

**XXV SIMPOSIO
DE INVESTIGACIONES ARQUEOLÓGICAS
EN GUATEMALA, 2011**

MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA

**EDITORES
BÁRBARA ARROYO
LORENA PAIZ
HÉCTOR MEJÍA**

COLABORACIÓN EDITORIAL

**ERNESTO ARREDONDO
ANA LUCÍA ARROYAVE
PATRICIA MAH DE SAMAYOA
RAUL ORTIZ
MARY E. PYE
ANDREA ROJAS**

**MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTES
INSTITUTO DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
ASOCIACIÓN TIKAL**

GUATEMALA, 2012

ORIENTACIONES ASTRONÓMICAS EN LA ARQUITECTURA MAYA DE LAS TIERRAS BAJAS: NUEVOS DATOS E INTERPRETACIONES

Ivan Šprajc
Pedro Francisco Sánchez Nava

PALABRAS CLAVE

Arquitectura Maya, astronomía, orientaciones, urbanismo

ABSTRACT

This work summarizes the results from systematic study of orientations in Maya architecture carried out recently in the central and northern Lowlands. The alignments we recorded at 70 archaeological sites, applying a rigorous methodology not previously used in the Maya area, reveal the existence of orientation patterns broadly disseminated over prolonged periods and only explainable with astronomical references over the horizon. According to the analysis, important buildings were oriented, in general, toward sunrises and sunsets on certain dates separated by significant calendrical intervals, which suggested the use of easily managed calendrical observations and the monitoring of the calendar in the tropics, apparently with an end toward programming activities in the agricultural cycle. At the same time, some orientations toward the extremes of Venus and the Moon were also identified.

INTRODUCCIÓN

Los estudios arqueoastronómicos realizados en las últimas décadas en algunas partes de Mesoamérica han revelado que la distribución de las orientaciones en la arquitectura monumental no es uniforme, sino que exhibe grupos bien definidos, es decir, concentraciones de azimuts alrededor de ciertos valores. La presencia de estos grupos en sitios diferentes y durante periodos prolongados sólo puede explicarse con el uso de referencias astronómicas sobre el horizonte (cf. Aveni y Hartung 1986: 7s). Si las orientaciones fuesen fortuitas o condicionadas por rasgos topográficos o geomorfológicos locales, consideraciones militares u otros motivos, serían diferentes en distintos sitios, manifestando una distribución aleatoria. Para varias regiones mesoamericanas, incluyendo el área Maya, ya contamos con un corpus relativamente amplio de datos sobre los alineamientos arquitectónicos (Aveni 1991; 2001; 2010; Aveni y Hartung 1986; Aveni *et al.* 2003; Galindo 1994; Šprajc 2001; Tichy 1991); sin embargo, estos datos son de precisión muy variable y, en muchos casos, poco confiables para interpretaciones más detalladas.

Es por ello que, en el marco de un proyecto de investigación iniciado en el año pasado, pretendemos estudiar los aspectos astronómicos de la arquitectura y el urbanismo mesoamericanos de manera sistemática, empleando una metodología más rigurosa de la que se ha implementado en la mayoría de los estudios de esta índole. En la presente ponencia se resumen los resultados preliminares del análisis de 248 orientaciones medidas en 84 sitios de las Tierras Bajas Mayas (figura 1). Los datos que derivan de las mediciones realizadas hasta el momento en el marco del proyecto mencionado y que se presentan detalladamente en los informes respectivos (Sánchez y Šprajc 2011; s.f.) constituyen la mayor parte de esta muestra, a la que se agregaron, además, algunos obtenidos anteriormente por uno de los autores (Šprajc 2004a; 2008; 2010; Šprajc y Morales-Aguilar 2007; Šprajc *et al.* 2009).

CUESTIONES METODOLÓGICAS

Los lineamientos metodológicos resumidos a continuación se presentan detalladamente en el informe de la primera temporada del proyecto mencionado (Sánchez y Šprajc 2011).

Las evidencias contextuales que permitan suponer que la orientación de un edificio fue motivada por consideraciones astronómicas son frecuentemente ambiguas y, en la mayoría de los casos, inexistentes. Es por ello que, para argumentar, de manera contundente, que la relación entre una orientación y un fenómeno astronómico –que es relativamente fácil de encontrar– no es fortuita sino que fue lograda intencionalmente, es indispensable contar con una muestra suficientemente grande de alineamientos comparables, es decir, de los que puedan relacionarse con un mismo fenómeno astronómico y que, además, estén incorporados en estructuras pertenecientes al mismo complejo cultural y parecidas en cuanto a su tipo o funcionalidad. En otras palabras, debemos seleccionar los alineamientos que constituyan una muestra de datos relativamente homogéneos (cf. Hawkins 1968: 49; Šprajc 2005).

Asumiendo que los motivos astronómicos, relacionados con la religión, cosmovisión e ideología política, gobernaban principalmente el diseño arquitectónico y la planeación urbana en los núcleos cívicos y ceremoniales de los asentamientos (cf. Aveni 2001: 217ss; Šprajc 2001: 31s), las mediciones se efectuaron en las estructuras evidentemente relacionadas con prácticas religiosas y actividades públicas; entre éstas se escogieron las que, por su ubicación y disposición, hubieran sido particularmente idóneas para observar los fenómenos astronómicos sobre el horizonte. Desde luego, sólo pudieron incluirse las estructuras cuyo estado actual permite determinar su orientación con suficiente precisión. Si las mediciones revelaron la similitud de las orientaciones de dos o más estructuras adyacentes, se escogió como relevante el edificio que, por su altura y otras características formales, parecía el más apropiado para observaciones astronómicas, ya que en tal caso es lógico suponer –considerando analogías de otras partes (cf. Šprajc 2001: 32)–, que las orientaciones de las estructuras aledañas fueron ajustadas, por razones de planeación urbana, a la del edificio sobresaliente, sin que fueran observacionalmente funcionales *per se*.

Aunque en los restos arquitectónicos existen diversas líneas visuales que pudieron haber señalado fenómenos astronómicos (cf. Hartung 1975), para fines del presente estudio no se han medido líneas inclinadas que pueden reconocerse en la disposición de ciertos elementos arquitectónicos, o varias líneas imaginarias que pueden trazarse entre diversos puntos o rasgos de una estructura, p. ej. las diagonales de los vanos de acceso. En varios estudios ya publicados encontramos intentos de relacionar las líneas de este tipo con diversos fenómenos astronómicos, pero los alineamientos interpretados de esta manera son tan numerosos y heterogéneos que resulta imposible realizar un análisis comparativo y verificar la intencionalidad de las correspondencias sugeridas. Para poder comprobar el supuesto significado astronómico de alineamientos de este tipo, sería necesario, en primer lugar, elaborar una metodología rigurosa que permitiera clasificarlos de manera objetiva y, con ello, obtener una muestra de datos comparables en los que podría detectarse algún patrón. Tal objetivo queda fuera de nuestras ambiciones, que se limitan al estudio de las orientaciones de edificios –indicadas por taludes, paramentos, muros y otros elementos constructivos que hacen patente una orientación en el plano horizontal– y de su relación con los eventos astronómicos observables en el horizonte.

En la bibliografía arqueoastronómica existente comúnmente se presenta el azimut de una sola línea medida en un edificio como azimut de orientación de toda la estructura. Estos datos no son suficientemente exactos para consideraciones arqueoastronómicas más detalladas, ya que los muros, taludes o paramentos de una estructura pueden parecer paralelos y perpendiculares entre sí, pero las mediciones precisas revelan que frecuentemente no lo son. Es por ello que, en nuestro análisis, la orientación de cada estructura se define con dos valores, que corresponden a los azimuts norte-sur y aplicándose la metodología desarrollada en el curso de la investigación de los alineamientos arquitectónicos en el centro de México (Šprajc 2001: 37ss). Los detalles de las técnicas de medición y los procedimientos de cálculo se han presentado en otras obras (cf. Aveni 2001: 119ss; Ruggles 1999: 164ss; Šprajc 2001; Sánchez y Šprajc 2011).

En las publicaciones existentes comúnmente sólo se presentan los azimuts de las orientaciones. Mientras que el *azimut* define la dirección en el plano horizontal respecto a los rumbos cardinales, la coordenada celeste que permite identificar el fenómeno astronómico posiblemente relacionado con un alineamiento es la *declinación*, que expresa la distancia angular medida desde el ecuador celeste (círculo imaginario en la esfera celeste, colocado en el plano del ecuador terrestre) hacia el norte o el sur (declinación positiva o negativa), teniendo valores de 0° a $\pm 90^\circ$. Todos los cuerpos celestes que, observando en un mismo lugar, salen/se ponen en el mismo punto del horizonte tienen la misma declinación. Su valor depende de la latitud del lugar, el azimut y la altura del horizonte corregida por refracción atmosférica, por lo que se han determinado también las alturas del horizonte correspondientes a los azimuts, ya sea con mediciones en campo o mediante la cartografía. La declinación del Sol varía continuamente en el transcurso del año trópico, alcanzando los valores extremos de aproximadamente $\pm 23.5^\circ$ en los solsticios de verano (22 de junio ± 1 día) y de invierno (22 de diciembre ± 1 día). Las declinaciones que se encuentran dentro de las que alcanza el Sol en su desplazamiento anual pueden referirse a las salidas y puestas del Sol, por lo que también se ha analizado la distribución de las fechas correspondientes, determinadas para las épocas relevantes de acuerdo a la metodología descrita por Sánchez y Šprajc (2011), así como de los intervalos que las separan.

ANÁLISIS E INTERPRETACIONES PRELIMINARES

AZIMUTS

Los histogramas en la figura 2, que presentan la distribución de los azimuts norte-sur y este-oeste, no son iguales, debido a que las líneas norte-sur frecuentemente no son exactamente perpendiculares a las líneas este-oeste. La distribución de los azimuts norte-sur manifiesta concentraciones menos pronunciadas que la de los azimuts este-oeste, en lo que podemos ver el primer indicador de la preponderante importancia astronómica de los ejes este-oeste de los edificios. En los dos histogramas también es patente la predominante desviación en el sentido de las manecillas de reloj con respecto a los rumbos cardinales, tendencia prevaleciente en toda Mesoamérica, que deriva –según la argumentación presentada en otro lugar (Šprajc 2001: 88ss; 2004b)– de una combinación de consideraciones astronómicas y el simbolismo relacionado con los rumbos del mundo o partes del universo.

Es significativo que la distribución de los azimuts en nuestra área de estudio, es decir, en la gran parte de las Tierras Bajas Mayas, es similar a la que manifiestan las orientaciones arquitectónicas en el centro de México (Šprajc 2001: 57ss, figs. 4-7). En ambas regiones, aunque tan distantes, aparecen las concentraciones más acentuadas cerca de los mismos valores (p. ej. 101° y 105°).

DECLINACIONES

Las figuras 3 y 4 presentan la distribución de las declinaciones que corresponden a los azimuts graficados en la figura 2 en los horizontes norte, sur, este y oeste. En la figura 3 podemos notar que las declinaciones norte y sur manifiestan concentraciones menos pronunciadas que las este y oeste, sugiriendo la prevaleciente importancia astronómica de los ejes este-oeste de los edificios. Además, las declinaciones este y oeste se encuentran, en su mayoría, dentro de los valores que alcanza el Sol (lo que también es un patrón que predomina en Mesoamérica), por lo que es posible inferir que las orientaciones se refieren mayormente a ciertas fechas marcadas por las salidas y puestas del Sol. Un dato adicional que apoya esta conclusión se observa en la figura 4, que presenta la distribución de las declinaciones este y oeste unidas, pero separadas por periodos principales: los grupos más evidentes de declinaciones permanecen concentrados alrededor de los mismos valores (p. ej. -11° y -13°) desde el Preclásico hasta el Postclásico; si se refirieran a estrellas, observaríamos variaciones en función del tiempo, ya que la declinación de cualquier estrella cambia paulatinamente a través de los siglos, debido a la precesión de los equinoccios (cf. Aveni 2001: 100ss).

Entre las declinaciones potencialmente solares se observan concentraciones –aunque no muy numerosas– cerca de los valores de 23° y -23° ; es probable que los alineamientos correspondientes

registraran las salidas y puestas del Sol en los solsticios, cuando el Sol alcanza sus declinaciones extremas (cerca de $\pm 23.5^\circ$).

Los solsticios son marcados, de manera muy evidente, por los extremos del desplazamiento anual del Sol a lo largo del horizonte. Otros momentos del año trópico que podrían considerarse "naturalmente" significativos son los equinoccios, cuando el Sol se encuentra en una de las intersecciones de la eclíptica con el ecuador celeste, teniendo la declinación 0° . Sin embargo, las declinaciones cerca de 0° son prácticamente inexistentes en nuestra muestra. Las que se concentran alrededor del valor de 1° han de referirse a los llamados días de cuarto del año: se trata de las fechas que ocurren dos días después del equinoccio de primavera y dos días antes del de otoño (23 de marzo y 21 de septiembre, ± 1 día) y que, junto con los solsticios, dividen el año en cuatro partes de igual duración. La ausencia de orientaciones equinociales y la presencia de las que corresponden a los días de cuarto del año, predominantemente a las puestas del Sol en estas fechas, coincide con la situación en el centro de México (Šprajc 2001: 75ss).

