

ARTÍCULO

## ARQUEOASTRONOMÍA APLICADA AL CASO DE TULA: AVANCES PRELIMINARES

Héctor Patiño Rodríguez Malpica

## Arqueoastronomía aplicada al caso de Tula: avances preliminares\*

### Resumen

Es una tarea postergada el estudio de los conocimientos astronómicos alcanzados por los toltecas para construir su antigua ciudad acorde con la dinámica celeste. Una propuesta de esa naturaleza dirigida a investigar la arquitectura y urbanística mesoamericana, debe hacer que los conocimientos obtenidos del análisis de una de las ciudades comparadas pueda ser sugerente o hasta definitivo para despejar y/o comprender los conocimientos alcanzados en los otros centros.

La Arqueoastronomía –como disciplina encargada de esa clase de investigación, adquiere cada vez mayor solidez en lo que a teoría y método se refiere. Al ser parte de algunas líneas de investigación a nivel posgrado, es muy exigente dado que requiere la documentación del tránsito del sol durante todo el año para evaluar y abstraer el “calendario de horizonte”, más todavía si se pretende detectar su intervención en el desarrollo de la morfología de la ciudad, en correspondencia con el desarrollo geométrico. A esta disciplina se le considera como astronomía tradicional, cultural o popular, debido a que permite dar cuenta de una realidad antigua que marcaba el ritmo de las actividades colectivas, tanto la actividad agrícola, como la liturgia y el ritual. El conocimiento astronómico debió tener un lugar especial entre las formas de saber mesoamericano y que hemos perdido casi por completo –como parte de tantas otras cuestiones que fueron arrancadas de estas tierras a partir de la Conquista.

Es posible considerar que los toltecas entablaron una relación armónica con el paisaje –o que al menos así lo buscaron. En Tula Chico –en forma contemporánea con Xochicalco–, se gesta el centro ceremonial de tradición tolteca durante el Epiclásico, después de unos 300 años de vida, tuvieron necesidad de mudar de recinto ceremonial y esa experiencia hizo que Tula Grande quedara bien emplazada en un lugar acorde con sus necesidades y su pensamiento. La organización triádica se encuentra en Tula todavía en forma simbólica, pero es en Chichén Itzá donde alcanza su máxima organización; en forma precisa con el desarrollo del ángulo radián. En Tula se debió dar un juego de ensayo y error hasta generar ese espacio sagrado, cuestión que ya no afecta el desarrollo urbano de Chichén Itzá.

Ahora interesa ver lo que depara esa faceta de investigación arqueoastronómica aplicada a esos edificios, que al parecer tuvieron un papel central en el desarrollo de la morfología de la ciudad mesoamericana. Dada su morfología plano-alargada, el juego de líneas paralelas operaba en conjunto para organizar esa coyuntura de partes. Surge así un juego de preguntas: ¿son o no astronómicos?, ¿solamente lo son geoméricamente hablando?, etc.

Como es conocido, existen una serie de pasos y técnicas para evaluar esa intervención de la

astronomía antigua en el trazo y desarrollo del corazón de las ciudades de la antigua Mesoamérica. En el estado actual de los conocimientos, nadie duda que se dio la unión entre la geometría y la Astronomía, pero todavía no sabemos bien a bien en cuál sentido, cómo se hizo la coyuntura, que implicaciones sociales tenía, etc.

Cabe preguntar entonces si interviene un “plan astral” en la concepción de la ciudad Epiclásica de tradición tolteca, parecido al de Teotihuacán que ha sido ampliamente estudiado, y de qué manera interviene en Tula. Corresponde estudiar esa ideología astronómica teotihuacana que supuestamente fue aplicada en Tula.

Pero hacer un estudio de esa naturaleza no es cosa fácil y nos mete ante todo en la complejidad propia de la arqueología –en su parcialidad y carácter muestral. Finalmente, no está dicho todo en ese campo de la astronomía antiguamente implementada para desarrollar el centro ceremonial mesoamericano.

**Palabras clave:** Arqueoastronomía; Tula; Astronomía; Arqueología.

## **Archaeoastronomy applied to the case of Tula: preliminary progress**

### **Abstract**

It's a work delaying the research of knowledge astronomic reach by the Toltec's for build the ancient city of Tula accord to the celestial dynamic. Is possible consider the Toltec skill for harmonic relationship with the landscape or almost look to it, but rest investigate in what sense.

The Archaeoastronomy get even more firmness in that a method and theory relate. Considerate traditional astronomy, cultural o popular, the quid is that permit to give account of an antique reality that marked the rhythm of the collective activities, so like the building or agriculture activity, liturgy and ritual. Implies a great responsibility because require the documentation of movement of the celestial bodies; particularly the transit of the sun during all of year to evaluate and abstracted the “calendar horizon”. So much, to pretend discover this intervention in the morphology of Mesoamerican city in corresponds to the geometrical development. The astronomical and geometrical knowledge will have a special place between the forms of Mesoamerican wise and most of them lose for complete.

The present essay is formed by two parts. One considers what correspond with the study of

Astronomy applied in the conception of Tula Grande precinct and the other with the geometry. For lack of space, only is possible present what correspond with the advances from Archaeo astronomical observation realize at Tula in recess a similar opportunity four expose the geometrical question like second part. Is necessary considers that geometrical appear conform the key stone between the observation of stars and establish the eminencies of landscape, but fault of investigation for abstracted the form like the city reach this unity.

Our hypothesis is that an array of factors (the sun transit, the landscape and some angles observed with relation to the precinct of Tula Grande), would intervene for distribute certain buildings. The question is to seek what afford the Archaeo-astronomical research takes like a referent the landscape and certain buildings, particularly the pyramidal building, the halls of colonnade and the ball courts what appear have a central place in development of the morphology of the Mesoamerican city. Because the form long-flatted of this buildings, the play of parallel lines operated conjoined the parts that arranged this union, at least in a geometrical sense or in a "grid" that in cases played a particular place in development of urban morphology.

An array of questions to go up: are or not astronomical structures, or only are geometrically speaking, and so on. In the actual state of knowledge, no bodies doubtless that the Toltec's realize the union of astronomy and geometry, but today is unknown to us in what sense is done, or how was the quid of the union, what social implications to had, etc.

**Keywords:** Archaeoastronomy; Tula; Astronomy; Archeology.

## Introducción

Es una tarea postergada el estudio de los conocimientos astronómicos y geométricos alcanzados por los toltecas para construir su antigua ciudad acorde con la dinámica celeste. Es posible considerar que para ello entablaron una relación armónica con el paisaje y que así lo buscaron al edificarla.

En cuanto a su teoría y método, la Arqueoastronomía adquiere cada vez mayor solidez. A veces nombrada astronomía cultural o tradicional, permite dar cuenta de esa realidad antigua que marcaba el ritmo de las actividades colectivas: edilicia, agrícola, beligerante o ritual. El registro del tránsito solar es el instrumento que permite fijar cada fecha en correspondencia con el “fenómeno de horizonte” dados en algún lugar; en nuestro caso, evaluamos específicamente su intervención en la morfología del núcleo urbano de Tula Grande.



Figura 1. Localización de los sitios mencionados en el texto. Círculo: Alta Vista; Cuadrado: Teotihuacán; triángulo: Tula; recuadro: Xochicalco; detalle de los sitios mencionados del Área maya (dibujo del autor).

El presente ensayo trata lo que corresponde con el estudio de la astronomía y geometría aplicadas en la concepción de ese núcleo urbano. Por falta de espacio, solamente es posible presentar los avances en la observación arqueo-astronómica realizada en Tula, dejando la cuestión geométrica para otro momento. Es necesario reiterar que la geometría contribuye para formar el punto de unión entre la observación de los astros y el establecimiento de los hitos del paisaje (Figura 2). Aunque falta más trabajo en investigación para abstraer la manera cómo se dio esa unidad, considero que se dirige al diseño de la ciudad.

Nuestra hipótesis es que intervienen una serie de factores para distribuir los edificios del núcleo urbano de Tula Grande. El tránsito solar, el paisaje y el ángulo solsticial, dejan ver que esa coyuntura de partes pudo modular la disposición de los lugares geométricos de las pirámides y las salas de columnas, otorgándoles así un papel central en el desarrollo de la morfología urbana. El módulo de los juegos de pelota, con la inscripción del triángulo y la cuadrícula, forma la disposición complementaria que determina la distancia a lo largo y ancho del núcleo urbano; será estudiado y presentado en otra parte (Patiño, s/f c).<sup>1</sup>

\*En el marco de las actividades realizadas para cursar el Doctorado en Arquitectura (PA-FA-UNAM), semestre 2013-1.

