

Paquimé. Influencia del Pensamiento Matemático y Astronómico Mesoamericano*

Paquimé. Mesoamerican Influence of Mathematical and Astronomical Thinking

Alberto Camacho Ríos**

Bertha Ivonne Sánchez Luján***

Resumen

En esta comunicación se hace referencia al estudio de la práctica social de la construcción de centros ceremoniales Mesoamericanos, con la finalidad de relacionarla con la propia construcción del llamado Montículo de la Cruz en el sitio arqueológico Paquimé, al noroeste del estado de Chihuahua, México. El montículo fue un observatorio astronómico formado por un basamento de 15 metros de largo por 13.70 metros de ancho orientado originalmente al Norte Geográfico. Para su edificación se siguió una norma de naturaleza astronómica que le relaciona principalmente con los solsticios estacionales, que tenían que ver con el trazo de dos ejes que permitían el tránsito del Sol sobre diferentes receptáculos, actividad ampliamente desarrollada por las culturas mesoamericanas. Utilizando un modelo geométrico elemental, sustentado en la regla de oro de Fibonacci, fue posible corroborar que el montículo fue diseñado, trazado y construido con la misma proporción calendárica que los templos mesoamericanos. La práctica social que arrojó resultados importantes que se aprecian en los referentes científicos, sobre todo en los sistemas numéricos y astronómicos desarrollados por los antiguos mayas para ese mismo fin.

Palabras-clave: Montículo de la Cruz. Espejo de Cintura. Mesoamérica. Solsticio. Receptáculos.

Abstract

This paper refers to the study of the social practice of the construction of Mesoamerican ceremonial centers, in order to relate it to the actual construction of Cross Moundat, in the Paquimé region, northwest of the state of Chihuahua, Mexico. The mound was an astronomical observatory consisting of a 15 meter long and 13.70 wide base originally oriented to true north. Its construction followed an astronomical nature standard that relates primarily to the seasonal solstices, that were related to the stroke of two axes allowing the transit of the Sun on different receptacles, activity developed widely by Mesoamerican cultures. It was possible to corroborate, using

* Parte del documento fue presentado como ponencia en la XV Escuela de Invierno en Matemática Educativa que tuvo lugar a finales del mes de diciembre del año 2012 en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, en la Ciudad de México, D. F.

** Doctor en Matemática Educativa por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN). Profesor investigador del Instituto Tecnológico de Chihuahua II (ITCHII), Chihuahua, Chih., México. Dirección postal: Av. de las Industrias 11011, Complejo Industrial Chihuahua. C.P. 31130, Chihuahua, Chih. Email: camachoalberto@hotmail.com

*** Dra. en Matemática Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (Cicata-IPN). Profesora investigadora del Instituto Tecnológico de Ciudad Jiménez, Jiménez, Chih. México. Dirección postal: Av. Tecnológico s/n, Colonia Ejido Las Luisas, C.P. 33980, Jiménez, Chih. México. Email: ivonnesanchez10@yahoo.com

an elementary geometric model supported by the Fibonacci golden rule, that the mound was designed, drawn, and built with the same proportion as the Mesoamerican temples and calendars were. The social practice that yielded significant results seen in the related sciences, especially in numerical and astronomical systems, was developed by the ancient Maya for that same purpose.

Keywords: Mound of the Cross. Waist Mirror. Mesoamerica. Solstice. Receptacles.

1 Introducción

BIBBY (1972) hace una idealización que describe la colocación de la piedra heliaca, la cual era eventualmente reconstruida y reacomodada al centro del observatorio astronómico de Stonehenge, en la meseta de Salisbury en el Reino Unido, ello alrededor de los años 1860-1790 a. C¹. El suceso que se describe ocurría de la siguiente manera:

En la amplia estibación junto al fondo del valle los trabajadores escogidos han completado ya el perfecto círculo del túmulo, sobre un diámetro de más de cien metros, con su foso circundante. (...) Ahora están ocupados en erigir la piedra heliaca, el inmenso monolito situado fuera de la única abertura del cerco (...). Hay un complicadísimo ajuste final de la piedra (...) pero esto es de esperar; todo mundo sabe que es necesario que los rayos del gran Sol, surgiendo en el día del solsticio, arrojen la sombra de la piedra, exactamente sobre el centro del círculo. (...) La víspera del solsticio nadie durmió. (p. 103).

En el solsticio de verano, el Sol sale justo atravesando el eje de la construcción, lo que hace suponer que los maestros de obra tenían conocimientos de astronomía. El mismo día, el Sol se oculta atravesando el eje del Woodhenge, 3.2 km. al oeste de Stonehenge, donde se han encontrado multitud de huesos de animales y objetos que evidencian que se celebraban grandes fiestas rituales previas al advenimiento del solsticio.

El terraplén y el monolito, diseñado en círculos concéntricos de piedra, inició su construcción alrededor del 2600 a. C y cuenta con dos ejes perpendiculares, uno a 45° al NE, y otro a 315° al NW, que cruzan por el centro. Sobre el primero, transita el Sol durante el solsticio de verano, línea sobre la cual sale el astro con el equinoccio. Por el segundo eje ingresa el Sol, al amanecer, durante el solsticio de invierno, formando un ángulo de 45° al SE.

El primer eje solsticial está determinado por la *piedra del altar* y por la *piedra talón*, según lo indica Rodríguez (1999):

(...) una persona al pie de la "piedra del altar", observando hacia la "piedra talón" podía observar con gran exactitud el sitio por donde sale el Sol durante el solsticio de verano, el 21 de junio. Lockyer confirmó que efectivamente la "piedra de altar" o el centro de Stonehenge se alineaba con la "piedra talón" apuntando al Sol, con tan solo un margen de error de 56 minutos de arco. (s. p).

Sin embargo, otras piedras como las mencionadas indican diferentes posiciones de la Luna (Figura 1): por ejemplo, salida y puesta del astro para los diferentes solsticios.

¹ El monolito más antiguo de Stonehenge data del año 3100 a. C.

El punto de vista sobre el observatorio de Stonehenge, y aquellos que se comentan más adelante sobre las culturas mesoamericanas, es que la práctica social de las observaciones solsticiales mesoamericanas tuvo su origen en las remotas regiones europeas del Reino Unido.

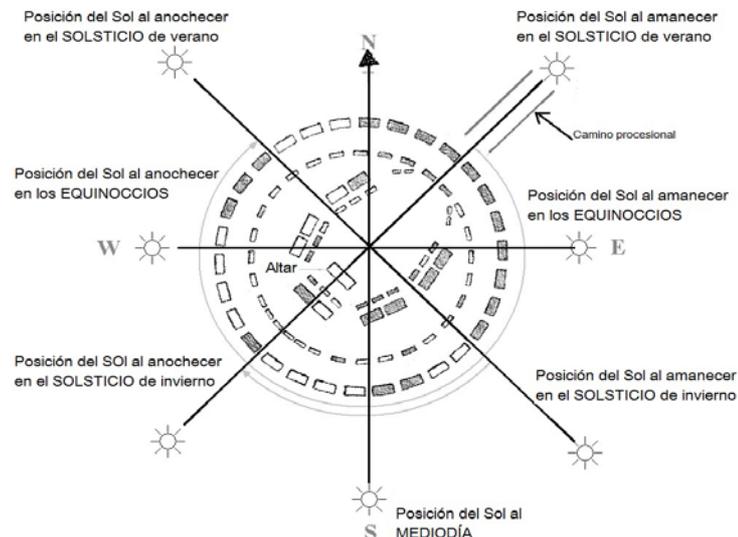


Figura 1 - El eje de 45° al noreste representa la posición del Sol al amanecer en el solsticio de verano en Stonehenge. Al SW del centro se encuentra la *pedra del altar*.

