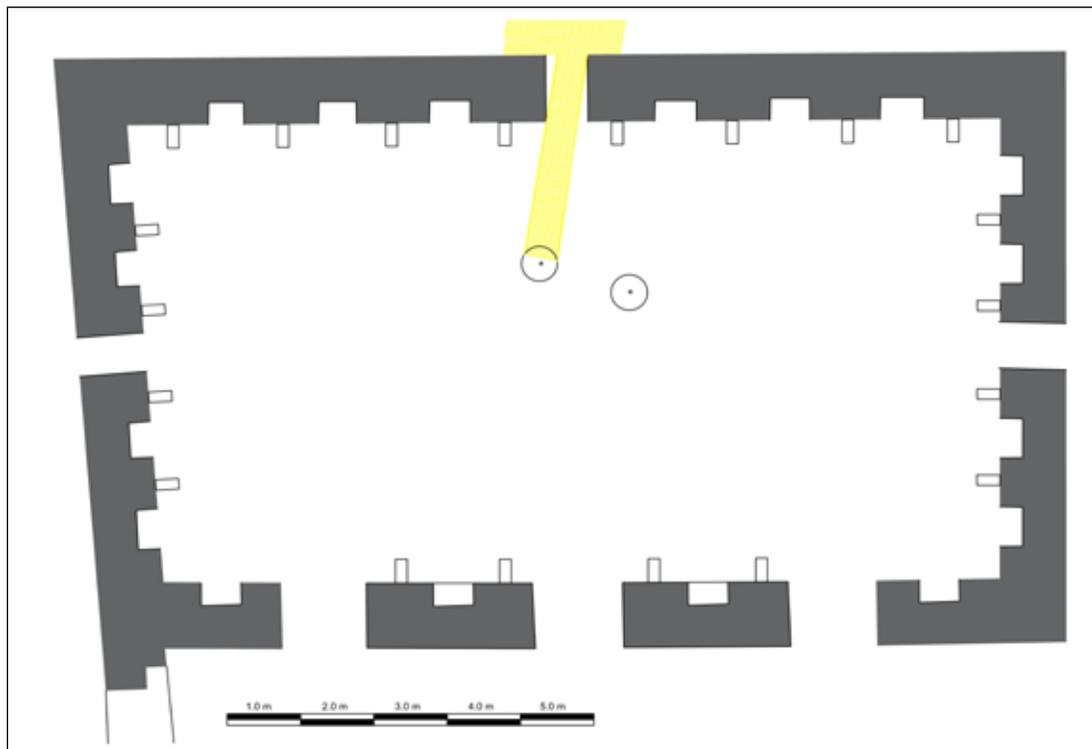


Figura 23. Equinoccios, hipótesis.

### Análisis topográfico

La segunda parte de la estrategia es graficar las relaciones directas posibles entre la ventana y los discos pétreos mediante un hipotético haz de luz solar, considerando tales relaciones como posibles indicadores de cada fenómeno; ello sin intervención de ningún aspecto espacial y con las siguientes presunciones:

- El solsticio de invierno estaría presuntamente relacionado a la incidencia del haz de luz solar, que ingresa por la ventana, sobre el disco sur o algún punto del mismo en ese día (figura 22).
- Los equinoccios estarían presuntamente anunciados por la incidencia del haz de luz solar que ingresa por la ventana, sobre el disco norte o sobre algún punto del mismo en el día respectivo (figura 23).
  - El solsticio de verano estaría hipotéticamente señalado por la coincidencia del haz

de luz que corresponde a ese momento con la dirección generada por las aristas exterior sureste e interior noroeste de la ventana, de modo que al momento de ese solsticio (y solo entonces) no ingrese luz por la ventana (figura 24).

Después de terminados estos trabajos –la elaboración de las tablas astronómicas, por una parte, y la presentación de las hipotéticas situaciones topográficas, por otra–, se deben confrontar en busca de nuevas tendencias o coincidencias.

### El trabajo actual

Asociando el relato del cronista Garcilaso sobre el seguimiento de solsticios y equinoccios en Cusco con los elementos físicos reconocibles en Machupicchu (ventana y discos en el puesto de observación y posiciones del sol en el espacio), el fenómeno de cada estación sería señalado con la incidencia del

