



# OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS EN TUBOS DE LAVA MESOAMERICANOS

Rubén B. Morante López\*

## RESUMEN

Nuestros estudios de los observatorios subterráneos (Morante 1993, 1995, 1996a, 2010; Morante, Garza y Valencia 2018) iniciaron en 1986 y, aunque en ese momento no lo sabíamos, seguíamos la línea de investigación que inició en 1963 Franz Tichy (1980). Sugerimos entonces que fueron instrumentos para determinar posiciones astronómicas, en especial del Sol, que señalaban fechas importantes para la economía de los pueblos mesoamericanos, ya que señalaban la proximidad del tiempo de lluvias, alrededor del solsticio de verano. Propusimos también que sus constructores pudieron haberse inspirado en accidentes naturales, como las cuevas (Morante, 1993). Sin embargo, para el centro de México, adonde registramos los observatorios subterráneos más antiguos, no habíamos encontrado cámaras con un tiro en su bóveda que fuese apropiado para estas observaciones. Sin embargo, en los últimos años investigamos dos casos; algunos de sus resultados se reportan aquí.

**PALABRAS CLAVE:** Observatorios subterráneos; Cuevas volcánicas; Calendario sagrado.

## ABSTRACT

Our studies about underground observatories (Morante 1993, 1995, 1996a, 2010; Morante, Garza and Valencia 2018) began in 1986. Then, we did not know that in 1963 Franz Tichy (1980) had begun similar studies in this field. As he did, since the beginning, we suggested (Morante, 1989) that those chambers and chimneys were instruments used to determine astronomical positions, especially of the Sun, in order to point out important economic dates for the economy of Mesoamerican peoples, such as the proximity of rainy season, close to the summer solstice. We also suggested that their constructors may have been inspired by natural accidents, such as caves (Morante 1993). However, for central Mexico, where we studied the oldest underground observatories, we had not found such accidents with appropriate conditions to observe. Recently we investigated two cases; here we present some results.

**KEYWORDS:** Underground observatories, Volcanic caves, Sacred calendar.

\* Investigador perteneciente al Sistema Nacional de Investigadores (nivel 2), Universidad Veracruzana. Dirección electrónica: rmorante@uv.mx

RECIBIDO: 07/09/2019 APROBADO: 12/11/2019

## INTRODUCCIÓN

Los estudios de los astros en Mesoamérica llevaron a los pueblos que habitaron esta área cultural a crear complejos calendarios, cuya estructura los hace únicos en el mundo, tal es el caso del *tonalpohualli*, el *xiuhpohualli* (con 260 y 365 días respectivamente), el *xiuhmolpilli* de 52 años y la Cuenta Larga olmeco maya. Los calendarios de 365 y 260 días se usaban de manera conjunta durante un periodo de 52 años, de manera que, con esta combinación, el nombre de un día sólo se repetía al cabo de 18,980 días (365 x 52 y 260 x 73). Ello se logró a través de observaciones al horizonte, complementadas con las que se hacían hacia el cenit, estas últimas, mediante la ayuda de precisos instrumentos que se construyeron hacia el interior de edificios o en cuevas, como las que reporta el presente escrito, basado en tres décadas de investigaciones realizadas por el autor en alrededor de una veintena de observatorios subterráneos a lo largo de Mesoamérica, que corresponden al periodo que va entre los siglos IV y XII d. C. En todos los casos que antecedieron a los dos que aquí se presentan, estuvimos ante cámaras oscuras construidas por el hombre, ya sea dentro de una estructura piramidal, o en un túnel cavado bajo tierra. Los dos casos de que hablaremos se caracterizan por haberse dado al interior de una cueva natural que presentó como rasgo fundamental el contar con un orificio en su bóveda, el cual fue aprovechado y modificado para servir como marcador solar. Dado lo anterior, hemos dividido el presente trabajo en una primera parte donde se habla de la geología y geografía del espacio donde se ubican las cuevas, para seguir con los aspectos arqueológicos y concluir con estudios astronómicos y calendáricos que nos llevan a las conclusiones finales.

## EL VULCANISMO Y LA GÉNESIS DE LAS CUEVAS

Las características geomorfológicas del Eje Volcánico Transversal se derivan de los derrames lávicos que se dieron sobre suelos de origen sedimentario muy antiguos (algunos del Cretácico) a los cuales cubrieron casi en su totalidad en el centro de México, sobre todo durante el Mioceno, Pleistoceno y Holoceno (entre 23 y 0.01 millones de años). En su parte oriental, se formaron estratovolcanes que alcanzaron alturas significativas, como el Cofre de Perote (4282 msnm) y el Pico de Orizaba (5615 msnm)



puntos donde, si descendemos hacia el este, encontramos la costa a unos 100 km., con el desnivel más grande de la geografía mesoamericana. En algunos puntos de esa cadena ígnea se formaron cuevas que han sido llamadas singenéticas porque se originaron al mismo tiempo que la roca que rodea sus cámaras, tras el enfriamiento de una colada que fluyó formando con la lava una especie de burbuja de gas alargada. En los puntos más delgados de las bóvedas los túneles colapsaron y los gases se liberaron a través de orificios de diversos tamaños y formas.

