

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Cultura,
Pensamiento e Identidad de la Sociedad Guatemalteca.

INFORME FINAL

Relación de fechas en el código de Dresden y fenómenos astronómicos observables en la región de Guatemala y Yucatán.

David Marín, Coordinador del proyecto.

Joshua Lemus, Auxiliar de Investigación.

Guatemala 12 de Octubre de 2017

Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas. Usac.

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Dr. José Edgardo Cal Montoya
Coordinador del Programa de Investigación

Dr. David Marín Roma
Coordinador del proyecto.

Joshua Lemus
Auxiliar de Investigación

NUMERO DE PARTIDA 4.8.63.3.13.022

Partida Presupuestaria 4.8.63.3.13.022

Año de ejecución 2017

Índice

1	Resumen	7
2	Abstract	7
3	Introducción.....	8
3.1	Objetivos.....	10
4	Marco teórico y estado del arte	10
4.1	Tabla de eclipses en el código de Dresden:	10
4.2	Intervalos en la tabla de eclipses.	13
4.3	Fechas en la tabla de eclipses.	14
4.4	Comentarios sobre el posible uso de la tabla de eclipses.	15
4.5	Estructura de los datos:.....	16
4.6	Eclipses de sol y luna.....	18
4.7	Sistema Tierra Luna.....	19
4.8	Five millennium catalog of solar/lunar eclipses.	20
4.9	Modelos matemáticos.....	20
4.10	Medición del tiempo.....	21
4.11	Stellarium.....	22
4.12	Estudios recientes.	22
5	Materiales y métodos.....	23
5.1	Datos.....	24
5.1.1	Eclipses observados desde la región de Guatemala y Yucatán.	24
5.2	Métodos.	26
5.3	Cuantificación de variable coincidencia.....	27
6	Resultados	27
6.1	Coincidencias de 69 fechas con eclipses de sol y de luna, tomando como punto de partida fechas en el código.	27
6.2	Coincidencias de 69 intervalos comparando con el registro de todos los eclipses de sol y de luna ocurridos del año cero al año 1500.....	29
6.2.1	Eclipses de luna.	29
6.2.2	Eclipses de sol.	30

6.3	Coincidencias de 69 intervalos comparando con el catálogo de eclipses de sol y de luna visibles desde la localidad 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.....	31
6.4	Coincidencias de 10 figuras comparando con el catálogo de eclipses de sol y de luna visibles desde la localidad 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.....	32
6.5	Secuencias con alta correlación vistos desde la posición 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.....	33
6.5.1	Coincidencias de las 10 figuras.....	34
6.5.2	Datos de eclipses solares.....	34
6.5.3	Datos de eclipses lunares.....	34
6.5.4	Coincidencias de los 69 intervalos.....	35
6.5.5	Datos de eclipses de sol.....	35
6.5.6	Datos de eclipses lunares.....	35
6.6	Estadística de intervalos entre eclipses.....	35
6.6.1	Intervalos entre eclipses, datos globales.....	35
6.6.2	Intervalos entre eclipses, datos locales 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste. 36	
7	Matriz de resultados.....	37
8	Impacto esperado.....	38
9	Análisis y discusión de resultados.....	40
9.1	Coincidencias de 69 intervalos en el código para las fechas iniciales en la página 52(a) según la correlación GMT.....	40
9.2	Coincidencias de 69 intervalos con el catálogo de eclipses de sol y luna.....	40
9.2.1	Datos globales.....	40
9.2.2	Datos locales.....	41
9.3	Coincidencias de las 10 figuras con eclipses de sol o luna vistos desde la posición 18° Norte 90.5° Oeste.....	42
9.3.1	Comentario sobre la posibilidad de que las 10 figuras correspondan a eclipses de luna.....	42
10	Coincidencias con el amanecer heliacal de Venus.....	43
10.1	Coincidencias de 69 intervalos y amanecer heliacal:.....	43
10.2	Coincidencias de los 10 intervalos y amanecer heliacal:.....	44
11	Conclusiones.....	44
12	Referencias.....	48
13	Apéndices.....	50

13.1 Estadística de intervalos entre eclipses de sol y de luna vistos desde la posición 18° Latitud norte, 90.5° Longitud Oeste.....	50
13.2 Programas en lenguaje Python usados en el estudio.	51
13.2.1 Convertir fechas de eclipses en los catálogos a días julianos :.....	52
13.2.2 Buscar coincidencias.	53
13.2.3 Dibujar histogramas.....	54
13.2.4 Escribir series de eclipses.....	54
13.3 Código fuente:	55
13.4 Actividades de gestión, vinculación y divulgación	63
13.5 Orden de pago.....	63
13.6 Integrantes del equipo de investigación:.....	64

Índice de ilustraciones

Figura 1. La tabla de eclipses, páginas 51 a 58 del código de Dresden.	11
Figura 2. Ampliación de las 10 figuras.	12
Figura3. Ejemplo de Textos acompañando las figuras.	12
Figura 4. Páginas 51a y 52a del código.	14
Figura 5. Una lunación completa 29.53 días.	16
Figura 6. Orbita lunar y nodos.....	17
Figura 7. Sistema tierra – luna.....	19
Figura 8. Esquema de un eclipse de luna.....	19
Figura 9. Ciudades Mayas consideradas en el estudio.....	25
Figura 10. Coincidencias de 69 intervalos con el catálogo de eclipses de luna del año cero al año 1500.....	30
Figura 11. Coincidencias de 69 intervalos con el catálogo de eclipses de sol del año cero al año 1500.....	31

Figura 12. Coincidencias de 69 intervalos con los catálogos de eclipses de sol y luna visibles desde la posición 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.....	32
Figura 13. Coincidencias de 10 figuras con eclipses de sol y luna vistos desde la posición 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.....	33

Tablas

Tabla 1. Coincidencias de 69 intervalos en el código con el catálogo de eclipses de luna.	28
Tabla 2. Coincidencias de 69 intervalos en el código con el catálogo de eclipses de sol....	29
Tabla 3. Estadística de intervalos entre eclipses de sol y luna.	36
Tabla 4. Estadística de intervalos entre eclipses para la región de Yucatán.	37
Tabla 5. Porcentajes de eclipses de sol y de luna vistos desde la región de Yucatán para cada intervalo de días.....	51

Relación de fechas en el códice de Dresden y fenómenos astronómicos observables en la región de Guatemala y Yucatán.

Resumen

Las páginas 51 a 58 en el códice en Dresden contienen 69 intervalos de tiempo separados por 177 o 148 días que corresponden a seis lunaciones o cinco lunaciones respectivamente. Esto, junto con la iconografía asociada sugiere que los intervalos se refieren a eclipses. Diez de los intervalos parecen ser de especial importancia debido a que tienen ilustraciones y un texto más largo que los otros intervalos. La tabla ha sido estudiada por más de cien años y sin embargo todavía no hay un consenso de todos los investigadores sobre el significado que tienen estos intervalos. Una posibilidad es que la tabla de sea un registro de eclipses observados desde alguna región de Mesoamérica. Sin embargo, usando la correlación más aceptada entre los calendarios Maya y Gregoriano, las fechas anotadas en el códice no corresponden con eclipses notables en Mesoamérica, además estas fechas son más de quinientos años anteriores a la fecha en la que se piensa fue escrito el códice, lo cual ha llevado a otros investigadores a proponer que la tabla de eclipses es un instrumento para predecir la posibilidad de eclipses de sol o de luna dependiendo de la fecha en la que se inicia el conteo. El presente estudio toma como base el catálogo de todos los eclipses ocurridos desde el año cero hasta el año 1500 publicado por la agencia espacial NASA y genera series de eclipses según los intervalos en el códice para evaluar si coinciden con los eclipses ocurridos en este período.

Abstract

We take the time intervals in the Maya Dresden codex to generate eclipse series starting from each entry in the catalogue of all eclipses on earth from the year zero to the year 1500 and evaluate the number of coincidences of the eclipse series generated by the codex with the catalogue of all eclipses on earth, and the catalogue of eclipses visible in several important Maya cities. We present the statistics of the “coincidence” variable to address various questions in the literature about the nature and the possible use of the eclipse table.

Introducción

Los códices mayas son libros escritos antes de la llegada de los españoles, formados por una tira larga de corteza de árbol, dobladas en forma de acordeón, y recubiertas por una fina capa de estuco (Thomson, 1972). Durante la conquista estos libros eran muy comunes como lo muestran varias crónicas de la época (Landa, 1566). Sin embargo, solo cuatro de estos libros que alguna vez abundaron en Mesoamérica han llegado hasta nuestros días, y son llamados por el lugar en donde se encuentran actualmente: El códice de Dresden, de Madrid, de París y fragmentos de otro (llamado de Grolier) encontrados en Chiapas.

El códice de Dresden es el más antiguo y extenso y contiene información sobre varios ciclos astronómicos entre los cuales se han encontrado los períodos sinódicos de Venus y Marte, ciclos de eclipses de sol y de luna, y ciclos que contienen el período sinódico de Júpiter y Saturno. Las pruebas de carbono 14 combinadas con un análisis iconográfico y etnográfico apunta a Yucatán como lugar de origen, alrededor del siglo trece o catorce (Linton, Ralph, 1960). Sin embargo algunos investigadores piensan que el material que incluye el códice fue recopilado a lo largo de cientos de años, pasando de una generación a otra, por lo que el contenido del mismo sería mucho más antiguo (Bricker, Bricker, 2011). Según el estilo de los trazos se ha sugerido que el códice de Dresden fue escrito por al menos ocho escribas (Zimmermann, 1956). Se piensa que fue llevado a Europa poco después de la conquista y permaneció olvidado por unos doscientos años.

Volvió a aparecer hasta que el director de la Biblioteca de Dresden lo compró en 1739, luego pasaron más de cien años hasta que fueron publicadas las primeras copias de este manuscrito por Lord Kingsborough (1831), pero fue hasta 1880 que el primer estudio de sus páginas fue publicado por Forstemann (1906). El códice llegó a Dresden en tres partes y tomó otros veinte años a Forstemann entender el orden correcto de estas páginas. En 1901 publicó la versión corregida y el primer comentario completo del códice, esto motivó a otros investigadores a estudiar el documento.

En 1913 Meinshausen observó que la tabla en las páginas 51 a 58 se refería a eclipses debido a que los intervalos de tiempo de 177 y 148 días corresponden a seis y cinco lunaciones respectivamente, y los períodos entre figuras corresponden a períodos de eclipses conocidos. (Aveni, 2001) A pesar de más de cien años de estudiar el manuscrito todavía no se llega a un consenso sobre el significado y posible uso de la tabla de eclipses.

La opinión más difundida es que la tabla de eclipses fue usada como instrumento para predecir estos fenómenos. Otra opción es que la tabla es un registro de eclipses observados. El problema es que con la correlación más aceptada entre los calendarios maya y gregoriano pocas fechas en el códice coinciden con eclipses. Esto ha motivado a buscar otras constantes de correlación. Aunque la tabla sea un instrumento de predicción tiene que estar basado en algunas observaciones, y lo más probable es que ambos puntos de vista se aplican en este caso, es decir, la tabla es un registro de eclipses que fue contrastado muchas veces con la observación con el fin de buscar un comportamiento periódico que permita predecir los eclipses.

En la actualidad se cuenta con más recursos para estudiar la tabla de eclipses, lenguajes de programación más accesibles, programas para simular el cielo y una base de datos de eclipses más completa. El presente estudio revisa de nuevo las dos hipótesis principales:

1. Es una tabla usada para predecir la posibilidad de eclipses.
2. Es un registro de eclipses observados desde alguna región de Mesoamérica.

En cada caso consideramos si los eclipses son de sol, de luna o un registro combinado.

El significado de los diez intervalos con figura no es del todo claro. Hay tres posibilidades: Una es que los intervalos con figura son eclipses de sol, los otros sin figura son eclipses de luna. Si los intervalos fueran todos eclipses de luna, los diez intervalos con figura podrían referirse a eclipses totales, o a conjunciones especiales con planetas u otros fenómenos. Por otro lado, si todos fueran eclipses de sol, puede que los intervalos marquen eclipses de especial significado, por suceder en conjunción con planetas o algún otro evento notable.

Objetivos.

El objetivo de este estudio es presentar las evidencias que apoyan las distintas hipótesis consideradas en la literatura sobre el tema: ¿Es un registro de eclipses observados?, ¿son eclipses de sol o de luna ? ¿es un instrumento para predecir eclipses? Las distintas opciones no son excluyentes, ya hemos mencionado que un instrumento de predicción tiene que basarse en algunas observaciones. También es posible que, como la tabla de eclipses tiene varias fechas separadas por quince días en las que presumiblemente puede iniciarse el conteo, si una fecha predice eclipses de luna, entonces empezando en la otra fecha serviría para predecir eclipses de sol, ya que los eclipses de luna suceden en la luna llena, mientras que los eclipses de sol suceden en la luna nueva, separadas más o menos quince días.

El presente estudio trata solo la información en las tablas numéricas del códice, sin considerar los textos jeroglíficos que las acompañan. Aunque esto limita el alcance de las conclusiones, la motivación para hacerlo es que este estudio sea de utilidad a los investigadores de epigrafía maya, ya que otros estudios que abogan por conclusiones parciales como cambiar la correlación entre calendarios maya y gregoriano, o dar nuevos significados a las figuras, no son aceptados fácilmente por la comunidad de académicos expertos en el tema.

Marco teórico y estado del arte

Tabla de eclipses en el códice de Dresden:

La tabla de eclipses ocupa las páginas 51 a la 58 del códice (Figura 1) y cubre un intervalo de 11960 días (poco más de 32 años), y comprende 405 lunaciones. Cada página está dividida a la mitad por una línea horizontal de color rojo. La tabla se lee primero en la mitad de arriba de 51a a 58a Y luego se pasa a la mitad de abajo de 51b a 58b. Las páginas 51a y 52a contienen fechas de entrada a la tabla principal y una tabla de múltiplos. La parte propiamente de eclipses empieza en la página 53a.