Fuente: https://www.google.com.mx/search?q=stonehenge&es_

El interés del artículo se centra en reconocer la práctica social ejercida para el diseño, trazo y construcción de observatorios astronómicos, para lo cual se hace énfasis en un modelo geométrico que involucra las proporciones calendáricas del movimiento de los astros, ampliamente estudiadas y utilizadas por los grupos culturales mesoamericanos: mayas, aztecas, toltecas, entre otros. Para el reconocimiento de la práctica se hace uso del concepto de *representación social*, vista ésta como el reflejo interior de la concepción del mundo de los grupos culturales, exteriorizado en la multiplicidad de símbolos que actualmente les sobreviven (MOSCOVICI; HEWSTONE, 1984; SÁNCHEZ; CAMACHO, 2011).

El artículo tiene un interés por la didáctica de la matemática en los niveles medio superior y superior de enseñanza, que no se percibe inmediato debido a la amplitud del escrito. No obstante, los resultados que se plantean respecto a las actividades desarrolladas por los grupos culturales mencionados, han permitido a los autores rendir cuenta en diferentes foros de la noción de *técnica* τ que se asume en los modelos de organizaciones matemáticas $[T, \tau, \theta, \Theta]$ de la Teoría Antropológica de lo Didáctico.

2 Cuestiones metodológicas

Los autores asistieron al sitio Paquimé en diferentes ocasiones para realizar un reconocimiento del mismo, así como la toma de datos del Montículo de la Cruz (Figura 2). Este último fue medido en un par de ocasiones con una cinta métrica de 30 m, apreciando las longitudes, que más adelante se comentan, al cm. La Olla de Paquimé que aparece en la Figura 5 es una fotografía de la misma tomada en el museo que se encuentra al lado del sitio, llamado *Museo de las Culturas del Norte*. La fotografía fue digitalizada en *grayscale* con tonalidades en blanco y negro. La imagen derecha de la Figura 5 es una representación de la Olla diseñada en planta e idealizada por los autores. La imagen del Espejo de Cintura que aparece en la Figura 6, fue estudiada por Braniff (2009), y corresponde a una fotografía tomada en el Museo Nacional de Antropología mexicano, digitalizada en *grayscale* con tonalidades en blanco y negro. La comparación de las Grecas que aparecen en las fotografías citadas con aquellas de la imagen de la *vasija tipo plato*, que aparece en la Figura 4, analizada por Vega (1980), fue factible gracias a que esta última, junto con otras, se muestran en la ruta: <http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/revistas/nahuatl/pdf/ecn17/269.pdf>.

Para el estudio, se tomaron como referencia de investigación algunos íconos fundamentales de la cultura Paquimé, las ya mencionadas: Grecas Escalonadas que aparecen en la cerámica, el Espejo de Cintura, pequeño ornamento de cobre que los hombres y mujeres se colocaban en el cinturón y el Montículo de la Cruz, signos representativos del sitio. Estas representaciones contienen una buena cantidad de símbolos que relacionan la astronomía con conocimientos geométricos elementales, a la vez que se corresponden con aquellos de las culturas mesoamericanas. En cuanto a los íconos mesoamericanos, se comparó la simbología contenida en la cerámica azteca cercana al año 1400 d. C. con aquella de Paquimé de aproximadamente el año 1200 d. C. Además, se hicieron corresponder las proporciones con las que fueron construidos algunos centros ceremoniales del Sur de México, con las propias relaciones que llevaron a edificar el Montículo de la Cruz en Paquimé.

Finalmente, las reflexiones, comparaciones y conclusiones, al centro de la *práctica social* de la construcción de centros ceremoniales, así como la evolución del pensamiento matemático y astronómico mesoamericano, no hubieran sido posibles sin las valiosas aportaciones que aparecen en el documento de investigación antropológica, actualmente desconocido y en desuso, de GARCÉS (1982).

Como se aprecia enseguida, el problema fundamental que enfrentaron los antiguos mesoamericanos a lo largo de 30 siglos, fue la búsqueda de tener un control preciso del tiempo, a través de herramientas fundamentales como la observación cotidiana de los astros visibles. Ese *gran* problema precisó de técnicas y actividades prácticas difíciles de reconocer,

pero que se perciben en los monumentos, documentos e íconos simbólicos con que actualmente se cuenta.

3 Mesoamérica: observatorios astronómicos entre templos, pirámides, altares, cruces

La concepción del mundo de los antiguos mesoamericanos incorporaba dos actividades fundamentales que forman una base común en todas estas culturas. Una de ellas, particularmente en la época clásica maya, 300 al 1000 d. C, fue la determinación de las conjunciones del Sol con algunos de los astros conocidos como Venus, Marte y Mercurio. Las conjunciones se determinaban a partir del conteo de los días que tardaban los astros en eclipsar, y permitieron establecer calendarios astronómicos que daban significado a la vida misma de los grupos. Otra de ellas, en el pos-clásico, 1000 al 1200 d. C, fue la construcción de observatorios astronómicos y centros ceremoniales, con los que lograron tener cierto control del tiempo. Esa actividad tenía como eje central una práctica social asociada a la cosmovisión multicultural (MORA, 1984; CEDEÑO, 1998; BRODA, 1996, citada por ZUCKERHUT, 2007), cuya técnica específica consistía en el trazado de dos ejes perpendiculares sobre los cuales se establecían receptáculos que recibían la salida y puesta del Sol en las diferentes estaciones temporales. El diseño y construcción de los ejes perpendiculares de estos centros, o bien del rectángulo base que ambos forman, fue una actividad fundamental cuya geometría de soporte aún hoy día se desconoce.

En todos los casos los receptáculos diferían en la forma: templos, pirámides, altares, cruces etc. El objetivo principal en ambas actividades consistía en reconocer racionalmente la estructura de la circulación del tiempo, lo cual en diferentes épocas se convirtió en una actividad obsesiva e intensa, que llegó a ser configurada de diferentes maneras. Este desvelo por el paso del tiempo tenía por origen determinar si los días eran o no favorables para la siembra, la cosecha, el matrimonio, la cacería y otras actividades.