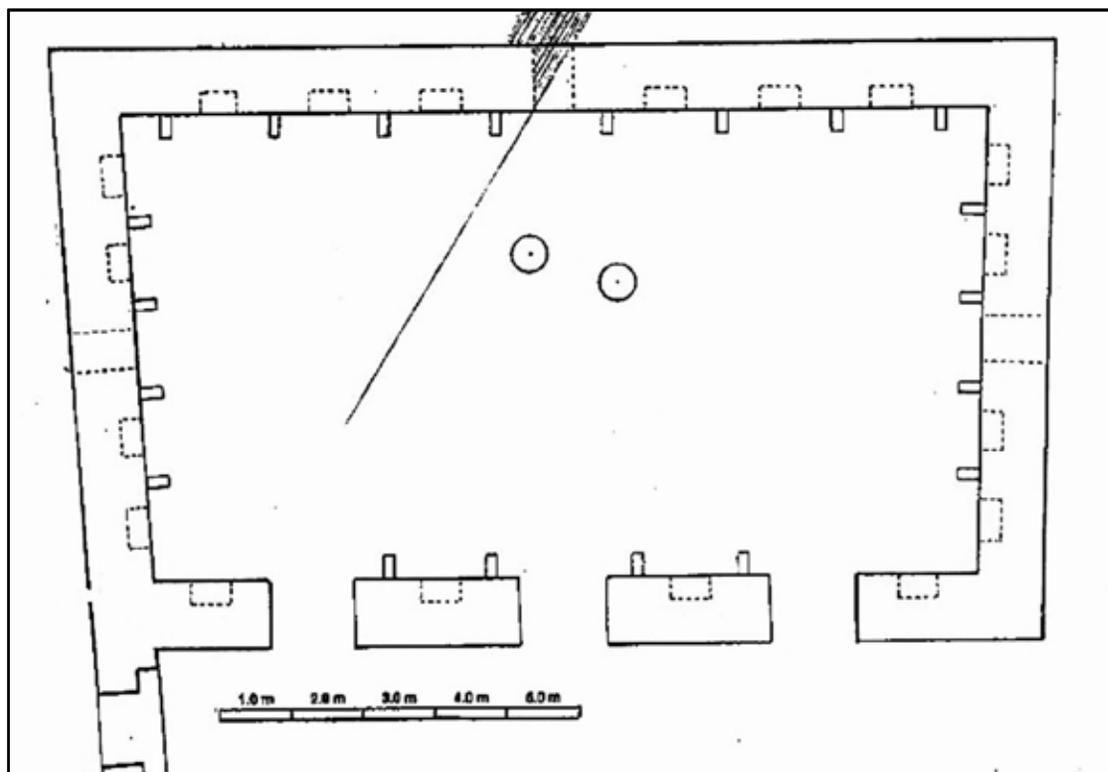


Figura 24. Solsticio de verano, hipótesis.

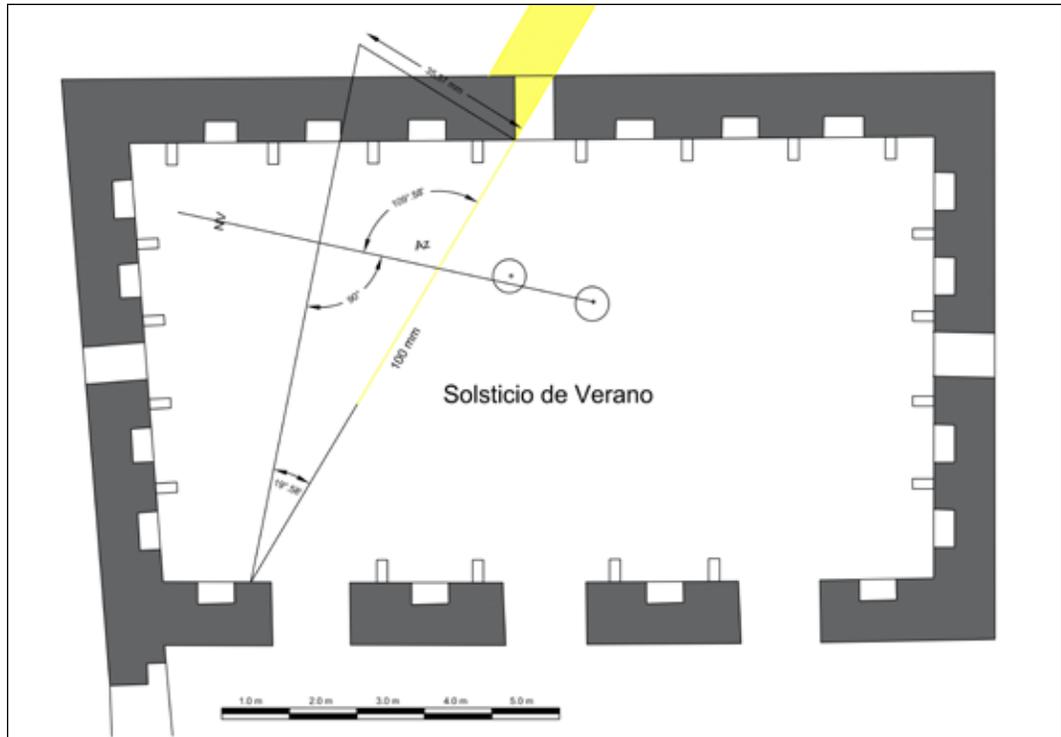


Figura 25. Alineamiento entre aristas asumido como base de orientación sobre el azimut real.

haz de luz solar sobre un cuerpo asentado sobre el disco que debe señalar el evento esperado. La referencia a un cuerpo interceptor nace al asumirse que, como en el Cusco, la señal ocurriría muy cerca al orto, cuando el haz solar llegara todavía muy tendido, y al pasar sobre el alféizar de la ventana (aproximadamente 1.45 m) requeriría sobre cada disco un cuerpo opaco que lo interceptara. No obstante, observaciones recientes durante este estudio sugieren la posibilidad de que tal cuerpo interceptor no sea necesario.

Con este preámbulo, se inicia el análisis para establecer, primero, un norte de referencia básica y, luego, los rumbos que marcarían los rayos solares al momento de cada fenómeno. Enseguida, se traza a través de la ventana los haces de luz solar con los rumbos obtenidos en el paso anterior y se observa la relación angular con los centros de las piezas líticas respectivas.