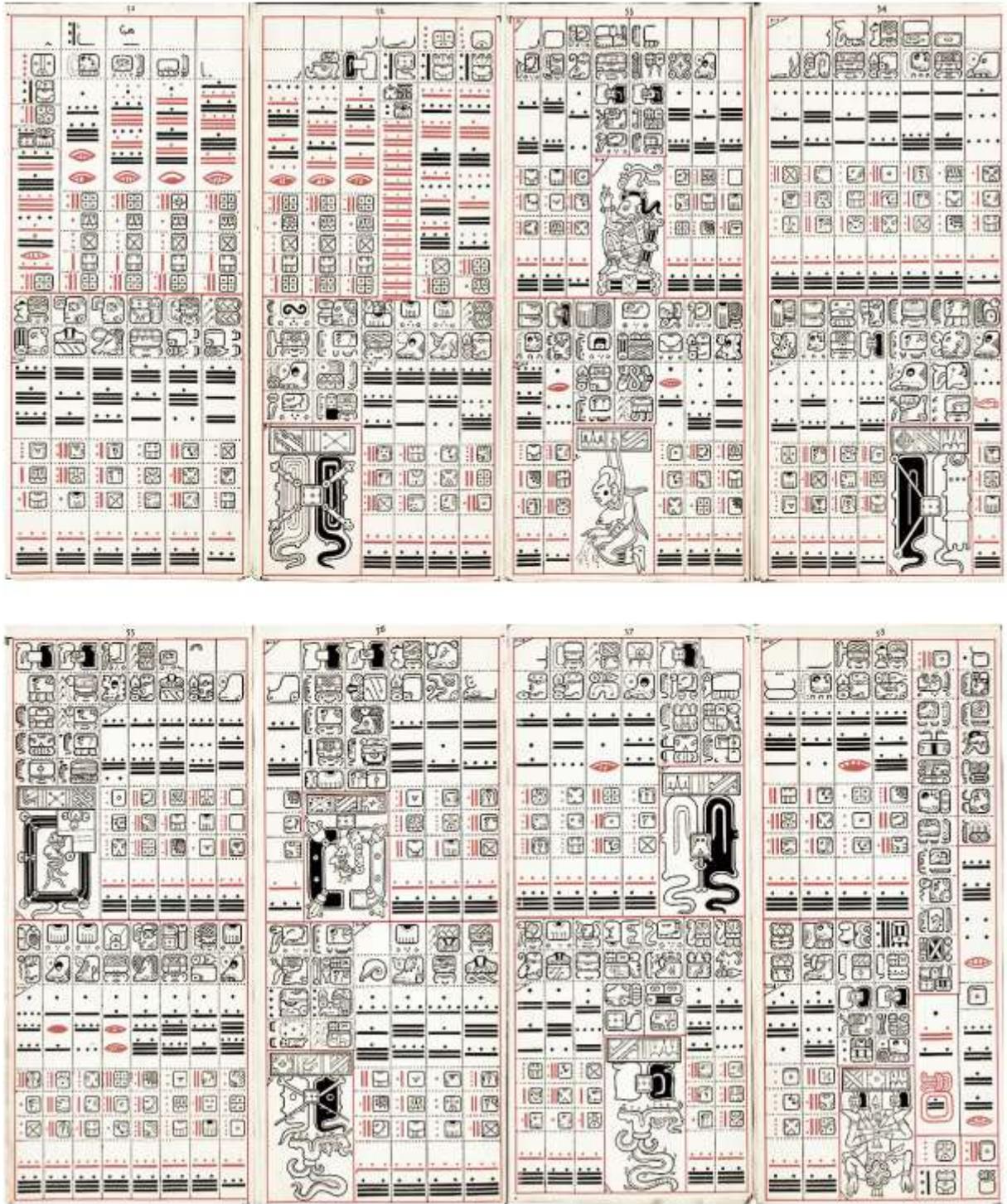


Figura 1. La tabla de eclipses, páginas 51 a 58 del código de Dresden. Adaptado de la versión de W. Gates (1932).

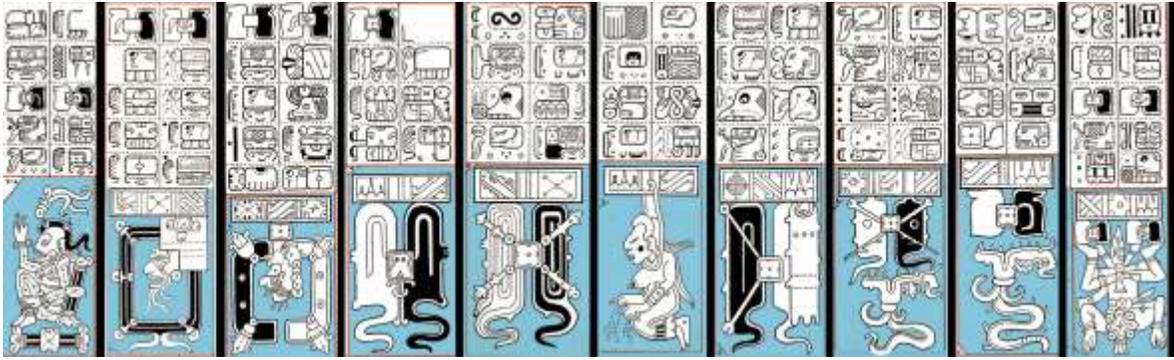


Figura 2. Ampliación de las 10 figuras. Adaptado de W. Gates (1932)

Las columnas empiezan con una fecha del calendario de 365 días llamado Haab (Figura 3), seguido de un número en negro que es el total de días acumulados desde la última Figura, luego hay 3 filas con fechas consecutivas del calendario de 260 días llamado Tzolk'in, lo cual parece un intervalo de ± 1 día en la fecha del eclipse. En la última fila de cada columna aparece uno de estos números: 177 o 148, que corresponden a 6 y 5 meses lunares respectivamente.

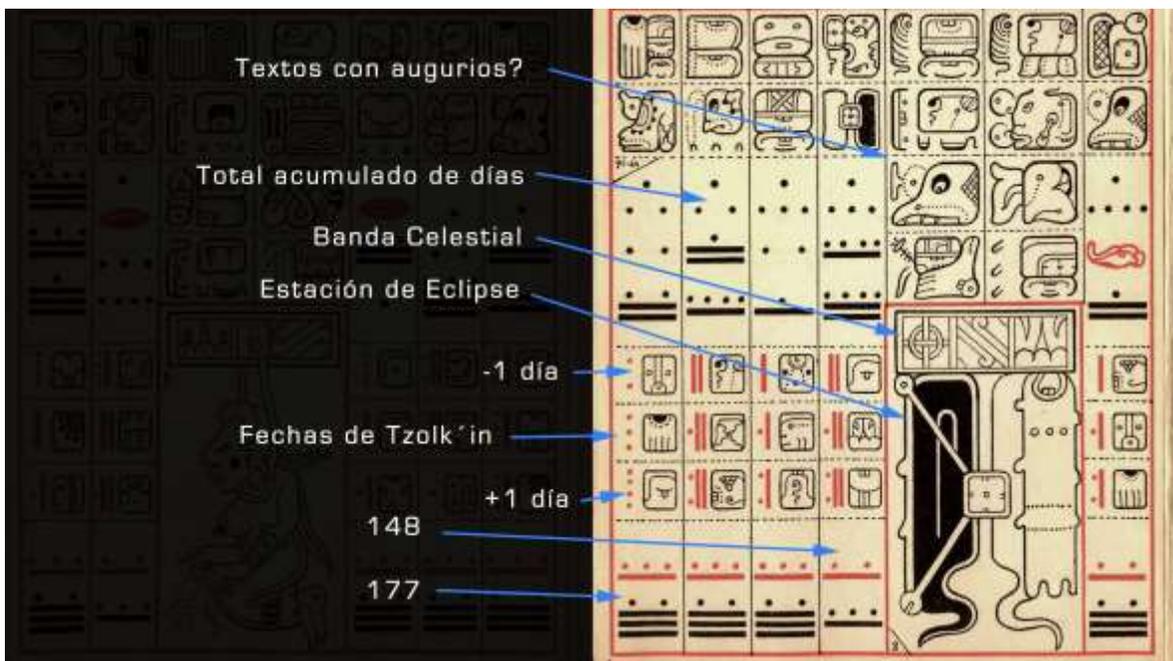


Figura3. Ejemplo de Textos acompañando las figuras. Adaptado de W. Gates (1932)

Intervalos en la tabla de eclipses.

La tabla contiene 69 intervalos de tiempo, 10 de los cuales tienen una figura (ver Figura 2) y textos asociados.

177, 177, 148, (Figura 53a)

177, 177, 177, (178)*, 177, 177, 177, 177, 177, 148, (Figura 55a)

(178), 177, 177, 177, 177, 148 (Figura 56a)

177, 177, 177, (178), 177, 177, 148, (Figura 57a)

177, 177, (178), 177, 177, 177, 177, 177, 177, 148, (Figura 52b)

(178), 177, 177, 177, 177, 148 (Figura 53b)

177, 177, 177, 177, 177, 177, 148 (Figura 54b)

177, 177, (178), 177, 177, 177, 177, 177, 148, (Figura 56b)

177, (178), 177, 177, 177, 177, 148, (Figura 57b)

177, 177, 177, 177, (Figura 58b)

*(en ocasiones se suma 178 aunque el número anotado es 177)

Los intervalos entre las figuras no aparecen escritos explícitamente, pero también son períodos relacionados a eclipses:

502, 1742, 1034, 1211, 1742, 1034, 1210, 1565, 1211 y 708 días.

Fechas en la tabla de eclipses.

Las últimas dos columnas de la página 52a contienen 4 fechas en la cuenta larga, cada columna tiene dos fechas entrelazadas, una en rojo y otra en negro (Figura 4). En la última columna en negro aparece la fecha (9.16.4.10.8) 12 Lamat 1 Muwan, el número en rojo es (9.16.4.11.3) 1 Aqbal, 15 días después de 12 Lamat. En la siguiente columna el número en negro debería ser (9.16.4.11.18) 3 Etnab, 30 días después de la fecha 12 Lamat. (En el documento aparece 10 en vez de 11, pero 10 no corresponde a la fecha 3 Etnab, (seguramente le falta un punto al 10), la cuarta fecha escrita en rojo no sigue el patrón y debería ser 8 en vez del 7 Lamat que aparece escrito abajo.

Según la correlación Goldman Martinez Thompson, (GMT 85) que es la más aceptada entre los calendarios Maya y Gregoriano la fecha 12 Lamat corresponde al 10 de Noviembre del año 755. O bien 6 Noviembre del año 755 en el calendario Juliano, en uso antes de 1582 y usado en las tablas de eclipses de NASA. Esta fecha corresponde al día juliano: 1997130.5

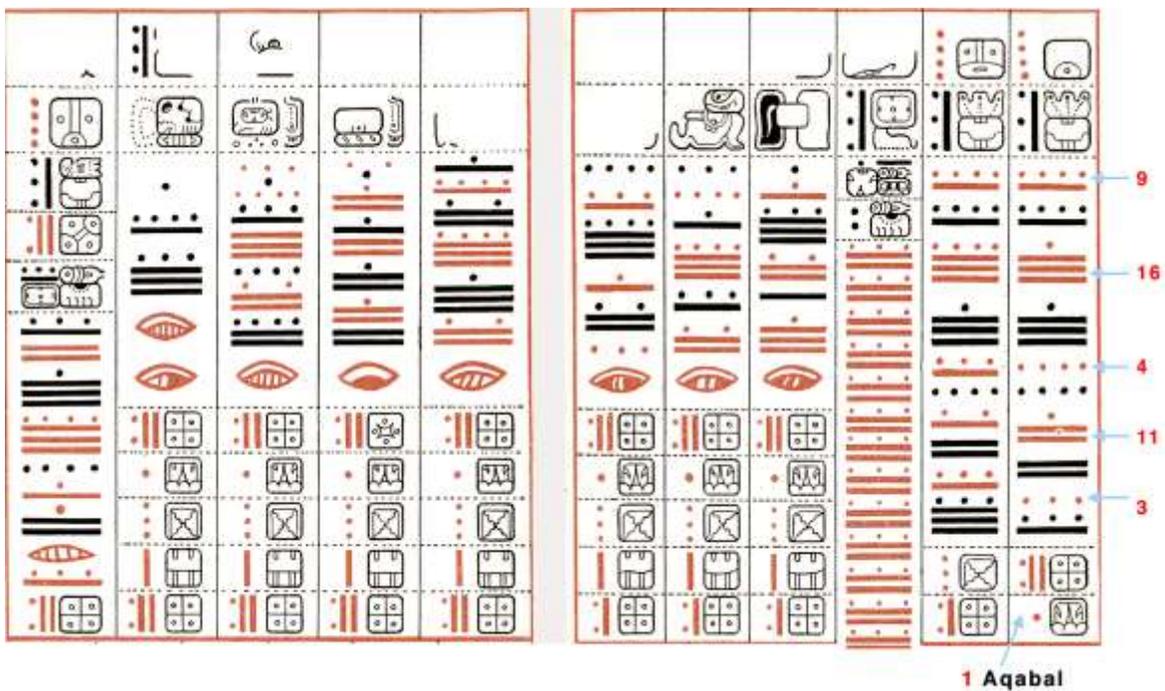


Figura 4. Páginas 51a y 52a del códice. Adaptado de W. Gates (1932)

Esta fecha en el año 755 es unos 500 años anterior a la fecha en la que fue escrito el códice. Las otras columnas contienen fechas que también caen en las mismas fechas 12 Lamat, 1 Aqbal, 3 Etznab, 5 Ben y 12 Lamat otra vez. Lamentablemente la fila de glifos de arriba no se lee y el significado de estas fechas no se conoce.

