

Tlayohualchieliztli y los saberes indígenas.

pregunta 26dic2016: ¿Han hecho estudios científicos de cómo nuestros antepasados estudiaban el movimiento de los astros?

Manuel Fernández-Guasti*

* Lab. de Óptica Cuántica - Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, 09340 México D.F., Ap. postal. 55-534, MEXICO.

ConCiencias, SCLC, Chiapas, México.
3 enero 2017

colaboradores & expertise

- A. Cornejo ¹, S. Vázquez, F. Granados, D. Gale. (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y electrónica, Puebla)
- interdisciplina I - espeleólogos: R. Diamant (UAMI) & R. Espinasa (UNAM)
- interdisciplina II - arqueólogo de sitio: J.L. Cruz (INAH, Morelos)
- I. Castorena - estudiante (UAMI) y colaborador

Reconocimientos:

- A. López Austin, L. López Luján, D. Soto, M. Córdoba Tello, A. R. Cienfuegos



¹Miembro de la presidencia de la Convención de Agosto 1994.

secuencia

- 1 introducción
 - instrumentos astronómicos mesoamericanos
 - descripción del sitio
- 2 sistema óptico tlayohualchieliztli
 - sistema formador de imágenes
 - náhuatl
 - resolución óptica
- 3 observaciones en el sitio
 - resultados experimentales
 - mediciones
- 4 conclusiones



Xochicalco

Xochicalco es un sitio arqueológico impresionante localizado a tan solo 38 km de Cuernavaca en el estado de Morelos.

- Floreció del 600 al 900 e.c. (era común) - *pregunta 26dic2016: ¿Cuál es la explicación científica de que le calculan el tiempo de la construcción de las ruinas?*
 - *correlaciones y métodos físicos.*
- Hay en el lugar muchos elementos provenientes de distintas culturas mesoamericanas como la Maya, Teotihuacana, Tolteca, Zapoteca y Náhuatl.
- Su desarrollo coincide con una época de profundas transformaciones en mesoamérica debido al colapso de Teotihuacan.

Xochicalco

En el lugar de la casa de las flores



vista del sitio

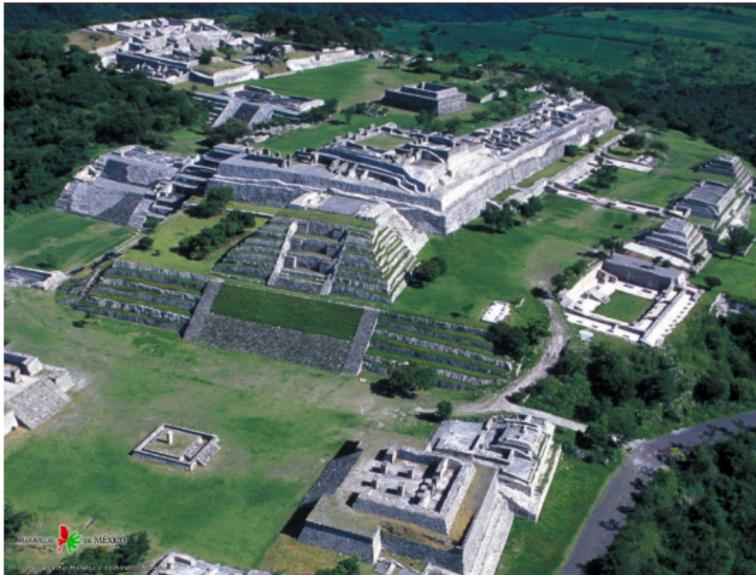


Figura: vista aérea de Xochicalco (Foto: Sector Morelos)



hipótesis de trabajo

Especulamos que las cuevas de Xochicalco fueron utilizadas como
tlayohualchieliztli.

Un instrumento astronómico que forma imagen en el continente
americano en épocas prehispánicas.



dispositivos antiguos para observación

Las culturas antiguas de mesoamerica registraron el paso del sol de varias maneras:

- Muchos edificios prehispánicos están orientados en una dirección particular relacionada con el punto donde el sol sale al amanecer durante los equinoccios (igual duración del día y la noche) y otras fechas importantes.
- El paso del sol por el cenit se registró ya sea con un gnomon² o con tiros verticales. Ésta última técnica se utilizó en las galerías subterráneas de Xochicalco.