<sup>1</sup> Aprovecho la oportunidad para agradecer al Dr. Robert H. Cobean y al Mtro. Luis M. Gamboa las facilidades otorgadas para realizar esta investigación en la Z. A. de Tula, Hgo., contando con toda la ayuda recibida en el curso de las observaciones de campo. Cabe agregar que sería imposible llevar a la práctica este estudio sin el apoyo incondicional del Dr. Cobean durante un lapso que lleva poco menos de treinta años y el apoyo

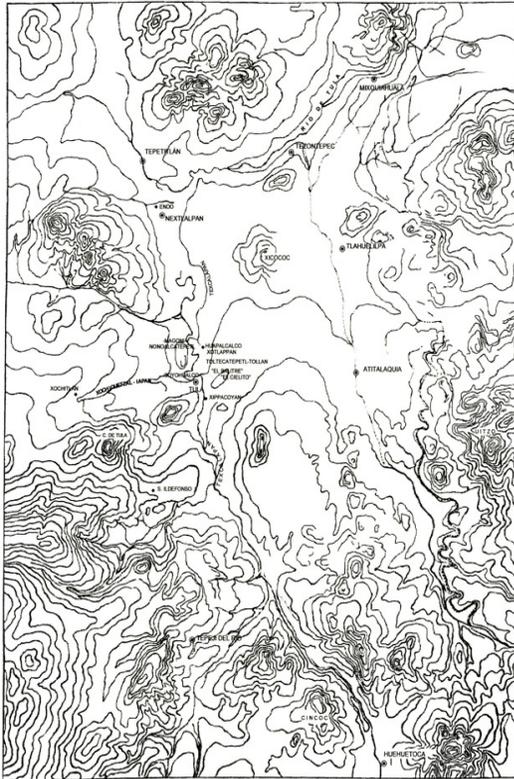


Figura 2. Geografía sagrada de Tula. (Plano de Moedano, 1945-1946, con modificaciones posteriores preparadas por la desaparecida Dra. Alba Guadalupe Mastache para la edición de esa tesis como objetivo del Proyecto Tula).

## Antecedentes

Los autores que han impulsado esta disciplina en el caso del México antiguo, ofrecen algunos conceptos necesarios para reflexionar las observaciones realizadas (Aveni, 1984, 1991; Hartung, 1969, 1977, 1978, 1980; Tichy, 1978; Aveni y Hartung, 1985; Broda, 1978, 1986; Sprajc, 2001). De su lectura destacan dos tendencias que se generan dado el carácter de los referentes. Una implica la necesidad de alcanzar el mayor grado de exactitud posible y la otra, por el contrario, no justifica la necesidad de tanta exactitud, sino de un mayor nivel de profundidad hermenéutica o interpretativa (*infra*).

Aveni (1984) divide en dos bloques la postura que busca la exactitud. El cronológico, que investiga los conocimientos alcanzados en cuanto al cómputo del tiempo y el arquitectónico, que corresponde con la reproducción del espacio (Figura 3). Aquí me ocupo del último, limitándonos a la orientación de la traza y la alineación de aquellos edificios que “miran” hacia algún

hito en el horizonte o su eje de simetría apunta hacia la salida o puesta de sol, etc. El autor comenta que “Una importante pista permaneció oculta en la arquitectura; el último decenio de investigación maya ha mostrado que muchas construcciones se encuentran alineadas hacia eventos astronómicos que ocurren en el horizonte”; en este sentido: “Gracias al empleo del teodolito para la recopilación de datos acerca de la orientación astronómica de las zonas arqueológicas del centro de México, se ha puesto de relieve un hecho de sumo interés: todos estos lugares se encuentran sesgados en sentido de las manecillas del reloj, desde el norte...” (Aveni, 1984: 113-114).

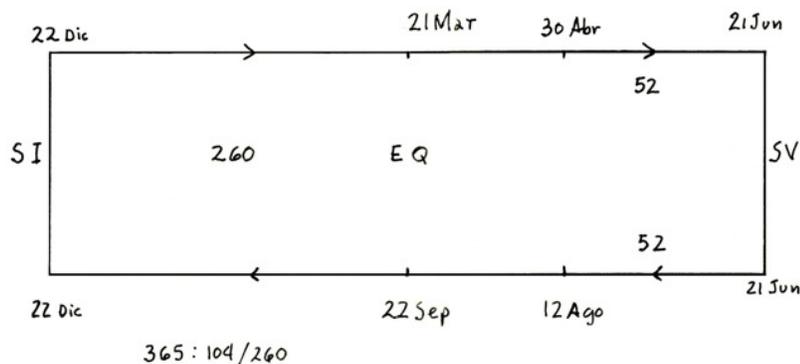


Figura 3. Ejemplo de diagrama temporal con la alineación solar en este caso de la Casa E de Palenque (después de Galindo: 2001: 298).

del Mtro. Gamboa para los últimos diez años de investigación en Tula. También quiero agradecer al Sr. Bernabé Jiménez y a su familia por haberme acogido en Tula durante las noches y frías madrugadas de observación, para ellos toda mi estimación y aprecio.

Como consecuencia de esa reflexión, Aveni y Hartung (1985: 9) enfocan la “...conexión entre la alineación y la hipótesis calendárica”. Abordan la significación astronómica de Teotihuacán, ejemplificando (*infra*) la forma cómo pudo orientarse ese antiguo centro 15° Este del Norte (*loc. cit.*, p. 2-4).<sup>2</sup> Sobre la profundidad de la tradición teotihuacana y su amplia extensión que observan hasta Alta Vista, Zacatecas, la relacionan con la presencia de las cruces punteadas como instrumentos dirigidos para orientar los edificios y espacios con exactitud (Figuras 4 y 5).<sup>3</sup>

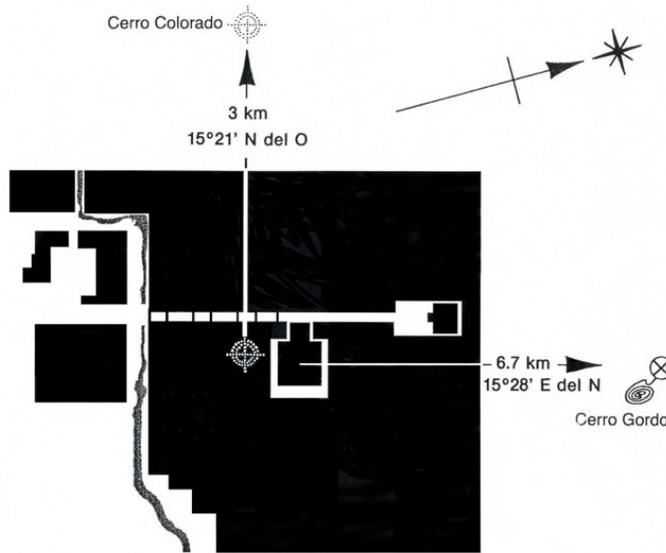


Figura 4. Orientación canónica de Teotihuacán (después de Aveni, 1991: Figura 68).

Ahora bien, Hartung (1980: 145) es el autor más propositivo con respecto al enfoque astronómico-arquitectónico. Estudia los emplazamientos mesoamericanos mostrando esa estrecha relación para el caso de la cultura maya. Destaca el papel que tiene “la arquitectura en la Arqueoastronomía”, y critica que no se recurra al especialista para realizar la conservación de los alineamientos. Agrega que “El punto clave en el proceso de conservación o restauración es que generalmente existe una sola oportunidad para hacerlo correctamente.” Cuando las “... consideraciones y decisiones hechas en ese preciso momento pueden salvar o deformar un monumento”, es “...extremadamente importante reconocer, cuando se está excavando una estructura, si existe en esta una probable relación astronómica, a fin de detectar los correspondientes alineamientos y líneas visuales con la mayor exactitud posible” (*ibíd.*).