Una idea es que pueden ser usadas como otros puntos de entrada para iniciar el conteo de la tabla, dado que están separadas por intervalos de 15 días, si una entrada es para predecir eclipses de luna, la siguiente se ajusta a eclipses de sol.

Comentarios sobre el posible uso de la tabla de eclipses.

Hay varias interpretaciones posibles de los datos en la tabla, y se han publicado varios artículos al respecto, los 69 intervalos podrían ser eclipses de sol, o ser eclipses de luna. La tabla puede ser un registro de eclipses observados, o ser un instrumento usado para la predicción de eclipses. El problema es que la fecha 12 Lamat del 755 es 500 años anterior a la época en que fue usado el documento, y no coincide con un eclipse notable en la correlación entre calendarios maya y juliano GMT 85. (La correlación de Goldman Martinez y Thompson es la más aceptada entre varias posibilidades.)

La idea más aceptada actualmente es que la tabla fue usada para predecir eclipses a partir de una fecha 12 Lamat cercana al 1200 DC. La fecha del año 755 es considerada como un cálculo hecho sustrayendo un número entero de veces el largo de la tabla a una fecha 12 Lamat contemporánea al códice. El hecho de que no coincide con un eclipse se atribuye a errores acumulados en este cálculo de una fecha hacia atrás.

La duración de la tabla 11960 días es 46 veces 260 por lo que sumando un número entero de veces la tabla se llega a las mismas fechas del Tzolk'in.

La tabla abarca 405 lunaciones de 29.53 días, que suman en total: 11959.65 días.

Estructura de los datos:

La luna tarda 27.32 días en dar la vuelta a la tierra (período sideral). Su órbita está inclinada respecto al plano de la órbita terrestre 5.14 grados. Un mes lunar (sinódico) es el tiempo que hay entre dos lunaciones y es igual a 29.53 días (Figura 5), es un poco mayor al período sideral debido a que tiene que recorrer un poco más para quedar alineada en la misma posición relativa a la tierra y el sol.



Figura 5. Una lunación completa 29.53 días. Adaptado de Wikimedia commons.

Los eclipses de sol ocurren en la luna nueva, cuando la luna está entre el sol y la tierra. Los eclipses de luna ocurren en la luna llena, cuando la tierra está entre el sol y la luna. Si la órbita de la luna no estuviera inclinada respecto al plano de la órbita terrestre habrían eclipses todos los meses.

Al punto donde la trayectoria de la luna cruza el plano de la órbita terrestre se le llama nodo (Figura 6). Visto desde la tierra el nodo es el punto donde la luna cruza la eclíptica. Hay un nodo ascendente y un nodo descendente. La posición de estos nodos va rotando y da una vuelta completa en 18.6 años. (6793 días).

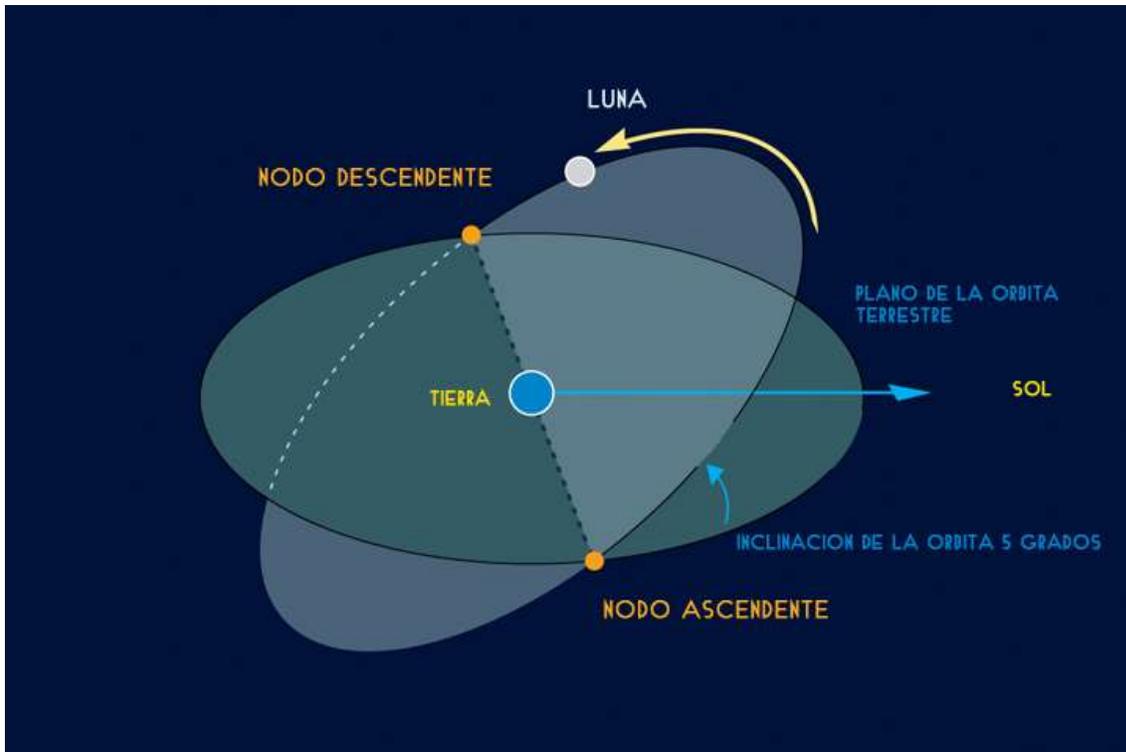


Figura 6. Órbita lunar y nodos.

Entonces, si la luna cruza el plano de la órbita terrestre en luna nueva o luna llena se da un eclipse. Debido a la simetría de la órbita, si la luna está cerca del nodo ascendente al tiempo de un eclipse, existe la posibilidad de que se de otro eclipse seis meses después, cuando la tierra esté al otro lado de la órbita y el nodo descendente se alinea con el sol.

Las estaciones de eclipses estarían separadas por 6 meses lunares (177.18 días), pero debido a la rotación de los nodos el tiempo entre estaciones de eclipses se reduce a 173.31

días. Es interesante notar que el tiempo promedio de los intervalos entre figuras en la tabla de eclipses es 173.32 días.

El tiempo que se tarda la luna en ir del nodo ascendente al nodo descendente es 29.21 días y se llama mes dracónico. Hay series de eclipses separados por intervalos que es múltiplo del mes lunar y también del mes dracónico (o la mitad). Los intervalos entre figuras en la tabla tienen esta característica. El ciclo de eclipses más famoso de la astronomía antigua es el Saros (6585.3211 días), unos 11 días más largo que 18 años, y un múltiplo de los períodos sideral y dracónico de la luna, de manera que el sol la tierra y la luna se encuentran casi en la misma configuración. Debido a que el saros no es un número entero de días, sino contiene casi un tercio de día más, el siguiente eclipse ocurre en una longitud 120° más al oeste. Luego de tres Saros el eclipse será visible en la misma posición inicial. Este período de triple Saros se conoce como Exeligmos.

Pueden darse varios eclipses separados por intervalos de 177 días, pero la luna estará cada vez más lejos del nodo. Si el eclipse sucedió exactamente en el nodo ascendente y en luna llena, entonces 173 días después estará pasando por el nodo descendente, y cuatro días después será la luna llena otra vez, luego de haber transcurrido 6 lunaciones. El siguiente eclipse estaría a 8 días del nodo, y así sucesivamente. Es posible observar un eclipse hasta que la luna está aproximadamente a 19 días del nodo. Al final de una serie de eclipses el punto donde la luna alcanza la sexta lunación se ha ido alejando del nodo. la luna estaría a más de medio mes lunar lejos del nodo, de forma que el último eclipse de la serie sucede luego de 5 lunaciones equivalentes a 147.63 días en vez de 6 lunaciones. Este patrón fue el que llevó a Meinshausen a concluir que la tabla tiene que ver con eclipses.

Eclipses de sol y luna.

La base de este estudio es el catálogo de todos los eclipses ocurridos en la tierra, publicado por la agencia espacial estadounidense NASA en 2006. Antes de esto muy pocos investigadores tuvieron acceso a una base de datos tan completa y versátil, ya que el sitio web de NASA también permite generar datos desde una localidad en particular para

estudiar los eclipses vistos desde varias ciudades Mayas. En las siguientes secciones mencionamos los modelos matemáticos detrás de estos cálculos, pero antes recordemos algunos conceptos importantes involucrados en la discusión.

Sistema Tierra Luna.

La Figura 7 muestra a escala el sistema tierra luna, la sombra de la luna sobre la tierra es más pequeña que la tierra, y es visible sólo en una trayectoria sobre la tierra.



Figura 7. Sistema tierra - luna

Un eclipse de luna es más fácil de notar ya que la sombra de la tierra subtiende un cono que es más grande que la luna, como se muestra en la Figura 8:

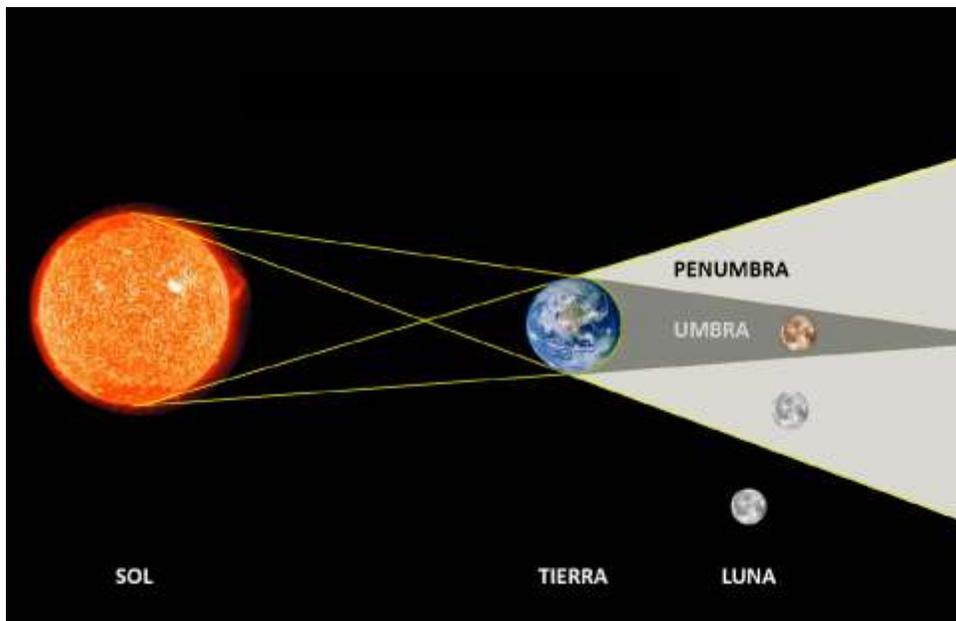


Figura 8. Esquema de un eclipse de luna.

Five millennium catalog of solar/lunar eclipses.

Los catálogos de eclipses fueron producidos por Espenak y Meeus (2006) y publicados por la agencia espacial estadounidense NASA. Contienen tablas con eclipses de sol y luna calculados en un período de 5000 años (desde el año 1999 AC hasta el año 3000 DC). Los catálogos contienen información que resume las características principales de los eclipses calculados en este período. Este documento se complementa con el *Five millenium Canon of solar/lunar eclipses*, que contiene diagramas con la geometría de cada eclipse y mapas de visibilidad en la tierra y está disponible en línea en el sitio web de NASA, donde también se encuentra la aplicación: *Javascript solar(lunar) eclipse explorer*, que permite generar los datos de eclipses visibles desde una localidad en particular, y fue usado para generar los datos desde varias ciudades Mayas del período clásico. Los datos no presentan variantes significativas por lo que se presentan los datos desde la posición: 18° latitud Norte y 90° 30' longitud Oeste, situada al centro de la región ocupada por la civilización maya.

Modelos matemáticos.

La posición del sol es calculada usando la teoría de variaciones seculares en las órbitas planetarias, conocida como VSOP87 construida por Bretagnon y Francou (1988) en el *Bureau des Longitudes* de París. La posición de la luna es calculada usando la teoría ELP 2000/82 de Chapront-Touzé y Chapront (1983) también del *Bureau des Longitudes*. Las incertezas en estos modelos son mucho menores a la incerteza causada por el hecho de que la velocidad de rotación de la tierra cambia debido a fuerzas de marea causadas por la luna.

El cambio en el tamaño de la sombra de la tierra es modelado usando el método de Danjon (1951). El tamaño de la sombra cambia por varios factores, uno de los cuales es que la tierra no es una esfera perfecta, y la forma del cono de la sombra no es circular. La diferencia en magnitud de un eclipse usando distintos métodos es difícil de observar, tiene

más efecto a la hora de clasificar los eclipses según su magnitud. En algunos casos el uso de un método u otro para calcular el cambio de forma de la sombra de la tierra podría cambiar un eclipse de parcial a un eclipse de penumbra, o un eclipse de pequeña magnitud puede ser obviado por la aproximación usada. En todo caso, estos eclipses son de baja magnitud y difíciles de observar, por lo que no afectaría mucho si la tabla del código es de eclipses observados.

Medición del tiempo.

El tiempo en los cálculos es una unidad uniforme TD (*terrestrial dynamical time*) introducida por la unión astronómica internacional en 1979, basada en la unidad internacional de tiempo atómico TAI por sus siglas en inglés. Tradicionalmente el tiempo se medía en días, a este se le conoce como UT, tiempo universal por sus siglas en inglés. El problema es que la duración del día va cambiando con el tiempo. Al presente, esta variación en el largo del día produce un error acumulado de 84 segundos por siglo comparado con el tiempo atómico.