Para las culturas del Norte de México, como la de Paquimé, alejadas más de 1500 kilómetros del núcleo mesoamericano, pareciera que su influencia en la construcción de receptáculos no hubiera existido. Lejos de ello, hoy se puede afirmar que Paquimé fue una extensión importante de grupos culturales del Sur, cuyo legado astronómico se puede estudiar en la actividad de construcción de los centros ceremoniales que en el sitio todavía existen, lo cual forma parte del objetivo del presente trabajo.

No obstante, la importancia de la circulación y control del tiempo llevó a los grupos culturales mesoamericanos, principalmente a los mayas, a fincar un *modelo numérico*

correlacional contenido en el sistema numérico y astronómico desarrollado por estas culturas durante los siglos III y IV d. C. Ese sistema influyó principalmente en la construcción de los centros ceremoniales y observatorios astronómicos.

3.1 La astronomía Mesoamericana entre proporciones calendáricas

Las culturas mesoamericanas fueron marcadas por una amplia influencia religiosa que, como es sabido, guardo siempre una estrecha significación astronómica. En las distintas regiones de Mesoamérica todas las ciudades se construyeron obedeciendo los modelos astronómicos de acuerdo a los movimientos de los astros sobre el horizonte. Por lo general, los monumentos religiosos - pirámides, estelas, altares, discos etc. - dedicados a los dioses, fueron vinculados, principalmente, con el planeta Venus y con el Sol. Las conjunciones de estos astros - es decir, los eclipses o tránsitos de Venus por el disco solar - fueron la clave para establecer, inicialmente, los cálculos calendáricos durante el período clásico maya. No obstante, una estructura vigesimal relacionada con los cálculos astronómicos se aprecia en monumentos mayas de los siglos I a. C. y I d. C. y con gran dinamismo en la determinación de las conjunciones de estos astros a lo largo de los siglos III y IV d. C. (GARCÉS, 1982, p. 45).

El principio motor de la cultura maya del clásico, estriba en que las conjunciones entre los dos astros se producen cada 584 días - también llamado período sinódico de Venus -, resulta que 5 de estos períodos equivalen a 2,920 días, que, divididos por 365 días, - período sinódico del Sol - dan, precisamente, 8 años; de aquí que después de este tiempo tendrá lugar una conjunción de Venus estando la Tierra en el mismo puesto que ocupaba 8 años antes. Esto indica que 5 años venusinos equivalen a 8 años solares ($584 \times 5 = 2,920 = 365 \times 8$). El numeral 2,920 fue llamado por el investigador alemán FORSTEMANN (1906) número *correlacional* lo cual dio la pauta para entender todo el sistema numérico y astronómico contenido en las estelas mayas y en el código Dresden - un código precolombino que contiene fundamentalmente información astronómica relacionada con la cultura maya² - fue nombrado de esa manera por la correspondencia que establece entre el 5 y el 8 y los períodos sinódicos de los astros mencionados; como puede comprobarse, en cada caso se guarda la proporción de la *constante astronómica* 1.6 días.

² El código maya Dresden es así llamado por su ubicación actual en una biblioteca alemana de la ciudad de Dresden.

Los numerales mayas que describen tanto los números correlacionales como las proporciones entre el Sol y los diferentes planetas, se refieren a las tres notaciones: el punto, con valor de una unidad, la barra horizontal que representa al cinco y el cero que se simbolizaba con una flor calendárica, una concha o, incluso, un caracol. Con estas argumentaciones de naturaleza matemática los antiguos mesoamericanos *geometrizaron*, con gran precisión, los observatorios astronómicos, incluso el de Paquimé guarda esa proporción, como se intenta probar en los siguientes rubros.

Los observatorios astronómicos y centros ceremoniales fueron construidos a través de las proporciones calendáricas mencionadas, toda vez que el ingreso del Sol, por alguno de sus lados, era *controlado* por uno de los símbolos deidades dominantes de estas culturas, es decir las Grecas escalonadas y en espiral. El observatorio astronómico de Paquimé no fue la excepción.

4 Las grecas en la cerámica de Paquimé

Paquimé está situado al noroeste del estado de Chihuahua, México, y de acuerdo a la declaración de 1998 de la UNESCO, es considerado uno de los centros arqueológicos que forman parte del Patrimonio Mundial de la Humanidad.

El promontorio arquitectónico de tierra desértica de Paquimé se encuentra entre los $30^{\circ}21'58''$ de latitud Norte y los $107^{\circ}56'50''$ de longitud Oeste, con una altura promedio SNMM de 1480 m. Su ubicación geográfica la coloca entre los grupos que pertenecieron a la región conocida como Aridoamérica - aunque investigadores también la incluyen en la región de Oasisamérica - ubicada entre el trópico de cáncer y el paralelo 38° Norte, que se caracteriza por un clima seco y caluroso, poco apropiado para la agricultura. El caserío del sitio es englobado en cerca de 50 hectáreas, y contiene alrededor de 2000 habitaciones de varios pisos, cuya delimitación prevé una traza urbana irregular, con una diferenciación de sitios ceremoniales donde destaca un basamento que incluye un montículo rectangular en forma de cruz - Montículo de la Cruz - también llamado durante las primeras investigaciones arqueológicas Centro Ceremonial (Figura 2), incluso Observatorio Astronómico, así como dos canchas para el juego de pelota. Según la información oficial, el asentamiento pre-hispánico dio lugar en el año 700 d. C., y fue atacado, saqueado e incendiado, por tribus nómadas alrededor del año 1340 d. C., año, este último, que indica su desaparición.

No obstante, investigadores asumen tres períodos importantes en la vida del grupo, estos son: el *Período Viejo* que va de la fundación del sitio en el año 700 de nuestra era, hasta

el año 1200, el *Período Medio* que ocurre del año 1200 hasta la desaparición del sitio en 1340, aun cuando otros investigadores asumen la ocurrencia de esto último hacia el año de 1475, quizá éste sea el período más importante debido al apogeo de diferentes aspectos culturales, el encuentro - de ida y regreso - con las culturas mesoamericanas y la expansión de la cultura hasta los límites con el actual estado de Sonora y el *Período Tardío*, que va de 1340 a 1650, año, este último, en el que se *derrumba* la cultura Paquimé a lo largo de toda la región del noroeste de México (BRANIFF, 2009, p.31-33).



Figura 2 - Imagen satelital del sitio Paquimé. Obsérvese que el Montículo de la Cruz, al norte del sitio, tiene cierta orientación al Norte Geográfico

Fuente: <https://maps.google.com/>

4.1 Grecas escalonadas y en espiral

Como es sabido, uno de los objetos de arte característicos de Paquimé son las ollas de barro, las cuales fueron decoradas con figuras de Grecas escalonadas en recoveco, y en otros casos en espiral, simétricas con amplios diseños geométricos y pintadas de colores policromados vivos que van en tonalidades del ocre al rojo (Figura 3). No obstante, estas formas geométricas se aprecian en las configuraciones de cerámica de las antiguas culturas mesoamericanas desde principios de nuestra era, de donde después serían llevadas al occidente de México y, posteriormente, al noroeste (BRANIFF, 2009, p. 74), como debió ser en el caso de Paquimé. Por su lado, VEGA (1980) estudió una buena cantidad de ollas de cerámica azteca - 117 en total - de aproximadamente el año de 1400 de nuestra era, asumiendo que estas:

Son verdaderos glifos que contienen información astronómica de ésta última cultura.