²Obeliscos egipcios



instrumentos antiguos para observación

Pares de cruces alineados se utilizaron para establecer la dirección de objetos celestes: **códices - libros indígenas antiguos**



Fig. 3.12. Representations of astronomical observations in the Postclassic Mexican codices: (left) from the Nuttall Codex; (center) from the Selden Codex; (right) from the Bodleian Codex.

Hay un glifo representando un instrumento astronómico en el templo de la serpiente emplumada de Xochicalco, probablemente un **reloj de sol**.



astronomía tropical

El plano de referencia en lugares del **globo terráqueo** situados por arriba o abajo de los trópicos (Cáncer y Capricornio) fue fundamentalmente el horizonte.

En las regiones entre los trópicos donde la posición del sol alcanza el cenit, también fueron referencias fundamentales tanto el cenit como el nadir.

Por eso se desarrollaron en éstas zonas dispositivos especiales para medir tanto el cenit como los equinoccios (igual duración del día y la noche).



templo de la serpiente emplumada



Figura: vista frontal izquierda



Casa abierta al tiempo

ajuste del tiempo en el templo de la serpiente emplumada



Figura: representación pictórica del ajuste calendárico. ¿Dónde hay una mano? ¿Dónde una cuerda?



predicción de eclipses



Figura: representación de eclipses en el templo de la serpiente emplumada



boca del tiro vista desde el exterior



detalle del tiro desde el exterior



tiro desde el interior



la luz a través del tiro

En un período de 105 días, desde el 30 de abril al 15 de agosto, la luz del sol penetra directamente por el tiro y se proyecta en el suelo de la cueva.

En el movimiento del sol hacia el trópico de cáncer 14-15 de mayo y en el trayecto de regreso 28-29 de julio, el sol alcanza el cenit.

El calendario mesoamericano y las correcciones realizadas en ciertos eventos, sugieren que en época prehispánica se realizaron observaciones con suficiente precisión para calcular tanto eclipses solares como lunares. Pero . . . ¿Cómo lo hicieron?

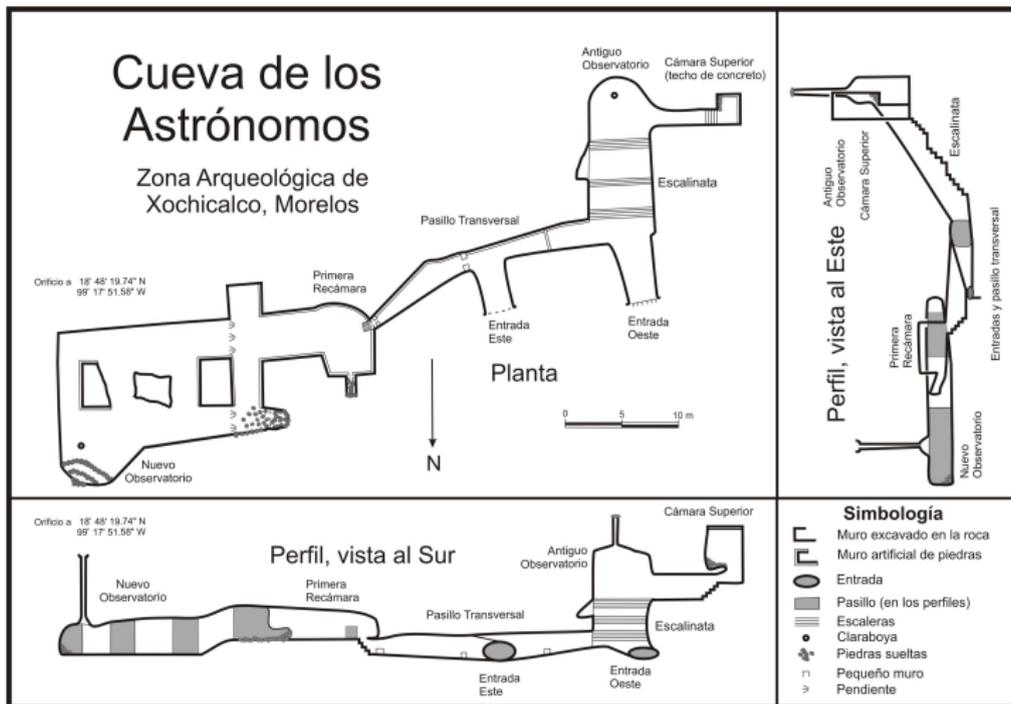


vista satelital



Figura: los pasadizos de la cueva se muestran dibujados en rojo sobre la fotografía.