Entre las declinaciones que rebasan los valores solsticiales del Sol llaman la atención las que se concentran alrededor de -28° y 28° , ya que podrían referirse a los extremos de Venus o de la Luna. Cuando es visible como estrella de la tarde, Venus puede alcanzar las declinaciones de hasta $\pm 27.5^\circ$, mientras que las declinaciones más extremas de la Luna son de aproximadamente $\pm 28.5^\circ$. Los extremos de Venus, discutidos con detalle en otras partes (Šprajc 1996a: 23ss; 1996b: 32ss), son fenómenos estacionales, siendo particularmente interesantes los de Venus vespertino: cuando el planeta es visible como estrella de la tarde, siempre alcanza sus declinaciones extremas algún tiempo antes de los solsticios: entre abril y junio (extremos norte) y entre octubre y diciembre (extremos sur). Es decir, los extremos de Venus vespertino aproximadamente delimitan la época de lluvias y, por lo tanto, el ciclo agrícola en Mesoamérica, y fue precisamente esta coincidencia la que pudo haber sido la base observacional de la ampliamente documentada asociación conceptual entre Venus, lluvia y maíz en la cosmovisión mesoamericana (Šprajc 1996a). Además, mientras que las declinaciones de la estrella de la mañana casi no exceden los valores de $\pm 24^\circ$, la estrella de la tarde puede alcanzar declinaciones de hasta aproximadamente $\pm 27.5^\circ$, lo que significa que los extremos mayores *visibles* en el este son más de 3° (unos 6 diámetros del disco solar) menores que los extremos máximos visibles en el oeste. Por lo tanto, las declinaciones cerca de $\pm 27.5^\circ$ pueden relacionarse únicamente con los extremos de Venus vespertino, refiriéndose a los extremos máximos, que ocurren en intervalos de ocho años (Šprajc 1996a: 23ss; 1996b: 32ss).

La Luna también exhibe fenómenos parecidos. Si la observamos en los momentos de su salida o puesta, la Luna en cada mes sinódico, de aproximadamente 29.5 días, recorre el horizonte entre los puntos extremos, que varían en un ciclo de 18.6 años, abarcando ángulos distintos. Las diferencias entre las declinaciones extremas de la Luna y las que alcanza el Sol en los solsticios pueden ser de hasta $\pm 5.145^\circ$. Una vez en cada ciclo de 18.6 años ocurren los extremos o paradas mayores, cuando las declinaciones de la Luna son de aproximadamente $\pm 28.5^\circ$ y el ángulo entre los puntos de salida y puesta del astro es el más ancho. En los años siguientes este ángulo va disminuyendo hasta alcanzar su valor mínimo después de 9.3 años, cuando las declinaciones extremas llegan a ser apenas unos $\pm 18.5^\circ$. A partir de este momento, denominado extremo o parada menor, el ángulo entre los puntos extremos vuelve a crecer y, al transcurrir otro periodo de 9.3 años, pueden observarse nuevamente los extremos mayores (*cf.* Morrison 1980; Ruggles 1999: 36s, 60s; Aparicio et al. 2000: 32ss).

Al alcanzar sus extremos, que ocurren en intervalos de 18.6 años, la Luna no siempre está en la misma fase. Las más llamativas son indudablemente las salidas y puestas de la Luna llena, cercanas a los extremos. Debido a la mecánica celeste, las salidas y puestas extremas de la Luna llena siempre ocurren cerca de los solsticios, observándose un interesante contraste: la Luna llena llega a sus extremos *norte* siempre cerca del solsticio de invierno, cuando el Sol sale y se pone en su punto más alejado hacia el *sur*, mientras que cerca del solsticio de verano, cuando el Sol alcanza sus puntos extremos de salida y puesta hacia el *norte*, la Luna llena sale y se pone en los puntos más alejados hacia el *sur*. Esto significa –recordando que la Luna llena siempre sale aproximadamente en los momentos de la puesta del Sol y se pone al amanecer– que el tiempo durante el cual la Luna llena ilumina la noche es el más largo justamente en la época del año cuando los días son los más cortos, y viceversa. Son

precisamente estas contraposiciones de los dos astros las que probablemente motivaron el interés por los extremos lunares en varias culturas antiguas, en las que la existencia de alineamientos hacia estos fenómenos ha sido demostrada (cf. Ruggles 1999; Belmonte y Hoskin 2002).

En vista de los datos expuestos, las orientaciones que marcan las declinaciones cerca de $\pm 28^\circ$ pudieran referirse a los extremos norte de Venus como estrella de la tarde, visibles en el horizonte poniente, o a los extremos mayores de la Luna, observables en ambos horizontes. Ambos astros tenían un papel muy significativo en la cosmovisión mesoamericana. La importancia de los extremos norte de Venus vespertino, que anuncian o coinciden con el inicio de la época de lluvias y del ciclo agrícola, es indicada por diversos datos, incluyendo algunas orientaciones en la arquitectura (Šprajc 1996a; 1996b). Como ya fue argumentado (Šprajc 1996a: 75), los elementos iconográficos del Palacio del Gobernador de Uxmal representan un indicador muy convincente de que este edificio fue orientado hacia los extremos norte de la estrella de la tarde.

Por otra parte, resulta muy probable que varias orientaciones se refirieran a los extremos mayores de la Luna. Si para los alineamientos analizados calculamos las declinaciones lunares (es decir, tomando en cuenta el paralaje: v. Hawkins 1968: 51s; Ruggles 1999: 36s) y seleccionamos las que tienen valores de $\pm 28.65^\circ$ (declinación de la Luna en su extremo mayor), considerando un error arbitrario de $\pm 1.5^\circ$, obtenemos los edificios listados en la tabla 1, en la que las declinaciones que, según este criterio, podrían relacionarse con las paradas mayores de la Luna están anotadas en negritas e itálicas. Si suponemos que las orientaciones no se refieren exactamente a los extremos mayores sino a las salidas o puestas de la Luna *llena* más cercanas a los extremos, la falta de concordancia perfecta entre las declinaciones que marcan estos edificios y las declinaciones máximas/mínimas de la Luna puede explicarse también con el hecho de que éstas rara vez coinciden exactamente con la Luna llena.

Es significativo que las orientaciones potencialmente lunares parecen haber sido particularmente comunes en la costa nororiental de la península de Yucatán. Varios edificios orientados de esta manera se localizan en la isla de Cozumel (en San Gervasio, Buena Vista y La Expedición), que durante el Postclásico fue un importante foco del culto a la diosa *Ixchel*, cuya naturaleza lunar es evidente (Šprajc 2010); otros se encuentran en los sitios de Xelhá, Tancah y Tulum (tabla 1) y, según Aveni y Hartung (1978), también en Paalmul. La popularidad del culto a *Ixchel* en Isla Mujeres y Cozumel, así como las representaciones de la diosa O, identificada con *Ixchel*, en los murales de Tulum, reflejan la importancia del culto lunar a lo largo de la costa noreste de la península durante el periodo Postclásico (Miller 1974; 1982: 85s; Milbrath 1999: 147s). Además, si recordemos que son particularmente impactantes los extremos de la Luna llena –porque aproximadamente coinciden con los solsticios, cuando también el Sol llega a sus posiciones extremas, pero se observan en el lado diametralmente opuesto del horizonte– y asumimos, por lo tanto, que estos fenómenos se observaban durante el plenilunio, quizá no sea fortuito que los edificios con alineamientos potencialmente lunares se encuentran, en varios sitios, asociados a los que manifiestan orientaciones solsticiales. Aparte de los casos de Buena Vista, San Gervasio, Xelhá y Tancah, resulta particularmente interesante el de Tulum, no sólo por las representaciones de la diosa lunar en los murales, sino también porque los orificios en los muros oriente y poniente de la antesala de la Estructura 25 forman un alineamiento que, además de corresponder a las declinaciones máximas lunares con precisión, está recalcado por otros elementos en la arquitectura circundante (Šprajc 2010; Sánchez y Šprajc 2011: capítulo 4).

En vista de lo expuesto es probable que la práctica de orientar ciertos edificios hacia los extremos lunares fuera relativamente común en la costa nororiental, representando uno de los elementos culturales que reflejan “un desarrollo homogéneo” en esta parte del área Maya durante el Postclásico (Robles 1986: 11s). Además, la arquitectura del grupo El Ramonal de San Gervasio sugiere que los alineamientos lunares estaban en uso desde el periodo Clásico (Šprajc 2010).

FECHAS E INTERVALOS

Para las declinaciones que pueden relacionarse con el Sol y que predominan en nuestra muestra, también se determinaron las fechas correspondientes, cuya distribución se presenta en la figura 5. Debido a la prevaleciente desviación de los alineamientos en el sentido de las manecillas de reloj

respecto a los rumbos cardinales (al sur del este o, visto de otra manera, al norte del oeste), las fechas de salida del Sol (fechas este) caen predominantemente en otoño e invierno y las de su puesta (fechas oeste) en primavera y verano.

Las concentraciones más pronunciadas de fechas se observan en febrero, abril, agosto y octubre, como también ocurre en el centro de México (Šprajc 2001: 64ss, fig. 8). La explicación más probable de estas concentraciones es que se trata de cuatro épocas del año importantes en el ciclo agrícola: preparación de los campos de cultivo, inicio de la época de lluvias y de la siembra, la temporada de las primeras mazorcas del maíz, y la época de la cosecha (*cf. ibid.*: 79ss). Asimismo podemos notar que algunas fechas son particularmente frecuentes: se trata de los días alrededor del 12 y el 22 de febrero, el 16 y el 25 de abril, el 17 y 29 de agosto, y el 19 y el 29 de octubre. Aquí hay que advertir que las orientaciones que corresponden a un grupo de fechas en el horizonte oriente necesariamente señalan otro grupo de fechas en el horizonte opuesto, aunque no necesariamente los dos grupos fueron logrados intencionalmente. Para tratar de determinar la direccionalidad de las orientaciones, es decir, para establecer las direcciones observacionalmente funcionales de los alineamientos, a continuación analizaremos los intervalos que separan las fechas más frecuentemente registradas.

A cada alineamiento, salvo los solsticiales, le corresponden dos fechas este y dos fechas oeste; cada par divide el año en dos intervalos cuya suma es siempre 365 días. Los intervalos que separan las fechas este/oeste se designan a continuación de manera abreviada como intervalos este/oeste. Los histogramas en la figura 6 presentan las distribuciones de los intervalos este y oeste, que evidentemente no son uniformes, sugiriendo que las concentraciones alrededor de ciertos valores fueron logradas a propósito. No están graficados los intervalos menores de 30 días, ya que corresponden a las fechas cerca de los solsticios: considerando los posibles errores de declinación, las orientaciones correspondientes pueden interpretarse como solsticiales. Al revisar los dos histogramas de la figura 6 podemos observar que los grupos más llamativos y mejor delimitados se concentran alrededor de los intervalos de 65/300, 85/280, 105/260, 120/245, 125/240 y 140/225 días. Al menos un intervalo en cada uno de estos pares es múltiplo de 20 o de 13 días, siendo el de 260 días, además, igual a la duración del ciclo calendárico sagrado (*tzolkin*). Esto parece significativo, ya que las orientaciones arquitectónicas en el centro de México, según se ha argumentado, permitían el manejo de calendarios observacionales compuestos por múltiplos de 20 y de 13 días, periodos básicos del sistema calendárico mesoamericano (Šprajc 2001). También podemos notar que los intervalos de 85/280, 105/260, 120/245 y 125/240 días separan las fechas de salida del Sol más frecuentemente que las de puesta del Sol. Para evaluar la posibilidad de que estos intervalos fueran logrados deliberadamente, cabe examinar los datos sobre los grupos de orientaciones que los producen. A cada intervalo que servirá como base para definir el grupo correspondiente le asignaremos el posible error de ± 2 días, ya que la mayoría de las fechas, debido a los posibles errores en las declinaciones, pueden tener el error de al menos ± 1 día.

Al grupo del intervalo este de 105/260 días le pertenecen, bajo este criterio, 27 edificios, que registran las fechas de salida del Sol entre el 11 y el 13 de febrero y entre el 29 y el 31 de octubre (tabla 2). Los intervalos oeste señalados por estas estructuras varían entre 109/256 y 117/248 días, y las fechas entre el 24 y el 28 de abril y entre el 15 y el 19 de agosto. Nótese que tanto las fechas como los intervalos poniente manifiestan mayor dispersión que las fechas y los intervalos que les corresponden a los mismos edificios en el horizonte oriente (el promedio de los intervalos este es 105.22/259.78, con desviación estándar de 1.34, mientras que el promedio de los intervalos poniente es 113.46/251.54, con desviación estándar de 1.82). Por ello, y considerando que los intervalos oeste mayormente no son múltiplos significativos, podemos suponer que las orientaciones de este grupo eran observacionalmente funcionales hacia el oriente. De ser así, la concentración de intervalos oeste cerca de 113/252 días en la figura 6 es, en lugar de haber sido lograda a propósito, simplemente la consecuencia de la concentración de intervalos alrededor de 105/260 días, marcados en el horizonte oriente: cualquier grupo de orientaciones similares necesariamente marca un grupo de fechas e intervalos similares en el horizonte oriente y otro en el poniente, pero el hecho de que los intervalos oeste presentan variaciones mayores (concentración más dispersa) que los intervalos este sugiere la intencionalidad de estos últimos. La conclusión más probable es, por ende, que la finalidad de los alineamientos de este grupo fue marcar el intervalo de 260 días, que separa las salidas del Sol el 12 de febrero y el 30 de octubre. Cabe recordar que se trata de orientaciones que pertenecen a la llamada familia de los 17° , uno de los grupos de

alineamientos más difundidos en Mesoamérica (Aveni 2001: 234; Šprajc 2001: 27; 2008). Como se observa en la tabla 2, los alineamientos de este grupo aparecen a más tardar en el Preclásico Tardío y permanecen en uso hasta el Postclásico Tardío. La opinión de que el lugar de su origen fuera Teotihuacan, donde rigen la gran parte de la traza urbana, ha sido recientemente refutada, ya que en El Mirador, Petén, Guatemala, están incorporados en edificios claramente más tempranos (Šprajc y Morales-Aguilar 2007; Šprajc et al. 2009). En relación con su posible origen en la Cuenca de El Mirador, podemos observar que las estructuras tempranas de este grupo predominan en los sitios en la parte sur de nuestra área de estudio (tabla 2).