(...) hemos presentado parte de una seriación de glifos obtenida de un conjunto de vasijas de tradición azteca. En este trabajo se ha propuesto que dichos glifos, flor, espiral desdoblada y glifo del día están relacionados con algunos fenómenos celestes (VEGA, 1980, p. 109).

Para su estudio, Vega bosquejó los diseños de las ollas en planta, como si les viera desde arriba y boca abajo, y les cruzó con un par de diagonales (Figura 4) que simulan los ejes cardinales, en este caso sesgados a 45° o bien cada uno contenido en un arco de 90°, con lo cual se aprecian las seriaciones de las grecas en forma simétrica respecto de esta última. Según la autora, las grecas escalonadas, en meandro y en espiral de la cerámica - en uno de los casos analizados, cuyo color es bicromado bruñido en negro sobre rojo oscuro - “[...] representan un semi-año del curso del Sol que iría del solsticio de invierno al de verano o viceversa” (VEGA, 1980, p.160)³.

Como se verá más adelante, la definición estacional otorgada por Vega a la posición de las grecas en la cerámica es importante, ya que forma parte de la actividad práctica, cultural, religiosa y astronómica que desarrollaron los grupos mesoamericanos.

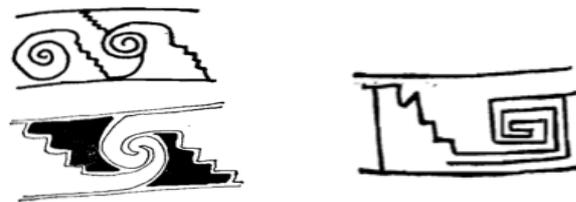


Figura 3 - Grecas escalonadas en espiral y en recoveco que figuran en la cerámica de la cultura Paquimé y en la cerámica de la cultura Azteca

Fuente: (BRANNIF, 2008; VEGA, 1980)

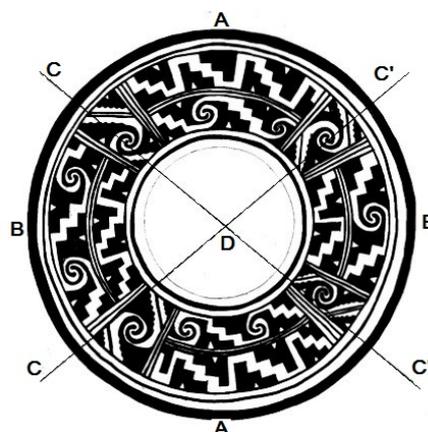


Figura 4 - Vasija tipo plato procedente del Valle de México. En la sección A-A, alternan grecas escalonadas en espiral - parte superior - con una estilización de grecas escalonadas en meandro. En la sección B-B alternan la

³ El plato que aparece en la Figura 4, se encuentra en el Museo Nacional de Antropología de la Ciudad de México, junto con el resto de las 117 estudiadas por Vega.

Esta última es pequeña, tiene por base unos 7.5 cm. en tanto que la parte superior alcanza los 15 cm. En el caso de la olla de Paquimé, que se muestra en la imagen de la Figura 5, esta mide cerca de 30 cm., de diámetro por 40 cm., de altura, forma parte del Museo de las Culturas del Norte, el cual se encuentra al lado del sitio.

greca escalonada en espiral - parte inferior - con la estilización de la greca escalonada en recoveco. En los lados e-e' y e'-C' se encuentra exclusivamente greca escalonada en espiral.

Fuente: VEGA (1980, p. 144).



Figura 5 - Olla de Paquimé, se aprecian grecas escalonadas y en espiral, simétricas respecto de la parte superior e inferior de la olla, muy semejantes a las analizadas por Vega en la cerámica azteca. En la imagen derecha se encuentra el diseño en planta de la olla.

Fuente: La de la izquierda es una fotografía de la Olla que se encuentra en el Museo de las Culturas del Norte, al lado del sitio Paquimé, el diseño de la derecha es obra en planta de los autores a partir de la misma Olla.

Bajo el mismo diseño se encuentra la Olla de Paquimé que se muestra en la Figura 5. Esta última es policromada en rojo con fondo ocre y muestra las representaciones de grecas en espiral y en recoveco dispuestas simétricamente respecto de un conjunto de líneas en diagonal. La disposición simétrica de estas figuras se reproduce, además, en la parte media inferior de la olla.

De manera semejante, BRANIFF, (2009, p.78-82) analizó el que ha llamado Espejo de Cintura (Figura 6), pequeño ornamento circular en cobre, correspondiente a la cultura Paquimé, cercana a los años 1100-1200 de nuestra era, que contiene grecas escalonadas en forma de meandro dispuestas simétricamente, cuyas huellas tienen incrustado mosaico de turquesa y concha. Según la investigadora, las grecas representan a la diosa mesoamericana Xiuhcóatl - Serpiente de Fuego - la cual aparece en diversas manifestaciones religiosas de las culturas maya, tolteca y azteca: pirámides, lienzos, estelas etc.

En el caso del círculo exterior que representa al Espejo de Cintura, es innecesario trazar las diagonales para verificar la simetría de las figuras. Si se asume el punto de vista del curso del Sol en la cerámica estudiada por Vega, se pudiera afirmar que la cabeza de la Xiuhcóatl apunta en dirección de los puntos solsticiales. No obstante que en esta dirección Braniff sólo comenta la influencia mesoamericana en el diseño del Espejo de Cintura.

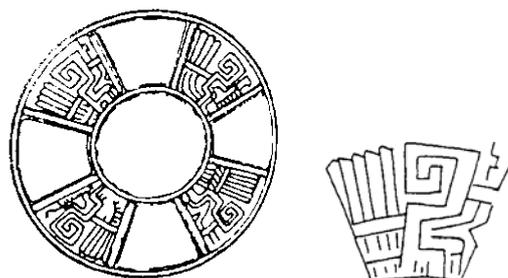


Figura 6- Primera imagen: El Espejo de Cintura, las Grecas en este caso idealizan a la diosa mesoamericana Xiuhcóatl, que se muestra con más detalle en la imagen derecha.

Fuente: BRANIFF, (2008, p. 78-82).

Sin embargo, el modelo solsticial en este ornamento no es casual, ni vago, puesto que el mismo enfoque conceptual se encuentra a diferente escala en otros monumentos mesoamericanos, como es el caso de la pirámide de Tenayuca, al norte de la Ciudad de México⁴ (Figura 7). Según afirma GARCÉS (1982, p. 276):

A ambos lados de la pirámide y sobre pequeños altares, existen dos serpientes Xihuacoatl (Xiuhcóatl) cuyas cabezas apuntan en dirección de los puntos solsticiales, la del lado norte dirigida al ocaso del sol el día del solsticio de Verano y la del lado sur al del solsticio de Invierno.