<sup>2</sup> Para verificar la incidencia de la ideología astronómico-geométrica de tradición clásica en el diseño aplicado en Tula Grande o si participaron otras tradiciones, es necesario evaluar la persistencia de esos conocimientos, si permite calcular distancias y si el tránsito solar en combinación con el paisaje generan un “calendario de horizonte”, propicio para determinado lugar, como el caso de Tepeapulco, Hidalgo (*cf.*, Sánchez y Salinas, 2010). Aprovecho para indicar que en vez de ese término he optado por emplear uno más neutral como “fenómeno de horizonte” que retomo del Dr. Daniel Flores, comunicación personal noviembre de 2012. Por otro lado, de un colega retomo las categorías del paisaje cultural para especificar el tipo de horizonte: con el lejano, no importa si uno se mueve, el sol se ve casi en el mismo punto; con el cercano, cambia la perspectiva del sol si nos movemos un tanto y, en el caso del horizonte próximo, hay modificación si nos movemos ligeramente (Comunicación personal, 1012; Cruces, 2010). También cabe indicar el rango del tránsito solar en el horizonte o ángulo de apertura de la visual en el sentido horizontal (+/- 46°) y el tamaño que presenta el disco solar (30' o 32' de arco, Sprajc, 2001: 41), como parte de la información necesaria para “cuadrar” las observaciones.

<sup>3</sup> Es posible considerar que esa ideología astronómico-geométrica primero habría incidido en el desarrollo formal del núcleo urbano de Tula Chico.

Establece una serie de lineamientos para localizar los puntos de observación y referencia que marcan las direcciones principales, “intencionales” como les llama Sprajc (*loc. cit.*), o canónicas como prefiero llamarles. Primero, es necesario establecer los puntos de observación y los edificios relacionados con los eventos celestes (para observar los astros o que se alineen con ellos). Segundo, cabe determinar las “...líneas de origen astronómico entre los edificios de orientación diferente.” Advierte que esto debe hacerse “...sin confundir esa clase de líneas y relaciones con aquellas que se originan en una composición visual-funcional” (Hartung, 1980: 146).

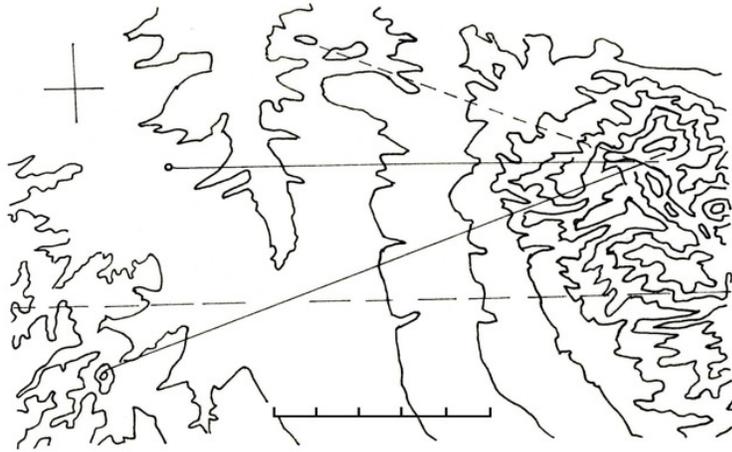


Figura 5. Fenómeno de horizonte en Alta Vista, Zacatecas. La escala indica 5 km y la flecha en cruz el norte verdadero (después de Aveni y Hartung, 1985: Figura 5a).

Con este procedimiento, descubre una serie de orientaciones y “coincidencias” visuales para diversos sitios mayas: Tikal, Piedras Negras, Palenque, Yaxchilán, etc. (Figura 1). Al estudiar la geometría implícita en la concepción de los centros ceremoniales mayas, localiza una serie de relaciones entre algunos alineamientos, puntos y ejes de los edificios. Por ejemplo, en Tikal, Guatemala, observa la reiteración de los ángulos de 90°, 45° y 30°, y considera que “...probablemente el ángulo recto formaba parte esencial del conocimiento geométrico de los mayas...” (Hartung, 1977: 112-116, Figura 9) (Figura 8 a).<sup>4</sup>

También estudia el recinto de Chichén Itzá, donde las direcciones de sus edificios corresponden con el tránsito solar y las estrellas alineadas con sus ejes en ventanas y puertas, pasando por los centros o las esquinas. En este lugar fijaron los referentes con procedimientos de medición propios de la astronomía, como de la geometría y la agrimensura (*cf.*, Vives, 1935). Hartung observa que los lugares geométricos de los juegos de pelota forman ángulos radianes con el cierre focal de cada dirección y que tienen como vértice al edificio llamado El Caracol (1968: 22, Figura 1; 1977: 125).<sup>5</sup> Esto es importante porque prueba que interviene la observación astronómica al precisar y coordinar los lugares geométricos bajo una organización tríadica (Patiño,

<sup>4</sup> Es claro que la geometría debió tener un origen en la cosmovisión y en el pensamiento profundamente religioso –con individuos sobrecogidos por el cielo, de carácter inconsciente siguiendo la reflexión de Hartung (*loc. cit.*).

<sup>5</sup> Un ángulo radian mide 57° 17' 44.8” y es necesario para determinar el ángulo complementario al restarle  $\pi$  al ángulo observado o construido. Tichy (1978) deriva un ángulo de 4.5° constante para Mesoamérica, divisible en múltiplos de veinte; es ejemplo del conocimiento necesario para armonizar las partes, etc.

s/f c) (Figura 8 b).<sup>6</sup>

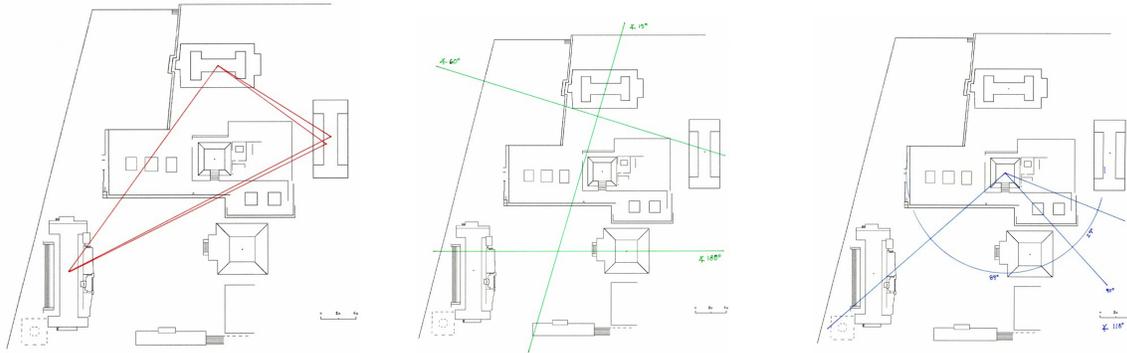


Figura 6a, b y c. Recinto de Tula Grande. Línea roja: probable posición del lugar geométrico del juego de pelota 3 fijado con los vértices de un triángulo rectángulo o cuasi-rectángulo. Líneas en verde: ángulos que atraviesan el recinto, se estudia si lo hacen en un sentido rector. Línea azul: probable geometría aplicada en la descomposición del ángulo “solsticial” de 118° (dibujos del autor).

## Metodología

Este ejercicio sigue los lineamientos que propone Hartung (*supra*), además de oscilar entre las dos tendencias señaladas, la que defiende que la exactitud es condición necesaria para estudiar el fenómeno de horizonte y los alineamientos arquitectónicos, y la que ve como pura ilusión ese afán por la exactitud. El análisis evita por método la tendencia no exacta. Intervienen muchos factores para la elección de un sitio, para determinarlos debemos elevar el nivel de profundidad hermenéutica requerido para develar esa relación entre el cosmos, el paisaje y el espacio construido (*cf.*, García Zambrano, 2006). Se admite que debieron pesar los factores de carácter astronómico, pero no eran los únicos implicados para configurar la ciudad tolteca.

Fecha canónica	Acimut oriental	Acimut occidental	Suma y diferencia	Ángulo	Comentarios
Agosto 12-13	70°	250°	320°-360°=40, 20° oriente* (¿?)	180°	Mala visibilidad, declinación occidental tentativa.
Septiembre 11-12	80°	260°	340°-360°=20, 10° oriente	180°	Visita no realizada, declinación del todo inferida.
Octubre 8-9	90°	270°	360°-360°=0 (¿?)	180°	Buena visibilidad en el perfil occidental, declinación oriental tentativa.
Noviembre 3-4	100°	240°	340°-360°=20, 10° oriente	156°	Visibilidad regular, declinaciones tomadas con brújula Brunton.
Diciembre 21-22	111°	228°	339°-360° = 21, 10.5° oriente	118°	Buena visibilidad, tomadas con brújula de topógrafo. Orto heliaco con la salida de Venus por el horizonte oriental; al final del ciclo el cuarto creciente se observó por el lado occidental.

Cuadro 1. Observaciones en Tula Grande (agosto-diciembre 2012). (\* La resta de 111° menos 46° del ángulo del tránsito solar da 65°, así que ese acimut de 70° parece ser real, falta verificarlo).