La hipótesis para la observación del solsticio de verano, a falta de un tercer disco, fluye del resultado gráfico obtenido inicialmente (tabla 1, figura 24) al observar que los dos elementos referenciales más próximos a ese alineamiento son las aristas exterior sur e interior norte de la ventana, es decir, solo en esa fecha el haz de luz solar sería retenido totalmente por ambas aristas (figura 25).

Tomando este aspecto como una probabilidad real, se parte de una primera solución hipotética consistente en atribuir al azimut del haz que tocara las dos aristas el valor de  $109.58^\circ$ , definiendo a partir de dicho alineamiento el norte para las otras posiciones, con los esquemas que siguen:

- Determinación indirecta (provisional) del azimut del solsticio de invierno a partir del azimut de  $109.58^\circ$ , asumido para el solsticio de verano (para comparación ulterior con los datos del fenómeno real) (figura 26).

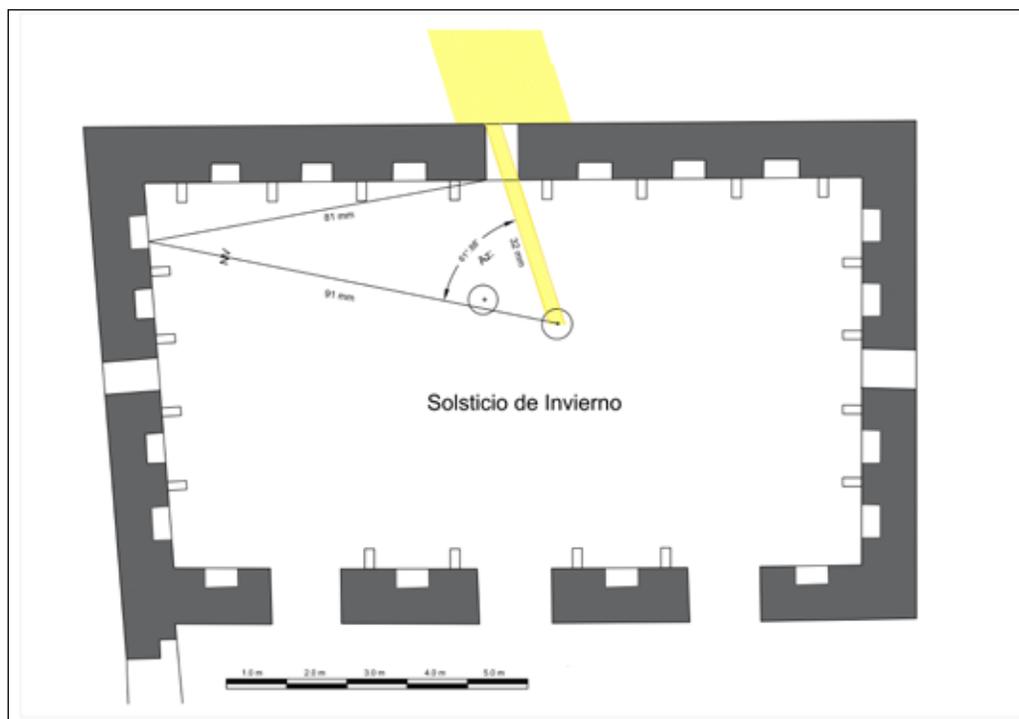


Figura 26. Azimut del solsticio de invierno en base a la figura 25 (superado).

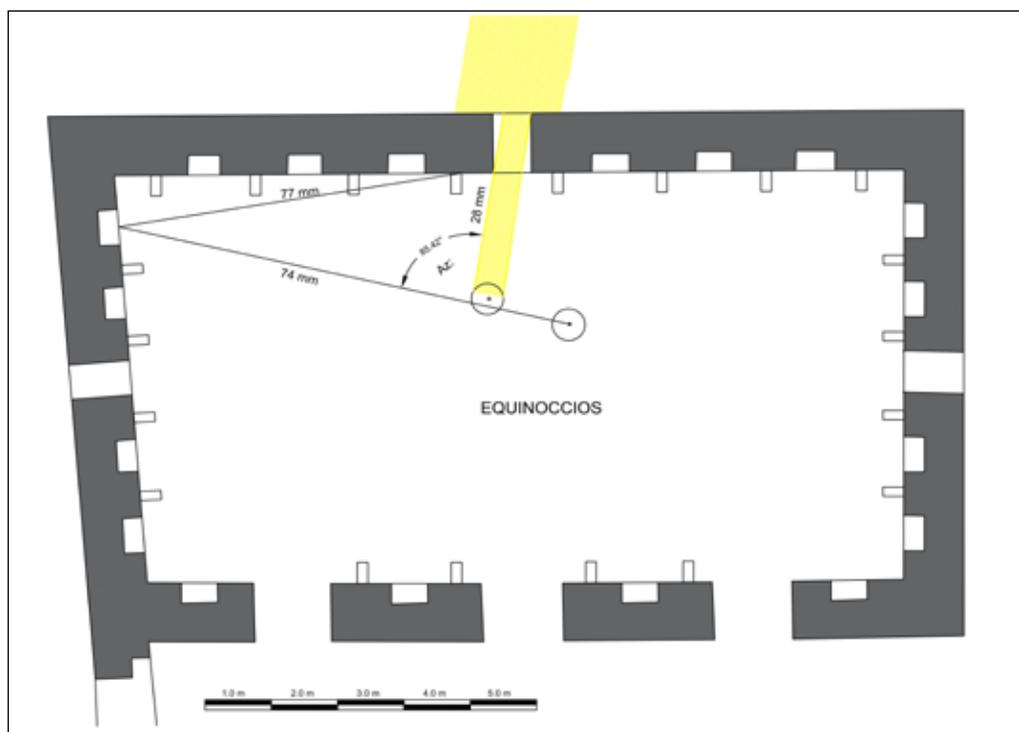


Figura 27. Azimut de los equinoccios en base a la figura 25 (superado).