En las cuevas que aquí estudiamos se dio un fenómeno poco común, ya que sólo un pequeño orificio se abrió al centro de la bóveda, el cual, tras liberarse los gases y cesar el flujo magmático, se convirtió en un tragaluz por donde, cuando el Sol alcanza cierta altura sobre el horizonte, cuele sus rayos directos al interior de una cámara subterránea. Los dos únicos casos de este tipo que conocemos se encuentran en la parte oriental del Cinturón Volcánico Mexicano al este del estado de Puebla y en el centro del estado de Veracruz y son, respectivamente, el Sistema Volcánico de Los Humeros (SVH) y el Campo Volcánico de Xalapa (CVX). En el primero se ubican unos 20 volcanes de tipo monogenético (Oscar Lenz, 2016: 2) entre los que destaca el Macuiltepetl, cono de escorias, rocas basálticas, andesitas y traquiandesitas basálticas que fueron eyectadas hacia su alrededor; una de sus coladas formó cámaras subterráneas con dirección noroeste-sureste, de las cuales he podido recorrer tres. Según el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (s/f) su temporalidad es muy semejante a la del SVH, cuyas primeras erupciones se dieron en el Pleistoceno, hace unos quinientos mil años y concluyeron en tiempos recientes, hace menos de 20 mil años. El volcán de Los Humeros (FIGURA 1) expulsó lava riolítica, andesítica y basáltica (Ferriz 1985: 108) que se desparramó hacia el sur, cubriendo una amplia zona de malpaís. Actualmente, su energía es aprovechada por una planta geotérmica que tiene sus turbinas en Chignautla, Puebla.

Las cuevas a que no referimos han sido llamadas de “La Orquídea” (19.55° N. 96.92° W. y 1,439 msnm.) y de Tzinacamoztoc o de Chignautla (19.63°N. 97.5° W. y 2,572 msnm.). La primera se encuentra en el municipio de Xalapa, Veracruz, al pie del volcán Macuiltepetl, y la segunda en el municipio de Chignautla, Puebla, casi en sus límites con los municipios de Tlatlauquitepec, al norte y Tepeyahualco, al sur. Entre ellas hay 62 km. en línea recta y 90 km siguiendo las carreteras actuales. Al interior de ambas se ha reportado el hallazgo de restos arqueológicos y construcciones.



Fig.1 Volcán de Los Humeros, Puebla

## ASPECTOS ARQUEOLÓGICOS E HISTÓRICOS

Aparte de las similitudes geomorfológicas entre las cuevas de La Orquídea y Tzinacamoztoc, y de su indudable origen natural, tanto de su cámara como del tiro, en este estudio nuestras preguntas centrales son en cuanto al uso y significado que les dieron los pueblos prehispánicos y desde cuándo y cómo lo hicieron. Para responder, recurrimos a la arqueología y la astronomía. Veámoslas de manera independiente.

### LA CUEVA DE TZINACAMOZTOC

Está en una zona donde el rápido enfriamiento del magma, producto de las erupciones, dio origen, hacia su porción occidental, a un área donde se formaron algunos de los yacimientos de obsidiana más importantes del centro de México, hablamos de la zona de Oyameles, municipio de Tlatlauquitepec, Puebla (Knight et al. 2017). Recordemos que este vidrio volcánico fue un recurso de gran importancia durante todo el periodo prehispánico y su presencia en esta zona fue medular para el crecimiento del sitio arqueológico de Cantona (FIGURA 2), una gran ciudad que



Fig.2 Zona arqueológica de Cantona, Puebla

prosperó tras la caída de Teotihuacán; erigida sobre el malpaís, aprovechó su cercanía a los yacimientos para controlar la explotación, procesamiento y comercialización de núcleos y gran cantidad de objetos hechos con obsidiana (Jiménez et al. 2010). Según Ángel García Cook (en Jiménez et al. 2010: 218) el sitio fue ocupado en el Preclásico tardío (*ca.* 300 a. C.), pero entre el 600 y el 900-950 d. n. e., llegó a ser la ciudad más grande y poblada del Altiplano Central.

La cueva de Tzinacamoztoc se localiza muy cerca de la zona arqueológica de Cantona (Tepeyahualco, Puebla) y para algunos formaba parte de esta antigua ciudad. En realidad, está exactamente a la mitad de un importante camino prehispánico que va de los yacimientos más meridionales de obsidiana ubicados al sur de Oyameles (Tlatlauquitepec, Puebla) a los talleres donde se trabajaba este vidrio, al norte de la gran ciudad de Cantona, a cinco kilómetros de ambos puntos. Se le llama también cueva de Chignautla por el municipio donde se ubica y cuyo nombre significa “nueve ríos”; mientras que Tzinacamoztoc significa “cueva del murciélago” (del náhuatl *tzinacan* y *oztoc*). Se trata de un túnel de lava de más de un kilómetro y medio de largo que desciende con dirección norte-sur; en sus largas cámaras abovedadas se presentaron colapsamientos que permiten ingresar a ella. La cámara central y más importante es la que presenta un orificio en su bóveda y a ella se puede ingresar por dos entradas al túnel: una norte y otra al sur de ella (FIGURA 3); su planta tiene unos 40 m. de



Fig.3 Acceso Norte a la cueva de Tzinacamoztoc, Puebla

largo por 30 m. de ancho y la altura de su claraboya, linterna o respiradero, es de 13.5 m., incluyendo una especie de tiro o chimenea, ubicado en la parte superior, de 1.4 m. de largo. La apertura del tiro hacia la superficie es de 1.2 m. de largo por 0.9 m. de ancho.