topografía de las cámaras subterráneas



imagen

reproducción (razonablemente) fiel de la luz que emana o refleja el objeto



instrumentos que forman imagen

- La mayoría de los instrumentos ópticos utilizan el fenómeno de refracción o reflexión para producir una imagen.
- La llamada *camera obscura* es una excepción que no requiere lentes ni espejos curvos para producir una imagen.
- Este dispositivo es un buen candidato para formar imágenes de objetos astronómicos brillantes si el lugar de observación es muy oscuro.



formación de imagen

Un instrumento óptico que forme imagen sin lentes tiene dos requerimientos fundamentales:

- abertura de entrada pequeña comparada con la distancia entre la pupila de entrada y el plano de observación.
- un entrono lo suficientemente oscuro en el plano imagen puesto que la pupila de entrada sólo permite el paso de una cantidad muy tenue de luz.

Éstos dos requisitos pueden cumplirse en el observatorio de Xochicalco si se coloca una pantalla con un pequeño orificio en la entrada del tiro.

Pequeños orificios se realizaban en épocas prehispánicas pues tenemos evidencia de ellos en joyería de jade, hueso, madera e inclusive oro.



sombra geométrica - NO forma imagen

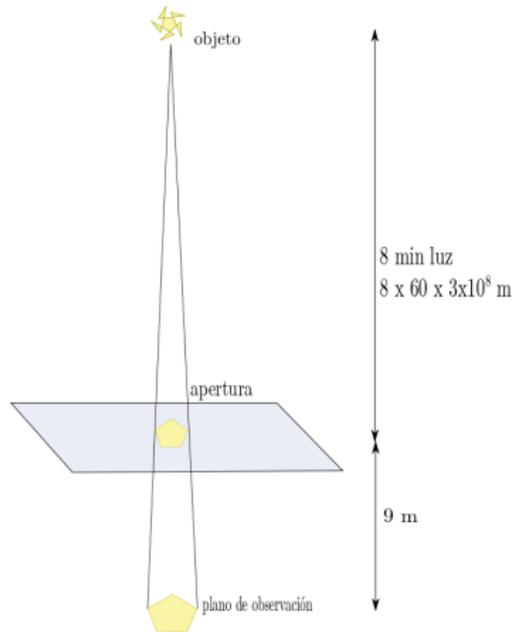


imagen del sol y sombra del tiro

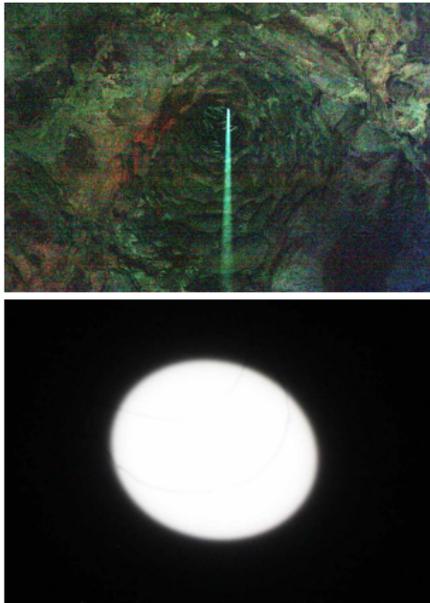


Figura: Haz de luz con (izq) y sin (der) pantalla. ¿Observaron los Xochicalcas la imagen del sol hace 1300 años?



tlayohualchieliztli

Distintos grupos culturales convergieron en Xochicalco. Hay una fuerte influencia zapoteca proveniente de Oaxaca y también influencia de Teotihuacán. También es probable que grupos toltecas y mayas hayan vivido en ésta zona. **¿CNI antiguo?**
En náhuatl antiguo³:

tlachieliztli imagen, en el sentido de lo que se observa con los ojos.

tlayohuayan lugar obscuro.

tlayohualchieliztli imagen en lugar obscuro

Pregunta para ustedes: **¿Cómo se dice?**

imagen en lugar obscuro en

Tsotsil, Tzeltal, Chol, Tojolabal, ...