Tabla 2. Azimutes del sol en los solsticios y equinoccios, Machupicchu

Fecha	Solsticio de invierno			Equinoccios			Solsticio de verano		
	21 de junio			23 de setiembre y 21 de marzo			21 de diciembre		
Hora	Ang	Azimut	z	Ang	Azimut	z	Ang	Azimut	z
7:00	-62.77	62.77	0.178	-85.89	85.89	0.293	69.65	110.35	0.359
7:30	-60.23	60.23	0.287	-83.94	83.94	0.412	70.22	109.78	0.468
8:00	-57.15	57.15	0.390	-81.75	81.75	0.523	70.42	109.58	0.571
8:30	-53.42	53.42	0.484	-79.19	79.19	0.626	70.19	109.81	0.665
9:00	-48.86	48.86	0.568	-76.05	76.05	0.718	69.36	110.64	0.749
9:30	-43.30	43.30	0.641	-71.99	71.99	0.798	67.65	112.35	0.822

Notas

1) Extracto de la tabla de azimutes en el rango en que se registran los fenómenos analizados.

2) Ang: ángulo

3) z = altura

Tabla 3. Azimutes del sol en los solsticios y equinoccios en la Sala de Morteros

Fecha	Solsticio de invierno			Equinoccios			Solsticio de verano		
	21 de junio			23 de setiembre y 21 de marzo			21 de diciembre		
Hora	Ang	Azimut	z	Ang	Azimut	z	Ang	Azimut	z
7:00	-62.77	62.77	0.178	-85.89	87.70	0.293	69.65	112.24	0.359
7:17:35	-62.18	62.18	0.206	-85.42	85.42	0.323	69.82	110.18	0.387
7:21:11	-61.88	61.88	0.219	-85.19	85.19	0.338	69.90	110.10	0.400
7:30	-60.23	60.23	0.287	-83.94	83.94	0.412	70.22	109.78	0.468
8:00:00	-57.15	57.15	0.390	-81.75	81.75	0.523	70.42	109.58	0.571
8:30:00	-53.42	53.42	0.484	-79.19	79.19	0.626	70.19	109.81	0.665
9:00:00	-48.86	48.86	0.568	-76.05	76.05	0.718	69.36	110.64	0.749

Notas

1) Azimutes noreste 0°-360°

2) Fijación horaria para azimutes presuados

3) Ang: ángulo

4) z = altura

- Determinación indirecta (provisional) del azimut del equinoccio a partir del azimut de 109,58°, asumido para el solsticio de verano (para comparación ulterior con el dato del fenómeno real) (figura 27).

## 6. Confrontación entre datos astronómicos y topográficos

Sigue un extracto del cuadro de azimutes (tabla 2), en el rango en que ocurren los solsticios y equinoccios, para compararlo con el extracto topográfico que se presenta. Los azimutes han sido ajustados en función del azimut 109,58° del solsticio de verano,

asignado tentativamente a la diagonal de la ventana.

Cotejando los azimutes de la figura 28 con los de la tabla 2, lo primero que se nota es que sus valores están dentro del rango abarcado en esta. Interpolando entre sus homólogos más próximos, se obtiene el resultado siguiente: las horas de ocurrencia que presenta la tabla 3 son muy cercanas al orto y resultan lógicas, aunque no suficientes para determinar el funcionamiento.

## Verificación directa y análisis

Hasta aquí el estudio del calendario solar ha consistido en analizar, por una parte, varios momentos de una obra física estática y concreta, como son la

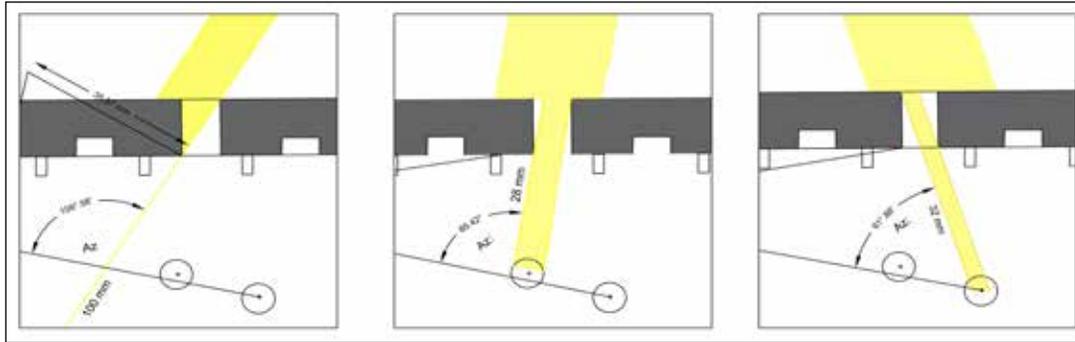


Figura 28. Trío comparativo.

ventana y el par de discos líticos en su posición relativa singular; y, por otra, la obra inmaterial, es decir, las dinámicas secuencias regulares del movimiento solar en sus fechas de solsticio y equinoccio. Los diversos momentos de la obra física aludidos son dados por la diferente dirección del haz de luz solar en cada posición hipotética aplicada para graficar solsticios y equinoccios.