Los edificios que pertenecen al grupo del intervalo este de 85/280 señalan las fechas de salida del Sol entre el 31 de enero y el 3 de febrero y entre el 8 y el 10 de noviembre (tabla 3); de nuevo, tanto las fechas de puesta del Sol marcadas por estos edificios, que varían entre el 5 y el 9 de mayo y entre el 2 y el 8 de agosto, como los intervalos correspondientes, de 85/280 a 95/270 días, manifiestan mayor dispersión. Por lo tanto, es probable que las orientaciones de este grupo se deban, en su mayoría, al propósito de marcar el intervalo de 280 ($= 14 \times 20$) días, que separa las fechas este 1/2 de febrero y 8/9 de noviembre. De ser correcta la suposición, los intervalos oeste cerca de 93/272 días (figura 6) no fueron logrados a propósito. En el caso del Templo Superior de los Jaguares de Chichén Itzá cabe notar que el error estimado de la declinación es tan pequeño que este edificio difícilmente fue destinado para marcar el intervalo de 85 días en el horizonte oriente; es más probable que la intención de los constructores fuera señalar las fechas 6 de mayo y 5 de agosto, separadas por el intervalo de 91 días, que es múltiplo de 13 días. Aunque este intervalo no es frecuente en los histogramas, la disposición de los cuartos del templo, abiertos hacia el poniente, hubiera facilitado precisamente la observación de las puestas del Sol; además, en Chichén Itzá hay otros edificios cuyas orientaciones aparentemente marcaban el intervalo de 91 días (Sánchez y Šprajc 2011: capítulo 4).

En 23 casos los intervalos este están concentrados alrededor de 125/240 días (tabla 4). Los intervalos oeste, nuevamente, manifiestan mayor dispersión, además de que no constituyen múltiplos significativos (promedio de intervalos este: 125.13/239.87, desviación estándar: 1.25; promedio de intervalos oeste: 134.13/230.87, desviación estándar: 1.55). Por consiguiente, es probable que las orientaciones de este grupo fueran destinadas para registrar las salidas del Sol el 22 de febrero y el 20 de octubre, separadas por el intervalo de 240 (12×20) días, y que la concentración de los intervalos oeste alrededor de 134/231 días, notable en la figura 6, no fuera lograda deliberadamente.

Los accesos a los edificios de los grupos discutidos se encuentran en lados diferentes, sin que se observe la preferencia por el lado oriente, lo que coincide con la situación en el centro de México donde, según se ha argumentado (Šprajc 2001: 69ss), la ubicación del acceso no necesariamente indica la dirección astronómicamente funcional de la estructura.

Las orientaciones que componen el grupo del intervalo este de 120/245 días están listadas en la tabla 5. En este caso los alineamientos individuales podrían tener explicaciones diferentes. El propósito de algunos pudo haber sido el de señalar las salidas del Sol el 22 de octubre y el 19 de febrero, separadas por 120 ($= 6 \times 20$) días, pero también parece significativo el intervalo de 130 ($= 10 \times 13$) días, que separa las puestas del Sol en las fechas 17 de abril y 25 de agosto, registradas por algunas orientaciones de este grupo. El intervalo de 130/235 días es relativamente frecuente, tanto en el horizonte oriente como en el poniente (figura 6), y puede servir para definir sus propios grupos de orientaciones (tablas 6 y 7), pero en éstos podemos notar otros intervalos que, además de ser múltiplos significativos (120 y 240 días), también son frecuentes y definen sus propios grupos (tablas 4 y 5). En estos casos cabe examinar los datos sobre los alineamientos individuales con mayor detalle. Por ejemplo, la Estructura 1 del Grupo A de Río Bec pertenece tanto al grupo del intervalo este de 125/240 días como al del intervalo oeste de 130/235 días (tablas 4 y 7); el intervalo este es exactamente 125/240 días, mientras que el que separa las fechas oeste es de 132/233 días, por lo cual, considerando que el error estimado de declinación es pequeño, resulta muy probable que este edificio fuera astronómicamente funcional hacia el oriente. Con base en el mismo razonamiento podemos suponer que la Estructura IV-B de Calakmul, que también aparece en dos grupos (tablas 5 y 7), fue destinada para señalar las salidas del Sol separadas por el intervalo de 120 días. En cambio, si una orientación registra las fechas separadas por intervalos significativos tanto en el horizonte oriente como en el poniente, es

posible suponer –sobre todo si el error de declinación es pequeño– que el alineamiento fue observacionalmente funcional en ambas direcciones: como ejemplos podemos mencionar las Estructuras 1 de Chacchoben y 3 de Tabasqueño (tablas 5 y 7). Desde luego, si los posibles errores de declinación son más grandes, la direccionalidad de las orientaciones no es tan evidente.

La concentración alrededor de 140/225 días se observa tanto entre los intervalos este como entre los oeste (figura 6). En tanto que el objetivo de las orientaciones que registran este intervalo en el horizonte este (tabla 8) parece haber sido el de señalar las salidas del Sol el 12 de octubre y el 1 de marzo, resulta difícil aplicar una sola explicación a los alineamientos que marcan el mismo intervalo en el horizonte oeste (tabla 9): en algunos casos el intervalo intencionalmente logrado pudo haber sido el de 140 días, delimitando las puestas del Sol el 12 de abril y el 30 de agosto, mientras que en otros el propósito tal vez fue el de registrar el intervalo de 130 (= 10×13) días, que separa las fechas de salida del Sol el 18 de octubre y el 25 de febrero (cf. tabla 6).

Por analogía con los grupos mencionados, es muy probable que también algunos otros intervalos significativos, aunque menos frecuentes, fueran logrados a propósito, por ejemplo los de 80 (= 4×20) y 160 (= 8×20) días, así como el de 65 (= 5×13) o el complementario de 300 (= 15×20) días.

Aunque este análisis es preliminar, es posible concluir que las orientaciones analizadas reflejan la preocupación por registrar las salidas y/o puestas del Sol en las fechas separadas por intervalos que son múltiplos de 13 y de 20 días, periodos básicos del sistema calendárico mesoamericano. Recordemos que con esta interpretación podemos explicar todas las concentraciones más evidentes de intervalos: por una parte, entre los intervalos más recurrentes predominan los que son múltiplos de 13 o de 20 días; por la otra, las concentraciones restantes, aunque también prominentes, tienden a estar más dispersas y, además, pueden explicarse en términos de su asociación, inevitable pero indeliberada, con los intervalos significativos. Por ejemplo, los intervalos oeste alrededor de 113/252 y 133/232 días corresponden a los edificios que, en el horizonte opuesto, registran los intervalos de 105/260 y 125/240, respectivamente

La consistencia con la que las orientaciones registran los mismos grupos de fechas e intervalos en un área extensa y durante periodos prolongados indudablemente refleja la preocupación por monitorear el desfase del año calendárico respecto al año trópico y la necesidad de determinar los momentos clave en el ciclo estacional. Los alineamientos que registraban las salidas y puestas del Sol separadas por múltiplos de periodos básicos del sistema calendárico mesoamericano no sólo permitían la determinación de ciertas fechas con base en observaciones directas, sino también facilitaban su predicción, cuando las observaciones directas, por condiciones climáticas adversas, no eran posibles: recordemos que, en la cuenta de 260 días, los múltiplos de 20 días conectan fechas con el mismo signo de veintena, mientras que las fechas separadas por múltiplos de 13 días tienen el mismo numeral de trecena; los múltiplos de 20 días conectan, además, las mismas fechas en los meses del año de 365 días (si no se interpone el periodo de 5 días agregados a los 18 meses). Con base en el estudio de orientaciones en el centro de México se ha argumentado que las orientaciones en la arquitectura monumental permitían el uso de calendarios observacionales que facilitaban la programación de las actividades del ciclo agrícola, marcando tanto las fechas canónicas y ritualmente importantes como las “auxiliares”, que permitían la anticipación oportuna de los momentos en que debieron realizarse las labores concretas y las ceremonias correspondientes (Šprajc 2001). La misma interpretación general es aplicable en nuestro caso, pero los detalles del manejo de estos calendarios observacionales quedan oscuros. En varios sitios encontramos edificios contemporáneos cuyas orientaciones pertenecen a distintos grupos; por lo tanto, aunque normalmente no contamos con información cronológica suficientemente detallada, parece que distintos esquemas observacionales estaban en uso simultáneamente.

COMENTARIOS FINALES

Pese a varias cuestiones que permanecen sin resolver, los análisis e interpretaciones preliminares que hemos presentado permiten concluir que las orientaciones incorporadas en la arquitectura monumental de la gran parte de las Tierras Bajas Mayas fueron dictadas, en su mayoría, por

consideraciones astronómicas. Otras generalizaciones confiables que podemos formular son las siguientes:

1. Las orientaciones para las que una explicación astronómica es la más viable están incorporadas tanto en los templos como en las construcciones palaciegas, que servían como residencias de alto rango o edificios administrativos. Aunque falta realizar análisis más detallados, parece que los edificios monumentales de distintos tipos y usos no pueden correlacionarse con principios de orientación diferentes.
2. Las orientaciones eran astronómicamente funcionales sobre todo, o exclusivamente, en dirección este-oeste.
3. La ubicación del acceso/fachada principal no necesariamente indica la dirección astronómicamente funcional de la estructura: muchos edificios miran con sus fachadas principales hacia el norte o el sur, aunque sus orientaciones pertenecen a los grupos que, según los argumentos expuestos, eran astronómicamente funcionales en direcciones este y/u oeste.
4. Las orientaciones se refieren mayormente a las salidas y puestas del Sol en ciertas fechas; las fechas que señala un edificio particular en el horizonte este u oeste tienden a estar separadas por intervalos que son múltiplos de 13 o de 20 días.
5. Es muy probable que algunas orientaciones se refieran a los extremos de Venus en el horizonte poniente y/o a los extremos lunares.
6. Los patrones de orientación más frecuentes estuvieron en uso en áreas extensas y durante periodos muy largos. Algunos datos sugieren que en ciertos periodos y regiones había tendencias diferentes en las prácticas de orientación; sin embargo, para profundizar en la comprensión de estas variaciones se requerirán estudios más detallados.
7. No todas y cada una de las orientaciones que medimos y analizamos pueden interpretarse en términos astronómicos. Los criterios empleados en la selección de los edificios son poco precisos, ya que no contamos con datos que nos permitan asociar, de manera confiable, el uso astronómico a ciertos tipos de edificios. Por consiguiente, no cabe duda de que nuestra muestra de orientaciones incluye algunas que no fueron basadas en criterios astronómicos.

En vista de la relación de la mayoría de las orientaciones con los puntos de salida y puesta del Sol en ciertas fechas, y considerando los intervalos significativos que separan estas fechas, parece muy probable que estos alineamientos permitieran el uso de calendarios observacionales, necesarios para monitorear el deslizamiento del calendario formal respecto al año trópico y útiles ante todo para programar las actividades agrícolas en el ciclo anual. No obstante, el hecho de que los alineamientos astronómicos están incorporados en los edificios más suntuosos, y que algunos parecen referirse a fenómenos cuya relación con necesidades prácticas no es evidente (p. ej. extremos lunares), indica que el uso de la astronomía en el diseño arquitectónico y planeación urbana estaba íntimamente relacionado con la religión, el ritual y la ideología política.