³Gracias a la traducción del Prof. Alfredo López Austin

resolución de un instrumento óptico

Para una apertura sin lentes, hay dos criterios que limitan la resolución:

- óptica geométrica: la propagación rectilínea de la luz desde una fuente lejana genera un disco del mismo tamaño que la apertura.
- *difracción*, la luz se desvía y proyecta como anillos que hacen borrosa la imagen.



apertura óptima del orificio de entrada

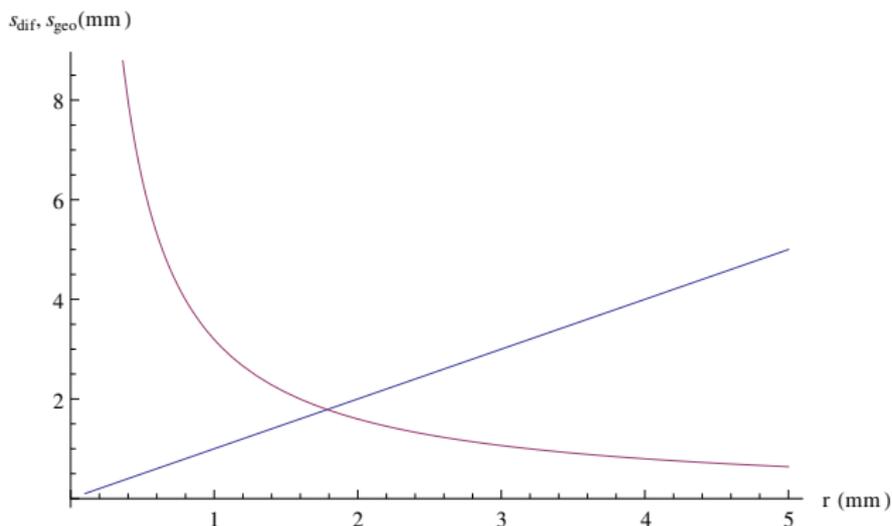


Figura: tamaño del radio de un punto en la tlayohualchieliztli. La línea recta muestra la sombra geométrica mientras que la curva muestra el tamaño debido a la difracción.



Casa abierta al tiempo

radio de la apertura en Xochicalco

El radio de apertura óptimo s_{opt} se obtiene cuando las dos contribuciones son iguales $s_{dif} = s_{geo} = r$,

$$D_{opt} = 2 \times s_{opt} = 2 \times \sqrt{1.22 \times z \times \lambda}. \quad (1)$$

En este caso, $z = 8725$ mm y $\lambda = .0006$ mm. El diámetro (2 veces el radio) de la apertura óptima es entonces

$$D_{opt} = 3.57 \text{ mm}. \quad (2)$$



proceder científico

- La ciencia no es cuestión de fe
- El método científico intenta demostrar y reproducir lo propuesto
- Todo procedimiento científico puede y debe ser sujeto de escrutinio
 - ejemplo, el tamaño del orificio para ver la proyección del sol: suposiciones, procedimiento, etc.
 - las predicciones científicas se tratan de corroborar
 - si no es posible demostrarlo, es válido plantearlo pero se llama hipótesis o conjetura.
- No hay autoridad científica alguna incuestionable y mucho menos infalible
- 43 contraejemplos - se probó científicamente, etc. etc. etc.



proceder científico

- La ciencia no es cuestión de fe
- El método científico intenta demostrar y reproducir lo propuesto
- Todo procedimiento científico puede y debe ser sujeto de escrutinio
 - ejemplo, el tamaño del orificio para ver la proyección del sol: suposiciones, procedimiento, etc.
 - las predicciones científicas se tratan de corroborar
 - si no es posible demostrarlo, es válido plantearlo pero se llama hipótesis o conjetura.
- No hay autoridad científica alguna incuestionable y mucho menos infalible
- 43 contraejemplos - se probó científicamente, etc. etc. etc.



observaciones

El experimento lo realizamos cuando el sol pasó por en cenit de Xochicalco el 14 de mayo del 2011.