El desarrollo separado de cada momento de la obra física y de su respectiva secuencia de desplazamiento solar, para su cotejo posterior, estaba orientado a definir si los elementos involucrados podrían, en algún momento, coincidir en características básicas de un calendario. La conjunción y cotejo de ambas líneas de análisis ha permitido encontrar coherencia con la factibilidad real de que el conjunto estudiado pudiera cumplir el fin pensado inicialmente.

Este resultado solo marca una estación intermedia en el camino que indica la procedencia de seguir investigando hasta tener la imagen real de un resultado positivo. Para ello se registró la evolución del haz de luz solar en el ámbito de estudio durante el solsticio del 21 de junio de 2006, el equinoccio del 23 de setiembre del mismo año y el inmediato solsticio de diciembre. Conjuntamente con las imágenes seleccionadas, se desarrollarán los análisis y comentarios que correspondan a las diferentes situaciones registradas con relación a cada uno de los eventos señalados.

### Evolución del solsticio de invierno

El solsticio de invierno de 2006 ocurrió el 21 de junio a las 7:26 horas. El primer impacto luminoso del haz de luz solar, que llega por la ventana al recinto del estudio, se captó minutos antes, a las 7:21 horas, como se ve en la primera vista de la secuencia de la figura 29.

Luego de esa primera posición, el impacto luminoso se desliza por el piso, aproximándose primero al disco norte, para luego pasarle por encima, hasta llegar a la posición de tangencia de la última vista. Después de ello pierde contacto con el disco. El *collage* que se presenta es un extracto de una serie de 49 fotos correlativas, tomadas entre las 7:21 (hora anotada) y las 8:53 (hora deducida de la tabla).

A tal primer impacto, por su hora de ocurrencia, le corresponde un azimut de  $61.04^\circ$ , según la tabla 3. Sumada a este azimut su diferencia angular (medida en el dibujo de la figura 30) con el alineamiento de la posición de tangencia de la última foto, resulta para esta el azimut de  $50.00^\circ$ . Entre ambos trazos se ubica el haz de luz prefijado en la hipótesis como presunto indicador del solsticio, cuya diferencia angular con el primer alineamiento registrado da un azimut de  $55.80^\circ$ , que ocurriría según la tabla 3 a las 8:12 horas.

En efecto, en este plano se nota que el día del solsticio, entre el primer impacto (de las 7:21 horas) y el último contacto con el disco (8:53 horas), las líneas de azimut barren un abanico de  $11^\circ$ , cubriendo el disco sur de lado a lado. Se afirma con ello la hipótesis de que

allí se encuentra el marcador del solsticio. Este marcador señalaba al “operante” del inicio del invierno y, por ende, la iniciación del ritual correspondiente.

Por mencionar una posibilidad: el citado contacto tangencial bien podría ser el “marcador”, pues no se repetirá en todo un año la misma posición. Esto se explica así: en la víspera del instante congelado en la foto, el impacto luminoso debió estar unas milésimas a la derecha del punto de tangencia, llegando desde el equinoccio de marzo; al día siguiente habría retornado a la misma posición, camino hacia el equinoccio de setiembre. Sin embargo, lo dicho en

este párrafo es solo una variante de otras que pueden ser ciertas, por estar la hipótesis cercana a la verdad. También podría ser que el marcador estuviera ubicado de alguna forma en la ruta del impacto luminoso cuando este se encuentra en el alineamiento intermedio prefijado en el plano, es decir, cuando el azimut del haz de luz solar es  $55.8^\circ$  (8:12 horas).

En relación con lo anterior, desde un primer momento se menciona la alternativa de que pudiera existir alguna columna asentada sobre el disco, en cuyo caso, la ocurrencia podría estar señalada en cierto nivel de la columna sobre el cual incidiría el



Figura 29. Proyecciones secuenciales del haz de luz solar durante el solsticio de invierno; 21 de junio de 2006.