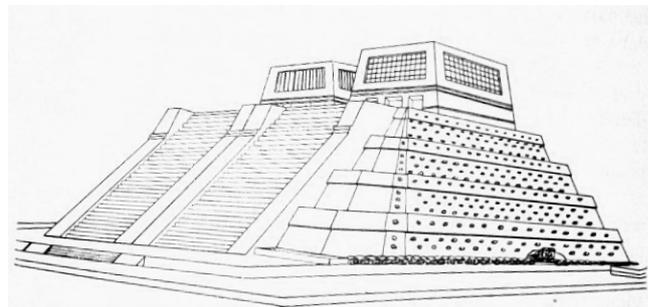


Figura 7 - La pirámide de Tenayuca, en el actual estado de México, al lado norte, sobre la base, se aprecia la Xiuhcóatl, apuntando hacia la puesta del Sol el día del solsticio de Verano.

Fuente: GARCÉS (1982, p. 275).

En sí mismos, los glifos analizados por VEGA (1980), la propia cerámica de Paquimé, así como el Espejo de Cintura estudiado por BRANIFF (2009) y la pirámide de Tenayuca, representan modelos en los que se aprecian diferentes técnicas y recipientes en las que los mesoamericanos y, en su caso los paquiméenses, ordenaron los movimientos astronómicos de los astros. Incluso en la pirámide de Tenayuca, la figuración de los solsticios en los diferentes ornamentos refleja una representación viva del pensamiento religioso y astronómico de esas culturas.

Según ÁVILA (2002) y BRANIFF (2009), algunos de los ornamentos, como en el caso del Espejo de Cintura, fueron artículos que comerciantes toltecas distribuyeron en el la zona de Paquimé.

Existen evidencias arqueológicas de colonias de comerciantes toltecas en lugares tan distantes como el centro de El Salvador y en Paquimé (Chihuahua). Al parecer, los productos que los comerciantes exportaban eran navajas y cuchillos manufacturados en los talleres de Tula con la obsidiana verde de Pachuca (ÁVILA, 2002, p.219).

Sin embargo, esta interacción mercantil no aclara cómo esos comerciantes pudieron ayudar a los paquiméenses en el diseño, trazo y construcción del Observatorio Astronómico del sitio, hoy conocido como Montículo de la Cruz, ni tampoco cómo hicieron para orientar al

⁴ Templo mayor de la primera capital de los Chichimecas-Toltecas, fundada alrededor del año 1224.

Norte Verdadero dicho montículo.

5 El montículo de la Cruz

5.1 Observatorios astronómicos mesoamericanos

Según ÁVILA (2002, p.28) “[...] los edificios ceremoniales (mesoamericanos) se orientaban generalmente según los puntos cardinales y se colocaban alrededor de enormes espacios abiertos [...]”, como es el caso de Monte Albán⁵ y el Tajín. No obstante, otros centros ceremoniales fueron orientados a partir de los ejes solsticiales y equinocciales: “[...] estas estructuras son en la mayoría de los casos orientadas en relación a las salidas o puestas de Sol en días específicos del ciclo solar” (BRODA, 1993), como es el caso de los observatorios de Uaxactún, en Guatemala y el observatorio del Caracol en Chichén Itzá en Yucatán, e incluso Teotihuacán. Ambos modelos de orientación astronómica determinan intenciones cosmológicas que se complementan. El asunto de los solsticios atendía la necesidad de tener control del año ritual de 260 días que ayudaba a ajustar el trabajo agrícola a los ciclos naturales de las estaciones, mientras que la orientación con los ejes cardinales de los observatorios obedece más a una postura de carácter arquitectónica, sujeta también al modelo solsticial. El modelo de observación solsticial de la Figura 8 se refiere al observatorio de Uaxactún, Petén Guatemala, el cual fue estudiado por MORLEY (1964) y es considerado un clásico que ha encaminado en el estudio de este tipo de observatorios. Cabe destacar que la plataforma sobre la que se encuentran dispuestas las tres pirámides está debidamente orientada al Norte Geográfico, cuyo eje E-O establece el propio eje solsticial, siendo el eje perpendicular N-S el que corresponde a los equinoccios⁶, además de la rigurosa simetría que guarda la disposición de los edificios. Como se puede ver en la imagen de la Figura 8, enfrente de la plataforma se encuentra otra pirámide, la E-VII, sobre cuyas escalinatas se ubica el punto de observación. Según GARCÉS (1982):

El 21 de junio (solsticio de Verano), el Sol se ponía detrás del ángulo frontal izquierdo del templo norte E-1; en los equinoccios de Primavera y de Otoño el 21 de marzo y el 21 de septiembre se ocultaba detrás del templo del medio, en tanto que en el solsticio de Invierno, el 21 de diciembre, lo hacía en ángulo frontal derecho del

⁵ Una de las estelas, la mayor de Monte Albán, mide aproximadamente seis metros de altura y está orientada astronómicamente, al Norte Verdadero, con la estrella polar.

Se cita en: http://www.elclima.com.mx/zona_arqueologica_de_monte_alban.htm.

⁶ Los solsticios de Invierno y Verano indican los días más corto y largo del año respectivamente, así como los equinoccios de Primavera y Otoño, indican cuando la duración del día y la noche es la misma

templo E-III. El eje central entre los dos templos frontales pasa por las Estelas 20 y 19. (p.214)

El observatorio de Uaxactún procede del siglo IV d.C. y representa un instrumento geométrico muy sencillo y adecuado para las observaciones solsticiales.

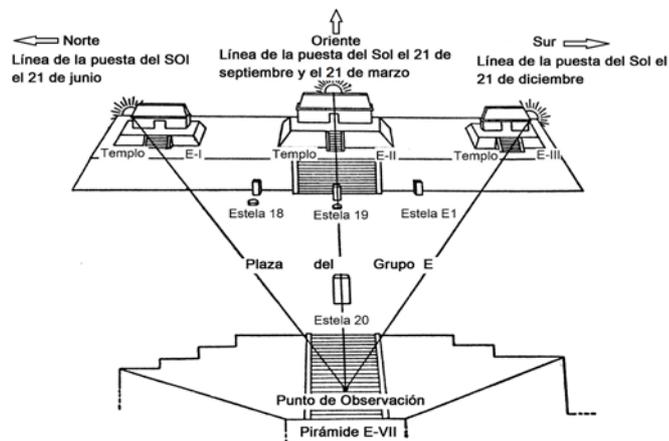


Figura 8 - Salida y puesta del Sol en el observatorio de Uaxactún. Las referencias solsticiales y equinocciales son los tres templos o pirámides. Fuente: GARCÉS (1982, p. 214).