Espinasa-Pereña y Diamant (2012: 585) hablan de visitas a la cueva desde el año 1865, sin embargo, las exploraciones más significativas se hicieron a partir del año 2006 por parte de miembros de la Sociedad Mexicana de Exploraciones Subterráneas y del Club de Exploraciones de México A. C., quienes han recorrido más de kilómetro y medio dentro del túnel de lava, en cuya parte central estudian una cámara subterránea ubicada bajo una claraboya de la bóveda, donde encontraron los muros de un “anillo” hecho con rocas sin tallar, adonde incidían los rayos solares directos, por lo cual decidieron comparar al sitio con el “famoso observatorio cenital de Xochicalco”. Las rocas (op. cit.: 590) pudieron ser parte de un cercado con patrón pentagonal, que en la parte central tenía un montículo coronado con una laja de basalto a la que llaman “altar” pero cuya función es desconocida (*ibidem*). Observaron las entradas solares durante fechas astronómicas y calendáricas relevantes, demostrando que el centro del montículo y su laja eran iluminados durante los pasos del Sol por el cenit del sitio, mientras que el espacio entre este montículo y el cercado les mostró periodos de días equidistantes al solsticio de verano en



52 días (30 de abril y 15 de agosto), en 73 días (9 de abril y 2 de septiembre)<sup>1</sup> y “quizá” en 65 días (op. cit.: 593). Observan que, si bien la claraboya se abrió de manera natural mientras la lava fluía, la boca del tiro señala dos intervenciones humanas: un corte en la lava y una laja de basalto con de 1.5 x 1 m. y 20 cm de ancho, que lo cubre parcialmente y que fue colocada allí de manera intencional en tiempos prehispánicos.

Nuestros estudios de esta cueva coinciden con el detallado trabajo de Espinosa-Pereña y Diamant, quienes son pioneros en la propuesta de su uso astronómico. In situ, pudimos ubicar el montículo y el “anillo” de piedras, contruidos bajo la claraboya, notando que hoy son menos evidentes a como los reportan y apenas se marcan en el piso, debido probablemente a que las piedras con que los construyeron fueron removidas. Quizá se deba a saqueos realizados desde que ellos visitaron el sitio. En cuanto a la piedra que Espinosa-Pereña y Diamant (2012: 590) llaman “altar”, por fortuna aún se encuentra debajo de la linterna de la bóveda y es muy similar a la laja ubicada en la boca de la claraboya; comprobamos que muy probablemente ambas fueron colocadas por el hombre. Debido a su peso, cercano a una tonelada, ello representa un esfuerzo considerable que debió tener un fin específico, en ambos casos podemos estar seguros de que no fue en tiempos posteriores a la Conquista de México y de que los fines probablemente fueron tanto simbólicos y rituales como astronómicos y calendáricos. La laja de roca volcánica que cubre parcialmente la claraboya tiene especial importancia: presenta una porosidad en su parte superior y una consistencia en la inferior que la hacen a la vez moldeable y resistente. Todo indica que fue cuidadosamente seleccionada. Tiene un espesor ideal (de 20 a 30 cm.) que permitió que fuese maniobrable. Su forma asemeja una flecha que, aunque irregular, se labró con un tamaño específico (1.4 x 0.9 m.) y con esa forma para que la punta se incrustara en el orificio de la bóveda y la base encajara en el hueco que iba a cubrir parcialmente (FIGURAS 4 y 5). Siendo el principal objetivo de la piedra el observar la culminación solar<sup>2</sup>, se cortó de tal manera que cubriese de parcialmente el orificio natural de la linterna de la cueva, mismo que está orientado de noroeste a sudeste, con una desviación aproximada (ya que no presenta con precisión una línea recta de referencia) de 48° al oeste del norte. La laja divide en dos a la linterna de la bóveda y presenta una inclinación de 60.5°



- 1 Respecto a este periodo se puede ver también a Arturo Montero (2014: 131).
- 2 La culminación de un cuerpo celeste se refiere a su paso por el meridiano, o sea, a su paso por el punto más alto del cielo durante el día en que se hace la observación.



Fig.4 Chimenea de la cueva de Tzinacamoztoc con la laja intencionalmente colocada sobre el orificio superior

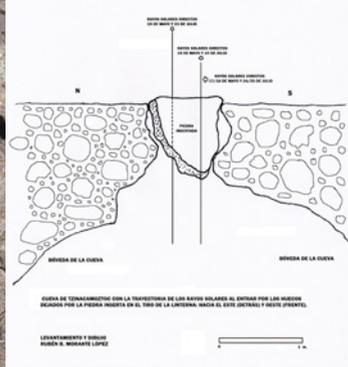


Fig.5 Dibujo esquemático con la ubicación de la piedra colocada en la claraboya de la cueva de Tzinacamoztoc

con su parte más ancha cubriendo parcialmente el orificio sureste del tiro. El canto de la laja se orienta de noreste a suroeste y tiene una desviación de 35.5 grados al este del norte.<sup>3</sup> La laja permanece intacta, tal como se le colocó, probablemente hace cientos de años.

## LA CUEVA DE LA ORQUÍDEA

Es parte de un tubo de lava que desciende con dirección noroeste-sureste y que consta al menos de tres cámaras comunicadas entre sí. Se accede desde el poniente de la cámara por un portal que está 2 m. bajo la superficie y al cual se llega por un túnel que fue ensanchado por canteros durante el siglo XX; desde la entrada, rumbo al este, se desciende paulatinamente hacia la primera y mayor de las cámaras, de forma oval (mide 32 por 11 m.) en su parte central cuenta con una elevación de piedra y tierra de 3 m. de altura por 7 m. de diámetro, circundada por un pasillo de 1.5 m. de ancho que se dirige hacia la entrada de la segunda cámara. En la bóveda, sobre el montículo semicircular, se abren dos huecos o respiraderos a 9 m. de altura. Debido a que meten luz solar a la cámara, se les llama linternas o



3 Las orientaciones hacia el horizonte se midieron con teodolito y se corrigieron para el norte verdadero que en este punto presentó una desviación magnética de 3°52' en el año 2018. Las medidas son una referencia solicitada para este escrito, ya que la piedra se ubicó para orientarla a los pasos del Sol por el meridiano, o sea que no tienen relevancia alguna para nuestras conclusiones.



claraboyas; tienen forma oval y sus centros se alinean con dirección nortesur. La más septentrional ha sido vista como una orquídea debido a que tiene una pared de un par de metros de altura, donde se observan las estrías que en el basalto dejó el gas al momento de salir expulsado (FIGURA 6); el orificio tiene 1 x 1.87 m. El segundo orificio tiene 1.17 x 0.83 m. y una parte del mismo parece natural, sin embargo, fue intervenido intencionalmente, no sabemos en qué época (FIGURA 7). Ambas linternas proyectan la luz solar todo el año cuando el Sol está próximo al meridiano del sitio, durante unas seis horas diarias, dependiendo de la época.