Los cálculos son hechos en TD, pero los horarios en el mundo y la vida diaria se basan en UT. La diferencia en segundos entre estos dos tiempos se denota ΔT en los cálculos. El valor moderno (1955 hasta nuestros días) de ΔT es conocido bastante bien debido a la precisión de los instrumentos. En tiempos antiguos también hay registros de observaciones de eclipses en Europa, Asia y el Medio Oriente que han servido para inferir valores de ΔT . (Morrison & Stephenson, 2004). A pesar de no ser muy precisos es la única manera calcular este valor. Los cálculos de las zonas de visibilidad de cada eclipse utilizan un modelo para ΔT basado en estas observaciones. La incerteza en este valor va creciendo conforme nos vamos hacia el pasado.

Stellarium.

Stellarium es un programa de código abierto para simular el cielo, los modelos matemáticos que emplea son los mismos VSOP87 y ELP82 usados por el *Bureau des Longitudes* de París. A partir de la versión 0.12 del programa, el valor de ΔT (delta T), que corresponde a la diferencia entre el tiempo universal UT y el tiempo dinámico terrestre TD ha sido incluido siguiendo un modelo matemático basado en observaciones antiguas y modernas, lo cual permite usar el programa para investigar las regiones de visibilidad de los eclipses. Además ofrece la posibilidad de cambiar ΔT para experimentar.

La versión 0.13 fue usada para comprobar una muestra de los datos de eclipses del catálogo publicado por NASA y se observa que los datos del catálogo coinciden con los eclipses vistos en Stellarium, las diferencias provienen de diferencias en el modelo usado para ΔT . Sin embargo para el período de observación que nos interesa, estas variaciones no son muy relevantes.

Ver la posición de otros planetas al momento de un eclipse es importante para tratar de asociar la iconografía alrededor de las tablas de fechas con los planetas visibles. Estos datos no los proporciona el catálogo de NASA.

Estudios recientes.

El estudio de la tabla de eclipses se complica por la complejidad de calcular cuándo y dónde se observan eclipses, antes de la publicación de la tabla de eclipses de Espenak y Meeus, este trabajo estaba reservado para muy pocos astrónomos profesionales como refleja la falta de estudios de este tema. En años recientes se han usado simulaciones en computadora para estudiar los eclipses, estos estudios apoyan la idea de que la correlación más aceptada entre calendarios Maya y Gregoriano no está de acuerdo con los datos que provienen de la Astronomía Maya en códices e inscripciones y usan estos datos para postular nuevas correlaciones entre los calendarios. (Böhm, 2012) (Verbelen, 2006).

Materiales y métodos

El presente estudio toma los intervalos de tiempo que aparecen en la tabla de eclipses en el códice de Dresden, y genera series de eclipses partiendo de cada fecha del catálogo de eclipses de Espenak y Meeus sucedidos del año cero al año 1500. De esta manera se generan 3612 series de eclipses de luna y 3541 series de eclipses de sol y se comparan con los datos del catálogo evaluando si hay coincidencias con los datos generados por el códice.

Esto sirve para establecer si los intervalos del códice son un buen instrumento para predecir eclipses. Luego se repite este procedimiento pero usando los datos de eclipses visibles desde el área de Guatemala y Yucatán.

Primero se toman todos los 69 intervalos escritos explícitamente en el códice considerándolos de igual peso. Sin embargo hay diez figuras que sobresalen entre estos intervalos, lo cual motiva a pensar que estos pueden ser eclipses observados. Para revisar esta suposición se repite el procedimiento anterior tomando sólo los datos visibles en la región de Mesoamérica y comparándolos con las series de eclipses generadas usando solo los 9 intervalos de tiempo entre figuras, con el fin de encontrar series de eclipses que coincidan con este patrón. Si hubiera una sola serie que coincidiera con este patrón sería muy probable afirmar que esta serie es la que observaron los antiguos astrónomos. Sin embargo veremos que hay varias series que coinciden, por lo que será necesario extraer más información del códice de la que presentan sólo las tablas numéricas.

Datos.

Por una parte tenemos los 69 intervalos en el códice, que pueden traducirse a fechas en el calendario Maya si se toma una de las fechas al inicio de la tabla como punto de partida. Si se toman estas fechas según la correlación más aceptada entre calendarios obtenemos una serie de fechas de posibles eclipses. Al compararlos con los eclipses ocurridos se encuentra que no hay coincidencias exactas de los 69 eclipses. Este resultado se muestra en la tabla 1.

El siguiente paso es dejar de lado la correlación más aceptada entre los calendarios Maya y Juliano para comparar la serie de 69 eclipses en el códice con todos los eclipses ocurridos desde el año cero hasta el año 1500. Los registros de eclipses usados provienen del catálogo publicado por la agencia espacial NASA, los cuales comprenden el registro de todos los eclipses sucedidos, así como los eclipses vistos desde cualquier posición sobre la tierra.

Primero se consideraron todos los eclipses sin importar que fueran visibles en la región de Guatemala y Yucatán, y luego repitiendo el análisis con datos de eclipses visibles en la región de interés. Esta búsqueda se hace tomando en cuenta que todos los 69 intervalos son de igual peso.

Debido a que los intervalos con figuras parecen tener una especial relevancia, se repitió la búsqueda entre los datos de eclipses observados en la región de Yucatán, 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste. Buscando las series de eclipses con mayor coincidencia de estos diez eventos. Este procedimiento da como resultado otras series de eclipses cuya coincidencia no es tan alta como cuando se consideran los 69 intervalos como iguales.

Eclipses observados desde la región de Guatemala y Yucatán.

Los eclipses de luna no tienen variación significativa al verlos desde cualquier punto en Guatemala o Yucatán. Los eclipses de sol son más sensibles a la posición, ya que la sombra de la luna durante un eclipse solar recorre una trayectoria sobre la tierra y se ve distinto desde distintas posiciones en la tierra. Para estudiar este efecto se generaron los datos para ciudades dispersas en el área Maya: Copán, Chichén Itzá, Palenque, Piedras Negras, Quiriguá, Tikal, Yaxchilán y La Venta, (figura 9). Debido a que la región no es muy grande,

la variación en las fechas de los eclipses es muy pequeña, la principal diferencia es que un eclipse que es total o anular en una ciudad, puede que sea solo parcial en otra. De manera que en términos de fechas de eclipses, sin tomar en cuenta la clase de eclipse, los datos se parecen bastante. Para las tablas y gráficas que ilustran este informe se toma una posición central en el área de estudio 18° Latitud Norte, $90^{\circ} 30'$ Longitud Oeste, y algunas variantes según la posición se mencionan en la discusión de resultados.

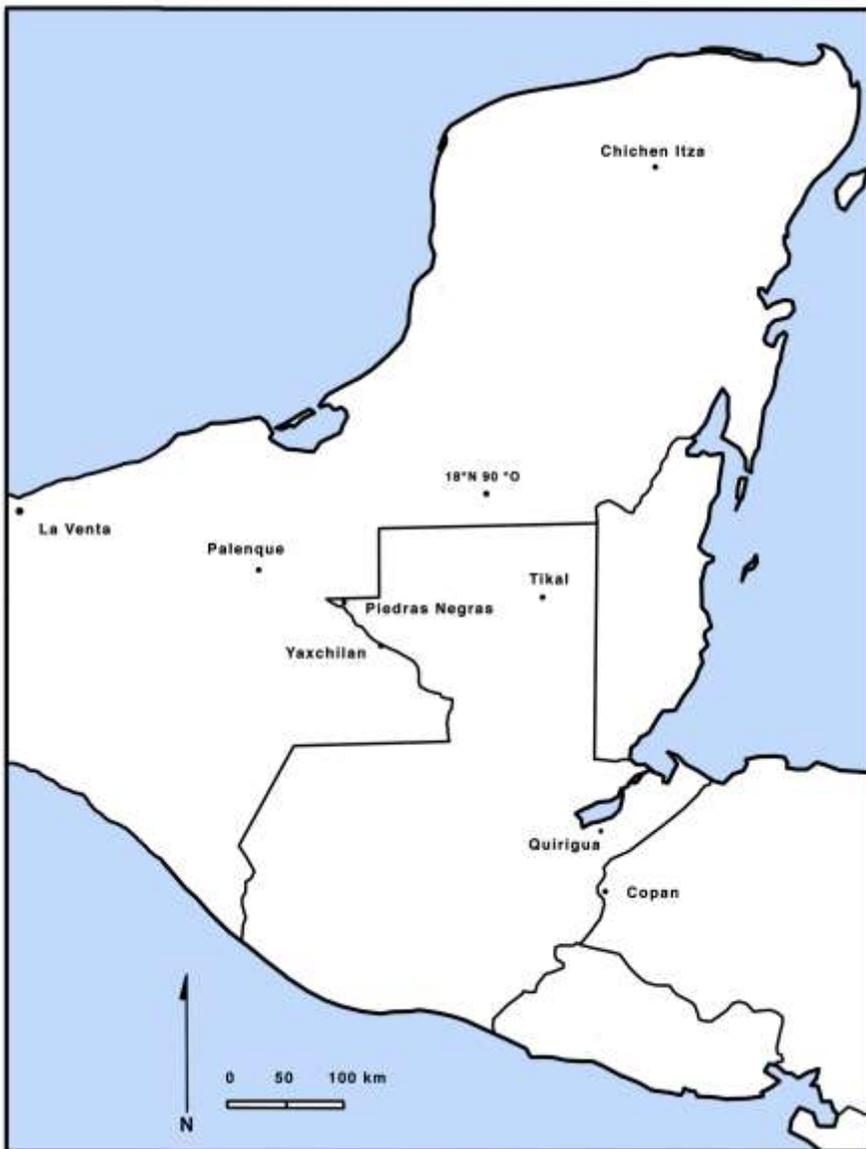


figura 9. Ciudades Mayas consideradas en el estudio.

Los datos generados se ordenan de esta forma:

Coincidencias de 69 fechas con eclipses de sol y de luna, tomando como punto de partida fechas en el código según la correlación GMT más aceptada en la literatura.

Coincidencias de 69 intervalos comparando con el catálogo de todos los eclipses de sol y de luna ocurridos del año cero al año 1500.

Coincidencias de 69 intervalos comparando con el catálogo de eclipses de sol y de luna visibles desde la localidad 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.

Coincidencias de 10 figuras comparando con el catálogo de eclipses de sol y de luna visibles desde la localidad 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.

Métodos.

El procedimiento empleado para generar los datos se describe a continuación:

1. El primer paso es convertir la fecha de los eclipses a número de días julianos para facilitar los cálculos. Los datos de eclipses en el catálogo de NASA están dados en fechas del calendario Juliano indicando año, mes y día, en uso hasta el año 1534 (después de esta fecha entra en uso el calendario Gregoriano).
2. Partiendo de los intervalos en el código es posible calcular fechas de posibles eclipses sumando los intervalos a una fecha inicial.
3. Las fechas de eclipses obtenidas sumando los intervalos a una fecha inicial se comparan con el catálogo de NASA considerando una ventana de más menos un día, ya que el propio código considera esta ventana de tiempo, y además esto ayuda a eliminar el efecto que puede tener las diferencias de horarios entre la hora en Greenwich y la hora en el área de Guatemala y Yucatán. Ya que algunos eclipses que ocurren cerca de la mañana o la media noche pueden ocurrir en distinta fecha dependiendo del lugar.

Al comparar los datos se genera una cantidad llamada “coincidencia” que aumenta en una unidad por cada eclipse del código que coincide con un eclipse en la tabla de NASA dentro

de la ventana de más menos un día. También se guarda el registro del número de coincidencias exactas.

4. Se generan archivos con las fechas iniciales de cada serie, la coincidencia total y coincidencia exacta para todos los eclipses ocurridos desde el año cero al año 1500 y obtener así un histograma de la variable coincidencia total y coincidencia exacta.

5. Se generan archivos con las fechas iniciales de las series que muestran una coincidencia mayor que cierto umbral para poder observar los eclipses en un programa de simulación del cielo, y estudiar así otros eventos de interés, como conjunciones de planetas, o la posición en el cielo en la que ocurrieron los eclipses.

Cuantificación de variable coincidencia.

Se define la variable “coincidencia exacta” tomando la secuencia del código alineando el primer evento con cada eclipse del catálogo y sumando 1 por cada día que coincida una fecha del código con un eclipse en el catálogo. Si todos los intervalos coinciden, el valor de la coincidencia sería 69 (O sería 9 si tomamos sólo los intervalos entre figuras).

Se define la variable “coincidencia total”, tomando en cuenta las coincidencias dentro de una ventana de más y menos un día respecto de la fecha del eclipse, como se sugiere en la propia tabla de eclipses por las filas de tres fechas consecutivas del Tzolk'in.

Resultados

Coincidencias de 69 fechas con eclipses de sol y de luna, tomando como punto de partida fechas en el código.

La página 52(a) contiene 4 fechas de la cuenta larga cada columna tiene dos fechas entrelazadas, una en rojo y otra en negro. En la última columna en negro aparece la fecha (9.16.4.10.8) 12 Lamat 1 Muwan, el número en rojo es (9.16.4.11.3) 1 Aqbal, 15 días

después de 12 Lamat. En la siguiente columna el número en negro debería ser (9.16.4.11.18) 3 Etznab, 30 días después de la fecha 12 Lamat.