Una sofisticación y mejoramiento de los observatorios mayas se puede apreciar, todavía, en el juego de luz y sombras del templo de Kukulcán en Chichén Itzá (600-900 d.C.), cuya ilusión óptica deja ver el movimiento de una serpiente que indica los solsticios del 21 de marzo y aquel del 22 de septiembre. Otro monumento importante, y de mayor sofisticación, es el observatorio del Caracol, también en Chichén Itzá, el cual involucra una mayor cantidad de posibilidades de observación como son la puesta de la Luna en su máxima declinación, así como los ejes solsticiales y equinocciales del Sol. El mismo modelo solsticial se muestra en Copán, hoy Honduras, según MORLEY (1964):

Las Estelas 10 y 12 erguidas en las dos opuestas cadenas de cerros que rodean los extremos oriental y occidental del Valle, separadas 6.5 kilómetros una de la otra; ambas pintadas de rojo estaban al mismo nivel. Observando desde la estela 12 se puede ver que el sol se pone detrás de la estela 10, el 12 de abril y el 7 de septiembre. La primera de esas fechas consagra la ceremonia de la quema de los campos destinados a las siembras de maíz, operación ancestral de la cultura maya. (p. 165).

5.2 El Montículo de la Cruz

El Montículo de la Cruz - véase este último en la parte superior de la fotografía satelital de la Figura 2 - fue efectivamente un observatorio solsticial y equinoccial diseñado bajo el mismo concepto que los observatorios mesoamericanos referidos anteriormente. El montículo se edificó al norte del caserío de Paquimé sobre una parte plana y alta del terreno, desde la cual se domina todo el sitio, se encuentra a flor de tierra y tiene una altura promedio

de 0.64 cm. Para su edificación se involucraron materiales elementales, fue construido con piedra rústica, conformando, así, plataformas que se rellenaron posteriormente con tierra y escombros, sin utilizar mortero o cal.

Desde su origen el eje vertical fue orientado al Norte Geográfico; es posible que la orientación se haya efectuado alineando el eje N-S de la cruz con alguna de las estrellas circumpolares de la época de su construcción⁷, puesto que las culturas mesoamericanas tenían conocimiento de estas últimas.

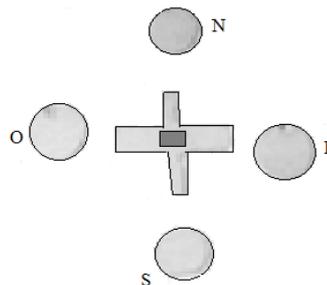


Figura 9 - Salida y puesta del sol en el observatorio de Paquimé. El modelo es aproximado, sin escala.
Fuente: Diseño en Paintbrush de los autores

En cuanto a su diseño, los ejes principales de la cruz miden 13.7 m el N-S, por 15 m el E-W. En la punta de cada eje cardinal aparecen basamentos circulares que, aparentemente, muestran la posición estacional del Sol tanto en el eje E-W como en el N-S (Figura 9). El eje E-O tiene un ancho de 3.90 m, en tanto que el que corresponde al N-S lo es de 1.72 m. En promedio, los círculos de cada extremo cuentan con un diámetro de entre 6.90 y 7.50 m. El eje N-S se encuentra ligeramente desviado de la vertical hacia el SE, en lo que correspondería al Sur franco, incluso el eje E-W se ve ligeramente desviado, como se puede corroborar en la fotografía satelital de la Figura 2. Habrá que destacar que a lo largo de los años el montículo ha sido remozado en sus paredes laterales, de manera que las longitudes actuales cuentan con ligeras modificaciones.

No obstante lo anterior, ¿cuál fue la perspectiva geométrica a la que obedecen las construcciones de los centros ceremoniales mesoamericanos que todavía sobreviven?

5.3 Un modelo geométrico para comprender la práctica

⁷ El eje principal de la cruz tiene una ligera desviación al Oeste que se debe a la declinación magnética del lugar, la cual en por lo menos cien años ha variado hacia ese punto cardinal. Para el año 2000 la declinación era de $10^{\circ}16'E$, en tanto que para el año 1900 fue de $11^{\circ}31'E$. No obstante, es probable que en la época de su construcción la declinación magnética fuera en sentido contrario, es decir, hacia el Este. Esto último se puede corroborar con el simulador del National Geophysical Data Center, en la ruta: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/IGRFWMM.jsp>.

La cruz de Paquimé es muy semejante a otras que se han encontrado en diversas regiones mesoamericanas, por ejemplo las que se muestran en la Figura 10, - la segunda y la tercera son representaciones solsticiales que aparecen en glifos mayas y se aprecian en el código Dresden, en tanto la primera se encuentra en un petroglifo del sitio conocido como *el Tecomate*, en el estado mexicano de Sinaloa – e, incluso, se ha considerado que es parecida al ícono que representa al planeta Venus en las propias culturas mesoamericanas. Estas representaciones son dispuestas en cuatro cuadrantes cardinales los cuales forman un rectángulo, como se aprecia en las imágenes segunda y tercera. Por la banda E-O transita el Sol durante el año, mientras que por la N-S se presentan los fenómenos equinocciales.

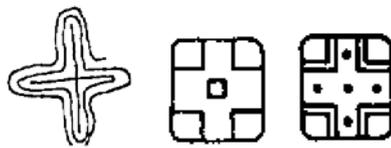


Figura 10 - Imagen izquierda, Petroglifo de El Tecomate Sinaloa, México.

Fuente: <<http://rupestreweb.tripod.com/venus.html>>

Segunda y tercera imágenes, representaciones solsticiales en glifos mayas, según se aprecian en el código Dresden.

Fuente: GARCÉS, 1982, p.81

Según Mora (1984, citado en CEDEÑO, 1998), el estudio que este último realizó sobre el montículo de Paquimé, alrededor de los años ochenta del siglo pasado:

(...) reveló una serie de proporciones entre las que recurren de manera importante aquéllas cercanas al cociente de los diferentes ciclos calendáricos, como por ejemplo: $\frac{584}{365} = 1.6 = \sqrt{3}$; $\frac{365}{260} = 1.4 = \sqrt{2}$ y $\frac{584}{260} = 2.23 = \sqrt{5}$. Ahora bien, en el juego de proporciones entre ciclos calendáricos a que se ha hecho alusión más arriba, la unidad corresponde al ciclo de 260 días, el año solar por tanto equivaldría a la diagonal del cuadrado o 1.4 y el ciclo de Venus a la raíz cuadrada de 5. Además, si consideramos el año solar como la unidad, entonces el ciclo de Venus equivaldría a la proporción ϕ o número áureo: 1.618.

Lo cierto es que Mora encontró una buena aproximación entre las proporciones de los ciclos calendáricos y los valores de las raíces de 2, 3 y 5, más ello no significa que los antiguos mesoamericanos conocieran explícitamente los resultados de esas cantidades, como lo menciona Cedeño en algún apartado de su reporte, además de que Mora contempla la utilidad de dichas raíces considerándoles diagonales de los cuadrados unitario y doble en el diseño original de los templos y observatorios, lo cual en la práctica de la modelación geométrica de estos centros resulta complicado. No obstante, y como se verá enseguida, son las relaciones calendáricas asociadas con la conocida razón de oro de Fibonacci, las que permiten modelar geoméricamente el diseño de los observatorios mesoamericanos.