Las coordenadas del tiro medidos con localización GPS en el sitio fueron latitud $18^{\circ} 48' 19.74''$ N y longitud $99^{\circ} 17' 51.58''$ O.



luz dispersada



Figura: Piso de la cámara subterránea iluminada por la luz difusa que penetra por el tiro durante el día.



apertura de la pupila de entrada



Figura: Apertura pequeña colocada a la entrada del tiro. Se utilizó un diafragma con apertura variable entre 1 y 12 mm.



tiro con pantalla y diafragma



Figura: Tiro visto desde el interior. Una pantalla blanca cubre la entrada hexagonal. La luz del sol penetra por el pequeño orificio central y se refleja sobre dos piedras en el trayecto (14/05/2011, 13:17:44 UTC-5)



¡imagen del sol!



Figura: imagen del sol producida en el observatorio de Xochicalco con una apertura de 4.9 mm.



registro de la imagen del sol

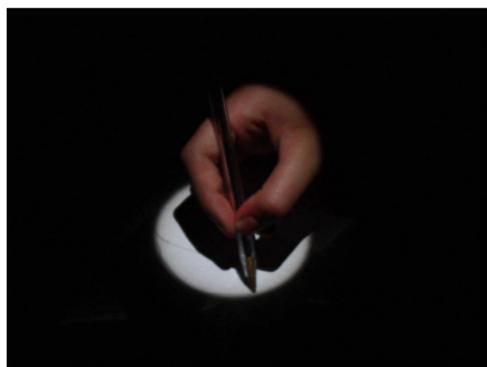


Figura: Registramos 18 circunferencias del sol en un lapso de 17 minutos entre las 13:23 y 13:40 UTC-5

Si la hipótesis de que la cueva de Xochicalco fue utilizada como un telescopio es correcta, estamos recreando los registros que se pudieron haber producido hace 1300 años.



Registro en papel

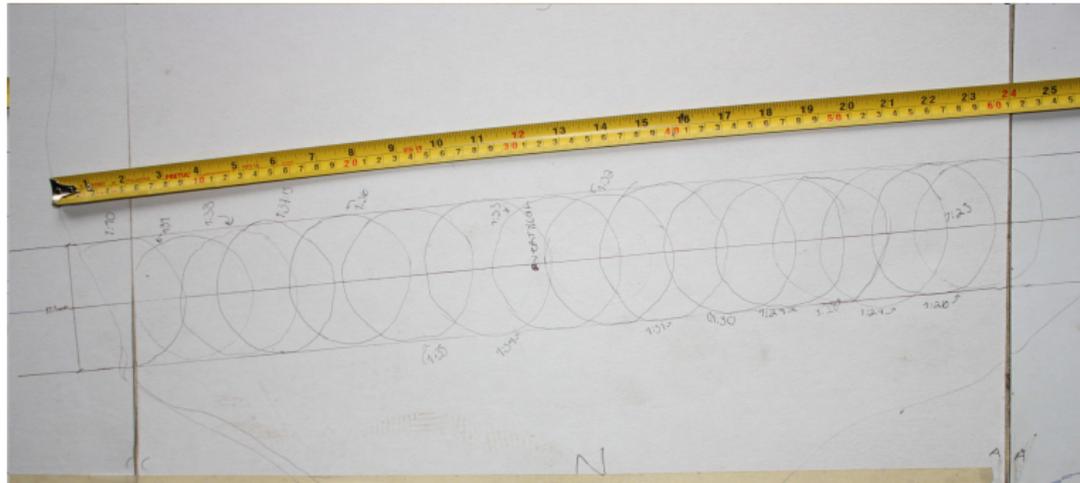


Figura: Fotografía del papel donde se dibujó la circunferencia del sol a medida que se desplazaba la imagen. La posición central vertical es casi coincidente con el paso del sol por el cenit.