<sup>6</sup> Cabe señalar que la organización triádica se encuentra en forma aparentemente simbólica primero en Tula y en Xochicalco –lugar de reconocida significación astronómico-geométrica, pero es en Chichén Itzá donde alcanza ese máximo nivel de organización (*cf.*, Patiño, s/f).

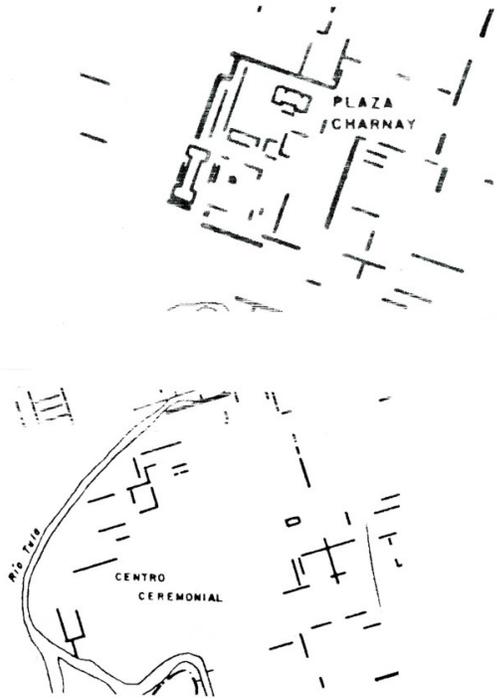


Figura 7. Detalle de las trazas en Tula Grande. Arriba: Tolteca A, 17° Este del Norte. Abajo: Tolteca B, 18° Oeste del Norte (después de Mastache et. al., 2002:).

Dado que es algo muy tenue, falta mucho trabajo para percibir ese tránsito de lo observacional astronómico y paisajístico a lo geométrico. Pero son relevantes dos cuestiones que han surgido en el curso de la presente investigación. Por un lado, se aprecia que los edificios y sus alineamientos vienen a ser instrumentos de observación para marcar los puntos de referencia y trazar las visuales. Por otro lado, del análisis de la investigación previa en ese núcleo urbano y del trabajo de campo, surgieron una serie de ángulos de naturaleza evidentemente astronómica y geométrica (Cuadro 4). Este ensayo es exploratorio en ese sentido, pero suficiente para justificar la forma cómo considero fueron utilizados esos conocimientos al momento de emplazar los edificios.

En cuanto a los métodos técnicos, la serie de mediciones y rectificaciones permite ensayar una planta, todavía imprecisa, que se acerque a sus dimensiones reales (Figura 6 a).<sup>7</sup> En este caso, la observación del tránsito solar y estelar no se hizo con instrumentos ópticos de alta precisión; así, es difícil fundamentar la serie de cálculos a partir de una base empírica tan limitada. Tampoco el registro de los alineamientos se hizo con la precisión requerida, lo cual es un problema si queremos considerarlos como indicadores arqueológicos relacionados con el uso de marcadores temporales y espaciales, propicios para coordinar la disposición de los edificios en un contexto arquitectónico monumental. El registro se hizo con instrumentos de exploración básica y con un procedimiento sencillo pero bastante informativo, en el cual persiste un error más o menos de un grado, pero este método técnico permite marcar las entradas y puestas del sol en cada horizonte según lo permitan las condiciones atmosféricas (Cuadros 1, 3-4, Figuras 13 a-c, 15 a-b y 16).

Aplicado rigurosamente, este método compensa la falta de exactitud para derivar los ángulos y marcar las direcciones acimutales que permitan obtener el norte verdadero, determinar la orientación con respecto al Norte Magnético y la Línea de Base que implica tres orientaciones (la geográfica, la magnética y la astronómica), hasta obtener la Declinación (*Manual de...*, pp. 72-79, 91, Figura 70) (Figura 14 a).<sup>8</sup> Este procedimiento es seguro y permite evaluar su relatividad

<sup>7</sup> Es necesario rectificar esta planta ya que en realidad es más prolongado su eje norte-sur, lógicamente ese dibujo deberá evolucionar hasta llegar a la versión final. La toma de medidas, implica depurar los alineamientos con respecto a si fue acertada o errónea su conservación, tarea realizada desde 1994.

<sup>8</sup> El método aplicado consiste en la "Determinación del Norte Verdadero por medio de la salida y puesta de los astros", donde "Se observa el azimut del sol... a su salida o a su puesta en el mismo día o a la puesta en un día y a su salida al siguiente (...) Súmanse estos dos acimut (...) Obténgase luego la diferencia de la suma anterior y 360 grados. La mitad de esta diferencia es la declinación de la brújula y será Este si la suma de los azimut es menor de 360 grados, y Oeste si es mayor. Este método da mejores resultados si las observaciones se hacen cuando el astro está precisamente sobre el horizonte en una elevación Cero. Esto se podrá hacer si para las observaciones se escoge un punto elevado." (*Manual de...*, pp. 72-79, 91, Figura 70).

contando con un rango de confiabilidad donde importa más que sea consistente con los registros realizados en las diversas temporadas de campo en Tula.

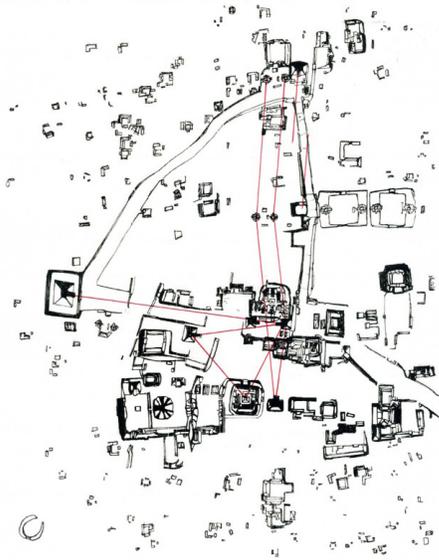


Figura 8a. Ángulos detectados en Tikal (después de Hartung, 1977: Figura 9.1).

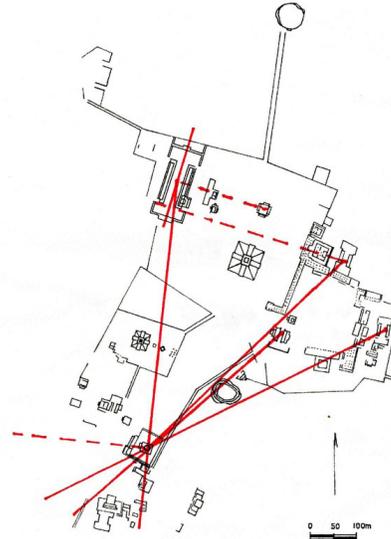


Figura 8b. Puntos, líneas y ángulo radián detectados en Chichén Itzá (después de Hartung, 1968b: Figura 1).

El Edificio B de Tula Grande fue nuestro lugar de observación; en el croquis se observa en el costado norte de la plaza y recorrido al oriente (Figura 6 a). La documentación del tránsito solar se hizo en su parte superior desde un lugar previamente establecido, metro y medio al norte del centro del edificio –señalado por un punto en el croquis (Figura 6 a, b y c). Hoy en día es el edificio elevado más cómodo para tomar las direcciones y visuales *desde un solo punto* (Figura 6 a).



Figura 9. Ángulo de 15° Este del Norte posicionado desde los juegos de pelota principal de Tula Chico y el n° 1 de Tula Grande (dibujo del autor sobre el plano que presentan Mastache et. al., 2002: Figura 5.3).

El registro se hizo para la salida y entrada del sol y en cada caso hacia los hitos en el paisaje que forman parte de ambos horizontes (Figuras 13 a-c, 15 a-b y 16). Es claro que, a pesar de estar uno encima de los edificios piramidales, no se logra ese nivel de elevación Cero que requiere el método antes descrito. No obstante, los toltecas perfectamente pudieron subir al sitio sobre el c. Magoni para realizar las observaciones desde ese lugar que se encuentra 200 m por encima del núcleo urbano; visual (unos 20km lineales) al parejo del pie de la sierra Uitzo (Cuadro 2, véase las alturas correspondientes, Figuras 13 a y c, 15 b).<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Cabe señalar que en el caso de Tula Grande es factible que las observaciones se realizaran desde diversos lugares. En Tula Grande un lugar propicio sería sobre la terraza del Palacio Real de Tula (Edificio 4) en su flanco oriental; explorado entre 2002 y 2004, por razones de conservación se tuvo que volver a cubrir. Ese espacio es el más adecuado para la observación dado que permite una amplia visual en el horizonte oriental dominado por la sierra Uitzo, en particular, la Mesa Grande y el c. del Estudiante (Figuras 14 a y 16 a). Otro lugar de observación pudo ser el sitio ancestro de Tula sobre el c. Magoni, desde ahí se tiene la mejor vista del horizonte oriental que es muy amplia (Figura 14 c; *infra*). Un lugar muy propicio para la observación puede ser el edificio llamado El Corral al extremo norte de la zona arqueológica.