Si con la idea de las proporciones calendáricas se verifican las relaciones entre las longitudes de los rectángulos que determinan algunos de los centros ceremoniales

mesoamericanos conocidos, por ejemplo el de Zempoala, que se aprecia en la Figura 11, se tendrían los siguientes valores, para la Plataforma (rectángulo externo): $\frac{67}{40} = 1.6 = \frac{584}{365}$ - relación Venus-Sol - para el Templo Mayor: $\frac{45}{31} = 1.4 = \frac{365}{260}$ - relación Sol-año ritual - y para el Templo de las Chimeneas: $\frac{22}{15} = 1.4 = \frac{365}{260}$ - relación Sol-año ritual - resultados, estos últimos, que efectivamente indican cierta veracidad con las proporciones calendáricas.

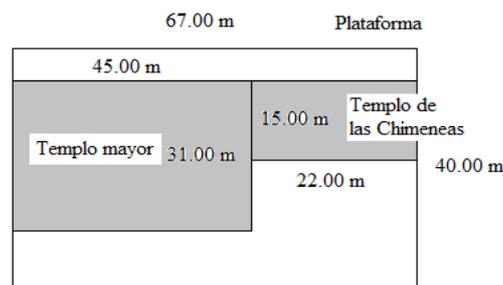


Figura 11 - Planta del centro ceremonial de Zempoala

Fuente: Diseño de los autores a partir de las longitudes que se sugieren en GARCÉS (1982, p. 262).

Enseguida se ha construido un rectángulo de Fibonacci a partir de un cuadrado de lado dos, como sugiere Mora, resultando el que aparece en la Figura 12, con las longitudes que ahí se muestran. El rectángulo se dibujó partiendo el cuadrado doble por la mitad y, haciendo centro en ese punto medio, se trazó enseguida el semicírculo que se muestra - el proceso que se siguió es el mismo con el que se llega a la conocida como razón de oro - El rectángulo así trazado tiene por lados los valores $\sqrt{5} + 1$ y 2, siendo la relación entre ambos la proporción aurea: $\frac{\sqrt{5}+1}{2} = 1.618$, que se corresponde con la proporción que guardan las longitudes de los lados de la plataforma del centro ceremonial de Zempoala, es decir: $\frac{67}{40} = 1.6$, toda vez que estos últimos se relacionan con las proporciones del ciclo calendárico ya mencionado de Venus respecto al Sol: $\frac{584}{365} = 1.6$. Sin embargo, y como se ha comentado, la validez del modelo se restringe solamente a una cifra después del punto decimal y deja una clara incertidumbre en la determinación de los valores reales del centro ceremonial a través del propio modelo geométrico.

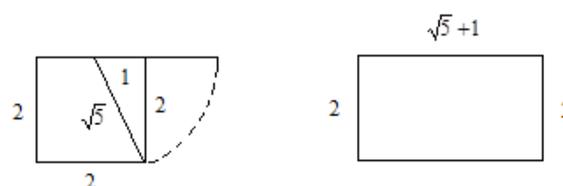


Figura 12 - Construcción del rectángulo de Fibonacci cuyos lados se encuentran en la proporción aurea de 1.618.

Fuente: Diseño de los autores en Paintbrush.

Por otra parte, si el semicírculo que se trazó desde el punto medio del cuadrado doble de la Figura 12, solamente tocara los extremos de éste último en su parte inferior, se puede,

así, construir otro rectángulo cuyos lados sean $\sqrt{5}$ y 2, con una diagonal de longitud 3, como el que se muestra en la segunda imagen de la Figura 13. En este caso, $\sqrt{5}$ está en proporción con el ciclo calendárico de Venus y el año ritual de 260 días, es decir: $\frac{584}{260} = 2.24$, siendo que $\sqrt{5} \approx 2.24$.



Figura 13 - Construcción del rectángulo en el cual $\sqrt{5}$ se encuentra en proporción con el ciclo calendárico de Venus y el año ritual de 260 días.
Fuente: Diseño de los autores en Paintbrush

Lo interesante de este último rectángulo es que modela, con muy buena precisión, a las cruces mesoamericanas que se aprecian en la Figura 14, las cuales son semejantes con la cruz de Paquimé. Para verificarlo, se dejó el lado menor del rectángulo que forman cada una de ellas con una longitud de tamaño dos - independientemente de la escala a la que originalmente se hayan diseñado - de manera que la longitud del lado restante se aproxima al valor de $\sqrt{5} \approx 2.236$, obsérvese esto último en las tres imágenes de la Figura 14. La proporción que guardan ambos lados del rectángulo es de $\frac{2.236}{2} = 1.11$. En el caso de los lados más anchos de la segunda y tercera cruces, estos miden 0.90 cm por 0.666 cm, los lados más delgados, cuya proporción es de $\frac{0.9}{0.666} = 1.35$, que viene a ser la misma entre la diagonal 3 del rectángulo y el lado $\sqrt{5}$, es decir: $\frac{3}{\sqrt{5}} = 1.34$.

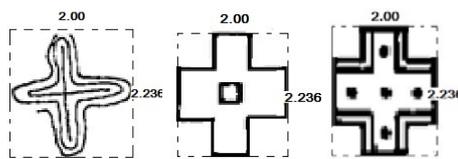


Figura 14 - Alojamiento de las cruces semejantes a la de Paquimé en el rectángulo de lados $\sqrt{5}$ y 2
Fuente: Cruz de la izquierda <<http://rupestreweb.tripod.com/venus.html>>
Segunda y tercera imágenes, representaciones solsticiales en glifos mayas, según se aprecian en el código Dresden (GARCÉS, 1982, p.81).

En la misma proporción que las cruces anteriores se encuentra la de Paquimé. Como vimos, esta última mide 15 por 13.7 m, cuya proporción arroja $\frac{15}{13.7} = 1.094$, muy semejante a la citada de $\frac{2.236}{2} = 1.11$, obsérvese la proporción en la imagen de la Figura 15. Además, se guarda la proporción entre el ancho de ambos ejes con el ciclo calendárico de Venus y el año ritual de 260 días, es decir: $\frac{3.9}{1.72} \approx \frac{584}{260} = 2.24$.

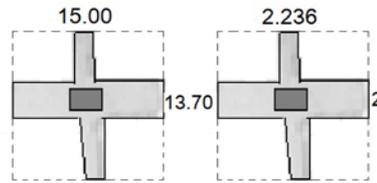


Figura 15 - La cruz de Paquimé alojada en el rectángulo de lados $\sqrt{5}$ y 2
 Fuente: Diseño de los autores en Paintbrush

6 Resultados

Como se ha visto, los observatorios astronómicos mesoamericanos cumplían una función ritual del control del tiempo, no obstante, los fenómenos solsticial y equinoccial que el Sol perfilaba en los pirámides, cruces y otros receptáculos, cambiaba cada que concluía el ciclo de rotación de este astro, por lo que al inicio de uno nuevo “[...] las construcciones se tenían que alinear de nueva cuenta, lo que explica el por qué algunas obras tienen agregados basamentos o contrafuertes” (FLORES, 2008, s. p).