AGRADECIMIENTOS

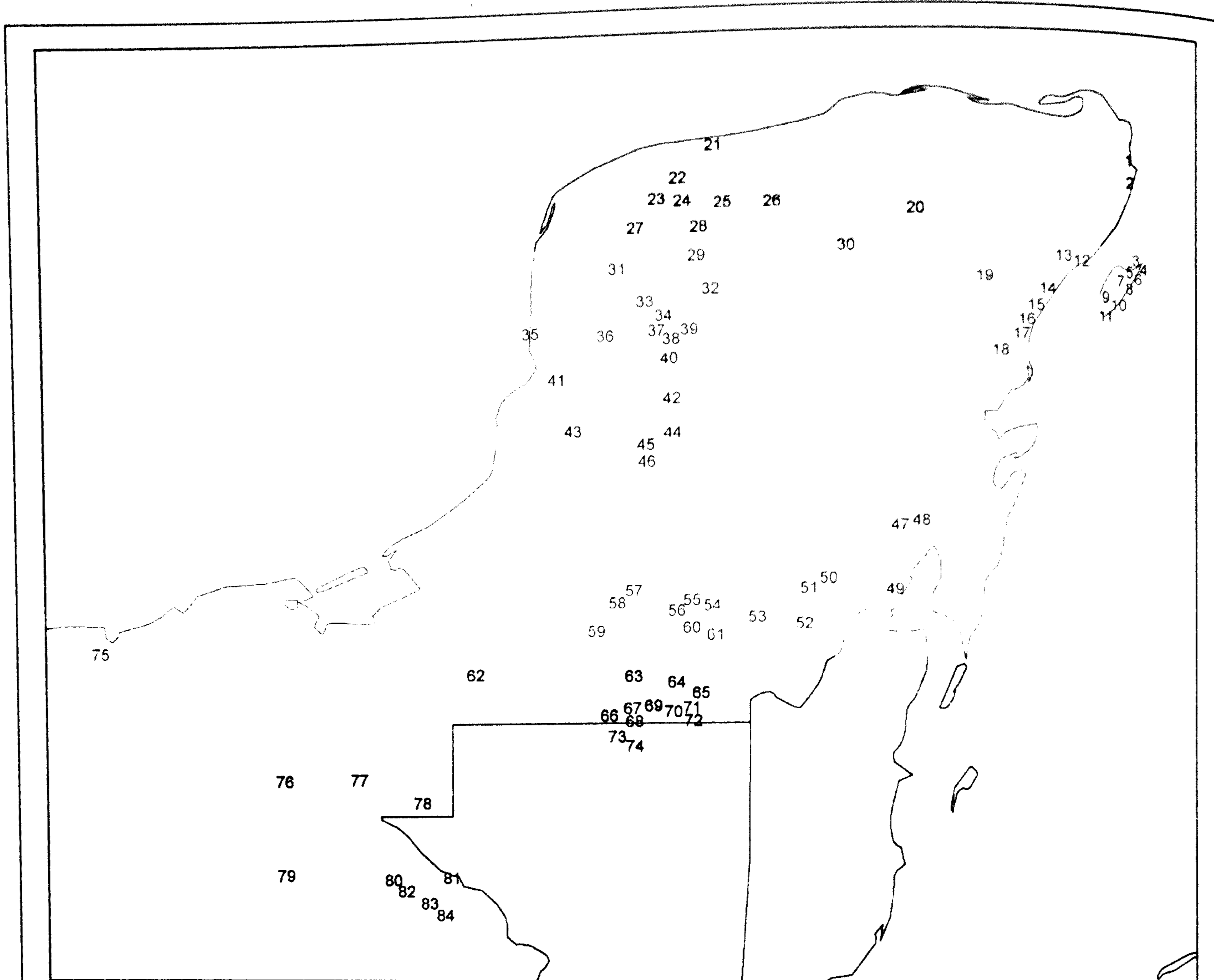
En primera instancia queremos expresar nuestro agradecimiento a la empresa FBC Datec y a sus dueños, la Sra. Ma. de Lourdes Camarena Martínez y el Lic. Luis Arturo Fonseca Camarena, por el financiamiento del proyecto "Propiedades astronómicas de la arquitectura y el urbanismo en Mesoamérica". La Dra. Nelly M. Robles García, Presidenta del Consejo de Arqueología del INAH, los Arqlgos. Salvador Guilliem, Coordinador Nacional de Arqueología del INAH, Ernesto Rodríguez Sánchez y Silvia Mesa Dávila, directores de Salvamento Arqueológico y del Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas respectivamente, José Ramírez (Pepe), responsable del Archivo Técnico del INAH, el Lic. Enrique Álvarez Tostado, director de lo Consultivo de la Coordinación Nacional de Asuntos Jurídicos del INAH, así como la Arqlga. Adriana Velázquez Morlet, la M.C. Lirio G. Suárez Améndola, el Lic. Antonio Ferrer, el Dr. Emiliano Gallaga, el Arqlgo. David Aceves y el Antrop. Eduardo López Calzada, directores de los Centros INAH Quintana Roo, Campeche, Tabasco, Chiapas y Yucatán, han facilitado la realización de las primeras dos temporadas del proyecto de distintas formas. Asimismo agradecemos los invaluable comentarios y otros apoyos muy diversos a Rubén Escartín Adam, Ma. Eugenia Romero, Enrique Nalda (q.e.p.d.), Sandra Balanzario, Rocío González de la Mata, Hortensia de Vega Nova, Fernando Cortés de Brasdefer, Enrique Terrones, José Manuel Ochoa, Mónica López

Portillo, María José Con Uribe, Darwin Carabeo, Luis León, Miguel Ocampo, Jesús González Vidal, Federico Ruiz, Rita Sheese, Carlos Vivas, Antonio Benavides, Sara Novelo, Vicente Suárez, José Huchim Herrera, Rubén Maldonado, Peter Schmidt, Alfredo Barrera, Eunice Uc, Beatriz Quintal Suaste, Leticia Vargas de la Peña, Víctor Castillo, Carlos Peraza, Fernando Robles, Tomás Gallareta, Rafael Burgos, Miguel Covarrubias, Diana Trejo, Daniel Ayala, William Ringle, Elizabeth Flores Torruco, Ricardo Náfate, Luis Heredia, José Luis Romero, Benito Venegas, Sisiyi Ruvalcaba, Carlos Varela Scherrer y Alejandro Tovalín Ahumada.

REFERENCIAS

- Aparicio, Antonio, Juan Antonio Belmonte, y César Esteban
 2000 Las bases astronómicas: el cielo a simple vista. En *Arqueoastronomía hispánica* (editado por J. A. Belmonte Avilés), 2a. ed., pp. 19-65. Equipo Sirius, Madrid.
- Aveni, Anthony F.
 1991 *Observadores del cielo en el México antiguo*. Fondo de Cultura Económica, México (trad.: J. Ferreiro; orig.: *Skywatchers of ancient Mexico*, University of Texas Press, Austin, 1980).
 2001 *Skywatchers: A Revised and Updated Version of Skywatchers of Ancient Mexico*. University of Texas Press, Austin.
 2010 Cosmology and Cultural Landscape: The Late Postclassic Maya of North Yucatán. En *Astronomers, Scribes, and Priests: Intellectual Interchange between the Northern Maya Lowlands and Highland Mexico in the Late Postclassic Period* (editado por G. Vail y C. Hernández), pp. 115-132. Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington.
- Aveni, Anthony F., Anne S. Dowd, y Benjamin Vining
 2003 Maya Calendar Reform? Evidence from Orientations of Specialized Architectural Assemblages. *Latin American Antiquity* 14 (2):159-178.
- Aveni, Anthony F., y Horst Hartung
 1978 Los observatorios astronómicos en Chichén Itzá, Mayapán y Paalmul. *Boletín de la Escuela de Ciencias Antropológicas de la Universidad de Yucatán* 6 (32):2-13.
 1986 *Maya City Planning and the Calendar*. Transactions of the American Philosophical Society Vol. 76, Part 7, Philadelphia.
- Belmonte Avilés, Juan Antonio, y Michael Hoskin
 2002 *Reflejo del cosmos: Atlas de arqueoastronomía en el Mediterráneo antiguo*. Equipo Sirius, Madrid.
- Galindo Trejo, Jesús
 1994 *Arqueoastronomía en la América antigua*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – Editorial Equipo Sirius, México.
- Hartung, Horst
 1975 A Scheme of Probable Astronomical Projections in Mesoamerican Architecture. En *Archaeoastronomy in Pre-Columbian America* (editado por A. F. Aveni), pp. 191-204. University of Texas Press, Austin.
- Hawkins, Gerald S.
 1968 Astro-archaeology. *Vistas in Astronomy* 10:45-88.
- Milbrath, Susan
 1999 *Star Gods of the Maya: Astronomy in Art, Folklore, and Calendars*. University of Texas Press, Austin.
- Miller, Arthur G.
 1974 West and East in Maya Thought: Death and Rebirth at Palenque and Tulum. En *Primera Mesa Redonda de Palenque, part II* (editado por M. Greene Robertson), pp. 45-49. The Robert Louis Stevenson School, Pre-Columbian Art Research, Pebble Beach.

- 1982 *On the Edge of the Sea: Mural Painting at Tancah-Tulum, Quintana Roo, Mexico*. Dumbarton Oaks, Washington.
- Morrison, L. V.
1980 On the Analysis of Megalithic Lunar Sightlines in Scotland. *Archaeoastronomy 2 (Journal for the History of Astronomy, suppl. to vol. 11):S65-S77*.
- Robles Castellanos, Fernando (coord.)
1986 *Informe anual del Proyecto Arqueológico Cozumel: Temporada 1980*. Cuaderno de Trabajo 2. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro Regional de Yucatán, México.
- Ruggles, Clive
1999 *Astronomy in Prehistoric Britain and Ireland*. Yale University Press, New Haven – London.
- Sánchez Nava, Pedro Francisco, e Ivan Šprajc
2011 *Propiedades astronómicas de la arquitectura y el urbanismo en Mesoamérica: Informe de la temporada 2010*. Archivo Técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- s.f. *Propiedades astronómicas de la arquitectura y el urbanismo en Mesoamérica: Informe de la temporada 2011 (en preparación)*.
- Šprajc, Ivan
1996a *Venus, lluvia y maíz: Simbolismo y astronomía en la cosmovisión mesoamericana*. México: INAH (Colección Científica 318).
- 1996b *La estrella de Quetzalcóatl: El planeta Venus en Mesoamérica*. México: Editorial Diana.
- 2001 *Orientaciones astronómicas en la arquitectura prehispánica del centro de México*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México (Colección Científica 427).
- 2004a Astronomical Alignments in Río Bec Architecture. *Archaeoastronomy: The Journal of Astronomy in Culture* 18:98-107.
- 2004b The South-of-East Skew of Mesoamerican Architectural Orientations: Astronomy and Directional Symbolism. En *Etno y arqueo-astronomía en las Américas: Memorias del simposio Arq-13 del 51 Congreso Internacional de Americanistas* (editado por M. Boccas, J. Broda y G. Pereira), pp. 161-176. Santiago de Chile.
- 2005 More on Mesoamerican Cosmology and City Plans. *Latin American Antiquity* 16 (2):209-216.
- 2008 Alineamientos astronómicos en la arquitectura. En *Reconocimiento arqueológico en el sureste del estado de Campeche, México: 1996-2005* (editado por I. Šprajc), pp. 233-242. BAR International Series 1742 (Paris Monographs in American Archaeology 19), Archaeopress, Oxford.
- 2010 Propiedades astronómicas de la arquitectura prehispánica en la isla de Cozumel, Quintana Roo, México. En *Los Investigadores de la Cultura Maya* 18, tomo II: 113-136. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche.
- Šprajc, Ivan, y Carlos Morales-Aguilar
2007 Alineamientos astronómicos en los sitios arqueológicos de Tintal, El Mirador y Nakbe, Peten, Guatemala. En *Proyecto Arqueológico Cuenca Mirador: Informe final temporada 2007* (editado por N. M. López), pp. 123–158. Instituto de Antropología e Historia, Guatemala.
- Šprajc, Ivan, Carlos Morales-Aguilar, y Richard D. Hansen
2009 Early Maya Astronomy and Urban Planning at El Mirador, Peten, Guatemala. *Anthropological Notebooks* 15 (3):79–101.
- Tichy, Franz
1991 *Die geordnete Welt indianischer Völker: Ein Beispiel von Raumordnung und Zeitordnung im vorkolumbischen Mexiko*. Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft 21. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.



- | | | | | | | | |
|----|---------------|----|-------------------|----|-------------|----|--------------------|
| 1 | El Meco | 22 | Dzibilchaltún | 43 | Edzná | 64 | Las Delicias |
| 2 | El Rey | 23 | Xamán Susulá | 44 | Dzibilnocac | 65 | Altar de los Reyes |
| 3 | Arrecife | 24 | Chen Ho | 45 | Tabasqueño | 66 | Uxul |
| 4 | Janán 1 | 25 | Aké | 46 | Hochob | 67 | Cheyokolnah |
| 5 | La Expedición | 26 | Izamal | 47 | Chacchoben | 68 | Chicaanticaanal |
| 6 | Castillo Real | 27 | Poxilá | 48 | Limones | 69 | Yaxnohcah |
| 7 | San Gervasio | 28 | Acanceh | 49 | Oxtankah | 70 | Balakbal |
| 8 | La Palma | 29 | Mayapán | 50 | Ichkabal | 71 | Champerico |
| 9 | El Cedral | 30 | Chichén Itzá | 51 | Dzibanché | 72 | El Gallinero |
| 10 | Buena Vista | 31 | Oxkintok | 52 | Kohunlich | 73 | El Mirador |
| 11 | El Caracol | 32 | Tipikal | 53 | Chakanbakán | 74 | Nakbe |
| 12 | Xcaret | 33 | Uxmal | 54 | Xpuhil | 75 | Comalcalco |
| 13 | Calica | 34 | Kabah | 55 | Becán | 76 | Palenque |
| 14 | Akumal | 35 | Jaina | 56 | Chicanná | 77 | Pomoná |
| 15 | Xelhá | 36 | Xcalumkin | 57 | Nadzcaan | 78 | San Claudio |
| 16 | Tancah | 37 | Sayil | 58 | Balamkú | 79 | Toniná |
| 17 | Tulum | 38 | Xlapak | 59 | Uitzilná | 80 | Nuevo Chetumal |
| 18 | Muyil | 39 | Labná | 60 | Hormiguero | 81 | Yaxchilán |
| 19 | Cobá | 40 | Sabana Piletas | 61 | Río Bec | 82 | Plan de Ayutla |
| 20 | Ek Balam | 41 | Akanmul | 62 | El Tigre | 83 | Lacanhá |
| 21 | Xcambó | 42 | Sta. Rosa Xtampak | 63 | Calakmul | 84 | Bonampak |

Figura 1. Mapa de sitios considerados en la investigación.