Según la correlación Goldman Martinez Thompson, (GMT 85) que es la más aceptada entre los calendarios Maya y Gregoriano la fecha 12 Lamat corresponde al 10 de Noviembre del año 755. Esta fecha corresponde al 6 Noviembre del año 755 En el calendario Juliano, en uso antes de 1538 Y usado en las tablas de eclipses de NASA. Esta fecha corresponde al día juliano: 1997130.5

En las tablas 1 y 2 se muestra el valor de coincidencia ± 1 día y coincidencia exacta de 69 fechas de presuntos eclipses tomando estas tres fechas como punto de partida. Primero se presentan los eclipses de luna, luego los eclipses de sol.

Coincidencias comparando con registro de eclipses de luna:

Tabla 1. Coincidencias de 69 intervalos en el código con el catálogo de eclipses de luna.

Fecha en días julianos	Coincidencia exacta	Coincidencia ± 1 día
1997130.5	0	0
1997145.5	0	43
1997160.5	0	0

Coincidencias comparando con registro de eclipses de sol:

Tabla 2. Coincidencias de 69 intervalos en el código con el catálogo de eclipses de sol.

Fecha en días julianos	Coincidencia exacta	Coincidencia ± 1 día
1997130.5	0	15
1997145.5	0	0
1997160.5	0	38

Vemos que las fechas en el código no tienen mucha coincidencia con el registro de eclipses. Pero en todo caso, la primera y la última coinciden más con eclipses de sol, mientras que la segunda coincide más con eclipses de luna. La falta de coincidencias en estas fechas es lo que ha motivado a considerar que la tabla de eclipses se usaba con una fecha más contemporánea a la época en la que fue escrito el código, unos 500 años después. Y estas fechas antiguas fueron calculadas como reminiscencias a épocas pasadas. Otra opción es que la correlación más aceptada entre calendarios Maya y Juliano no es adecuada.

Coincidencias de 69 intervalos comparando con el registro de todos los eclipses de sol y de luna ocurridos del año cero al año 1500.

Eclipses de luna.

El catálogo de eclipses de luna contiene 3612 eclipses del año cero al año 1500. La figura 10 muestra el valor de coincidencia para 3612 series de eclipses tomando cada eclipse del catálogo como punto de partida para una serie dada por los 69 intervalos en el código.

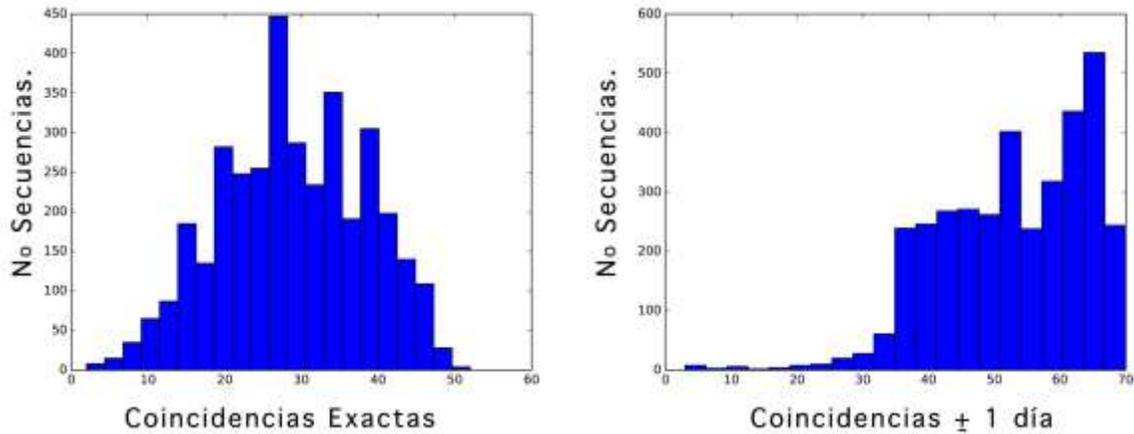


Figura 10. Coincidencias de 69 intervalos con el catálogo de eclipses de luna del año cero al año 1500.

Vemos que la distribución de coincidencias exactas se parece a lo que se esperaría si fuera una distribución binomial con igual probabilidad de fallo o acierto en cada intervalo, ya que es más o menos simétrica y con una media alrededor de 30. El valor esperado para 69 eventos en la distribución binomial es 35. Cuando se considera la ventana de más menos un día la situación se mejora bastante, con una buena probabilidad de tener más de 60 aciertos. Esto es lo que apoya la hipótesis de que la tabla puede ser un instrumento de predicción de eclipses para estar atentos a la posibilidad de eclipse, aunque muchos de los eclipses no serían visibles en la región de Mesoamérica.

Eclipses de sol.

El catálogo contiene 3541 eclipses de sol del año cero al año 1500. La figura 11 muestra el valor de coincidencia para 3541 series de eclipses tomando cada eclipse del catálogo como punto de partida para una serie dada por los 69 intervalos en el código.

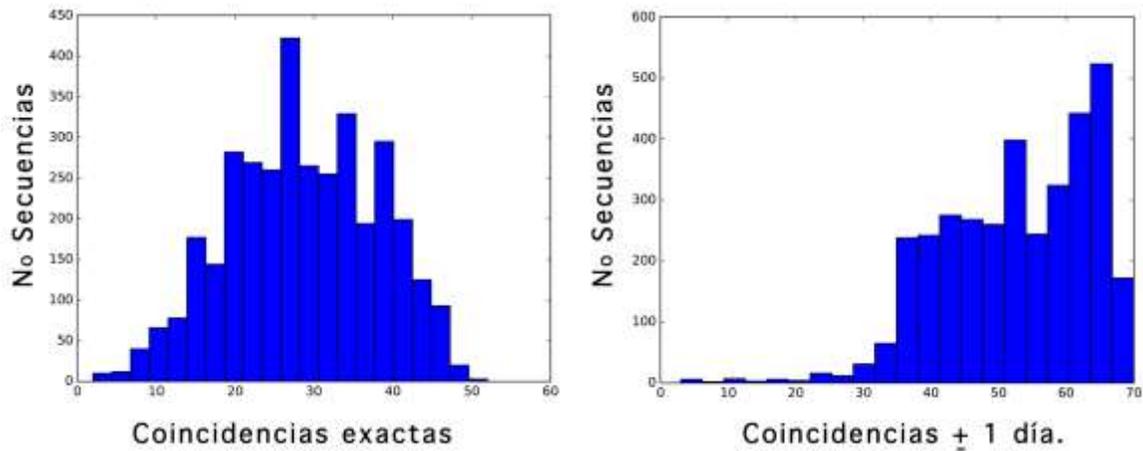


Figura 11. Coincidencias de 69 intervalos con el catálogo de eclipses de sol del año cero al año 1500.

Vemos que los datos para eclipses solares son muy semejantes a los datos de eclipses de luna, de igual forma vemos que al considerar la ventana de más menos un día, hay una buena probabilidad de acertar más de sesenta eclipses, aunque la mayoría no serían visibles en la región de Mesoamérica.

Coincidencias de 69 intervalos comparando con el catálogo de eclipses de sol y de luna visibles desde la localidad 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.

La figura 12 muestra las coincidencias dentro de la ventana de más menos un día para los eclipses de sol y de luna vistos desde la posición 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste. No se muestran las coincidencias exactas. El catálogo de eclipses de luna visibles desde esta localidad comprende 1638 eclipses. El catálogo de eclipses de sol visibles desde la misma región tiene 540 eclipses.

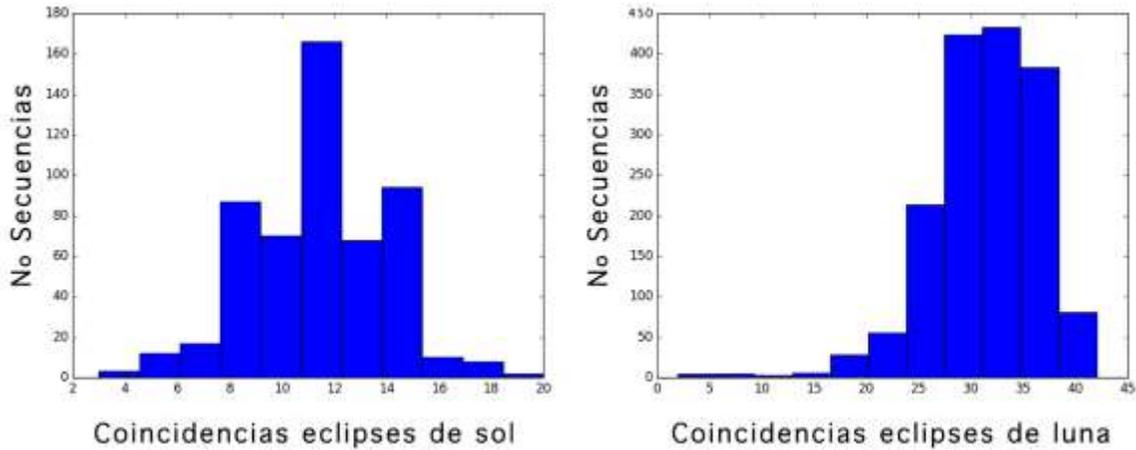


Figura 12. Coincidencias de 69 intervalos con los catálogos de eclipses de sol y luna visibles desde la posición 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.

Vemos que al considerar los eclipses vistos solo desde la región de Guatemala y Yucatán no hay muchas coincidencias entre los intervalos del código y el catálogo de eclipses. La situación para los eclipses de sol es bastante mala con un promedio de doce coincidencias de un total de 69. La distribución de coincidencias para eclipses de luna es bastante mejor, con una media dentro de lo que se esperaría para una distribución binomial con igual probabilidad de fallo o acierto.

Coincidencias de 10 figuras comparando con el catálogo de eclipses de sol y de luna visibles desde la localidad 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.

La figura 13 muestra un histograma con el número de coincidencias en 540 series de eclipses solares visibles en la región de interés, y el número de coincidencias en 1638 series de eclipses de luna visibles en la región, durante el período del año cero al año 1500.

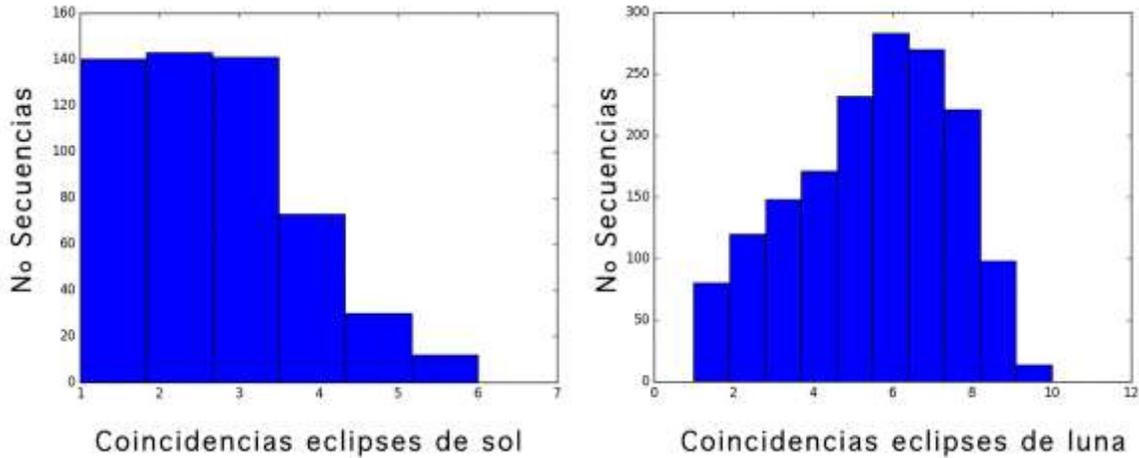


Figura 13. Coincidencias de 10 figuras con eclipses de sol y luna vistos desde la posición 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.

Vemos que el promedio de coincidencias de las diez figuras con eclipses de sol es bajo, siendo seis el valor máximo de coincidencias encontrado. En el caso de eclipses lunares hay varios eventos donde coinciden todas las figuras, con un número de coincidencias promedio de 6.

Secuencias con alta correlación vistos desde la posición 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.

Además de los archivos generados con el valor de coincidencias para las series de eclipses que empiezan en cada eclipse del catálogo, también se puede generar una lista de secuencias cuya correlación es mayor a cierto umbral, con el objetivo de analizar más estas secuencias considerando más información en el código aparte de los intervalos numéricos. Por ejemplo, los textos jeroglíficos arriba de cada intervalo, sobre las figuras, y las figuras mismas pueden tener información relevante a otros fenómenos astronómicos que no están reflejados en los intervalos de 177 y 148 días. Es interesante notar que si se mezclan los datos de eclipses de sol y de luna y se buscan correlaciones no se encuentran nuevas

secuencias que no estén en los datos por separado de sol y de luna. Esto es de esperarse ya que los intervalos son de seis o cinco lunaciones de modo que si un eclipse es de luna, todos son de luna, e igualmente con los eclipses solares. Pero es importante tener una confirmación de este argumento, que también se puede notar en la tabla 1 ya que los eclipses de sol y de luna deben estar separados por un múltiplo impar de 15 días, ya que suceden en la luna nueva o en la luna llena. Estos datos son de interés bajo la suposición de que la tabla es un registro de eclipses observados y puede servir para generar series de eclipses con el objetivo de estudiar el cielo en esas fechas buscando coincidencias de otros fenómenos, como conjunción de planetas, amanecer heliacal de Venus o Mercurio, o la posición en la eclíptica en la que sucede el eclipse. A continuación un comentario sobre las series generadas.

Coincidencias de las 10 figuras.

Datos de eclipses solares.

Solo hay doce series de un total de 540 con más de seis coincidencias de las 10 figuras. Tomando en cuenta los datos vistos desde distintas ciudades vemos que Palenque, Piedras Negras y La Venta tienen series con siete coincidencias y es el máximo valor de coincidencias encontrado.

Datos de eclipses lunares.