La cueva de La Orquídea fue dada a conocer en 1970 por el señor José Luis Yáñez (s/f) quien afirma que en 1943 la descubrió un cantero que trabajaba en la zona, quien amplió el hueco por donde se entra a su cámara principal, el cual fue agrandado en la década de 1990 para usarlo con fines recreativos. Hacia 1950 la cueva se convirtió en basurero y para 1995 acumulaba más de 15 toneladas de desechos, por lo cual Yáñez y el grupo ecológico Espeleover iniciaron su limpieza y rehabilitación, labor que concluyó el Ayuntamiento de Xalapa. En la actualidad la cueva está rodeada por asentamientos humanos, pero se le protegió al crear allí un parque natural que es conservado por las autoridades de la ciudad.

En 1991 la cueva fue incluida en la zona arqueológica del volcán Macuiltonpetl. Navarrete et al. (2001: 29) llaman al sitio “Macuilxochitlan” y reportan el hallazgo de “...figuritas de barro macizas, tipificadas como “D” por el arqueólogo Philip (sic) Drucker...” El Museo de Antropología de Xalapa (MAX) custodia un yugo de basalto oscuro con la imagen de un mono y un húmero humano. Siendo su director pude estudiarlos; en



Fig.6 Claraboya de origen natural en la cueva de La Orquídea, Xalapa.



Fig.7 Claraboya intervenida en la cueva de La Orquídea, Xalapa

los registros del propio museo ambos se reportan como encontrados en el Macuiltepetl. Por su estilo, ambos corresponden al periodo Clásico tardío (650-1000 d.C.); el yugo es cerrado e indica la práctica del juego de pelota y el punzón posiblemente fue usado para auto sacrificio, tal como se ve en códices como el *Borgia* (FIGURA 8) donde son portados por diversos dioses. No se pudieron ver más vestigios, tampoco encontramos las “... vasijas, flautas, hachas...” que, según se dice en otros archivos (ver Yáñez, s/f) fueron encontraron junto con el yugo, como ofrendas alrededor de la tumba de un alto dignatario al interior de la cueva de la Orquídea en un entierro hallado y excavado por un arqueólogo anónimo en la década de 1940. Las excavaciones realizadas al pie del cerro Macuiltepetl desde 1989, por parte de José A. Contreras y Lucinda Martínez (1995: 246) señalan que el sitio pudo tener ocupación continua desde el Preclásico medio (700-500 a.C.) hasta el Clásico temprano (300-600 d.C.), pero el periodo de mayor auge fue de 400 a.C. a 150 d.C. (Contreras y Martínez 1995: 244 y 2019). Ellos reportan el hallazgo de figurillas similares a otras mencionadas con anterioridad (Navarrete et al., 2001: 14); el estilo de dichas esculturas muestra fuerte influencia olmeca (Morante, observación personal) lo cual permite fecharlas en el Preclásico tardío (400 a.C. a 100 d.C.) ya que son muy parecidas a las halladas por Phillip Drucker en Tres Zapotes, sitio olmeca de esa misma época, ubicado en la sierra de Los Tuxtlas, Veracruz (FIGURA 9).

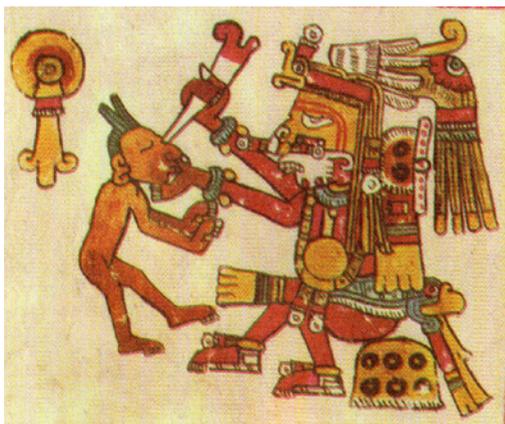


Fig.8 Xochipilli como deidad solar en la página 16 del Códice Borgia con punzón de hueso en la mano derecha, como el hallado en el Macuiltepetl, Xalapa.



Fig.9 Escultura Olmeca del Preclásico tardío (400 a.C. – 200 d.C.) Alvarado, Veracruz. en la mano derecha, como el hallado en el Macuiltepetl, Xalapa.