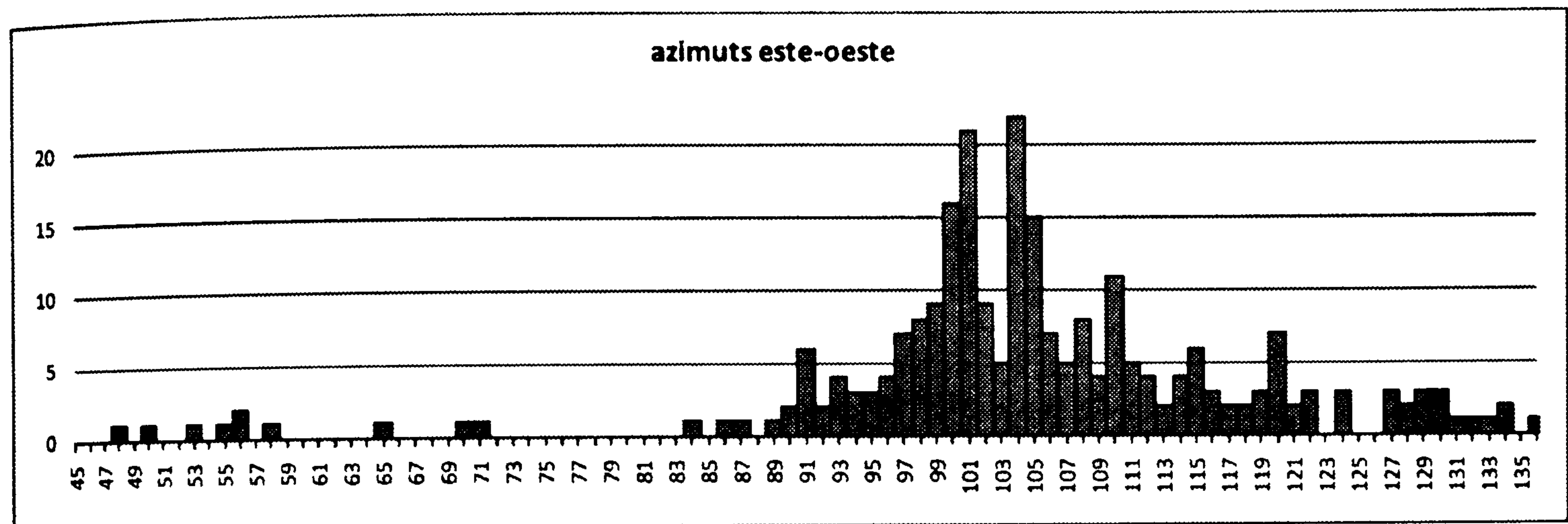
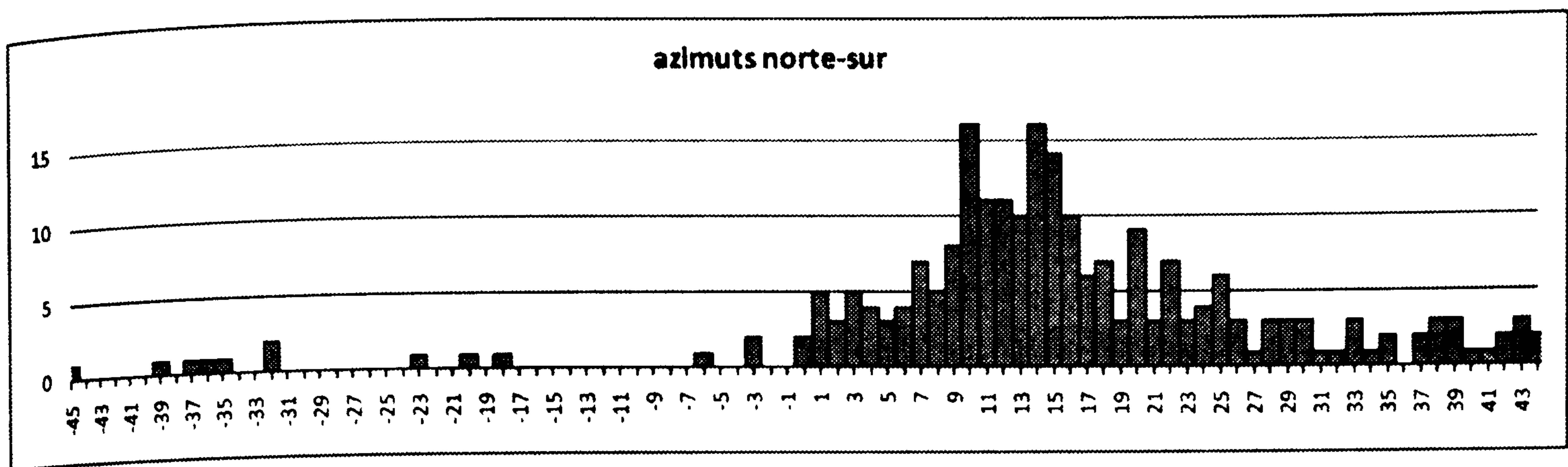


Figura 2. Distribución de los azimuts. En la escala horizontal de cada histograma sólo se indican los valores de los azimuts hacia el norte o hacia el este, ya que los azimuts en las direcciones opuestas son siempre 180° más grandes. Los azimuts hacia el este abarcan valores entre 45° y 135° ; los azimuts hacia el norte, de 315° a $360^\circ/0^\circ$ y de 0° a 45° , se indican como valores entre -45° y 45° . Los valores acimutales están espaciados en intervalos de 1° . Cada columna representa el número de azimuts cuyos valores se encuentran en el rango de 1° centrado en el valor indicado abajo, de manera que, por ejemplo, la columna correspondiente al valor de 48° incluye los azimuts mayores de 47.5° y menores de o iguales a 48.5° .

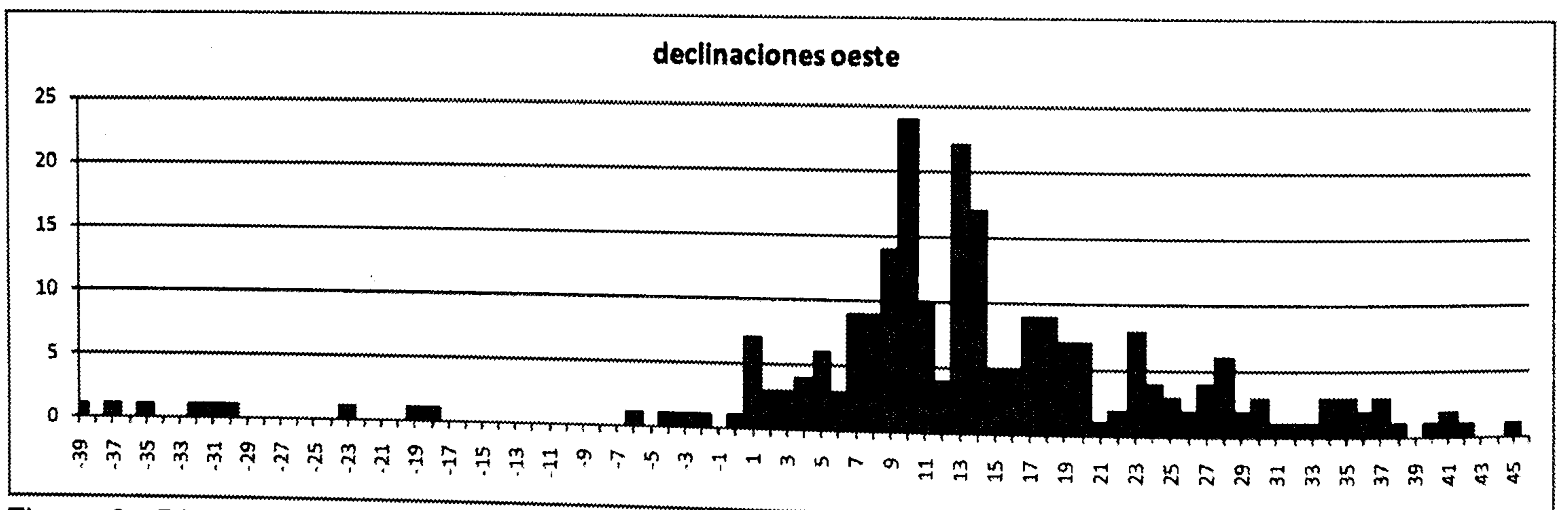
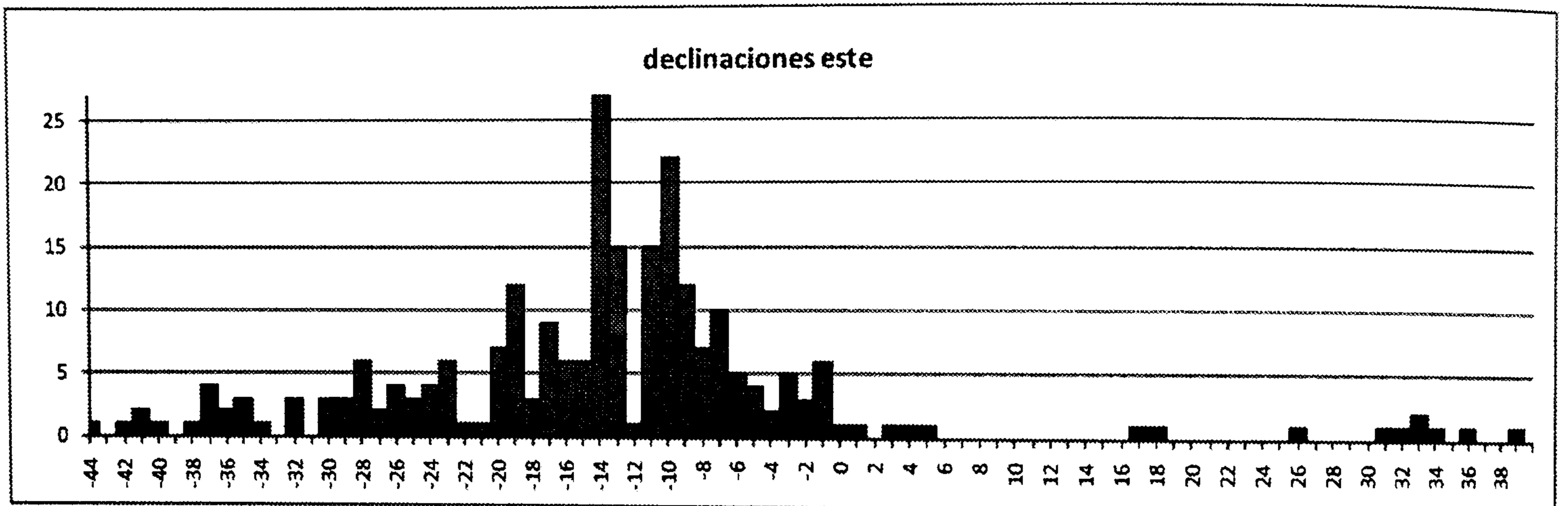
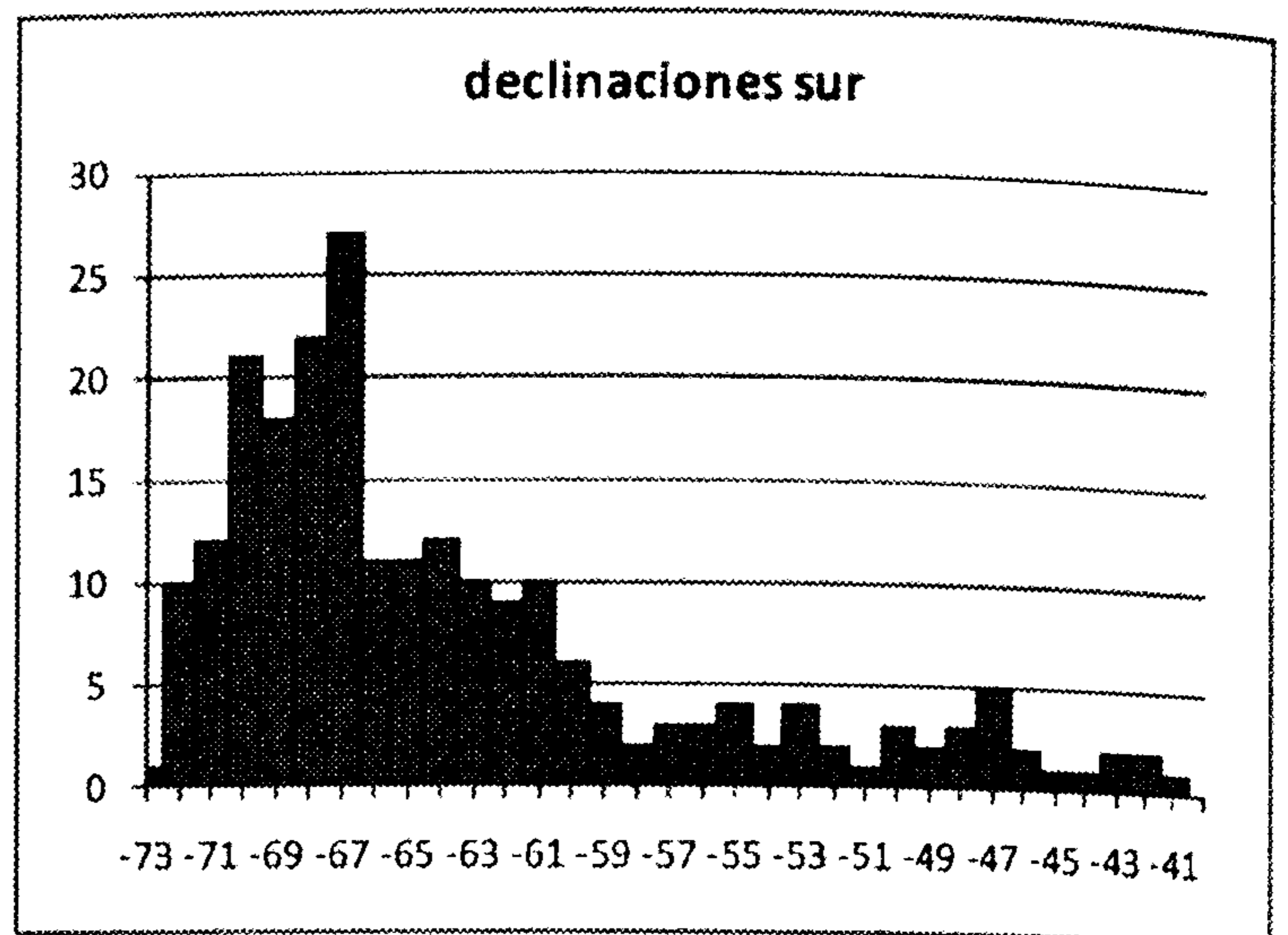
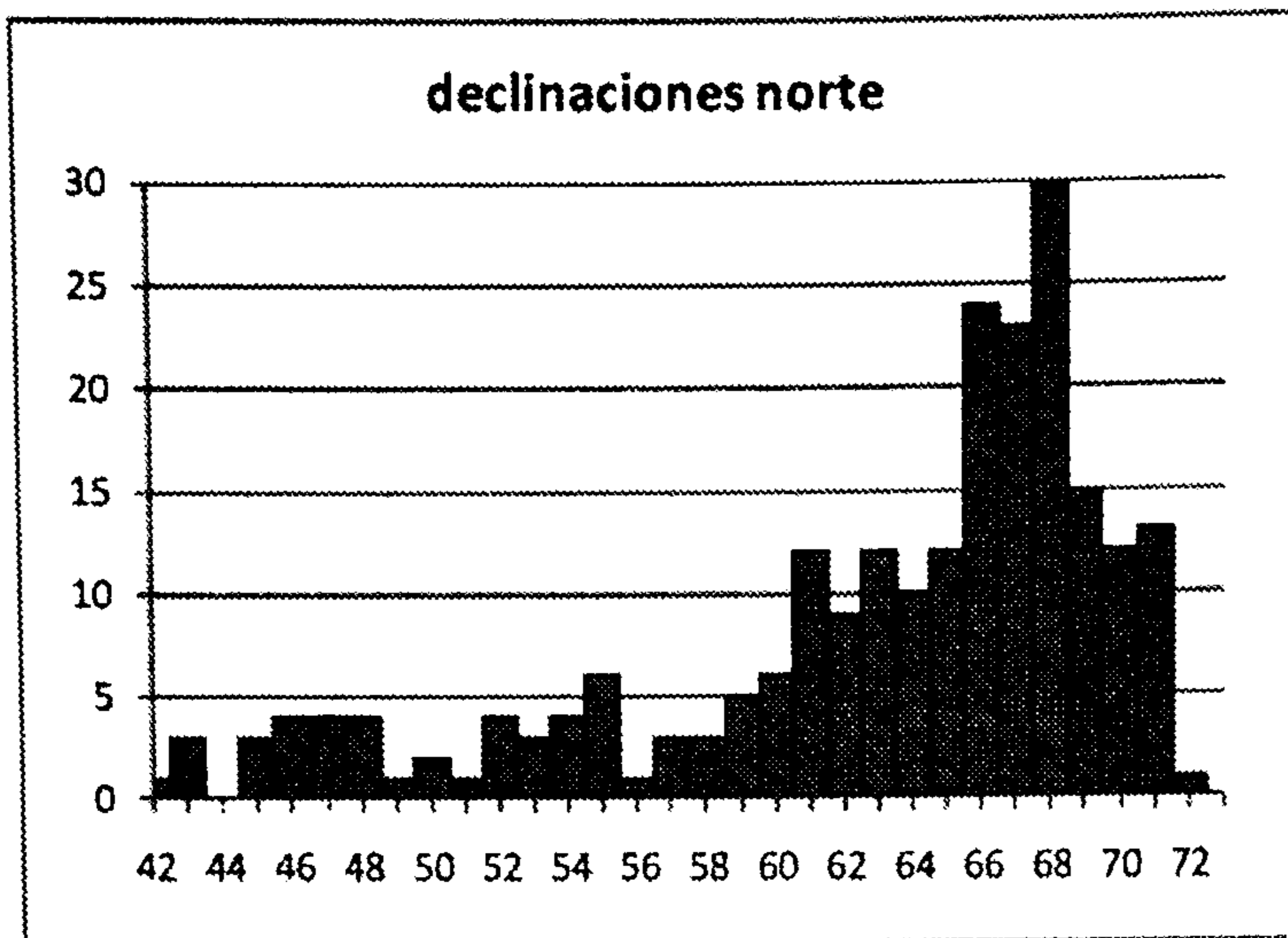