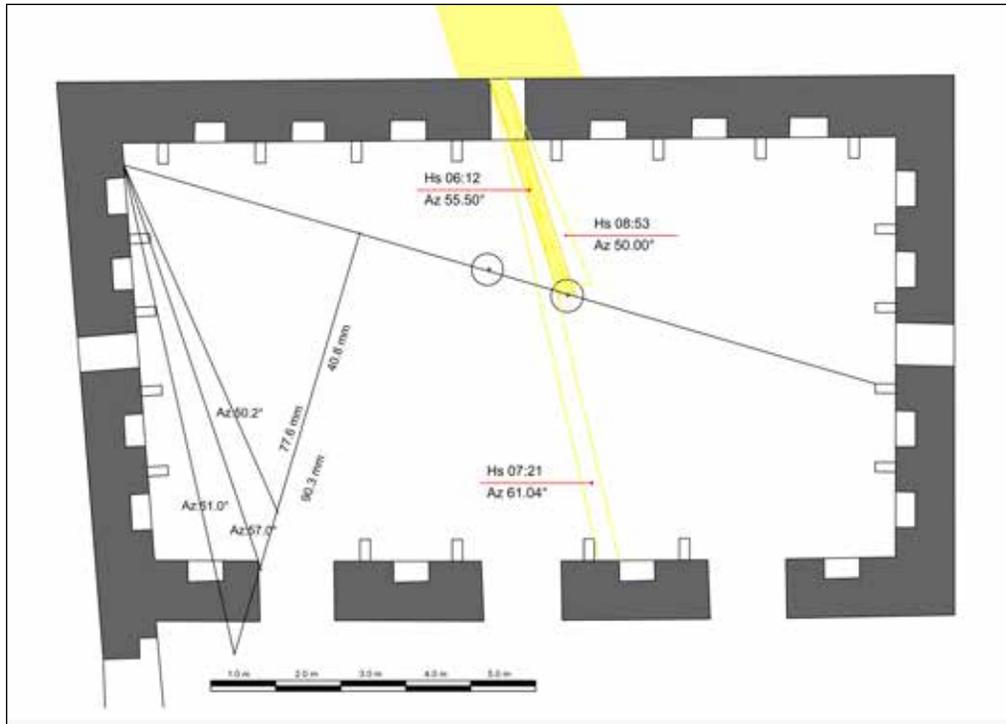


Figura 30. Abanico de azimutes sobre el disco sur, observación directa del solsticio de junio; 2006.

impacto luminoso, ya sea en su superficie vertical o en un corte paralelo a la base. El azimut de  $61.04^\circ$ , del primer impacto mencionado párrafos arriba, es buena base para, por deducción, fijar la línea del norte geográfico con el auspicioso resultado que se puede apreciar en el plano que precede. Este tema es remarcable, pues aquí se reafirma un hecho sobre el que, en su carta de marzo de 1962, comentaba el señor Hiram Bingham hijo.

### Evolución del equinoccio

El fenómeno sideral ocurrió a las 23:03 horas del 22 de setiembre de 2006 y su incidencia en el lugar de observación empieza a registrarse con el primer impacto del haz de luz solar sobre la sala, esto es, el inmediato amanecer a las 6:35 horas del día 23 de setiembre, cuya imagen es la primera que aparece en la selección fotográfica de la secuencia equinoccial (figura 31).

Inicia esta secuencia el momento arriba mencionado de llegada de la luz solar directa a través de la ventana; siguen vistas del desplazamiento del impacto luminoso del haz de luz solar hasta su incidencia plena sobre el disco. La última de la serie es la imagen más significativa del estudio: se captó a las 8:14 horas y presenta notable coincidencia con la imagen prevista en la hipótesis motriz de este trabajo.

Esta clara coincidencia no descarta la posible existencia, encima del disco, de un cuerpo sólido (columna) sobre cuya superficie vertical, de lleno, incidiera el haz solar a cierta altura prefijada, como se supuso antes, aunque no es obligada y ni siquiera necesaria. A continuación, en la figura 32, las dos fotos seleccionadas de la serie sintetizan de una manera positiva todas las expectativas del estudio; al pie de cada una se señala la hora de la toma.



Figura 31. Desplazamiento de la proyección del haz de luz solar durante el equinoccio de setiembre; 2006.

### Ensayo de aproximación

Para los días inmediatos al equinoccio, se tiene una variación de la declinación solar ( $\delta$ ) de 24' cada día; es decir, 1' por hora. El equinoccio ocurrió a las 23:03 horas del 22 de setiembre; la foto derecha de la figura 32 se captó el día 23 a las 8:14 horas, es decir, 9.17 horas después. En ese lapso, el sol derivó hacia el sur (derecha de la foto) de  $\delta = 0^\circ$  a  $\delta = 00^\circ 09'$  y por ello (según cálculo aparte) el azimut del astro se habrá incrementado en  $0.18^\circ$  (= 11' aproximadamente); y, con centro en la arista de la ventana, su haz de luz habrá girado sobre el disco hacia el norte (izquierda de la foto) en el mismo ángulo. Con esa variación y el radio de 2.8 m desde la arista al centro del disco, la proyección luminosa se desplaza en:  $2.8 \times \pi / 180 \times$

$9 / 60 = 0.73$  cm hacia el norte (izquierda de la foto), lo cual, a la vista, se puede percibir.

La última foto de la serie (foto derecha de la figura 33) muestra el impacto luminoso de lleno sobre el disco (8:14 horas). Además de la aproximación lateral comentada en los párrafos precedentes, esa foto mostraría que el marcador preciso del evento ocurre con la tangencia de la proyección del borde del alféizar con el borde del disco próximo a la ventana.

### Evolución del solsticio de verano

El solsticio de verano del año 2006 se registró el 21 de diciembre a las 19:22 horas y el 23 de diciembre de 2006 se intentó registrar, como en los casos precedentes, su incidencia en el ámbito de estudio en Machupicchu. Para efectos de la verificación, la



Figura 32. Izquierda: proyección del equinoccio, 6:35 horas; derecha: culminación del ciclo, 8:14 horas.

diferencia de un día en la captación de las imágenes motiva una casi imperceptible variación. Como en los casos anteriores, se presenta un *collage* de vistas consecutivas (figura 33), después del cual se hace el comentario pertinente.