## LOS OBSERVATORIOS SUBTERRÁNEOS DE MESOAMÉRICA

Una vez vistas las facetas más relevantes de ambas cuevas, para los fines de nuestro estudio sería útil resumir algunas conclusiones de nuestros estudios de los observatorios subterráneos. Dos conceptos están asociados con estos instrumentos: uno ligado a la geografía, acerca de la franja tropical de la Tierra, y otro vinculado con la astronomía, relacionado con los pasos del Sol por el cenit. Astronomía tropical es un concepto que, a principios del siglo pasado, formuló la antropóloga Zelia Nuttall (1928) para diferenciar las observaciones del cielo desde Mesoamérica, distinguiéndolas de las observaciones desde zonas templadas. La franja tropical es una región ubicada entre los 23.44° del Trópico de Cáncer al norte y los -23.44° del Trópico de Capricornio al sur, latitudes determinadas por la oblicuidad de la eclíptica. Nuttall se basaba sobre todo en el hecho de que en esta zona, en dos días del año (primero y segundo pasos cenitales) el Sol alcanza el punto más alto del cielo, a 90 grados del plano de la superficie de la Tierra, momento en que los cuerpos no presentan sombras<sup>4</sup>. Años después Anthony Aveni (1991) realizó observaciones muy similares al describir la diferente manera en que se veía el movimiento de los cuerpos celestes en zonas frías, templadas y tropicales, lo cual motivó diferencias importantes en conceptos y sistemas de observación. Zelia Nuttall afirma que mientras en zonas templadas se usaba como referencia la ubicación del sol sobre el horizonte, en las tropicales, además, se contó con posiciones en la bóveda celeste, obteniéndose dos puntos cardinales extras: el cenit y el nadir.

La importancia de los pasos solares por el cenit para Mesoamérica, sobre todo del primero de ellos, radica en que anuncian fechas alrededor del solsticio de verano, cuando se presenta la temporada de lluvias y de crecimiento del maíz y otras plantas comestibles; además de ello, los rayos verticales del Sol constituyen precisos marcadores que ayudan a corregir desfases calendáricos (Morante 2020). También son un indicador geográfico de la latitud, ya que entre más alejado está un sitio de la línea tropical (al norte en el hemisferio Sur y al sur en el hemisferio Norte) más



4 Al norte del Trópico de Cáncer y al sur del de Capricornio, el Sol nunca alcanza la verticalidad con el plano terrestre (los objetos bajo el Sol presentan sombra a medio día durante todo el año) lo mismo sucede en la franja tropical antes y después de los pasos cenitales del Sol.





“distancia cenital” ( $Z$ ) a la cual definimos como el ángulo del Sol hacia la vertical al plano celeste o punto cenital de un sitio. Se obtiene mediante la diferencia entre la declinación solar ( $\delta$ ) calculada para el paso por el meridiano<sup>6</sup> y la latitud de un sitio<sup>7</sup> ( $\xi$ ):  $Z = \delta - \xi$ , de manera que cuando  $Z$  es positiva, el Sol, al cruzar el meridiano, está al norte del cenit<sup>8</sup>, y cuando es negativa se ubica al sur; el resultado más cercano a cero indica los días de paso cenital, o sea cuando el Sol no provoca sombras en los cuerpos sobre la Tierra en la latitud del observador. Por otro lado, hacemos estudios in situ y observaciones directas. En el primer caso se coloca una plomada y se miden los ángulos de incidencia solar hacia el interior de la cámara, los cuales se comparan con el valor de  $Z$  para determinar los días en que debemos realizar observaciones directas de los eventos astronómicos y calendáricos más significativos.

## ASPECTOS ASTRÓNOMICOS:

Hemos visitado las cuevas aquí reportadas en varias ocasiones durante los últimos años y pudimos realizar el registro de fenómenos ópticos muy similares a los estudiados en otros observatorios subterráneos construidos por el hombre prehispánico, aunque, como dijimos, estos casos muestran observatorios naturales adaptados. De acuerdo con nuestra experiencia en campo, para los observatorios subterráneos se recomienda hacer observaciones continuas de manera directa, ya que una pequeña variación en la boca del tiro puede hacer que varíe el día calculado para la entrada de rayos solares directos. la metodología presentada por Espinosa-Pereña y Diamant (2012: 586) incluye mediciones magnéticas, al igual que fórmulas y programas de cómputo empleados ampliamente para observaciones hacia el horizonte, ello ahorra la necesidad de desplazarse a sitios poco accesibles como la cueva de Tzinacamoztoc, pero siempre se recomienda la verificación de los datos in situ. Si los observatorios tuviesen tiros de paredes regulares, las entradas solares tienen mayor predictibilidad, pero por lo general los tiros son irregulares, como el de estas cuevas, donde se pueden presentar errores que obligan a la observación directa de los



6 Con base en las efemérides solares dadas por el Instituto de Astronomía de la UNAM

7 Tomar en cuenta que en el hemisferio norte la latitud es positiva y en el sur es negativa.

8 El cenit se define como el punto donde el centro del Sol está a  $90^\circ$  de la superficie terrestre.



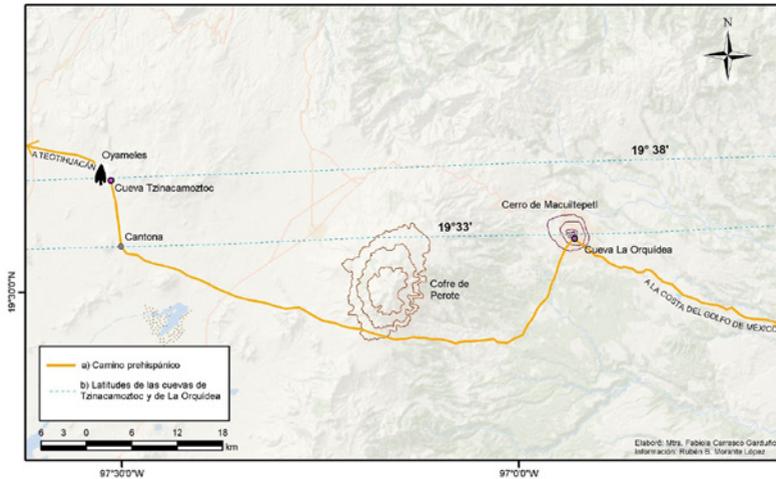


Fig.10 Mapa de la región de las cuevas naturales y ruta del Altiplano al Golfo de México (elaboración Fabiola Carrasco Garduño; información Rubén Morante)