Figura 3. Distribución de las declinaciones. Los valores de declinación en la escala horizontal están espaciados, tanto en esta como en la siguiente figura, en intervalos de 1°; cada columna representa el número de declinaciones cuyos valores se encuentran en el rango de 1° centrado en el valor indicado abajo, de manera que, por ejemplo, la columna correspondiente al valor de 14° incluye las declinaciones mayores de 13.5° y menores de o iguales a 14.5°.

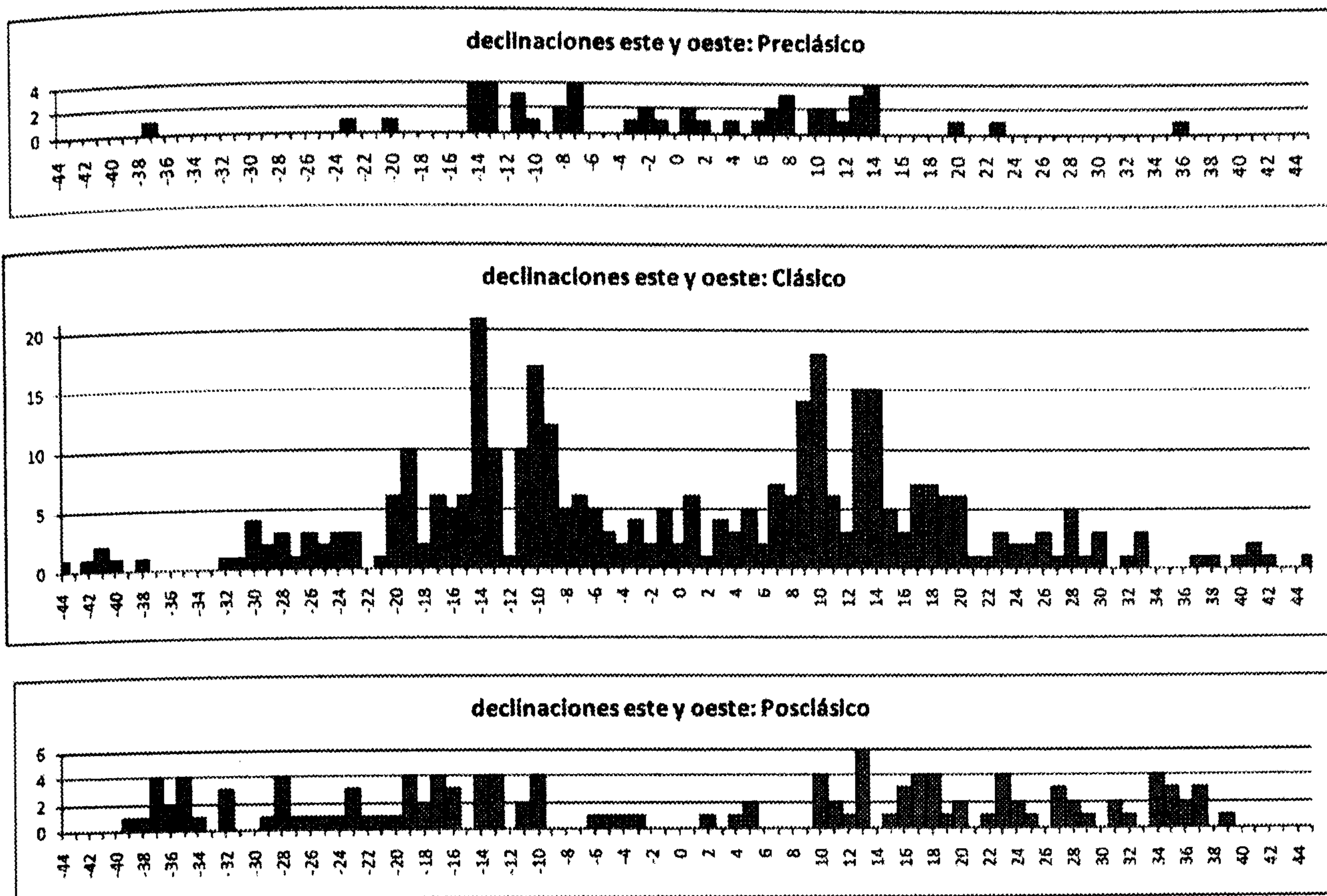


Figura 4. Distribución de las declinaciones este y oeste por periodos.

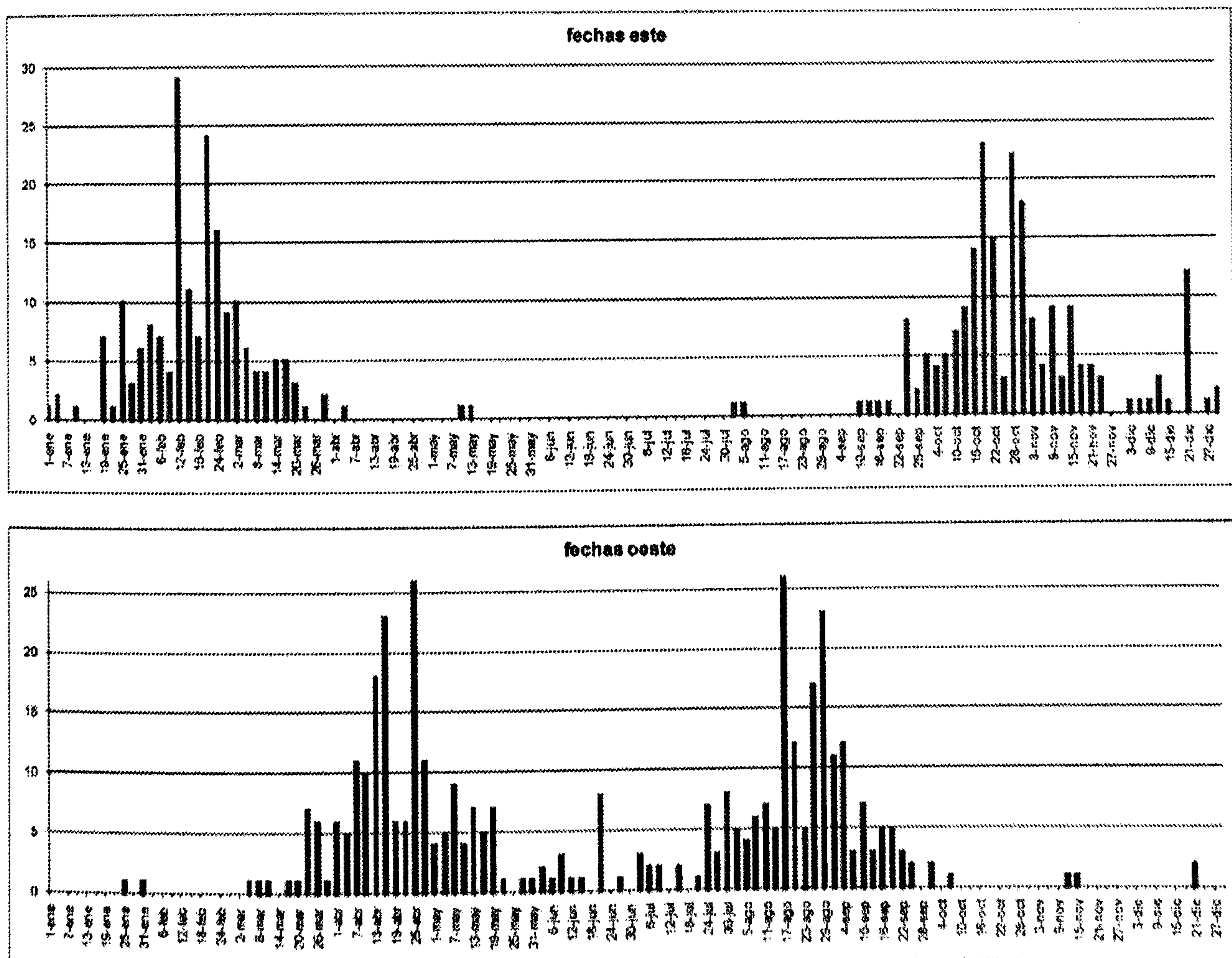


Figura 5. Distribución de las fechas de salida y puesta del Sol. En la escala horizontal de cada histograma se indican las fechas espaciadas en intervalos de 3 días; cada columna representa el número de orientaciones que marcan alguna de las fechas en el intervalo de 3 días centrado en la fecha indicada abajo.