Hay 98 series de un total de 1638 con 9 coincidencias de las 10 figuras, y 14 series con 10 coincidencias tomando en cuenta el intervalo de más menos un día.

Coincidencias de los 69 intervalos.

Datos de eclipses de sol.

De 540 series la mayor coincidencia es una serie con veinte aciertos, una con 19 y dos con 18.

Datos de eclipses lunares.

Hay 12 series con una coincidencia de 41 y 4 series con coincidencia de 42, tomando en cuenta la ventana de más menos un día.

Estadística de intervalos entre eclipses.

Intervalos entre eclipses, datos globales.

La Tabla 3 muestra una estadística para los intervalos de tiempo que suceden entre eclipses de luna y eclipses de sol para el período desde el año cero hasta el año 1500 en el que sucedieron 3612 eclipses de luna y 3541 eclipses de sol. Vemos que los períodos 177 y 148 que aparecen en el código son los más comunes, seguidos de 178 y 147. Si los intervalos del código fueran una distribución típica de eclipses observados se esperaría que el intervalo de 147 apareciera casi tantas veces como el de 148, y que el intervalo de 178 apareciera más veces, pero solo aparece siete veces. Así mismo los intervalos de 29 y 30 días aparecerían en promedio la mitad de las veces que hay intervalos de 147 y 148 días.

Tabla 3. Estadística de intervalos entre eclipses de sol y luna.

Intervalo (días)	Lunar	Solar
29	237	209
30	213	170
146	12	14
147	316	275
148	423	395
149	114	109
176	436	447
177	1088	1127
178	737	758
179	36	37

Intervalos entre eclipses, datos locales 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste.

La Tabla 4 muestra una estadística para los intervalos de tiempo que suceden entre eclipses de luna y eclipses de sol vistos desde la posición 18° Latitud Norte, 90° 30' Longitud Oeste para el período desde el año cero hasta el año 1500 en el que fueron visibles 540 eclipses de sol y 1638 eclipses de luna. Esta tabla muestra los intervalos que aparecen entre figuras en el códice. Los intervalos entre paréntesis son notables por no aparecer en el códice, a pesar de tener un alto porcentaje. Los intervalos de 1565 días y 1742 días aparecen solo en los eclipses de sol. También es muy notable que el intervalo de 148 días que aparece varias veces en el códice y es muy común en los datos de eclipses globales, aparece sólo una vez en los datos de eclipses vistos desde Yucatán en el período del año cero al año 1500.

Tabla 4. Estadística de intervalos entre eclipses visibles en 18° Norte, 90.5° Oeste.

Intervalo (días)	Eclipses de sol (%)	Eclipses de luna (%)
148	0.1855	0.061
177	12.8	54.96
(354)	12.614	14.64
502	6.49	9.82
(531)	7.6	2.87
708	0.556	0.66
(857)	5.57	3.23
1034	12.8	1.769
1211	9.646	0.24
(1388)	7.98	0.061
1565	6.3	0
1742	2.04	0

Matriz de resultados

Objetivo específico	Resultado esperado	Resultado Obtenido
Obtener una lista de eclipses de sol observados en el área de estudio.	Listas con eclipses de sol, probablemente distintas en cada lugar.	Las listas de eclipses generadas por la aplicación en sitio web NASA no presentan variación significativa en el área de estudio.
Obtener una lista de	Lista de eclipses de luna	Los eclipses de luna no varían en

eclipses de luna observados en el área de estudio.	en varias localidades de Mesoamérica.	la región de interés.
Comparar la tabla de eclipses del códice con las bases de datos de eclipses.	Coincidencia de la serie de eclipses en el códice con El catálogo de eclipses ocurridos en la tierra.	Las series de eclipses en el códice tienen poca coincidencia con eclipses que hayan ocurrido del año cero al año 1500
Abandonar la correlación más aceptada entre calendarios Maya y Gregoriano y ver si otras correlaciones resultan en más coincidencias entre la tabla del códice y eclipses ocurridos.	Algunas de las series de eclipses generadas a partir de los intervalos del códice coincidan con eclipses en el catálogo de eclipses ocurridos del año cero al año 1500.	La serie de 69 intervalos en el códice aparece varias veces en la historia de eclipses sucedidos si se consideran todos los eclipses en el mundo. Pero no si se toman los eclipses vistos desde Mesoamérica. La serie de diez eclipses correspondiente a las figuras no coincide con datos de eclipses solares, pero si hay varias que coinciden en los datos de eclipses lunares.

Impacto esperado

La tabla de eclipses del códice ha sido estudiada por más de cien años y todavía no se han resuelto todos los enigmas que presenta, esto se debe en parte a la complejidad del tema, por un lado está el contenido astronómico de la tabla, el cual es accesible más que todo a especialistas en la simulación del sistema solar. Y por otro tenemos la complejidad de los textos jeroglíficos que además de la usual dificultad presentada por los textos de este tipo, tiene sus particularidades encontradas solamente en los códices. Hasta hace pocos años era extremadamente difícil juntar todos los instrumentos y conocimientos necesarios para

estudiar este tema, pero con la aparición del catálogo de eclipses publicado en el sitio de Internet de NASA, la disponibilidad de lenguajes de programación más accesibles, programas para simular el cielo y los más recientes avances en epigrafía Maya, es posible realizar este estudio con mayor facilidad.

El presente trabajo agota las posibilidades de extraer información de las secuencias de números en la tabla y llega a presentar las series de eclipses que coinciden con los intervalos entre figuras del códice. Si la tabla de eclipses corresponde a una serie de eclipses observada en la región de Mesoamérica, tiene que ser una de estas series. Hay 112 series de eclipses de luna con más de nueve aciertos, cualquiera de estas podría ser la serie observada por los antiguos astrónomos.

Este resultado deja abierto el camino para futuras investigaciones que se concentren en extraer más información de los textos jeroglíficos en busca de referencias a conjunciones de planetas, o posiciones en la eclíptica donde los eclipses sucedieron, de manera que pueda llegar a establecerse una sola serie de eclipses a la que corresponde este registro. De ser así, esta serie puede servir para establecer una nueva correlación entre los calendarios Maya y Gregoriano asumiendo que las fechas de cuenta larga al principio de la tabla son el inicio de la serie de eclipses.

Hasta el momento de este estudio no se han encontrado los nombres de los planetas o de las constelaciones por las que se mueven, es posible que la tabla de eclipses junto con los textos jeroglíficos que encabezan cada columna sirva para encontrar respuestas a estas importantes preguntas.

Análisis y discusión de resultados

En esta sección recopilamos las observaciones hechas a los datos generados en el presente estudio según el orden presentado en la sección 5.1.

Coincidencias de 69 intervalos en el código para las fechas iniciales en la página 52(a) según la correlación GMT.

Las tablas 1 y 2 muestran que hay poca correlación de los intervalos del código con el catálogo de eclipses sucedidos en el año cero al año 1500. Esto sugiere varias posibilidades que ya se han considerado anteriormente:

A. La tabla no es un registro de eclipses observados, sino un instrumento para predecir la posibilidad de eclipses. Si se toma la fecha 12 Lamat o 3 Etnab predice eclipses de sol, y tomando la fecha 1 Aqabal predice eclipses de luna.

B. Las fechas en la página 52 del código no son las verdaderas fechas para iniciar el conteo, sino que son fechas en el pasado calculadas sustrayendo un número entero de veces el largo de la tabla a una fecha contemporánea con la escritura del código. (Lonsbury, 1978)

C. La correlación GMT entre calendarios Maya y Gregoriano no es correcta. (Böhm, 2012), (Verbelen, 2006).

Coincidencias de 69 intervalos con el catálogo de eclipses de sol y luna.

Datos globales.

Dejando a un lado la correlación GMT entre calendarios y probando la coincidencia de las series de 69 eclipses generadas a partir de los intervalos en el código, con el catálogo de todos los eclipses sucedidos del año cero al año 1500 se ve que a lo largo de este período de tiempo han habido varias series de eclipses tanto de sol como de luna que coinciden con los intervalos en el código. Esto es lo que ha motivado a los investigadores a pensar que la tabla es un buen instrumento para predecir eclipses, aunque muchos de los eclipses predichos no serían visibles desde la región de Mesoamérica. Las figuras 10 y 11 muestran que hay

bastantes coincidencias exactas, y si se considera el rango de más menos un día la probabilidad de que coincidan las series aumenta bastante. El valor exacto de esta probabilidad no es muy relevante ya que no es suficiente para afirmar que la tabla es un instrumento de predicción. Por otro lado, la idea de predecir eclipses que no son visibles en Mesoamérica tiene sentido para los investigadores modernos, pero no parece tener sentido desde el punto de vista de los observadores en el mundo Maya.

La Tabla 3 muestra la estadística de intervalos entre eclipses de sol y luna en el período del año cero al año 1500. Los intervalos de 177 y 148 más menos un día son los más probables, por lo que la tabla puede ser un buen instrumento de predicción de eclipses a nivel global, aunque los intervalos de 29 o 30 no aparecen. Pero la idea de predecir eclipses que no son visibles en Mesoamérica es algo que tiene más sentido para los investigadores modernos. La posición en la que están insertas las figuras es muy particular y no es una distribución típica de la estadística de la Tabla 3, sino se parece más a la distribución de intervalos entre eclipses vistos desde Mesoamérica, como se ve en la Tabla 4.

Datos locales.

Para considerar la hipótesis de que la tabla es un registro de eclipses observados analizamos los datos de eclipses visibles desde la posición 18° Norte 90.5 ° Oeste. La Figura 12 muestra las coincidencias de las series con el catálogo de eclipses vistos desde la región de interés, tomando en cuenta los rangos de más menos un día para evaluar las coincidencias. Vemos que la probabilidad de predecir eclipses es bastante menor.

El promedio de coincidencias para eclipses de sol es doce de 69, y para eclipses de luna entre 30 y 35 de 69. Por lo tanto, no parece ser un registro de eclipses observados. Al analizar los intervalos de tiempo entre eclipses (Tabla 4), vemos que los intervalos en el código no son típicos de la distribución de eclipses sucedidos en el período del año cero al año 1500, vistos desde la región de estudio. La primera cosa que salta a la vista es que el intervalo de 148 días aparece sólo una vez en los eclipses de sol y de luna.

La conclusión que se deriva de estas observaciones es que estos intervalos de 177 y 148 días no corresponden a eclipses observados en el área de Guatemala y Yucatán. Sin embargo si son los mejores intervalos para esperar la posibilidad de un eclipse. Muchos eclipses parciales pasarían desapercibidos si no se anticiparan.

Coincidencias de las 10 figuras con eclipses de sol o luna vistos desde la posición 18° Norte 90.5° Oeste.

La figura 13 muestra la estadística de coincidencias de las fechas correspondientes a las diez figuras en la tabla con el catálogo de eclipses de sol y luna vistos desde la región de interés para el período de tiempo del año cero al año 1500. Hay 12 series de 540 en las que coinciden 6 de las figuras con eclipses de sol. Y hay 14 series de 1638 que coinciden todas las figuras con eclipses de luna y 98 series en las que coinciden 9 de las 10 figuras. Este resultado es el que hace pensar a algunos autores de que la tabla es un registro de eclipses de luna. Verbelen (2006) argumenta que las figuras contienen información acerca de eventos observados en el cielo al momento del eclipse y esto permite decidir cuál de todas las series corresponde mejor con fenómenos observados desde Mesoamérica. De esta forma propone una nueva correlación entre los calendarios Maya y Gregoriano que difiere en 425.25 años de la correlación GMT. La serie propuesta por Verbelen es una de las 14 que aparecen en el presente estudio.

Comentario sobre la posibilidad de que las 10 figuras correspondan a eclipses de luna.

La Tabla 4 muestra la estadística de los intervalos entre eclipses observados desde la posición 18° Norte 90.5° Oeste. Vemos que los intervalos en el código aparecen para eclipses de luna y de sol, pero los intervalos de 1563 y de 1742 días aparecen sólo en los eclipses de sol. Los intervalos de 1034 y 1211 días son más probables en los eclipses de sol que en eclipses de luna. Esto indica que la serie de eclipses en el código se parece más a la distribución de eclipses de sol vista desde la región de interés. El hecho de que hayan varias series de eclipses de luna que coinciden con los intervalos se debe a que hay varios eclipses de luna intermedios que no tienen figura. Por ejemplo, nunca sucede que transcurran 1563 o 1742 días entre dos eclipses consecutivos de luna, pero puede que varios eclipses consecutivos tengan el primer y el último eclipse separados por 1563 o 1742 días. Tiene más sentido que hayan más eclipses aunque algunos no hayan sido observados y anotados como figuras, que pensar que un eclipse que no sucedió fuera anotado. Entonces si las figuras corresponden a eclipses de sol, puede que haya una localidad en Mesoamérica desde la cual se logran más coincidencias, con los datos generados en este estudio la mayor coincidencia es de siete eventos.

Otras razones a favor de que las figuras correspondan a eclipses de sol son que las fechas iniciales en la tabla corresponden mejor con eclipses de sol, que los dibujos contienen el glifo del sol, que hay referencias a Venus en las figuras. Venus aparece siempre cerca del sol, y nunca se vería al mismo tiempo que un eclipse de luna.

Coincidencias con el amanecer heliacal de Venus.

Como hemos visto, hay muchas series de eclipses que coinciden con los intervalos del código, para restringir más las posibilidades y encontrar una serie única de eclipses es necesario contar con más información. Una posibilidad es considerar otras fechas en el código que puedan relacionarse a fenómenos astronómicos observados en la región de interés. En la tabla de Venus aparece la fecha de la cuenta larga 9.9.9.16.0 1 Ajau 18 Kayab, en notación decimal es: 1364360 días luego del inicio de la cuenta larga. Esta fecha se piensa que corresponde a un amanecer heliacal del planeta Venus. Entonces si tomamos en cuenta la fecha del inicio de la tabla de eclipses 9.16.4.10.8 que corresponde a 1412848 días luego del inicio de la cuenta larga, vemos que la fecha de la tabla de Venus es 48488 días anterior (132.75 años).