En este caso se complementa la serie consignando la hora de cada vista, aproximada al minuto; correlativa y por líneas:

- Primera línea: 06:59 - 07:14 - 07:15 - 07:17
- Segunda línea: 07:19 - 07:41 - 08:07 - 08:17
- Tercera línea: 08:18 - 08:19 - 08:20 - 08:22
- Cuarta línea: 08:23 - 09:24 - 08:26 - 08:27

Según puede apreciarse en las imágenes, la escasa luz solar directa de esa mañana no permitió observar con nitidez las imágenes próximas a las 8:00 horas, momento en que debería darse la tangencia del área iluminada con la arista interior izquierda. Sin embargo, se puede considerar que tal condición no se hubiera cumplido aunque hubiera habido luz solar directa. Por otra parte, puede percibirse que la falta de coincidencia no constituye una divergencia con lo previsto, sino una desviación o falta de precisión, pudiendo notarse en las fotos que la distancia del borde del impacto de luz solar a la arista mencionada implica una pequeña diferencia angular de

la línea entre aristas. Una observación más detallada puede hacerse en las vistas seleccionadas en la figura 34, que enfocan las posiciones relativas de las piezas líticas que constituyen la ventana.

## 7. Conclusiones

De la observación directa de las series fotográficas registradas durante los solsticios y el equinoccio, que es de lo que trata el presente informe, y con relación a los análisis previos que preceden a dichos eventos, se extractan las siguientes conclusiones.

La relación ventana-disco pétreo sur, mediante el haz de luz solar, presenta condiciones necesarias para funcionar como marcador del solsticio de invierno, faltando solo especificar, entre múltiples alternativas, un área prefijada sobre la cual el impacto luminoso del haz de luz solar coincidiría –cada año y a la misma hora– definiendo la ocurrencia del evento. No se descarta la posibilidad, sugerida desde el principio, de una columna asentada sobre el disco y en cuyo cuerpo, a media altura, podrían coincidir el área prefijada –definida por una primera proyección durante el solsticio– del haz de luz de la ventana y, en su momento, el impacto luminoso, indicando la ocurrencia.

La relación ventana-disco pétreo norte, mediante el haz de luz solar, presenta la condición