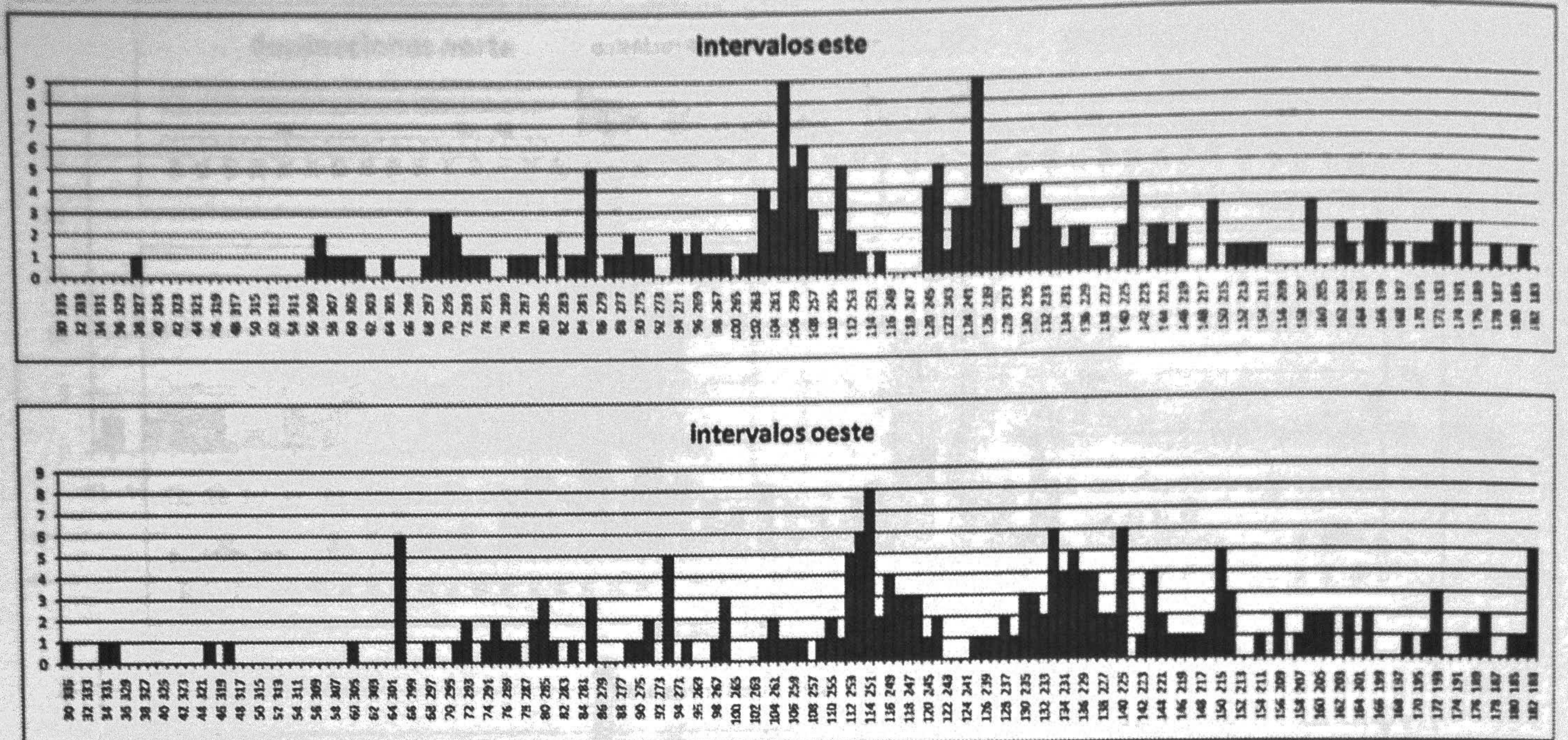


Figura 6. Distribución de los intervalos que separan las fechas de salida (intervalos este) y puesta del Sol (intervalos oeste).

sítio, estructura	A este	δ lunar este	δ lunar oeste	error δ	acceso hacia	periodo
Buena Vista, Estructura C18-1-a	119.5000	-27.3531	27.6471	1.00	S	PosTa
Cobá, Xaibé	122.3166	-29.8980	30.2019	2.00	W	CTa
Izamal, Chaltunhá	120.3500	-28.0088	28.3132	1.50	N	CTerm/PosTe
La Expedición, Estructuras 1-a, 1-b y 1-c	121.3750	-29.0246	29.3263	1.00	WNE	PosTa
Nuevo Chetumal, Edificio 1	57.9700	33.6852	-29.2351	2.00	N	CTa
Palenque, Templo de la Cruz	120.1150	-23.5614	28.5689	2.00	S	CTa
Sabana Piletas, Grupo Columnitas, edificio superior	120.1750	-27.6811	28.4055	1.00	N	CTa
San Gervasio, Grupo I, Estr. C22-4-b y 4-a	119.2167	-27.0585	27.3539	0.50	E	PosTa
San Gervasio, Grupo VI (El Ramonal), Acrópolis	120.0383	-27.8602	28.0692	0.50	S	CTe
Tancah, Estructura 12	119.5333	-27.4638	27.6928	1.00	E	PosTe
Tulum, Estructura 25	119.8094	-27.7000	28.6579	0.25	NS	PosTa
Xcalumkin, Colina Noroeste, edificio sur	121.4000	-28.4290	29.6206	0.50	S	CTa/Term
Xelha, El Palacio, parte norte	120.4520	-28.2936	28.5251	0.50	N	CTe/Ta
Xelha, Estructura de las Pilastras	121.9833	-29.6975	29.9322	1.00	S	CTe/Ta
Yaxchilán, Estructura 51	121.7944	-30.0065	30.8082	0.50	N	CTa

Tabla 1. Orientaciones posiblemente relacionadas con los extremos lunares mayores. Tanto en ésta como en otras tablas que siguen se dan todos los valores angulares en grados decimales, mientras que el significado de las abreviaturas es el siguiente: A: azimut; δ : declinación; error δ : posible error de declinación, estimado con base en las incertidumbres en los azimuts y alturas del horizonte; N, E, S, W: norte, este, sur, oeste; Pre: Preclásico; C: Clásico; Pos: Posclásico; Te: Temprano; M: Medio; Ta: Tardío; Term: Terminal; NA: dato no aplicable (por estar obstruida la vista hacia el horizonte). La temporalidad asignada a las estructuras se basa en la información arqueológica presentada en trabajos publicados e informes técnicos, citados exhaustivamente en Sánchez y Šprajc (2011; s.f.).

sitio, estructura	δ este	δ oeste	error δ	acceso hacia	periodo	fechas este		fechas oeste		intervalo este		intervalo oeste	
Aké, Estr. 1, recinto superior	-13.7634	13.3118	0.50	S	PosTa	12-feb	30-oct	25-abr	17-ago	105	260	114	251
Balamkú, Grupo Sur, Estr. 5 y 10	-13.8163	13.6297	1.00	NS	CTe	12-feb	30-oct	27-abr	17-ago	105	260	112	253
Becán, Estructura I	-13.9311	13.5611	0.20	S	CTa	12-feb	30-oct	26-abr	17-ago	105	260	113	252
Calakmul, Estructura I	-13.6944	13.3574	0.25	W	CTe	12-feb	29-oct	25-abr	18-ago	106	259	115	250
Chakanbakán, Nohochbalam	-13.9203	13.7958	1.00	S	PreTa	12-feb	30-oct	27-abr	17-ago	105	260	112	253
Cheyokolnah, Estr. 1-a	-13.4860	13.0833	1.00	W	CTe/Ta	13-feb	29-oct	24-abr	19-ago	107	258	117	248
Chicaanticaanal, Estr. 1	-13.5463	13.0889	1.00	E	CTe	13-feb	29-oct	25-abr	19-ago	107	258	116	249
Chichén Itzá, Casa Colorada	-13.9565	13.5406	1.00	W	CTerm	12-feb	30-oct	26-abr	17-ago	105	260	113	252
Comalcalco, Templo I	-14.1216	13.7117	0.50	E	CTa	11-feb	31-oct	26-abr	17-ago	103	262	113	252
Edzná, Templo de la Luna	-13.8438	13.6834	0.20	N	CTe	12-feb	30-oct	27-abr	17-ago	105	260	112	253
El Caracol, Estr. C1-1-a, fase tardía	-14.0896	NA	0.70	NSEW	PosTa	11-feb	31-oct	NA	NA	103	262	NA	NA
El Gallinero, Estructura A-1	-13.9681	14.1086	1.00	W	CTe/Ta	11-feb	30-oct	28-abr	15-ago	104	261	109	256
El Gallinero, Estructura B-1	-13.7437	13.6454	1.00	W	CTe/Ta	12-feb	29-oct	26-abr	17-ago	106	259	113	252
El Gallinero, Estructura D-1	-13.7026	13.4850	1.00	W	CTe/Ta	12-feb	29-oct	26-abr	17-ago	106	259	113	252
El Mirador, Pirámide Pava	-13.9693	13.5242	1.00	N	PreTa	12-feb	30-oct	26-abr	18-ago	105	260	114	251
Izamal, Kinich Kak Moo	-14.0884	13.5772	0.50	S	PreTa/CTe	11-feb	31-oct	26-abr	18-ago	103	262	114	251
Kabah, Codz Pop	-13.5371	13.3526	1.00	W	CTa/Term	13-feb	29-oct	26-abr	18-ago	107	258	114	251
Labná, El Mirador	-13.3471	13.4541	1.00	S	CTa/Term	13-feb	29-oct	26-abr	18-ago	107	258	114	251
Las Delicias, Estructura 2	-13.8342	13.3851	1.00	W	CTe	12-feb	30-oct	26-abr	18-ago	105	260	114	251
Muyil, Castillo, etapa temprana	-13.5448	13.1186	0.70	E	PosTe	13-feb	29-oct	24-abr	18-ago	107	258	116	249
Pomoná, Estructura 4	-13.8787	13.4269	0.50	E	CTa	12-feb	30-oct	26-abr	18-ago	105	260	114	251
Sayil, Palacio Norte, piso superior	-13.6210	14.0755	1.00	S	CTa/Term	12-feb	29-oct	27-abr	15-ago	106	259	110	255
Tabasqueño, Estructura 1	-14.2499	13.6825	0.40	NS	CTa/Term	11-feb	31-oct	27-abr	17-ago	103	262	112	253
Tancah, Estructura 1	-13.5278	13.0624	1.00	W	PosTa	13-feb	29-oct	24-abr	18-ago	107	258	116	249
Xcambó, estr. extrema oriente	-14.0085	13.6241	0.20	EW	CTe/Ta	11-feb	30-oct	26-abr	17-ago	104	261	113	252
Xcambó, Pirámide de la Cruz	-13.7103	13.2431	1.00	S	CTe/Ta	12-feb	29-oct	25-abr	18-ago	106	259	115	250
Yaxnohcah, Estructura C-1	-14.0492	13.6324	1.00	N	PreTa/CTe	11-feb	30-oct	27-abr	17-ago	104	261	112	253

Tabla 2. Orientaciones pertenecientes al grupo del intervalo este de 105/260 días.

sitio, estructura	δ este	δ oeste	error δ	acceso hacia	periodo	fechas este		fechas oeste		intervalo este		intervalo oeste	
Castillo Real, Estr. C7-1-a	-16.9205	16.5297	0.50	E	PosTa	2-feb	9-nov	6-may	7-ago	85	280	93	272
Chichén Itzá, T. Superior Jaguares	-17.2738	16.8361	0.30	W	CTerm/PosTe	31-ene	9-nov	6-may	5-ago	83	282	91	274
El Cedral, Estr. C15-1-a	-17.0323	16.6150	1.00	W	PosTa	2-feb	10-nov	6-may	7-ago	84	281	93	272
Hochob, Estructura 2	-17.0764	16.5454	1.00	S	CTa	2-feb	9-nov	6-may	7-ago	85	280	93	272
Oxtankah, Plaza Abejas, Estr. III	-17.0312	16.6020	1.00	N	CTe	1-feb	8-nov	6-may	7-ago	85	280	93	272
Sayil, Palacio Sur	-16.9153	17.1389	1.00	E	CTa/Term	2-feb	9-nov	8-may	5-ago	85	280	89	276
Tulum, Estructura 54	-16.6871	16.2298	1.00	E	PosTa	3-feb	8-nov	5-may	8-ago	87	278	95	270
Xlapak, B (suroeste)	-16.9884	17.6978	2.00	EW	CTa/Term	1-feb	8-nov	9-may	2-ago	85	280	85	280

Tabla 3. Orientaciones pertenecientes al grupo del intervalo este de 85/280 días.