Aunque parece increíble que los antiguos astrónomos tengan una perspectiva temporal tan grande en los registros, si asumimos que las fechas escritas corresponden a fenómenos astronómicos observados, es posible buscar entre las series de eclipses con alta correlación aquellas en las que 48488 días antes coincidan con un amanecer heliacal.

El concepto de amanecer heliacal no es tan preciso, para que el planeta sea visible en el este antes de que salga el sol tiene que estar por lo menos unos 10 grados arriba del sol. Lo cual permite ver al planeta antes que el sol lo oculte con su luz. En los cálculos se ha tomado una ventana de más menos tres días para buscar coincidencias con el amanecer heliacal de Venus. A continuación un resumen de los resultados presentados en el mismo orden que los datos de eclipses.

Coincidencias de 69 intervalos y amanecer heliacal:

Datos globales:

De las 3610 series de eclipses de luna con coincidencias de los 69 intervalos, 45 series, (1.2 por ciento) cumplen con la condición de que hubo un amanecer heliacal 48488 días antes.

De 3539 series de eclipses de sol con más de 50 coincidencias de los 69 intervalos, 46 cumplen con la condición de amanecer heliacal. 1.3 por ciento de los datos.

Datos locales:

Considerando los datos de eclipses visibles desde la región de estudio, el número de coincidencias de los 69 intervalos y que además coinciden con amanecer heliacal es muy parecido a la distribución de datos globales, es decir, aproximadamente un 1.3 por ciento de las series de eclipses cumplen con la condición de que hubo amanecer heliacal 48488 días antes.

Coincidencias de los 10 intervalos y amanecer heliacal:

Considerando las series de eclipses vistas desde la región de estudio se buscan aquellas que cumplan con la condición de que haya amanecer heliacal 48488 días antes.

Las cinco series de eclipses de sol con más de 6 coincidencias no cumplen con la condición de que haya amanecer heliacal 48488 días antes.

De 54 series de eclipses de luna con más de 10 coincidencias del los intervalos hay dos que coinciden con un amanecer heliacal: Las series de eclipses que empiezan en las fechas (en días julianos): 1927661 y 1943430, 25 de Agosto del año 565, y 27 de Octubre del año 608 respectivamente.

Sin embargo la falta de coincidencia en 5 series de eclipses solares y dos coincidencias de 54 series de eclipses lunares son consistentes con el hecho de que un 1.3 % de los datos cumple esta condición, por lo que esta coincidencia no es excepcional.

Conclusiones

Asumiendo que la tabla de eclipses y la tabla de Venus del códice corresponden a fenómenos observados en el área ocupada por la civilización Maya, y que las fechas de la cuenta larga escritas al principio de las tablas corresponden a eventos históricos es posible determinar dos series de eclipses de luna que cumplen con las condiciones de que las 10 figuras correspondan con eclipses que pudieron ser observados desde el área Maya, y que además coinciden con un amanecer heliacal 48488 días antes de la fecha del primer eclipse de la serie. La coincidencia con amanecer heliacal es consistente con el hecho de que aproximadamente un 1.3% de todos los datos cumple esta condición, por lo tanto estas coincidencias no son suficientes para afirmar que estas series fueron las series de eclipses observadas por los antiguos astrónomos. Además hay otras posibilidades que pueden darse, por ejemplo que las figuras ilustran eclipses anacrónicos con el resto de la tabla como proponen algunos investigadores (Lonsbury 1978). O que los eclipses registrados fueran vistos en distintos lugares, como ocurriría si los astrónomos se hubieran movido a otra ciudad durante el período transcurrido.

Otro hecho que complica una explicación simple es el hecho de que en las ilustraciones aparecen los glifos interpretados como eclipse de sol, y eclipse de luna, pero como

veremos, los intervalos sólo coinciden con eclipses de sol, o de luna, pero no de ambos. De manera que hay referencias a eclipses, que no son directamente dadas por intervalos en la tabla. Sino por la inclusión al inicio de la tabla de varias fechas posibles, separadas por 15 días.

De cualquier manera, los datos ponen límites en las posibles respuestas a las preguntas de investigación planteadas en este estudio.

¿Es un registro combinado de eclipses de sol y luna?

La tabla de eclipses no es un registro combinado de eclipses de sol y luna. Esto se deduce lógicamente del hecho de que los intervalos son cinco o seis lunaciones enteras, y entre eclipses de sol y luna deberían haber intervalos que son múltiplos impares de 15 días aproximadamente. Las tablas 1 y 2 ilustran esto explícitamente para las fechas de eclipses en el código separadas por intervalos de 15 días. Unas fechas coinciden más con eclipses de sol y ningún eclipse de luna, mientras que otra fecha separada de estas por un intervalo de 15 días tiene más coincidencias con eclipses de luna pero ningún eclipse de sol. Esto también se comprobó mezclando los catálogos de eclipses de sol y de luna y buscando coincidencias en esta base de datos combinada. Como resultado no se halló ninguna serie nueva con eclipses combinados que coincidiera mejor con los intervalos en el código.

¿Es un instrumento de predicción?

La tabla puede usarse como instrumento para predecir eclipses a nivel global. Los intervalos de 177 y 148 que aparecen en el código son buenas aproximaciones de los intervalos entre eclipses que más suceden. Sin embargo su poder de predicción no es tan bueno a nivel local.

A nivel local los intervalos de 177 y 148 indican momentos en los que es posible esperar un eclipse pero es poco probable que sean un registro de eclipses observados. En particular el intervalo de 148 días sólo se dio una vez entre eclipses de sol, y entre eclipses de luna en el intervalo de tiempo del año cero al año 1500.

¿Es un registro de eclipses observados?

Los intervalos entre las 10 figuras si corresponden al patrón de eclipses observables desde la región de Mesoamérica, y es muy probable que sean un registro de eclipses observados.

¿Eclipses de sol o de luna?

Los datos coinciden con series de eclipses de luna y eclipses de sol. Hay más coincidencias con eclipses de luna. La mayor cantidad de coincidencias con eclipses de sol hallada en este estudio es de siete en las ciudades de Palenque, Piedras Negras y La Venta. La falta de una serie con todas las coincidencias es significativa, ya que es más probable que se hayan dado eclipses pero que no se hayan registrado, que el que se hayan registrado eclipses que no sucedieron, como sería el caso si hay diez figuras pero no hay una serie de eclipses que corresponda. Sin embargo algunos investigadores opinan que no todas las figuras se refieren a eclipses, por ejemplo Lonsbury (1978) propone que la última figura donde aparece una representación de Venus se refiere a un evento anacrónico a la tabla. La inclusión de eventos anacrónicos complica la tarea de encontrar la coincidencia histórica.

Otra circunstancia que complicaría todo es si los eclipses anotados fueron observados en distintos lugares, en vez de todos desde la misma localidad.

Conclusión final:

El presente estudio muestra las evidencias a favor de varias hipótesis consideradas en la literatura sobre el tema de la tabla de eclipses en el código de Dresden, tomando en cuenta solamente la información en las tablas numéricas.

La opinión más difundida en la literatura (Bricker & Bricker, 2011) sobre el tema es que la tabla es un instrumento de predicción de eclipses, y que las diez figuras que contiene la tabla son las llamadas “eclipse warning station” es decir, intervalos en los que se espera que suceda un eclipse con más probabilidad.

Los resultados del presente estudio difieren de esta opinión, al estudiar la estadística de los intervalos entre eclipses observados desde la región ocupada por la civilización Maya el esquema que surge es que los intervalos de 177 días son los “eclipse warning station” fechas en las que se espera que haya eclipse, y las diez figuras insertadas dentro de la serie hacen referencia a eclipses que sí sucedieron, varios de los cuales son notables por ser pares de eclipses con un eclipse de sol precediendo un eclipse de luna unos quince días después. Sin embargo, esto no está registrado en la tabla de números, sólo en la iconografía de las figuras. Esta conclusión se deduce del hecho de que los intervalos de tiempo entre las 10 figuras coinciden bien con la distribución de intervalos de eclipses observados desde la región de estudio, además el tiempo promedio de estaciones de eclipses que se obtiene de estos intervalos 173.32 días es muy cercano al valor exacto 173.31 días, lo cual parece poco probable que sea resultado de un cálculo, y es más probable que se deba a que se deriva de la observación.

Otro hecho que apoya esta conclusión es que el intervalo de 148 días que precede cada figura no es un intervalo típico de la distribución de eclipses observados, aunque es muy frecuente en la lista de eclipses a nivel global, en los datos de eclipses visibles desde la región de estudio aparece sólo una vez en el registro de eclipses de luna, y una vez en el registro de eclipses de sol en el período del año cero al año 1500. Esto indica que la observación de un eclipse obliga a cortar la serie de intervalos de 177 días introduciendo uno de 148 para ajustar los tiempos.

Otro dato muy interesante es que la distribución de tiempos entre figuras se parece más a la distribución de intervalos entre eclipses de sol. De hecho, algunos intervalos nunca aparecen en los datos de eclipses de luna. Es decir, nunca se da el caso de que transcurran 1565 o 1742 días entre dos eclipses de luna. El hecho de que hayan muchas series de eclipses de luna que coinciden con los intervalos entre las diez figuras se debe a que en estas series algunos eclipses no habrían sido anotados. El problema es que algunos de estos eclipses son más notables que otros que sí se anotaron. Esto hace pensar que las 10 figuras no se refieren simplemente a eclipses de luna, o de sol, sino que los eventos que merecieron una atención especial sean aquellos en los que hubo una conjunción de eventos, como eclipses dobles, cosa que sugieren las propias imágenes al contener glifos de eclipse de sol

y de luna. O bien conjunción con otros astros, como sucede con algunas figuras que tienen imágenes asociadas al planeta Venus.

Aunque no todos los investigadores del tema están de acuerdo en que las tablas y fechas registradas corresponden con eventos históricos es interesante notar que los datos no excluyen esta posibilidad. Asumiendo que las tablas se refieren a fenómenos observados en el área ocupada por la civilización Maya, y que las fechas de la cuenta larga registradas corresponden a eventos históricos, es posible identificar dos series de eclipses de luna que coinciden con las 10 figuras, y que además tuvieron un amanecer heliacal del planeta Venus 48488 días antes.

Referencias

Aveni, A., (2001) *Skywatchers of Ancient Mexico*. Texas: University of Texas Press.

Aveni, A., Vail, G., (2009) *Madrid Codex. New Approaches to Understanding and Ancient Maya Manuscript*. University Press of Colorado.

Böhm. V., Böhm. B., Klokočník. J., Vondrák. J., Kostelecký J., (2012) Dating of Mayan calendar using long periodic astronomical phenomena in Dresden codex. *Serbian Astronomy Journal*. 186, 53-64 DOI: 10.2298/SAJ121221001B

Bretagnon, P., (1982) Theory for the motion of all the planets – The VSOP82 solution. *Astronomy & Astrophysics*. 114(2), 278-288. Bibcode 1982 A&A...114...278B

Bricker, H., Bricker, V., (2011) *Astronomy in the Maya codices* Philadelphia: American Philosophical Society.

Closs, M. (1989). Cognitive Aspects of Mayan Eclipse Theory. En *World Archaeo-Astronomy*, A.T. Aveni (Ed.) Cambridge, U.S.A: Cambridge University Press.

Coe, M., Van Stone, M., (2005) *Reading the Maya glyphs*. New York: Thames & Hudson.

Chapront-Touzé, M., Chapront, J., (1983) The lunar ephemeris ELP-2000. *Astronomy & Astrophysics*, 124, 50-62. Bibcode: 1983 A&A...124...50C

- Danjon, A., (1951). Les éclipses de lune para la pénombre en 1951. *L'Astronomie*, 65, 51-53.
- Espenak, F., Meeus, J., (2009) *Five millennium catalog of lunar eclipses*. NASA Technical Publication TP-2009-214173
- Espenak, F., Meeus, J., (2009). *Five millennium catalog of solar eclipses*. NASA Technical Publication TP-2006-214174
- Forstemann, E. (1906). *Commentary on the Maya Manuscript in the Royal Public Library of Dresden*. Cambridge: Harvard University Press.
- Gates, W. (1932). *The Dresden Codex*. Baltimore: The Maya Society at the Johns Hopkins University.
- Kingsborough, E. K. (1831). *Antiquities of Mexico* Vol(3) London: A. Aglio publisher.
- Landa, D. (1566). *Yucatan Before and After the Conquest*. W. Gates Traducción (1937). New York: Dover Publications.
- Linton S. & Ralph E. K. (1960). Radiocarbon dates and the Maya correlation problem, *American Antiquity* 26, 165–18.
- Lounsbury, F. (1978). Maya numeration, computation and calendrical Astronomy, *Dictionary of Scientific Biography*, vol(15), 759-818. New York: Scribner's.
- Thompson, J. E. (1972). *A commentary on the Dresden Codex a Maya hieroglyphic book*. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Verbelen. F., (2006) *Eclipses and Supernova 1054 in the Dresden codex*. Grimbergen: MIRA Observatory.
- Zimmermann, G. (1956). *Die Hieroglyphen der Maya Handschriften*. Hamburg: Cram de Gruyter.

Apéndices

Estadística de intervalos entre eclipses de sol y de luna vistos desde la posición 18° Latitud norte, 90.5° Longitud Oeste.

Tabla 5. Porcentajes de eclipses de sol y de luna vistos desde la región de Yucatán para cada intervalo de días.