Nombre antiguo	Nombre o referente actual	Dirección, tipo de horizonte, altura y distancia aproximada	Observaciones
Nono alcatépetl	Cerro Magoni, con el sitio ancestro en su meseta.	Poniente, horizonte cercano, 2050-2200 msnm, 200 m al oeste de Tula Grande.	Sitio ancestro, guarda una estrecha identidad con Tula Grande se desplaza en forma relativa a ese recinto que es el triple de su tamaño.
Cerro Uitzo	Sierra Mesa Grande al oriente de Tula; conformada por varios picos.	Oriente, horizonte alejado, Mesa Lechuguilla: 2620 msnm; Mesa la Cruz: 2740; c. del Estudiante: 2620; C. Grande, tres picos: 2640, 2730, 2840; c. Jagüey Seco: 2830 msnm, a poco más de 20 km al oriente de Tula Grande.	Cerro del Estudiante, guarda una estrecha identidad con Tula Grande; se habla de un santuario con una escultura de Tláloc. El recinto de Tula Grande corre aparentemente paralelo con esa sierra: el pico Mesa Lechuguilla empata con el JP1, la Mesa la Cruz con el Edificio B y el C. del Estudiante con el muro sur del Edificio C.
Cerro Cincoc	Cerro Jorobas, c. El Epazote en la carta 1:250,000.	Sur, horizonte alejado, +2600 msnm, a unos 40 km de Tula Grande.	Eminencia al sur-sureste.
Cerro de Tula	Cerro Grande o Cerro Blanco.	Suroeste, horizonte medio, tres picos, los dos orientales 2400 msnm y el occidental 2350, a unos 10 km del recinto.	Es donde se pone el sol durante el solsticio de invierno.
Arroyo Xochiquetzal-iapan	Xochitlán, lugar de las huertas de Quetzalcóatl.	Poniente, no se observa desde el recinto de Tula Grande.	Con rumbo a la actual colonia La Malinche, etc.
Toltecatépetl-Tollan	Cerro El Tesoro.	Centro, punto de observación, 2050-2070 msnm.	Actual zona de monumentos y colonia El Tesoro (16 de enero).
Xicococ	Xicuco	25.30°/ 26° Acimut Norte.	Principal referente de identidad al llamársele al lugar: Tollan-Xicococ.
Xippacoyan	Área de placeres del río Tula, con bancos de arcilla y piedra “jabonillo”.	Sur, horizonte cercano, 1 km.	Lugar donde se lavan turquesas (etimología del autor).
Huapalcalco-Xotlappan	El primer asentamiento en la serie de colinas de Tula.	Norte, horizonte cercano, 2060 msnm, a 1.5 km al norte de Tula Grande.	Zona de monumentos en Tula Chico.
Texcalapan	Río Tula.	Sur, horizonte medio, da vuelta a la colina donde emplaza el asentamiento.	

Cuadro 2. Referentes en el paisaje lejano, próximo e inmediato a la antigua ciudad de Tula (después de Moedano 1945-1946, con la información del Sr. Bernabé Jiménez Santos (informante local) y la información complementaria del guía de Tula, Sr. Agustín Suárez Cortés).

El análisis antes considerado y el aludido método técnico, forman la parte esencial que permite contextualizar en su real dimensión cualquier sitio que presente condiciones para la observación astronómica. Ese registro, junto con la geografía sagrada (Figura 2) y los parámetros fundamentales del calendario ritual mesoamericano, religioso y festivo, permiten determinar cuestiones como el “Registro solar” y la parte media del año (Ponce de León, 1982), mientras los extremos solsticiales completan el esquema (Figura 3); algo semejante pudo ser observado por la gente de Tula.

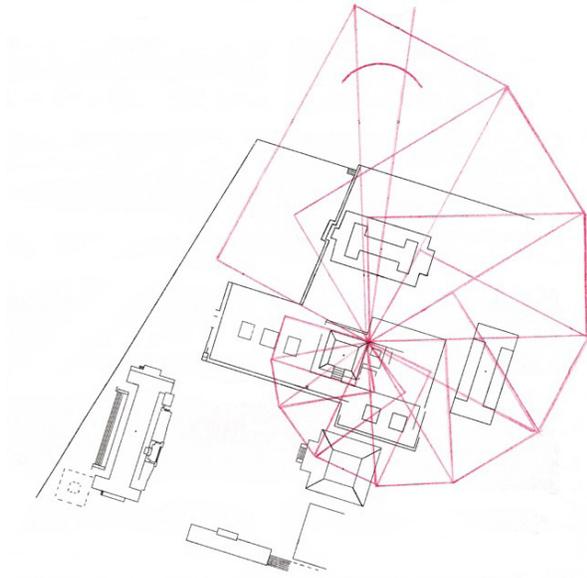


Figura 10. Giro del rectángulo y ángulo de 10.29° (después de Martínez del Sobral, 2000: Figura III.50).

Se estima que los conocimientos sobre astronomía son claves para proyectar y emplazar con una orientación determinada la traza de muchos de los sitios más representativos de Mesoamérica (Hartung, 1978). Si los conocimientos astronómicos corresponden con la distribución, planificación y diseño de los edificios, junto con la geometría implementada para su realización, es de esperar que eso se refleje en el contexto arquitectónico monumental, es decir, en la forma, proporciones y dimensiones que adquiere ese espacio construido.

Es característico del mundo mesoamericano imitar los diversos referentes que ofrece la naturaleza en relación con el entorno construido. Las ciudades muchas veces emulan esa fisiografía o paisaje cultural y el caso del núcleo urbano de Tula Grande no es la excepción. El lugar logra armonizar asentamiento y entorno, es palpable la forma cómo interactúa la arquitectura con las eminencias cerriles, su correspondencia con el tránsito solar y la dirección de las visuales, lo que implica una articulación de conocimientos.

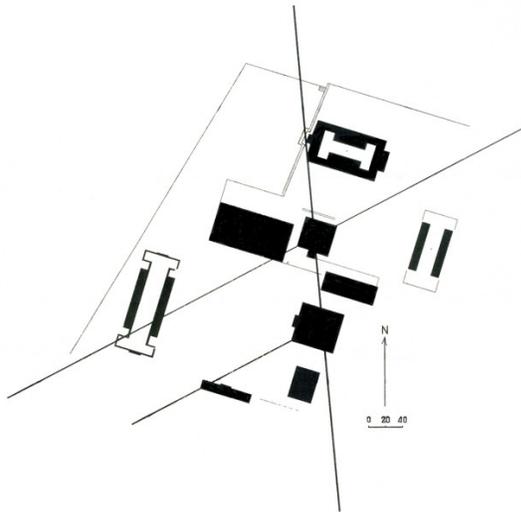


Figura 11. Ángulo de 62° (después de Getino y Cid, 2000: Figuras 5 y 6).

## Resultados

Es parcial el registro sistemático del “fenómeno de horizonte” que se estudia para Tula Grande, hasta la segunda mitad del año pasado (Cuadro 1). Todavía falta verificar la dirección de los alineamientos de los muros en correspondencia con los acimuts documentados y los hitos de la geografía sagrada (Cuadro 3, Figura 2). Establecer ese juego de alineamientos permite conformar un esquema calendárico (Figura 3) y ver cómo influye en la morfología del núcleo urbano –en correspondencia con los conocimientos geométricos y la geografía sagrada.

He intentado resolver parcialmente esa triple relación articulando el método para determinar el juego de acimuts, el análisis del paisaje y el dibujo de la planta suficiente para estudiar el

desarrollo astronómico-geométrico implicado en el emplazamiento y diseño de Tula Grande. Para mayor facilidad de consulta, recopilé las observaciones arqueo-astronómicas en un solo lugar, donde anoté la fecha de la medición, los acimuts registrados, la suma y diferencia de los mismos, la declinación y la serie de comentarios que se les puedan hacer a esos datos, como son las condiciones de visibilidad, etc. (Cuadro 1).