sitio, estructura	δ este	δ oeste	error δ	acceso hacia	periodo	fechas este		fechas oeste		intervalo este		intervalo oeste	
Acanceh, Estr. 1, fase con mascarones	-10.5098	10.0298	1.00	NESW	PreTa	22-feb	20-oct	16-abr	28-ago	125	240	134	231
Acanceh, Palacio de los Estucos	-10.5555	10.1414	1.50	N	CTe	21-feb	20-oct	16-abr	27-ago	124	241	133	232
Aké, Estructuras 14 y 15	-10.0440	9.5836	1.00	SE	CTe	22-feb	19-oct	14-abr	28-ago	126	239	136	229
Balakbal, Estructuras VI y VIII	-9.9791	9.5191	1.00	EW	CTe	22-feb	18-oct	14-abr	29-ago	127	238	137	228
Becán, Estructura II	-10.2594	9.8945	0.33	E	CTa	22-feb	20-oct	15-abr	28-ago	125	240	135	230
Becán, Estructura X	-10.5686	10.2163	0.20	E	CTa	21-feb	21-oct	16-abr	27-ago	123	242	133	232
Calakmul, Grupo Noreste, estr. norte	-10.6734	10.4331	1.00	S	CTa	21-feb	21-oct	17-abr	26-ago	123	242	131	234
Chacchoben, Grupo I-D, estr. oeste	-10.0482	9.6689	1.50	E	CTe	22-feb	19-oct	14-abr	28-ago	126	239	136	229
Dzibanché, Kinichná, T. del Jaguar	-10.6384	10.4041	0.50	S	CTe	21-feb	21-oct	17-abr	27-ago	123	242	132	233
Dzibilchaltún, Estructura 38-sub	-10.0808	9.6615	1.00	W	CTa	23-feb	19-oct	14-abr	28-ago	127	238	136	229
Edzná, Cinco Pisos, santuario superior	-10.3403	10.1279	0.50	EW	CTa	22-feb	20-oct	16-abr	27-ago	125	240	133	232
El Caracol, Estr. C1-a temprana, C1-2a	-10.4803	10.0544	0.70	NSEW	PosTa	22-feb	21-oct	16-abr	27-ago	124	241	133	232
Ichkabal, Estructura 5	-9.9335	9.9096	0.50	W	CTe	23-feb	19-oct	16-abr	28-ago	127	238	134	231
Izamal, Itzamatul, parte superior	-10.1296	9.6554	1.00	W	PosTe	22-feb	19-oct	14-abr	28-ago	126	239	136	229
Jaina, Zayosal, Estructura II	-10.3131	9.8603	2.00	E	CTa	22-feb	20-oct	15-abr	28-ago	125	240	135	230
Kabah, Gran Pirámide (Estr. 1B2)	-10.4561	10.1892	1.00	S	CTa/Term	22-feb	20-oct	16-abr	27-ago	125	240	133	232
Kohunlich, Pixa'an, Estr. E-1	-10.0578	9.9303	0.50	S	CTa	23-feb	19-oct	15-abr	28-ago	127	238	135	230
Muyil, Castillo, etapa tardía	-10.2690	9.8265	2.00	W	PosTe	22-feb	20-oct	15-abr	28-ago	125	240	135	230
Nakbe, Estructuras 47 y 51	-10.2640	9.8725	2.00	EW	PreM	22-feb	19-oct	15-abr	28-ago	126	239	135	230
Río Bec, Grupo A, Estructura 1	-10.3306	10.3217	0.50	N	CTa	22-feb	20-oct	17-abr	27-ago	125	240	132	233
Tancah, Estructura 10	-10.4779	10.0603	1.00	S	PosTa	22-feb	21-oct	16-abr	27-ago	124	241	133	232
Uxmal, Adivino, Templo V (superior)	-10.4241	10.0212	0.50	EW	CTa/Term	22-feb	20-oct	15-abr	27-ago	125	240	134	231
Yaxnohcah, Estructuras B-1 y B-3	-10.3165	9.9372	1.00	EW	CTe	22-feb	20-oct	16-abr	28-ago	125	240	134	231

Tabla 4. Orientaciones pertenecientes al grupo del intervalo este de 125/240 días.

sitio, estructura	δ este	δ oeste	error δ	acceso hacia	periodo	fechas este		fechas oeste		intervalo este		intervalo oeste	
Calakmul, Estructura IV-B	-11.3140	11.0366	0.20	W	CTe	19-feb	22-oct	18-abr	24-ago	120	245	128	237
Chacchoben, Estr. 1	-11.1277	10.6808	0.33	W	CTe	19-feb	21-oct	17-abr	25-ago	121	244	130	235
Chen Ho, Estructura E-III-2	-11.1085	10.6902	1.00	W	CTe	19-feb	21-oct	17-abr	25-ago	121	244	130	235
Dzibanché, Tutil, Estr. T1	-10.8685	10.6862	1.00	S	CTe/Ta	20-feb	21-oct	17-abr	25-ago	122	243	130	235
Dzibanché, Tutil, Estr. T2	-11.2977	11.2176	0.75	S	CTe/Ta	19-feb	22-oct	19-abr	24-ago	120	245	127	238
El Mirador, Pirámide El Tigre	-11.4715	10.9613	1.00	E	PreTa	19-feb	22-oct	19-abr	25-ago	120	245	128	237
El Mirador, Pirámide Monos	-11.3833	10.8984	1.00	N	PreTa	19-feb	22-oct	18-abr	25-ago	120	245	129	236
El Rey, Estructura 2	-10.9629	10.5427	1.00	S	PosTa	20-feb	22-oct	17-abr	26-ago	121	244	131	234
El Rey, Estructura 22	-11.1234	11.3367	0.70	E	PosTa	20-feb	22-oct	19-abr	23-ago	121	244	126	239
Tabasqueño, Estructura 3	-11.0955	10.5283	0.50	N	CTa/Term	20-feb	22-oct	17-abr	26-ago	121	244	131	234

Tabla 5. Orientaciones pertenecientes al grupo del intervalo este de 120/245 días.

sitio, estructura	δ este	δ oeste	error δ	acceso hacia	periodo	fechas este		fechas oeste		intervalo este		intervalo oeste	
Aké, Estructura 1	-9.8037	9.3584	0.50	S	CTe	23-feb	18-oct	13-abr	29-ago	128	237	138	227
Becán, Estructura IV, parte superior	-9.7106	9.3203	0.20	NS	CTa	24-feb	18-oct	14-abr	30-ago	129	236	138	227
Becán, Estructura VIII	-9.3251	8.9482	0.20	W	CTa	25-feb	17-oct	13-abr	31-ago	131	234	140	225
Calakmul, Chiik Nahb, Estr. 1	-9.8430	9.6162	1.00	S	CTa	23-feb	18-oct	14-abr	29-ago	128	237	137	228
Calakmul, Estructura XIII	-9.2013	8.9128	1.00	S	CTe	25-feb	16-oct	12-abr	30-ago	132	233	140	225
Calakmul, Estructura XIV	-9.7426	9.4661	1.00	W	CTa	23-feb	18-oct	14-abr	29-ago	128	237	137	228
Chicanná, Estructura I	-9.2933	8.9359	0.20	E	CTa	25-feb	17-oct	13-abr	31-ago	131	234	140	225
Dzibilchaltún, Estructura 37	-9.3464	8.9280	1.00	S	CTa/Term	25-feb	17-oct	13-abr	31-ago	131	234	140	225
Hochob, Estructuras 5 y 6	-9.4320	8.9857	2.00	N	CTa	25-feb	18-oct	13-abr	30-ago	130	235	139	226
Kohunlich, El Rey (Estr. VI)	-9.2956	8.9331	0.20	E	CTa	25-feb	17-oct	12-abr	30-ago	131	234	140	225
Oxkintok, Estr. DZ-8 (Castillo)	-9.4395	9.4468	0.60	W	CTa	24-feb	17-oct	14-abr	29-ago	130	235	137	228
Pomoná, Estructura 1	-9.1801	8.8219	0.50	S	CTe	25-feb	16-oct	12-abr	30-ago	132	233	140	225
Xelha, Casa de los Pájaros	-9.1393	8.6863	1.00	N, S	CTe	25-feb	16-oct	11-abr	31-ago	132	233	142	223

Tabla 6. Orientaciones pertenecientes al grupo del intervalo este de 130/235 días.

sitio, estructura	δ este	δ oeste	error δ	acceso hacia	periodo	fechas este		fechas oeste		intervalo este		intervalo oeste	
Calakmul, Estructura IV-B	-11.3140	11.0366	0.20	W	CTe	19-feb	22-oct	18-abr	24-ago	120	245	128	237
Calakmul, Grupo Noreste, estr. norte	-10.6734	10.4331	1.00	S	CTa	21-feb	21-oct	17-abr	26-ago	123	242	131	234
Chacchoben, Estr. 1	-11.1277	10.6808	0.33	W	CTe	19-feb	21-oct	17-abr	25-ago	121	244	130	235
Chen Ho, Estructura E-III-2	-11.1085	10.6902	1.00	W	CTe	19-feb	21-oct	17-abr	25-ago	121	244	130	235
Dzibanché, Kinichná, T. del Jaguar	-10.6384	10.4041	0.50	S	CTe	21-feb	21-oct	17-abr	27-ago	123	242	132	233
Dzibanché, Tutil, Estr. T1	-10.8685	10.6862	1.00	S	CTe/Ta	20-feb	21-oct	17-abr	25-ago	122	243	130	235
El Mirador, Pirámide El Tigre	-11.4715	10.9613	1.00	E	PreTa	19-feb	22-oct	19-abr	25-ago	120	245	128	237
El Mirador, Pirámide Monos	-11.3833	10.8984	1.00	N	PreTa	19-feb	22-oct	18-abr	25-ago	120	245	129	236
El Rey, Estructura 2	-10.9629	10.5427	1.00	S	PosTa	20-feb	22-oct	17-abr	26-ago	121	244	131	234
Río Bec, Grupo A, Estr. 1	-10.3306	10.3217	0.50	N	CTa	22-feb	20-oct	17-abr	27-ago	125	240	132	233
Tabasqueño, Estructura 3	-11.0955	10.5283	0.50	N	CTa/Term	20-feb	22-oct	17-abr	26-ago	121	244	131	234

Tabla 7. Orientaciones pertenecientes al grupo del intervalo oeste de 130/235 días.

sitio, estructura	δ este	δ oeste	error δ	acceso hacia	periodo	fechas este		fechas oeste		intervalo este		intervalo oeste	
Altar de los Reyes, Estructura 13	-7,8988	7,5222	1,00	W	CTe/Ta	28-feb	13-oct	8-abr	3-sep	138	227	148	217
Chen Ho, Estructura E-II-2	-7,6117	7,1975	1,00	?	CTe	1-mar	12-oct	7-abr	4-sep	140	225	150	215
Cobá, Grupo B (Cobá), La Iglesia	-7,4159	6,9412	1,50	W	CTe/Ta	1-mar	12-oct	7-abr	5-sep	140	225	151	214
Dzibilchaltún, Estructura 44	-7,4825	7,0661	1,00	N	CTa/Term	2-mar	12-oct	8-abr	5-sep	141	224	150	215
El Gallinero, Estructura C-9	-7,4229	7,1484	2,00	W	CTe/Ta	2-mar	12-oct	8-abr	4-sep	141	224	149	216
Ichkabal, Estr. 4	-7,2620	7,1002	0,50	W	CTe	2-mar	12-oct	8-abr	5-sep	141	224	150	215
Xpuhil-I, Estructura I	-7,2398	6,9991	0,30	E	CTa	2-mar	12-oct	7-abr	5-sep	141	224	151	214

Tabla 8. Orientaciones pertenecientes al grupo del intervalo este de 140/225 días.

sitio, estructura	δ este	δ oeste	error δ	acceso hacia	periodo	fechas este		fechas oeste		intervalo este		intervalo oeste	
Aké, Estructura 1	-9,8037	9,3584	0,50	S	CTe	23-feb	18-oct	13-abr	29-ago	128	237	138	227
Becán, Estr. IV, parte superior	-9,7106	9,3203	0,20	NS	CTa	24-feb	18-oct	14-abr	30-ago	129	236	138	227
Becán, Estructura VIII	-9,3251	8,9482	0,20	W	CTa	25-feb	17-oct	13-abr	31-ago	131	234	140	225
Calakmul, Estructura XIII	-9,2013	8,9128	1,00	S	CTe	25-feb	16-oct	12-abr	30-ago	132	233	140	225
Chicanná, Estructura I	-9,2933	8,9359	0,20	E	CTa	25-feb	17-oct	13-abr	31-ago	131	234	140	225
Dzibanché, Estructura 3	NA	9,2299	1,00	S	CTa	NA	NA	13-abr	30-ago	NA	NA	139	226
Dzibilchaltún, Estructura 37	-9,3464	8,9280	1,00	S	CTa/Term	25-feb	17-oct	13-abr	31-ago	131	234	140	225
Hochob, Estructuras 5 y 6	-9,4320	8,9857	2,00	N	CTa	25-feb	18-oct	13-abr	30-ago	130	235	139	226
Kohunlich, El Rey (Estr. VI)	-9,2956	8,9331	0,20	E	CTa	25-feb	17-oct	12-abr	30-ago	131	234	140	225
Pomoná, Estructura 1	-9,1801	8,8219	0,50	S	CTe	25-feb	16-oct	12-abr	30-ago	132	233	140	225
Xelha, Casa de los Pájaros	-9,1393	8,6863	1,00	NS	CTe	25-feb	16-oct	11-abr	31-ago	132	233	142	223

Tabla 9. Orientaciones pertenecientes al grupo del intervalo oeste de 140/225 días.