Casa abierta al tiempo

diámetro de la imagen solar

El diámetro solar dibujado en el papel se midió para cada uno de los 16 dibujos donde la imagen del sol aparece completa.

diámetro promedio del sol

79.4 ± 2.6 mm

medición \pm incertidumbre

La distancia entre el suelo de la cueva y la salida a la superficie del tiro se midió con un **distanciómetro láser**. La distancia obtenida fue de 8725 mm ± 3 mm.



trayectoria de la imagen del sol

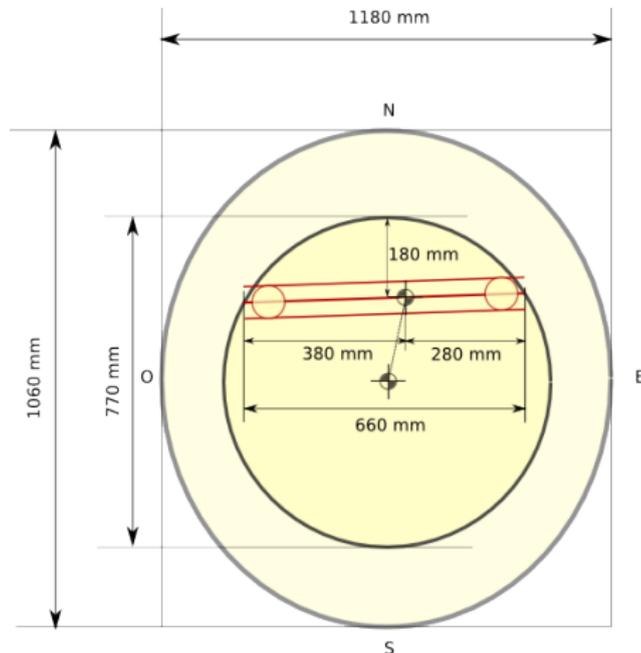


Figura: Diagrama de la luz difusa y la trayectoria del sol.



Casa abierta al tiempo

trayectoria de la imagen

El ángulo que forma la trayectoria respecto a las coordenadas geográficas locales se puede obtener del diagrama registrado.

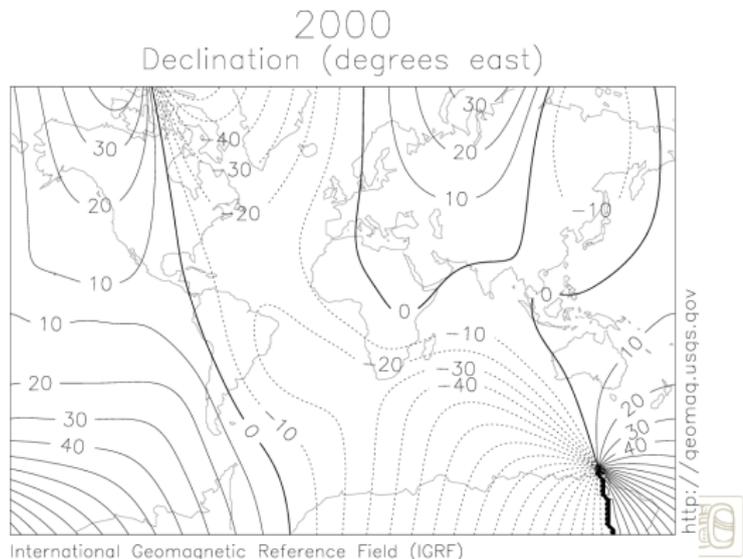
Las coordenadas locales provienen de objetos como la orientación de los edificios.



declinación magnética

Es la diferencia de ángulo que existe entre el norte magnético (brújula) y el norte geográfico (eje de rotación de la tierra).

En Xochicalco la declinación magnética reportada es $5^{\circ} 32'$ hacia el este.



Nuestra medición de declinación magnética

La trayectoria del sol respecto a la dirección este oeste dictada por el eje magnético es

$$-4.12^\circ \pm 0.23^\circ$$

Esta declinación aparentemente hacia el oeste es de hecho positiva hacia el este (positiva) porque la imagen del sol está invertida. En la proyección sobre el suelo de la cueva, el movimiento de la imagen del sol es de oeste a este.



factibilidad

Este trabajo demuestra la posibilidad de utilizar un instrumento óptico prehispánico para producir una imagen del sol.