La distancia cenital nos indica que el primer paso cenital en la cueva de La Orquídea se da el 17 de mayo en los años 2017, 2018 y 2020 y el 18 de mayo en 2018<sup>10</sup> y 2019; el segundo paso cenital se da el 24 de julio en 2017, 2018 y 2020 y el 25 de julio en 2018 y 2019. Para la cueva de Tzinacamoztoc, tenemos el primero paso del Sol por el cenit el 18 de mayo, pero en el año 2020 se da también el 17 de mayo; en cuanto al segundo paso solar por el cenit, tenemos que se da el 24 de julio en 2017, 2018 y 2020, pero en 2019, al tercer año sin corrección cuatrienal, cambia al 25 de julio. En resumen, podemos decir que los días de paso cenital en ambas cuevas coinciden en el 17/18 de mayo y el 24/25 de julio; ello se debe a la cercanía de sus latitudes. En esos cuatro días, el rayo vertical del Sol (FIGURA 11) se hace evidente al interior de ambas cuevas que, de esa forma, se convierten en precisos marcadores del evento. En Tzinacamoztoc, notamos lo que ya habían apuntado Espinasa-Pereña y Diamant (2012: 593): se ubicó una laja de gran tamaño bajo el tiro de la cueva donde inciden los rayos verticales; más que un altar, como ellos señalan, se trata de un preciso marcador de los eventos cenitales del Sol.

Hemos incluido para Tzinacamoztoc dos días más: uno después del



10 Notemos que en 2018 se dan dos primeros pasos cenitales en esta cueva debido a que el Sol iguala la latitud del sitio cerca de las 0:00 horas, o sea en el cambio del día 17 al 18. Lo mismo va a suceder en el segundo paso cenital del Sol para ese año, aquí entre el 24 y 25 de julio.

primer paso cenital y uno antes del segundo, ello con el fin de resaltar un evento observado cuando el sol cenital pasa al norte del meridiano, o sea cuando Z pasa de valores negativos a positivos (primer tránsito) o de positivos a negativos (segundo tránsito). El cambio de  $0.22^\circ$  equivalente a 13.2 minutos de arco que se da entre el 18 y el 19 de mayo y entre el 24 y el 25 de julio es difícil que lo capturemos a simple vista, e incluso a través de la inclinación de los rayos solares incidiendo al interior de la gruta, para ello se requiere de un instrumento de cierta precisión, como pudo ser este observatorio. Lo vemos los días 19 de mayo y 23 de julio, cuando son evidentes en la proyección de rayos en la cueva.

Como sucede en otros observatorios subterráneos de Mesoamérica, las fechas que se resaltan en la cueva de Tzinacamoztoc, caen entre los pasos cenitales y el solsticio de verano. Dado que cada sitio, donde se presentan estos dispositivos, tiene peculiaridades que lo distinguen de los demás, se hace necesario realizar observaciones directas de las entradas de rayos solares directos en días clave, tanto para corroborar los datos calculados, como para presenciar los efectos ópticos al interior de las



Fig.11 Entrada de rayos solares a la cámara de la cueva de Tzinacamoztoc en días de paso cenital del Sol.

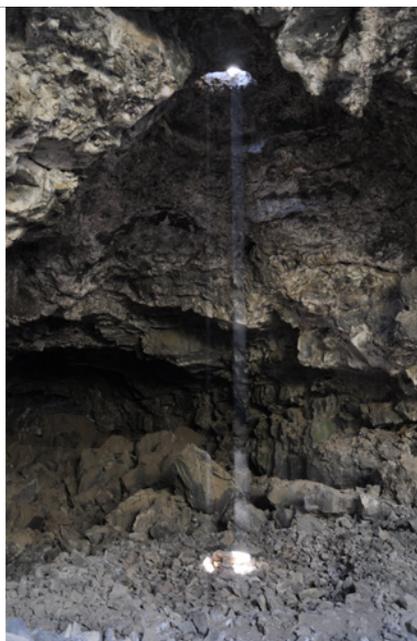
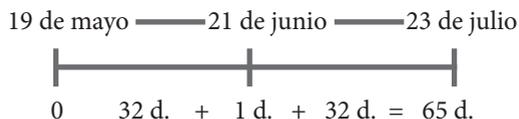


Fig.12 Entrada de rayos solares a la cámara de la cueva de Tzinacamoztoc un día después del primer tránsito cenital del Sol y un día antes del segundo.



Fig.13 Entrada de rayos solares a la cueva de La Orquídea.

cámaras. Entre 2016 y 2020 acudimos a Tzinacamoztoc en distintas fechas, notando que los días de paso cenital, con el paso solar por el meridiano del sitio, se observa un solo rayo entrar a la cueva, directamente sobre la piedra-altar-marcador del centro de su montículo interior; pero un día después del primer paso cenital, el 19 de mayo, y un día antes del segundo, el 23 de julio, se observan dos rayos solares entrando a la cueva, ya que un segundo haz de luz se proyecta (FIGURA 12); un efecto parecido se observa en la cueva de la Orquídea (FIGURA 13) sin embargo aquí durante todo el año se ven separados los dos rayos solares hacia su interior. En Tzinacamoztoc, la entrada de rayos simultáneos señala un periodo de 32 días antes y después del solsticio de verano, mismos que, sumados al día del solsticio, dan un total de 65 días con entradas de los dos rayos de Sol, hablamos de un importante periodo de la calendárica mesoamericana, la cuarta parte del tonalpothualli o calendario sagrado de 260 días.