Fechas/eventos	Horizonte oriental	Horizonte occidental	Observaciones
Agosto 12-13	Posiblemente el Cerro Buenavista.	C. Magoni, más o menos en medio (no registrado).	Problemas de visibilidad para determinar el cerro donde ese día salió el sol.
Septiembre 11-12	No observado.	Inferido por intercalado de acimuts.	No observado.
Octubre 8-9	C. del Estudiante.	C. Magoni, costado meridional.	Entre los más significativos.
Noviembre 3-4	C. Dos Nalgas, costado septentrional.	Entre el c. Blanco y el c. Grande.	Entre los más significativos, no se menciona en la geografía sagrada.
Diciembre 21-22	C. Dos Nalgas, costado meridional.	Cumbre occidental del c. Blanco o de Tula.	Entre los más significativos.

Cuadro 3. Relación de fechas/eventos estelares y referentes del paisaje.\* (\*) Falta ver y completar con cuál edificio se relaciona cada hito natural.

Reitero que es todavía incompleto el estudio del fenómeno de horizonte que se presenta en Tula Grande, pero entre esas observaciones destaca un juego de ángulos (Cuadro 4). Esta cuestión ofrece la oportunidad de reflexionar y despejar, al menos parcialmente, esa coyuntura de partes. Veamos el estado de la cuestión para el caso de Tula y posteriormente los ángulos localizados, los documentados previamente y los que fueron detectados en el curso de la presente investigación.<sup>10</sup>

Tula Chico no presenta investigación alguna en este respecto, así que todavía es potencial su significación astronómica.<sup>11</sup> No obstante, se observa un ángulo de 15° Este del Norte para esa época llamada Coyotlatelco. Según la indicación del Dr. Villalobos (Figura 9), se forma juntando con una línea los lugares geométricos de los juegos de pelota principal de Tula Chico y el n° 1 de Tula Grande.<sup>12</sup>

Algunos autores (Aveni, 1991: 256; Aveni y Hartung, 1985; Getino y Cid, 2000: 93; Sprajc 2001: 27), proponen que es de tradición teotihuacana y antecedente de la tolteca. En Teotihuacán el ángulo de 15° Este del Norte se articula con la observación del Orto heliaco de las Pléyades hacia el 150 d. C., y una alineación de 1° con respecto a la línea trazada entre dos cruces punteadas equidistantes sobre la calzada de los muertos y en dirección al poniente (Figura 4). Si fue o no de herencia teotihuacana, el juego de premisas permite sugerir que se trata del paso previo para

10 Antes he señalado que la parte geométrica la trataré en un texto complementario, así que en este lugar únicamente es posible considerar esos ángulos desde un punto de vista astronómico y cartográfico. Considerando un criterio morfológico, la geometría aborda las clases de ángulo que se trata, haciendo intervenir, entre otras nociones, el concepto del punto y la línea, el plano (recto e inclinado), el trazo, la rotación de ángulos y volúmenes, el abatimiento de un ángulo, etc.

11 Este recinto se mantiene sin elementos arquitectónicos expuestos. Al menos los alineamientos se encuentran bajo tierra, y sobresalen someramente de la superficie algunos núcleos y coronamientos de muro; se le encuentra así representado en curvas de nivel; falta estudiarlo en el sentido arqueoastronómico más elemental.

12 Imagino que descubre el señalado ángulo cuando realiza la restitución fotogramétrica de la Zona Arqueológica de Tula, la cual es clave para el estudio, no únicamente de la paleo-topografía, sino para calcular las distancias entre los puntos y las visuales (cfr., Castillo y Dumaine, 1986).

alcanzar la orientación de 17° Este del Norte de la época Tolteca A (Figura 7 arriba). Mientras la dirección de Tula Chico corresponde con la “familia” de orientaciones norte-sur (*cf.*, Aveni, 1991).

13

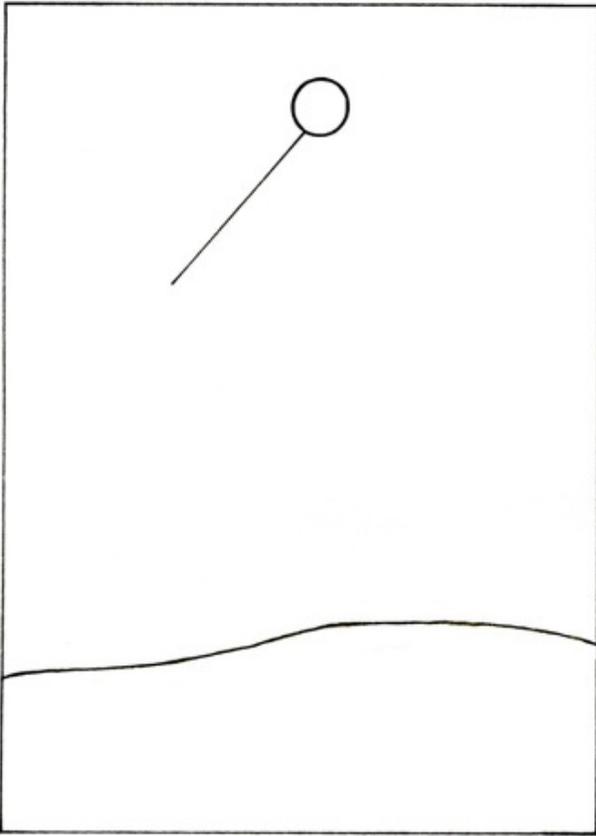


Figura 12. Vista de Venus desde el Edificio C de Tula Grande, la línea inferior es un montaje realizado por el autor que muestra el perfil del c. Magoni (después de Stocker, 1992-1993: Figura 6).

El antecedente inmediato de investigación realizado en el núcleo urbano de Tula Grande, es la toma de orientación de ese recinto elaborada por Ramón Galí (Acosta, 1944: 164-165) durante las primeras temporadas de exploraciones (I-III). Luego de asegurar el cálculo de acimuts, el resultado fue una orientación con un promedio de 17° Este del Norte. Cabe agregar que este núcleo urbano ostenta tres épocas de desarrollo que corresponden con igual número de trazas de proyección urbana ahí detectadas (Mastache y Crespo, 1982; Mastache *et. al.*, 2002; Patiño s/f b): una norte-sur (Coyotlatelco), otra 17° Este del Norte (Tolteca A) (Figura 7 arriba) y de 18° Oeste del Norte (Tolteca B) (Figura 7 abajo). La última implica un giro insólito que suma unos 35°; siguiendo a Martínez del Sobral (2000), el giro del rectángulo puede ser un elemento rector potencial en esa serie de giros que afectan al emplazamiento. (Figura 10).<sup>14</sup>

Con base en la lectura de las fuentes, Stocker (1992-1993: 63-92, 81-84, Figura 6) plantea que el Edificio C de Tula Grande estaba dedicado a Tezcatlipoca. El numen representaba un punto cardinal y su advocación era la “estrella de la tarde” –que precede la muerte del sol. Observa que el templo más prominente del sitio ancestro sobre el c. Magoni se encuentra alineado con el Edificio C y con el planeta Venus para la puesta de sol –que documenta en julio de 1983, formando un ángulo de 180° (Figuras 6 b y 12). Este alineamiento parece entrar en relación con la visual que se dirige al c. del Estudiante (Figuras 13 a y c, 15 a), donde el vértice sería el centro mismo del Edificio C (Cuadros 3 y 4), quizá paralelo al acimut de 104° Oriente, medido para el perfil meridional del primer cuerpo de ese edificio; esos referentes pueden marcar la mitad del año.<sup>15</sup>

13 Las paralelas del juego de pelota principal de ese recinto dan una orientación de 3° Este del Norte (Patiño, s/f a).

14 Ponce de León (1982: Nota 51), señala que la fecha del “Registro solar” en Tula se da “...en los últimos días de julio por estar el horizonte poniente más alto de lo común...según los 17° aprox. al norte del poniente.” Es claro que se refiere a la traza Tolteca B, 18° Oeste del Norte y no a la Tolteca A 17° Este del Norte, así que todavía falta verificar esta relación (Figura 10).

15 La estrella polar presenta una longitud de 90°, mientras la osa mayor se encuentra a los 60°, median entre ellas una diferencia de 30° de declinación sobre la vertical. Entre los apuntadores de la osa mayor hacia la estrella polar hay 30° de ángulo y entre ellos 5° (Zim y Baker, 1956).