Esta regulación aparece en numerosos receptáculos, como en el templo de Tláloc en Teotihuacán - cuenta hasta con cuatro cuerpos superpuestos en el templo principal - el templo del dios del Aire en Zempoala - éste último denota superposiciones de otros edificios más antiguos -, en los templos de los Guerreros - en su interior contiene la construcción de otro más remoto - y el de Kukulcán en Chichén Itzá - su actual estructura encubre otro templo primitivo -, así como en la pirámide de Tenayuca, al norte de la Ciudad de México - la pirámide cuenta con una superposición de hasta ocho edificios de diferentes períodos sucesivos - entre otros.

En el caso de la Cruz de Paquimé, al parecer las regulaciones realizadas para asegurar el fenómeno solsticial y equinoccial en diferentes épocas, hicieron que los sacerdotes modificaran la traza original del mismo, así como aquellas de las plataformas circulares, sin que previnieran en el nuevo basamento las condiciones de trazado y alineación de origen. Con todo y las modificaciones que se hubieran realizado, la salida del Sol ocurre, actualmente, por el Este franco del montículo el 21 de marzo y el 21 de septiembre. En el cruce de ambos ejes se encuentra una piedra plana rectangular de poco espesor que mide 2.04 por 1.65 m, en la que se supone se colocaba el observador (Figura 15). La proporción entre ambos lados de la piedra: $\frac{2.04}{1.65} = 1.236$, es exactamente igual al valor de la extensión del lado de medida 2 del rectángulo de Fibonacci que se construyó con el cuadrado doble en la Figura 12, esa extensión corresponde a $\sqrt{5} - 1 = 1.236$, siendo que estos últimos lados están en proporción con el ciclo de Venus y el año calendárico de 365 días, es decir: $\frac{2}{\sqrt{5}-1} \approx \frac{584}{365} = 1.6$.

Las configuraciones geométricas contenidas en el Montículo de la Cruz no son casuales, y fueron previamente prediseñadas en planos de ingeniería semejantes a los que utilizan en la actualidad los topógrafos, en tanto que los trazos correspondientes para la ubicación de los cajones sobre los que descansa, pudieron haberse realizado de manera parecida a la construcción de los rectángulos que se diseñaron en las Figuras 12 y 13. Con las debidas reservas, este punto de vista se puede generalizar para el diseño y construcción de los centros ceremoniales mesoamericanos.

7 Conclusiones

Como se ha visto, la práctica social de la construcción de centros ceremoniales, principalmente observatorios astronómicos, se determinó por el trazo de dos ejes cuyas rectas se colocaban una a 45° y otra a 135° , ambas respecto al eje horizontal de las abscisas, las cuales servían para dar tránsito al Sol durante los períodos solsticiales y equinocciales. Esa actividad se desarrolló por aproximadamente 30 siglos, desde su inicio en Stonehenge hasta su culminación con la construcción de las pirámides de Kukulcán en Chichén Itzá hacia el año 800 d.C., así como el montículo ceremonial de Paquimé hacia finales del 1100 d.C. En los registros de las culturas involucradas la actividad es semejante, en todos los casos los grupos se sujetaron a la norma que accionaba la definición del cruce de ambas rectas, cambiando siempre la forma del resultado: templos, pirámides, altares, cruces etc., debido esto último a las condiciones geográficas, climáticas y materiales de cada región. Sin embargo, otros resultados importantes que arrojó el estudio de la práctica se aprecian en los referentes científicos, sobre todo en los sistemas numéricos y astronómicos desarrollados por los antiguos mayas y toltecas para ese mismo fin, los cuales tendrían una evolución importante que se puede mirar en los diferentes discos solares que con poco interés se han estudiado, excepción hecha del Calendario Azteca, sin mencionar el impacto de la amplia influencia cultural y religiosa de los íconos relacionados con sus deidades.

Referencias

ÁVILA, R. **Los pueblos mesoamericanos**. México: Dirección de Publicaciones del Instituto Politécnico Nacional, 2002.

BIBBY, G. *Hace 4000 años*. Barcelona, Círculo de lectores, 1972

BRANIFF, B. **Paquimé**. Colección Fideicomiso Historia de las Américas, Serie Ciudades. México: Fondo de Cultura Económica, 2009.



BRODA, J. Astronomical knowledge, calendarics and sacred geography in ancient Mesoamerica. In: Clive L. N. Ruggles y Nicholas J. Saunders (Ed.). **Astronomies and Cultures** Niwot: University Press of Colorado, p. 253-295. 1993.

CEDEÑO, J. Cosmología y arquitectura. El caso de la Cultura de las Mesas. **Dimensión Antropológica**, México, 1998. Disponible en: http://www.dimensionantropologica.inah.gob.mx/?page_id=4947>. Acceso en: 1, ene. 2014.

FLORES G, DANIEL, Coloquio de Arqueología, Arquitectura y Cronología en el México Antiguo, Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) Museo del Templo Mayor, 2008. Disponible en: <http://www.informador.com.mx:80/tecnologia/2008/34407/6/fueron-los-astros-ejes-para-la-construccion-de-ciudades-y-edificios.htm>, Acceso en: 2 de agosto de 2014

FÖRSTEMANN E. W. Commentary on the maya manuscript in the Royal Library of Dresden. **Papers of the Peabody Museum of American Archeology**, IV, 2, Cambridge, Harvard University. 1906.

GARCÉS, G. **Pensamiento matemático y astronómico en el México precolombino**. México: Instituto Politécnico Nacional, 1982.

MORA, J. Prácticas y conceptos prehispánicos sobre el espacio y tiempo: A propósito del calendario ritual mesoamericano. **Boletín de Antropología Americana**, México, No. 9, julio 1984, p. 5-46.

MOSCOVICI, S; HEWSTONE, M. La representación social: fenómenos, conceptos y teoría. En S. Moscovici/Ed. **Psicología social II: Pensamiento y vida social**. Barcelona: Paidós, p.469-710, 1984

MORLEY, S. **La civilización Maya**. México: Fondo de Cultura Económica, 1964.

RODRÍGUEZ, J, G. **Stonehenge, donde los astros y dólmenes danzan**. **Astronomía Digital**, No. 3. Sociedad Astronómica de La Laguna (México). Disponible en: <http://www.astro-digital.com/3/stone.html>>. Acceso en: 18, dic. 2013.

SÁNCHEZ, B. I; CAMACHO, A. **Función matemática**. El concepto entre los docentes a través de representaciones sociales. Saarbrücken: Académica Española, 2011.

VEGA, C. **El curso del sol en los glifos de la cerámica azteca tardía**. Disponible en: <http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/revistas/nahuatl/pdf/ecn17/269.pdf>>. Acceso en: 5, ene. 2014.

ZUCKERHUT, P. Cosmovisión, espacio y género en México antiguo. **Boletín de Antropología Universidad de Antioquia**, Medellín Colombia, Vol. 21 No 38, pp. 64-85, 2007.

**Submetido em Maio de 2014.
Aprovado em Julho de 2014.**