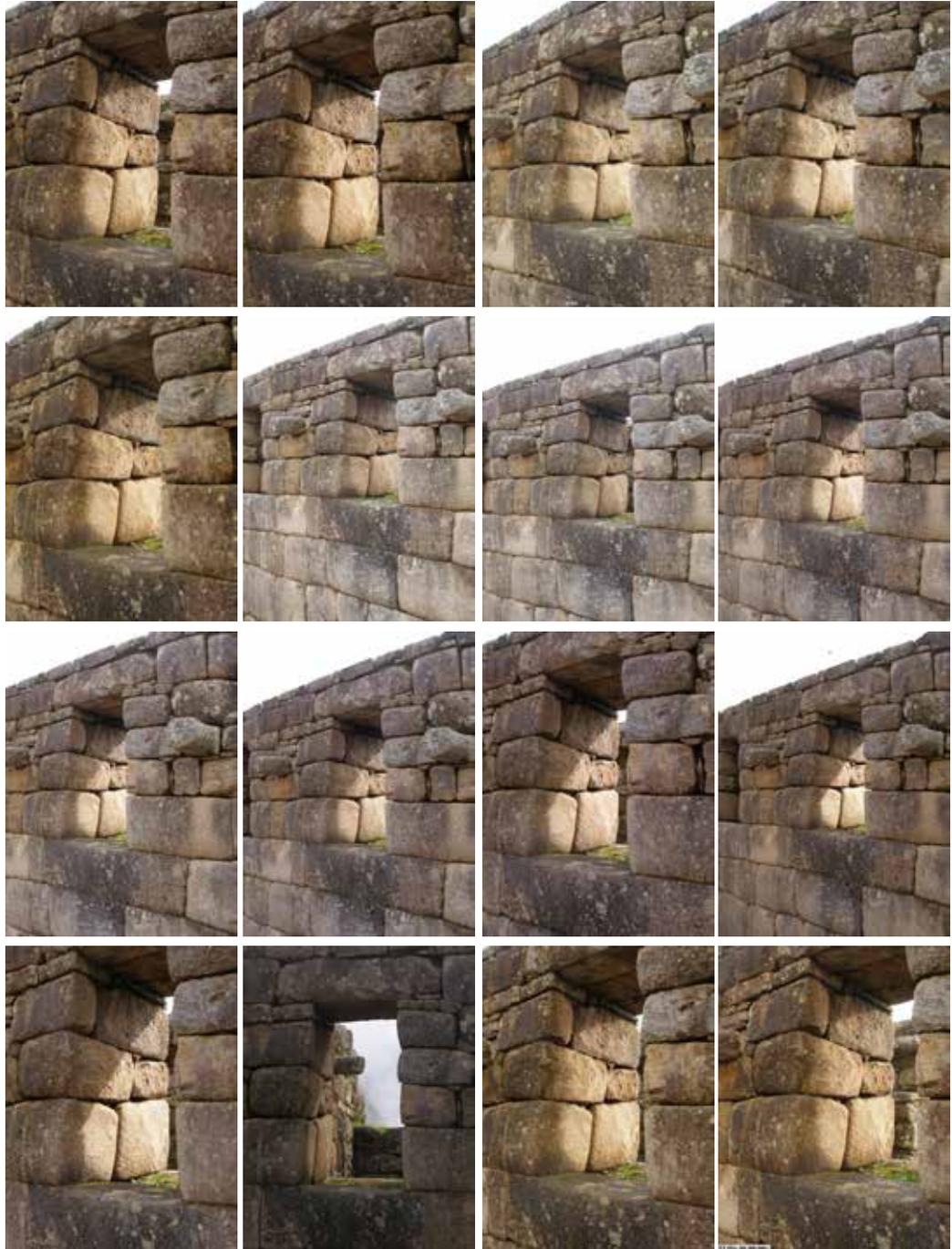


Figura 33. Secuencia de la proyección de la luz solar durante el solsticio de verano; 2006.

necesaria y suficiente para funcionar como marcador de los equinoccios. Esto se hace evidente en la imagen fotográfica registrada a las 08:14 horas del 23 de setiembre del 2006.

La relación simultánea del haz de luz solar con las aristas exterior sur e interior norte de la ventana no ha ocurrido, como se prevé en el estudio, para anunciar el solsticio de verano. Sin embargo, es pertinente aclarar

que no se trata de una divergencia con la solución pensada, sino en realidad de un desfase con relación a la solución ideal, como puede apreciarse en las fotografías que muestran la cara interior norte de la ventana.

Finalmente, las diversas tentativas de determinar el norte a partir de los azimutes conocidos terminan en un alineamiento muy próximo a los centros de los discos, lo que permite deducir que tal alineamiento fue planificado. Como puede apreciar quien siga el proceso, se empezó el análisis con dibujos y medidas revisables, es decir, aproximadas, con el fin inmediato de materializar las diferencias y facilitar la comparación de alternativas para las tres

situaciones en estudio. Este nivel de medidas resultó suficiente para obtener la confirmación de la hipótesis, al haberse podido comprobar el funcionalismo del conjunto ventana-discos pétreos en el solsticio de invierno y en los equinoccios y, además, la cercana coincidencia del alineamiento de los discos con el eje norte-sur. Ello significa que este trabajo es susceptible de afinamiento, que resultará fácil de lograr si se siguen los mismos pasos, pero sobre medidas revisadas, además de las aquí no utilizadas, como son las dimensiones de la ventana, el ancho del muro, los diámetros de los discos, la inclinación de los muros, etc.

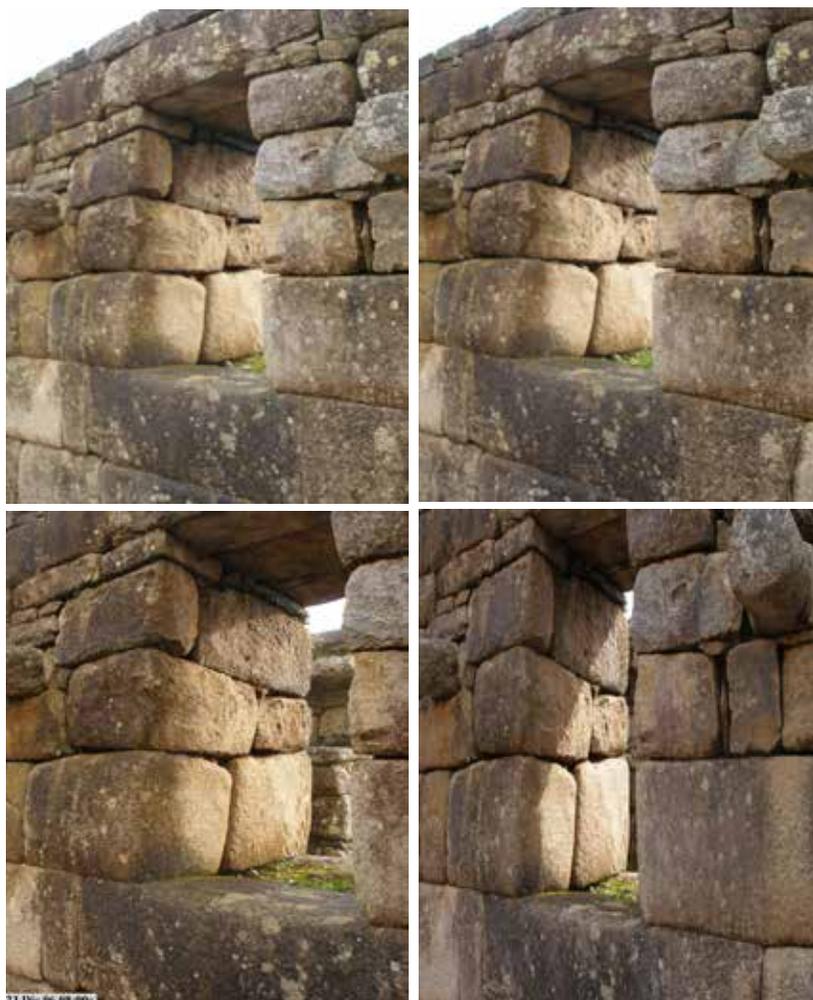


Figura 34. Fotos seleccionadas del collage de la figura 33.



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