Intervalo (días)	% Eclipses de sol	% Eclipses de Luna
148	0.1855	0
149	0	0.061
176	0.742	11.163
177	5.936	27.633
178	6.1215	16.165
179	0	1.342
324	0	0.061
325	0	0.915
326	0	0.732
354	8.904	9.394
355	3.71	5.246
501	0.742	1.891
502	4.081	5.551
503	1.6695	2.379
530	0	0.61
531	5.194	1.769
532	2.4115	0.488
678	0	0.976
679	0.371	3.66
680	1.855	3.721
681	0	0.061
709	0.5565	0.305
710	0	0.366
855	0	0.061
856	4.6375	1.037
857	0.9275	2.135
885	1.2985	0.061
886	0.5565	0
1032	0	0.183
1033	7.6055	0.366

1034	5.194	0.61
1035	0	0.61
1210	0	0.061
1211	9.646	0.183
1387	3.71	0
1388	2.0405	0.061
1389	2.226	0
1565	6.307	0
1742	1.2985	0
1743	0.742	0
1890	0.5565	0
1891	0.371	0
1919	0.371	0
1920	0.371	0
2244	0.9275	0
2245	2.0405	0
2421	0.5565	0
2422	0.5565	0
2598	1.2985	0
2599	1.113	0
2776	0.371	0
2777	0.1855	0
2953	1.2985	0
3278	0.1855	0
3456	0.1855	0
3632	0.1855	0
3809	0.1855	0
4163	0.1855	0
4164	0.1855	0
6939	0.1855	0

Programas en lenguaje Python usados en el estudio.

Esta sección describe los programas escritos para el análisis de datos como se describió en la sección de métodos, indicando los archivos que leen y los que escriben. Finalmente se muestra el código de los programas con comentarios, con el fin de que se puedan usar de nuevo para reproducir el estudio o modificar algunos parámetros para futuras investigaciones. Los nombres de programas, archivos, variables, y los comentarios al

código están en inglés debido a que los códigos en el lenguaje de programación Python están en inglés, así como la documentación, literatura y bases de datos de eclipses.

Convertir fechas de eclipses en los catálogos a días julianos :

MakeJDfile.py

Utiliza el módulo *convertdate* de Python que convierte fechas entre varios calendarios y toma como base la unidad de tiempo UTC. Los datos del *Five Millenium catalogue* están en UTC, pero los datos locales generados para una latitud y longitud en particular están en la zona horaria local.

Datos Globales:

Input: lunareclipses0to1500.txt, solareclipses0to1500.txt

Los archivos de texto contienen los datos de eclipses del año cero al año 1500 tomados del catálogo: *Five Millenium catalogue of lunar eclipses*, y *Five millenium catalogue of solar eclipses* de Espenak, publicados en el sitio web de NASA.

Output: lunareclipseJD.txt, solareclipseJD.txt

Datos Locales:

Input: eclipselunar_local.txt, eclipsesolar_local.txt.

Los datos locales de eclipses visibles desde una localidad en particular para el período de tiempo del año cero al año 1500 se generan con la aplicación Javascript lunar eclipse explorer, y Javascript solar eclipse explorer localizadas en las siguientes direcciones respectivamente:

<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/JLEX/JLEX-NA.html>

<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/JSEX/JSEX-index.html>

Los datos generados están en hora local, UTC -6 para el área de interés.

Output: lunareclipseJDlocal.txt, solareclipseJDlocal.txt

Buscar coincidencias.

Coincidencie_module_seek.py

Inputs: lunareclipseJD.txt, solareclipseJD.txt, intervalsvector.txt

Outputs: coincidences_output.txt

Este módulo lee los datos de eclipses con fechas en días julianos y usa el archivo de intervalsvector.txt para buscar coincidencias con la serie generada por el vector de intervalos, el cual puede ser los 69 intervalos, o los 9 intervalos que hay entre las diez figuras. También se pueden usar intervalos conocidos sacados del propio catálogo de eclipses para probar el funcionamiento del algoritmo de coincidencias, lo cual fue usado al principio para asegurarse que el algoritmo puede encontrar las secuencias de manera inequívoca.

La salida del programa puede ser de varios tipos:

Un archivo con los resultados de las coincidencias de todas las series generadas a partir de cada eclipse en el catálogo, el cual sirve para crear los histogramas de la variable coincidencia y estudiar así la estadística de las coincidencias exactas, y las coincidencias dentro de una ventana de más menos un día. Esto se hizo para los datos globales de eclipses de sol y luna, y para los datos locales desde la latitud 18°N, longitud 90° 30´Oeste. Los datos generados por el *Javascript eclipse explorer* no varían en el área de estudio por lo que se tomó solo este punto.

Se generan archivos con las fechas iniciales de series de eclipses con un valor de coincidencias determinado. De esta forma se pueden exportar las series con coincidencias mayores a un cierto número.

Dibujar histogramas.

Draw_histogram.py

Utiliza el módulo *matplotlib* para graficar los datos.

Escribir series de eclipses.

Coincidence_module_printmatch.py

Input: Fecha inicial de la serie en días julianos, lunar(solar)eclipseJD.txt, intervalsvector.txt

Output: Eclipse_List_Match_Data.txt

Este módulo requiere de la fecha inicial de alguna serie de eclipses que se desee escribir explícitamente. El resultado es un archivo con una lista de eclipses que corresponde al archivo intervalsvector.txt ya sea 69 o 9 intervalos. Esto sirve para poder estudiar cada eclipse en la serie en Stellarium y ver el cielo en esos días.

Código fuente:

MakeJDfile.py

```
from convertdate import mayan

from convertdate import julian

from convertdate import gregorian

def make_date(t):

    t[0]=int(t[0])

    t[2]=int(t[2])

    if t[1] == 'Jan': t[1] = 1

    if t[1] == 'Feb': t[1] = 2

    if t[1] == 'Mar': t[1] = 3

    if t[1] == 'Apr': t[1] = 4

    if t[1] == 'May': t[1] = 5

    if t[1] == 'Jun': t[1] = 6

    if t[1] == 'Jul': t[1] = 7

    if t[1] == 'Aug': t[1] = 8

    if t[1] == 'Sep': t[1] = 9

    if t[1] == 'Oct': t[1] = 10

    if t[1] == 'Nov': t[1] = 11

    if t[1] == 'Dec': t[1] = 12

fout = open('lunareclipseJD.txt','w')
```

```

fhand = open('lunareclipses0to1500.txt')

for line in fhand:

    words = line.split()

    fecha = [words[1],words[2],words[3]]

    make_date(fecha)

    julian_day = julian.to_jd(fecha[0],fecha[1],fecha[2])

    jd_string = repr(julian_day)

    newline = words[0]+' '+jd_string+' '+words[4]+' '+words[5]+' '+words[6]+'
'+words[7]+' '+words[8]+' '+words[9]+' '+words[10]+' '+words[11]+' '+words[12]+'
'+words[13]+' '+words[14]+' '+words[15]+' '+words[16]+' '+words[17]+'\\n'

    fout.write(newline)

fout.close()

```

Coincidence_Module_seek.py

```

fout = open('coincidences_output.txt','w')

fhand = open('lunareclipseJD.txt')

fintervals = open('intervalsvector.txt')

#catalogue_dates contains all dates in fhand

catalogue_dates = []

for line in fhand:

```

```

words = line.split()

catalogue_dates.append(float(words[1]))

#Dresden Intervals loaded up at the beginning.

dresden_intervals = []

for line in fintervals:

    interval = float(line)# intervalsvector file starts with zero to begin with
        init_date

    dresden_intervals.append(interval)

#create a list of dates for eclipses in Dresden intervals starting from Espenak catalogue.

# catalogue number 5020 date 1749828.5 line 200 in lunareclipseJD.txt corresponds to
intervalsvector.txt coincidence 30

for k in range(len(catalogue_dates)):

    init_date = catalogue_dates[k] # julian day number of initial date.

    eclipse_date=init_date

    dresden_dates = []

    for l in range(len(dresden_intervals)):

        eclipse_date += dresden_intervals[l] # intervalsvector file starts with
            zero to begin with init_date

        dresden_dates.append(eclipse_date)

#Evaluate coincidence score

```

```

coincidence = 0

penalty = 0

for i in range(len(dresden_dates)):

    for j in range(k,len(catalogue_dates)): #it will check from the current
                                           position k in catalogue dates.

        compare = dresden_dates[i]-catalogue_dates[j]

        if compare < -2 :# break when the date in catalogue is greater
                        than the dresden date we are comparing

            break

        if compare == 0 :

            coincidence += 1

            break

        if compare < 2 :

            coincidence += 1

            penalty +=1

            break

#print to file catalogue number, julian day numbere, coincidences and penalty

coincidenciatotal = coincidence - penalty

if coincidenciatotal > 50:

    cataloguenumber = repr(4821+k) #the catalogue starts off at 4821

    cataloguedates_string = repr(init_date)

    coincidence_string = repr(coincidence)

```

```

        penalty_string = repr(penalty)

        totalcoincidence = repr(coincidenciatotal)

        newline = cataloguenumber+' '+cataloguedates_string+'
'+coincidence_string+' '+penalty_string+' '+totalcoincidence+'\n'

        fout.write(newline)

fout.close()

```

Draw_histogram.py

```

import matplotlib.pyplot as plt

import numpy as np

#Import Data

fhand = open('coincidences_data.txt')

data = []

fhand.readline()

for line in fhand:

    words = line.split() #Read data columns

    value = int(words[2]) #data on 3rd column

    data.append(value)

#Plot

n,bins,patches = plt.hist(data,bins = 11, edgecolor= 'black' , linewidth =1)

plt.title("Frecuencias")

plt.xlabel("Coincidencias")

plt.ylabel("No. Secuencias")

```

```
plt.show()
```

Coincidence_module_printmatch.py

```
#Prints list of eclipses corresponding to the matching series 608 May 5, 1183 Jun 07
```

```
from convertdate import julian
```

```
fout = open('Eclipse_List_Match_Data.txt','w')
```

```
fhand = open('lunareclipseJD.txt')
```

```
fintervals = open('intervalsvector.txt')
```

```
#catalogue_dates contains all dates in fhand
```

```
catalogue_dates = []
```

```
catalogue_times = []
```

```
catalogue_data = []
```

```
for line in fhand:
```

```
    words = line.split()
```

```
    catalogue_dates.append(float(words[1]))
```

```
    catalogue_times.append(words[2])
```

```
    catalogue_data.append(words[6]+' '+words[14]+' '+words[15])
```

```
#Dresden Intervals loaded up at the begining.
```

```
dresden_intervals = []
```

```
for line in fintervals:
```

```
    interval = float(line)# intervalsvector file starts with zero to begin with init_date
```

```

    dresden_intervals.append(interval)

k = 7679-4821 # catalogue number of initial date in series- initial position in catalogue
6286 and 7679

init_date = catalogue_dates[k]# julian day number of initial date.

eclipse_date=init_date

dresden_dates = []

for l in range(len(dresden_intervals)):

    eclipse_date += dresden_intervals[l]# intervalsvector file starts with zero to
                                begin with init_date

    dresden_dates.append(eclipse_date)

for i in range(len(dresden_dates)):

    for j in range(k,len(catalogue_dates)): #it will check from the current position
                                k in catalogue dates.

        compare = dresden_dates[i]-catalogue_dates[j]

        if compare < -2 :# break when the date in catalogue is greater than
                                the dresden date we are comparing

            break

        if compare == 0 :

            cataloguenumber = repr(4821+j) #the catalogue starts off at 4821

            cataloguedates_string = repr(catalogue_dates[j])

            interval = catalogue_dates[j]-dresden_dates[i-1]

            interval_string = repr(interval)

            julian_date = julian.from_jd(catalogue_dates[j])

```

```

        newline = cataloguenumber+' '+cataloguedates_string+'
'+repr(julian_date)+' '+catalogue_times[j]+' '+catalogue_data[j]+' '+exact+' '+
interval_string +'\n'

        fout.write(newline)

        break

    if compare == 1 :

        cataloguenumber = repr(4821+j) #the catalogue starts
off at 4821

        cataloguedates_string = repr(catalogue_dates[j])

        interval = catalogue_dates[j]-catalogue_dates[j-1]

        interval_string = repr(interval)

        julian_date = julian.from_jd(catalogue_dates[j])

        newline = cataloguenumber+'
'+cataloguedates_string+' '+repr(julian_date)+' '+catalogue_times[j]+' '+catalogue_data[j]+'
'+(Dresden = catalogue + one)+' '+ interval_string +'\n'

        fout.write(newline)

        break

    if compare == -1 :

        cataloguenumber = repr(4821+j) #the catalogue starts
off at 4821

        cataloguedates_string = repr(catalogue_dates[j])

        interval = catalogue_dates[j]-catalogue_dates[j-1]

        interval_string = repr(interval)

```

```
        julian_date = julian.from_jd(catalogue_dates[j])

        newline = cataloguenumber+'
'+cataloguedates_string+' '+repr(julian_date)+' '+catalogue_times[j]+' '+catalogue_data[j]+'
'+(Dresden = catalogue - one)+' '+ interval_string +'\n'

        fout.write(newline)

        break

fout.close()
```

Actividades de gestión, vinculación y divulgación

Exposición de las tablas astronómicas en el códice de Dresden, como parte de la exposición El universo para que lo descubras, realizada en el Musac del 7 de julio a febrero del 2018.

Orden de pago

Integrantes del equipo de investigación:

Colaboradores:

Joshua Lemus. Estudiante de Licenciatura en Física.

Contratados por la Dirección General de Investigación.

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago	Firma
David Marín Roma	022	970318	Si	

Coordinador de proyecto de Investigación

Dr. David Marín Roma

Coordinador de Programa Universitario

Dr. José Edgardo Cal Montoya

Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Pérez