No es sencillo explicar la observación descrita, pero desde el núcleo urbano de Tula Grande se observa la salida de la Osa Mayor sobre el cerro Xicuco, al norte de la antigua ciudad. Cuando señalé esa observación en el Seminario de Astronomía de América, uno de los participantes indicó que la salida de la Osa Mayor se da en una latitud de  $40^\circ$ , llenando de interés la relación observada entre el sitio del c. Magoni y Tula Grande.<sup>16</sup>

Falta todavía determinar las implicaciones que tuvieron estos y otros ángulos para su diseño y disposición, lo que importa ahora es que se verifica ese ángulo de  $100^\circ$  (Figura 13 a). Es claro que ese antiguo emplazamiento del c. Magoni pudo guardar una estrecha relación de identidad con el núcleo urbano de Tula Grande y seguramente así lo fue para Tula Chico. Parece ser un punto rector y resta especificar con cuál orientación canónica se relaciona, con las solsticiales o las de carácter equinoccial (Figura 16).

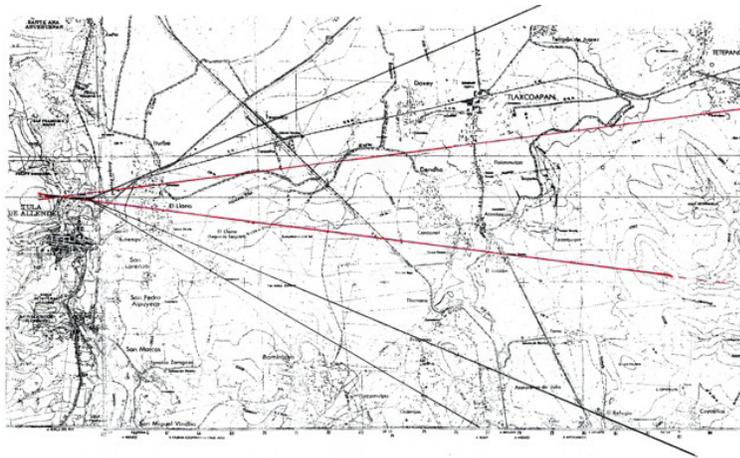


Figura 13c. Amplitud del horizonte oriental en la línea Magoni-Tula Grande (Dibujo del autor).

Respecto de los ángulos observados en el semestre anterior (2013-1), es posible ver (Cuadro 1) que los tres primeros dieron un ángulo dentro del rango de los  $180^\circ$  (Figura 14 b, arriba) y que son los dos siguientes los que dejan ver que cierra el ángulo (Figura 14 c, abajo). En el solsticio de invierno el sol queda “esquinando” o “estacionado” un par de meses en cada horizonte. Al hacerse más cerrada la declinación invernal forma un obtusángulo de  $118^\circ$  (Figuras 14 c, inferior derecha).

Tracé un ángulo recto complementario para hacer ese ángulo discernible y corregirlo y, al inscribirlo sobre el Edificio B de la misma manera como se hizo la medición, se observa que las líneas se abren justamente sobre las esquinas meridionales del edificio (Figura 6 c) ¡dándole un carácter solsticial! A reserva de explorar esta derivación y sin asumir que sea una “pirámide solsticial” –como la de Cholula (Tichy, 1978: 153), sugiero que el núcleo urbano de Tula Grande pudo formarse con un “acomodo solsticial” determinado con esa clase de obtusángulo.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Martínez del Sobral (2000) da un ángulo de  $10.29^\circ$  para mayor precisión; se forma con el giro del rectángulo con su pivote en la esquina inferior noreste del Edificio B. Es posible interpretarlo como indicación de la declinación magnética para el tiempo cuando el Edificio B fue trazado y construido (c. 900-950 d. C.). En el dibujo sobre el croquis preparado aparece ese ángulo pero a la inversa (Figura 13).

<sup>17</sup> La pirámide de Cholula es solsticial, según Tichy (1978), porque le pasa el sol por enfrente y sus esquinas apuntan a las puestas durante los solsticios.

## Conclusiones

El núcleo urbano de Tula Grande parece ser resultado de la unión entre la astronomía, los hitos del paisaje y la geometría. Esa combinatoria hace posible la orientación y distribución de los edificios –junto con la inscripción de figuras geométricas. De ser así, el diseño se supedita a la observación astronómica y el ángulo solsticial sería premisa para el trazado general del sitio. Además, al inscribir el triángulo, el círculo y el rectángulo, observamos muchas coincidencias entre el arco y los ángulos descritos con relación a los lugares geométricos, los ejes y esquinas (Figuras 6 a-c).

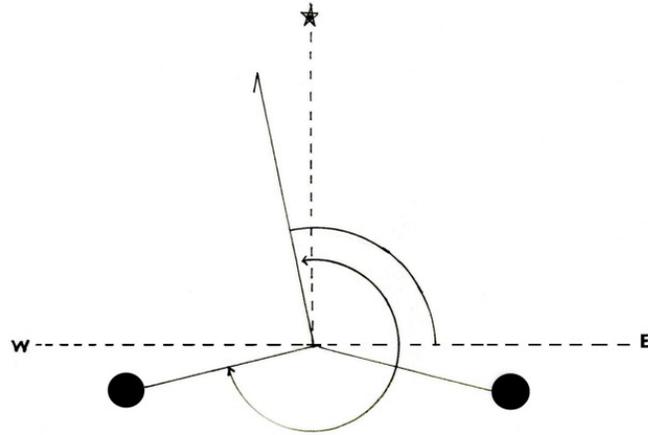


Figura 14a. Esquema del método empleado para la "Determinación del Norte Verdadero por medio de la salida y puesta de los astros", (después de Manual de lectura de cartas, n° 31, EMADEN- SEDENA, p. 91, figura 70).

En forma provisional algunos alineamientos se encuentran relacionados con ciertos referentes solares, celestes y del paisaje lejano, próximo e inmediato al lugar (Cuadros 3 y 4). Todavía falta explorar la relación entre esos edificios y las eminencias cerriles en ambos horizontes, lo cual pudo ayudar a calcular lapsos temporales y marcar la salida y entrada del sol en casos de actividad ritual o cacería de cabezas, etc. (Figuras 13 a-c, 15 a-b, 16).

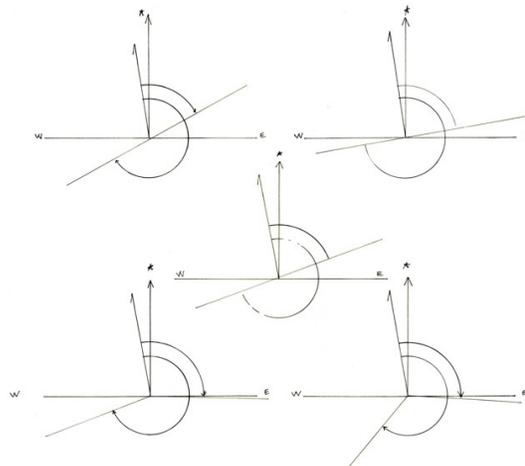


Figura 14b. Direcciones acimutales tomadas sobre el Edificio B de Tula Grande; la dirección temporal se da de arriba hacia abajo: agosto, septiembre y octubre, todas entran en el plano de los 180° (dibujo del autor).

En este “acomodo solsticial”, algunos rasgos del paisaje parecen coincidir con el movimiento del sol y con los espacios que quedan abiertos entre los edificios, mientras los alineamientos, las esquinas y ejes de simetría pudieron funcionar como marcadores en relación con la geografía sagrada (Figura 2). Eso pudo verificarse mejor al ver que coinciden las esquinas de los edificios y de la plaza en general cuando el sol se alinea y estaciona en esas fechas solsticiales, claves para entender su tránsito; falta verificar el solsticio de verano, pero es de esperar que así se observe en el lado complementario (Figura 6 c).

La alineación de los edificios con los referentes de la naturaleza se ejemplifica bien con la longitud entre los costados de los Edificios B y C, distancia que parece corresponder en forma relativa con todo el largo de la sierra Uitzo al oriente de Tula (Figuras 2, 13 a-c). Es lo mismo para el costado occidental donde “a ojo de buen cubero” la distancia entre las construcciones se pudo calcular a partir del costado oriental de la meseta del c. Magoni, ayudando con ello a precisar el tamaño del recinto (Figuras 13 a-c, 15 a y b, 16). Además de esa relación solsticial con el c. Dos nalgas por el oriente y el cerro de Tula por el poniente de la geografía sagrada, la identidad más evidente es la línea que se establece entre el perfil meridional del primer cuerpo del Edificio C y su fuga hacia el c. del Estudiante, que se rectifica con el alineamiento entre ese edificio, el edificio prominente del sitio sobre el c. Magoni y el tránsito de Venus; estos referentes marcan bien la mitad del conjunto que quizá corresponda con la mitad del año.