El dispositivo es la cámara prehispánica subterránea de Xochicalco. El *'único'* requerimiento es posicionar una pantalla a la entrada del tiro con una apertura pequeña de alrededor de 5 mm.

Sin embargo, éste experimento no prueba que los Xochicalcas hayan utilizado necesariamente su cámara subterránea de éste modo.

Hay mucho más que sacrificios humanos en el México antiguo . . .



factibilidad

Este trabajo demuestra la posibilidad de utilizar un instrumento óptico prehispánico para producir una imagen del sol.

El dispositivo es la cámara prehispánica subterránea de Xochicalco. El *'único'* requerimiento es posicionar una pantalla a la entrada del tiro con una apertura pequeña de alrededor de 5 mm.

Sin embargo, éste experimento no prueba que los Xochicalcas hayan utilizado necesariamente su cámara subterránea de éste modo.

Hay mucho más que sacrificios humanos en el México antiguo . . .



factibilidad

Este trabajo demuestra la posibilidad de utilizar un instrumento óptico prehispánico para producir una imagen del sol.

El dispositivo es la cámara prehispánica subterránea de Xochicalco. El *'único'* requerimiento es posicionar una pantalla a la entrada del tiro con una apertura pequeña de alrededor de 5 mm.

Sin embargo, éste experimento no prueba que los Xochicalcas hayan utilizado necesariamente su cámara subterránea de éste modo.

Hay mucho más que sacrificios humanos en el México antiguo . . .



trabajo futuro

- Estudios indígenas realizados por compañeros indígenas
- Científicos indígenas - Científicos
 - Científicos hablantes de idiomas derivados del proto-chol.
 - Científicos con cosmovisión indígena

¿Qué se requiere? Mucho interés y mucho estudio

- colaboración entre todos para comprender diversos fenómenos y problemas
 - estudios desde distintos puntos de vista
 - estudios interdisciplinarios e interculturales



trabajo futuro

- Estudios indígenas realizados por compañeros indígenas
- Científicos indígenas - Científicos
 - Científicos hablantes de idiomas derivados del proto-chol.
 - Científicos con cosmovisión indígena

¿Qué se requiere? Mucho interés y mucho estudio

- colaboración entre todos para comprender diversos fenómenos y problemas
 - estudios desde distintos puntos de vista
 - estudios interdisciplinarios e interculturales



yatsil

Estamos muy agradecidos con nuestras tres *yatsil* que hicieron posible ésta investigación: Labná por realizar los trazos del sol sobre el papel y llevar una bitácora del experimento. Saasil y Sofía también ayudaron mucho, en particular para montar la pantalla de observación en el fondo de la cueva.



preguntas preparadas - comunicado 26 dic 2016

<https://luz.izt.uam.mx/drupal/es/ciencia/conciencia>

selector de idioma
 English
 Español

Buscar

Herramientas
 Mapa del sitio

preguntas de ConCiencia I

Enviado por mfg el Dom, 01/01/2017 - 17:41

Entre las preguntas que prepararon las comunidades zapatistas, publicadas el 26 de Diciembre del 2016, hay algunas que podemos comenzar a abordar aquí. Las explicaciones las iremos ampliando y enriqueciendo entre todos, con más preguntas, dudas y aclaraciones.

¿Por qué hay nube negra y nube blanca?

Por el tamaño de los agregados que forman las nubes. Los agregados más pequeños de agua esparcen la luz de manera eficiente y absorben poca luz. Por eso la nube es blanca. Cuando crecen estos agregados, absorben más luz y su color se torna más oscuro. Alcanzan su mayor tamaño cuando se forman las gotas que caen con la lluvia. Por eso, las nubes más negras se observan justo antes de que comience la lluvia.

¿Cuál es la explicación científica de que le calculan el tiempo de la construcción de las ruinas?

Por la correlación con otros eventos cuya fecha se conoce y por métodos físicos (como la datación carbono 14).

¿Cuál es la explicación científica acerca de los relámpagos, los truenos, etc.?

Las nubes se cargan eléctricamente con la fricción del viento. Cuando el potencial es grande, se produce una descarga que denominamos relámpago. El trueno es el sonido que produce la explosión al romper el dióxido del aire.