Al igual que la cueva de La Orquídea, el fechamiento del observatorio de Tzinacamoztoc presenta problemas, ya que no contamos con restos

culturales, ni cerámica ni obsidiana, que sin duda se hubiesen hallado en su interior, algo derivado de saqueos evidentes y de la falta de excavaciones controladas. Las posibilidades de fechar las cuevas nos llevan a tres periodos: el Preclásico tardío (*ca.* 400-0 a.C.), el Clásico temprano (0-650 d.C.) y el Clásico tardío (650-950 d.C.). Como vimos tanto Macuiltepetl como Cantona presentan ocupaciones en los tres periodos. En los tres casos tenemos que considerar la importancia de los yacimientos de obsidiana cercanos a Cantona (Oyameles) y el movimiento de este vidrio a lo largo de Mesoamérica. Una de las rutas por donde se transportaba la obsidiana hacia la costa del Golfo de México, pasaba por la zona arqueológica de Macuiltepetl, ya vimos que Cantona tiene la misma latitud (19.55° N) que la cueva de La Orquídea, o sea que la línea recta, el camino más directo entre ambos sitios sigue una dirección este-oeste (FIGURA 10). Según Robert Stantley (1989: 323) el 93.4 % de la obsidiana consumida por Tres Zapotes, sitio olmeca que floreció en el Preclásico tardío, era de Oyameles, desde ese periodo. En el sitio de Macuiltepetl, como ya indicamos, se han hallado figurillas tipo Tres Zapotes halladas, lo que indica el contacto comercial entre los tres sitios durante ese periodo<sup>11</sup>. Si bien Tzinacamoztoc y La Orquídea estaban en esta ruta, no hay manera de saber si fueron conocidas en ese periodo.

Durante el Clásico temprano Teotihuacán dominó el centro de México, incluyendo la región de Cantona. Linda Manzanilla (2019) coordina un proyecto donde participan Luis Barba, Paul Valdez e Isabel Casar, entre otros. Sus estudios indican que los barrios de Teotihuacán tenían estrechas relaciones con la costa del Golfo, con la cual se comunicaban a través de una ruta que conducía hacia la región de las minas de Oyameles y Altotonga. Las dos cuevas naturales que hemos estudiado nos permiten preguntar si las conocieron e incluso si fueron adaptadas por los teotihuacanos. La tercera posibilidad de fechamiento es la más recurrida, ya que considera a Tzinacamoztoc como parte de Cantona, cuyo auge se dio en el Clásico tardío, periodo durante el cual, si bien se reportan hallazgos arqueológicos en el Macuiltepetl, no provienen de excavaciones controladas. Los trabajos mencionados de Contreras y Martínez no presentan evidencias relevantes de materiales para esta época.



11 Siendo director del Museo de Antropología de Xalapa, en 1999, recibí a algunos vecinos que construían sus casas al pie del cerro Macuiltepetl, donde encontraron fragmentos de lascas y navajillas de obsidiana con tonalidades que iban de gris oscuro a negro, lo cual las hacía muy parecida a la de Oyameles.



## RESUMEN Y CONCLUSIONES

En Mesoamérica existen muchos sitios donde se ha demostrado que el estudio de los cuerpos celestes se vinculaba estrechamente con la medición del tiempo y el calendario, instrumento fundamental para la planificación de actividades económicas (agricultura y comercio) y religiosas (las fiestas periódicas y la celebración de los dioses). A lo largo de cuatro décadas de investigaciones en el centro de México, sólo hemos sabido de dos cuevas que cuenten con una claraboya de origen natural, en estos casos (al menos con seguridad en el de Tzinacamoztoc) fue adaptada por el hombre para servir como un preciso marcador de posiciones solares en el cenit. A diferencia de Tzinacamoztoc, la cueva de La Orquídea ha sido gravemente alterada en tiempos recientes, sin embargo, ambas presentaron características geológicas, geográficas y arqueológicas que permiten suponer que ambas fueron precisos instrumentos para llevar a cabo estudios astronómico calendáricos, lo cual las incluye entre los que hemos llamado observatorios subterráneos.

Sus claraboyas o linternas aún permiten que veamos incidir los rayos solares al piso de sus cámaras, lo que nos permite inferir que el hombre prehispánico buscó que la incidencia de un segundo rayo solar señalara un periodo de 65 días dividido en dos periodos de 32 días hacia el solsticio de verano, antes y después de éste, para que junto con el día en que se presenta dicho solsticio, diera ese periodo exacto. Se trata de la cuarta parte de un *tonalpohualli*, el calendario sagrado de 260 días, que tuvo gran importancia en Mesoamérica. Este periodo de 65 días señala el tiempo en que inician las lluvias de temporal. En Monte Albán, Oaxaca, otro observatorio subterráneo señala dicho periodo con la primera y última entradas de rayos solares directos a un altar hecho con una laja, 65 días antes y después del solsticio de verano (Morante 1995: 55). Los zapotecos lo llamaban *cocijo* en honor a su dios de la lluvia y era la cuarta parte de su *pije* de 260 días. Pero es en Xochicalco donde estos observatorios alcanzan su mayor sofisticación y precisión para el computo del tiempo; en Xochicalco, al igual que en la linterna del observatorio de Tzinacamoztoc, se colocaban objetos para controlar la entrada de los rayos solares (Morante, Garza y Valencia, 2018) pero, como en el caso de la arquitectura y el arte de Xochicalco, comparados con el de cantona, hay diferencias entre la piedra que se posicionó en el tiro de la cueva de Tzinacamoztoc y los discos de

cerámica que se colocaban en el tiro del Observatorio de Xochicalco. No obstante, ambos sirvieron para un mismo fin: medir los movimientos solares y contar con precisos calendarios.



## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. María del Carmen Remess G. por su ayuda en las investigaciones durante estos años; a la Mtra. Fabiola Carrasco G. su la revisión y adecuación del presente escrito y al Sr. Guillermo Merlo y su esposa, de Francisco I Madero, Cuyoaco, Puebla, por su apoyo en nuestro trabajo de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aveni, Anthony F.  
1991. *Observadores del cielo en el México antiguo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Contreras, J. Antonio y Martínez Lucinda  
2019. *Sitio Arqueológico Macuiltepetl: redescubriendo Nuestro Pasado*. Recuperado en marzo de 2019 de: Sala de la exposición en el Museo Casa de Xalapa, Xalapa, Veracruz.  
1995. “Hacia el conocimiento de la historia prehispánica de Xalapa”. En: López Alonso, Sergio y Carlos Serrano Sánchez (Eds.) *Búsquedas y hallazgos antropológicos. Homenaje a Johanna Faulhaber*, México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- De Anda, Guillermo  
2019. “El cenote de Holtún”. En: *Arqueología Mexicana*, Vol. XXVI, Núm. 156, México: Revista del Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Espinasa-Pereña, Ramón y Diamant Ruth  
2012. “Tzinacamoztoc, posible use of the lava tube as a zenithal observatory near Cantona archaeological site, Puebla, México”. En: *Latin American Antiquity*, Vol. 23, Núm. 4, Washington, D.C.: Cambridge University Press.
- Ferriz, Héctor.  
1985. “Zoneamiento composicional y mineralógico en los productos eruptivos del centro volcánico Los Hornos, Puebla, México”. En: *Geografía Internacional*, Vol. 24-1, México: Universidad Nacional Autónoma de México.



- Jiménez Reyes, M., Téllez Nieto, A., García Cook, Á. y Tenorio, D.,  
2010. "Obsidiana arqueológica de Cantona, Puebla: los diversos orígenes". En: *Arqueología Mexicana*, Núm. 43, México: Revista del Instituto Nacional de Antropología e Historia, p. 217-229.
- Knight, Ch., Hu, H., Glascock, M., y Nelson, S.,  
2017. "Obsidian sub-sources at the Zaragoza-Oyameles quarry in Puebla, Mexico: similarities with Altotonga and their distribution throughout Mesoamerica". En: *Latin American Antiquity*, Vol. 28, Núm. 1, Washington, D.C.: Cambridge University Press.
- Lenz, Oscar,  
2016. "Zonificación geotécnica de la ciudad de Xalapa, Veracruz, México". En: *Revista de Ingeniería Civil, CEDEX*, Madrid, N. 181: 77-87.
- Manzanilla, Linda  
2019. "Teopancazco. Un centro de barrio multiétnico en Teotihuacan". En: *Arqueología Mexicana*, Núm. 157, México: Revista del Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Montero García, Ismael Arturo,  
2014 "Primeros apuntes para el estudio de la arqueoastronomía de Cantona, Puebla". En: *Arqueología segunda época CONACULTA-INAH*, México, N. 48: 123-136.
- Morante López, Rubén B.,  
2010. *La pirámide de Los Nichos de Tajín: los códigos del tiempo*. México: Institutos de Investigaciones Estéticas y de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.  
1996a. *Evidencias del conocimiento astronómico en Teotihuacan*. Tesis Doctoral. México: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.  
1995 "Los observatorios subterráneos". En: *La Palabra y el Hombre. Revista de la universidad Veracruzana*, Xalapa, México, V. 94: 35-71.  
1993. *Evidencias del conocimiento astronómico en Xochicalco, Morelos*. Tesis de Maestría. México: Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Morante López, Rubén B.; Garza Tarazona, Silvia y Valencia Escalante, Mauricio  
2018. "El Observatorio de la Gruta del Sol de Xochicalco". En: *Arqueología Mexicana*, Núm. 153, México: Revista del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
2020 "La obsidiana del oriente de México: su distribución hacia la Costa del Golfo". En: *Temas Antropológicos, Revista Científica de Investigaciones Regionales*, V. 42, N. 1: 10-38.
- Navarrete et al.,  
2001. "Xalapa en la época prehispánica". En: *Sumaria Historia de Xalapa: estudios de antropología e historia*. Xalapa: H. Ayuntamiento de Xalapa.
- Nuttall, Zelia  
1928. *La observación del paso del sol por el zenit por los antiguos habitantes de la América tropical*. México: Talleres Gráficos de la Nación.
- Santley, Robert  
1989. "Economic imperialism, obsidian Exchange, and Teotihuacan influence

in America”. En: Gaxiola, Margarita y Clark, John E. (Eds.) *La obsidiana en Mesoamérica*, México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Tichy, Franz

1980. “Der Festkalender Sahagun’s. Ein echter Sonnenkalender?”. En: In Steger, Hanns Albert und Jürgen Schneider: *Wirtschaft und gesellschaftliches Bewusstsein in Mexiko seit der Kolonialzeit Lateinamerika Studien*, Munich: Fink Verlag.

Universidad Veracruzana

s/f. Microzone. Disponible en: <https://sites.google.com/site/microzonecct/principal/mapas-de-microzonificacion-sismica/microzonificacion-sismica/principales-caracteristicas-de-la-zcx>

Yáñez, José Luis

s/f. La cueva de la Orquídea en Xalapa. Disponible en: <http://www.historiasdemiciudad.com/la-cueva-de-la-orquidea/2062>