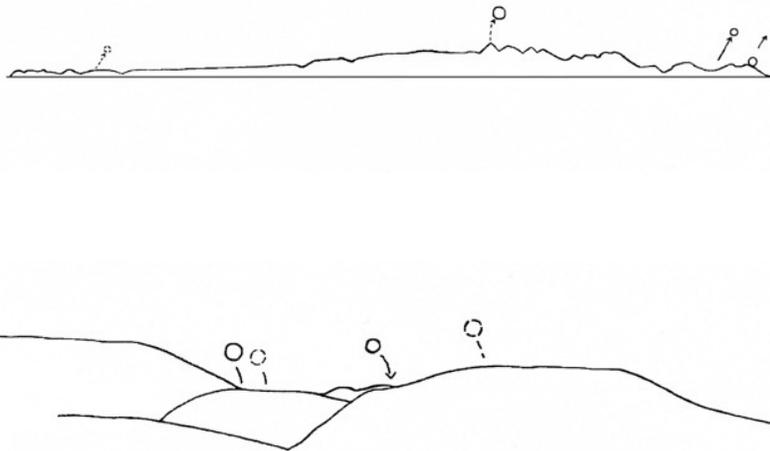


Figura 15 a. Perfil del horizonte oriental desde Tula Grande (dibujo del autor).

Esta combinación de factores deja la impresión que los antiguos toltecas buscaron una “armonía” o estar en concordancia con la geografía sagrada del lugar. Por último, con base en ese ordenamiento y a través de un calendario solar del tamaño del núcleo urbano, esa recurrencia de eventos debió hacer sentir una estrecha relación de identidad con el entorno.



Figura 16. Vista desde el sitio ancestro sobre el c. Magoni (foto del autor).

## Bibliografía

ACOSTA, R. Jorge “La Tercera Temporada de exploraciones arqueológicas en Tula, Hgo., 1942”. *RMEA*, t, VI, n° 3, SMA, México, 1944, pp. 125-164.

“La cultura tolteca y los toltecas de Tollan.” *Arqueología* n° 43, segunda época, enero-abril de 2010, INAH-CONACULTA, pp. 248-257.

AVENI, A. F. “Arqueoastronomía: una nueva disciplina.” *Ciencia y Desarrollo*, n° 58, año X, septiembre-octubre 1984, CONACYT, México, pp. 110-118.

*Observadores del cielo en el México Antiguo*, FCE, 1991.

AVENI, A. F. y Horst Hartung “Las cruces punteadas en Mesoamérica: versión actualizada.” *Cuadernos de arquitectura mesoamericana*, n° 4, julio 1985, FA-UNAM, México, pp. 3-13.

BRODA, Johana “Cosmovisión y estructuras de poder en el México prehispánico.” *Comunicaciones 15*, FAIC, 1978, p. 165-172.

“Arqueoastronomía y desarrollo de las ciencias en el México prehispánico”. *Historia de astronomía en México*, M. A. Moreno Corral (comp.), FCE, México, 1986.

CASTILLO, T. Noemí y A. Dumaine “Escultura en piedra procedente de la zona arqueológica de Tula, Hidalgo, México.” *Beiträge zur Allgemeinen und Vergleichenden Archäologie*, Band 8, Verlag Phillip von Zabern, Mainz am Rhein, 1986, pp. 213-282.

CID, B. José R. y Fernando Getino G. “Astros y montañas, elementos rectores en el trazo urbano en Teotihuacán y Tula.” *Arqueología* n° 24, DEA-INAH, México, julio-diciembre 2000, pp. 87-105.

CRUCES, Cervantes Omar. *Marcadores arqueoastronómicos en el paisaje y la arquitectura del Cóporo, Hacia la cosmovisión de un altépetl del centro norte de Guanajuato*. Tesis de Maestría, ENAH, México, 2010.

GALINDO, Trejo Jesús “Transfiguración sagrada de visiones celestes: alineación astronómica en cuatro sitios mayas.” *La pintura mural prehispánica en México, Área Maya*, tomo II, Leticia Staines Cícero (coord.) IIE-UNAM, México, 2001.

GARCÍA, Zambrano Á. J. *Pasaje mítico y paisaje fundacional en las migraciones mesoamericanas*. UAEM, México, 2006.

HARTUNG, Horst “Consideraciones sobre los trazos de los centros ceremoniales mayas.” *XXXVIII Congreso Internacional de Americanistas, Actas y Memorias*, vol. IV, Stuttgart-Múnich, 1968, pp. 17-26.

“Ancient Maya Architecture and Planning: Possibilities and Limitations for Astronomical Studies.” *Native American Astronomy*. Anthony F. Aveni (Editor), University of Texas Press, Austin, 1977, pp. 111-129.

“El ordenamiento especial en los conjuntos arquitectónicos mesoamericanos.” de México”, *Comunicaciones 15*, FAIC, 1978, p. 151.

“Arquitectura y planificación entre los antiguos mayas: posibilidades y limitaciones para los estudios astronómicos.” *Astronomía en la América Antigua*, Anthony F. Aveni (comp.), Siglo XXI eds., México, 1980, pp. 145-167.

*Manual de lectura de cartas*. Biblioteca del Oficial Mexicano, n° 31, EMADEN-SEDENA, México, sin año.

MARQUINA, Ignacio “Relación entre los monumentos del norte de Yucatán y los del centro de México”. *RMEA*, t. V, n° 2-3, SMA, México, 1941, pp. 135-150.

Martínez del Sobral, Margarita *Geometría mesoamericana*. FCE, México, 2000.

MASTACHE, A. Guadalupe y Ana María Crespo “Análisis sobre la traza general de Tula”. *Estudios sobre la antigua ciudad de Tula*, Col. Científica n° 121, INAH, México, 1982, pp. 11-36.

MASTACHE, Alba Guadalupe, Robert H. Cobean y Dan M. Healan. *Ancient Tollan. Tula and the Toltec Heartland*. University Press of Colorado, Colorado, 2002.

MOEDANO, Koer H. *Tollan: Algunos de los problemas históricos y arqueológicos de Tula, y su probable resolución*. Tesis profesional, México, 1945-1946.

PATIÑO, Rodríguez Malpica Héctor. *El estudio de las mamposterías: un acercamiento a la arquitectura tolteca*. Tesis de maestría en Estudios Mesoamericanos, FFL-UNAM, México, 2008.

“Proyecto Tula: Informe final sobre la arquitectura y estratigrafía de sus juegos de pelota.” Informe entregado al Proyecto Tula 2011, s/f a.

“Proyecto: Estudio comparativo sobre los juegos de pelota de Tula, Xochicalco y Chichén Itzá.” Borrador de tesis doctoral, s/f b.

“Ensayo sobre geometría aplicada al caso de Tula: avances preliminares.” En preparación, s/f c.

PONCE de León, Arturo. *Fechaamiento arqueoastronómico en el altiplano de México*. Dirección General de Planificación, DDF, México, 1982.

REILLY III, F. Kent “Cosmología, soberanismo y espacio ritual en la Mesoamérica del Formativo.” Los Olmecas, *El Equilibrista*, México, 1994, pp. 239-259.

SÁNCHEZ, V. Sergio y J. R. Ricardo Salinas Ramos “Arqueoastronomía prehispánica en Tepeapulco: el calendario de horizonte en Xihuingo.” *Patrimonio, identidad y complejidad social*, P. Fournier y F. López A., ENAH, México, 2010, pp.173--191.

SPRAJC, Iván. *Orientaciones astronómicas en la arquitectura prehispánica del centro de México*. Col. Científica n° 427, INAH, México, 2001.

STOCKER, T. “Contradictions in Religious Myths: Tezcatlipoca and His Existence at Tula, Hidalgo, Mexico.” *Notas Mesoamericanas*, n° 14, UDLA-Puebla, México, 1992-1993, pp. 63-92.

TICHY, Franz “El calendario solar como principio de organización del espacio para poblaciones y lugares sagrados.” *Comunicaciones 15*, FAIC, 1978, p. 153-163.

Villalobos, Alejandro. *Urbanismo y arquitectura prehispánica: una perspectiva*. Tesis de doctorado, Facultad de Arquitectura, UNAM, 1992.

Vives, Edel. *Nociones prácticas de geometría y agrimensura*. Imprenta del Editor, México, 1935.

ZIM, S. H. y Robert H. Baker. *Stars. A Golden Nature Guide*, New York, 1956.