

CIENCIAS ESPACIALES

Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)
Universidad Nacional Autónoma de Honduras | Volumen 14, Número 2, Otoño 2023
ISSN 2225-5249 (Impreso), ISSN 2521-5868 (en línea)



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS

Ciencias Espaciales

Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)
Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)
Tegucigalpa, M.D.C., Honduras

Volumen 14, Número 2 Otoño, 2023. ISSN 2225-5249 (impreso); ISSN 2521-5868 (en línea)

Portada

Desde arriba a la izquierda y en el sentido horario: Secuencia fotográfica del eclipse solar anular del 14 de octubre del 2023, crédito: FACES/UNAH; Extracto de mapa de región de Laguna del Pedregal, Tegucigalpa, Honduras, crédito: Imagen Google Earth, licencia Creative Commons; Servicios de tierra en Aeropuerto Internacional de Ciudad de México, crédito: Eduardo Rodas-Quito; Foto de Glifos de Serie Lunar de la Estela A de Copán, crédito: Eduardo Rodas-Quito.

Directora

M. Sc. Vilma Lorena Ochoa López
(Facultad de Ciencias Espaciales, UNAH)

Editor en Jefe

Máster Eduardo Enrique Rodas-Quito
(Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, UNAH)

Consejo Editorial

Ph. D. Yvelice Soraya Castillo
(Astronomía y Astrofísica, UNAH)
Máster Celina Michelle Sosa Caballero
(Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, UNAH)
Máster Yessica Yamileth Sosa Reyes
(Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, UNAH)
Máster Javier Enrique Meza Antúnez
(Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, UNAH)
Máster Alex Matamoros
(Ciencias Aeronáuticas, UNAH)

Consejo Científico

Ph. D. Jacopo Fritz
(Universidad Nacional Autónoma de México, México)
Ph. D. Francisco Maza Vásquez
(Universidad de Alcalá, España)
Ph. D. Stanislaw Iwaniszewski
(Instituto Nacional de Antropología e Historia, México)
Ph. D. FRAS Javier Mejuto González
(Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras)
Profesor José Nicolás Balbi
(Colchester Archaeological Group, Reino Unido)

Edición, arte y diagramación

Máster Eduardo Enrique Rodas-Quito
(Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, UNAH)
Correo electrónico: eduardo.rodas@unah.edu.hn
Ph.D.FRAS Javier Mejuto González
(Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, UNAH)
Correo electrónico: javier.mejuto@unah.edu.hn
Bach. Isis Alvarado Sanabria
(Astronomía y Astrofísica, UNAH)
Correo electrónico: isis.alvarado@unah.hn
Bach. Anabell Aguirre Cáliz
(Astronomía y Astrofísica, UNAH)
Correo electrónico: anabell.aguirre@unah.edu.hn
Bach. Valeria García Díaz
(Ciencia y Tecnologías de Información Geográfica, UNAH)
Correo electrónico: vbgarcia@unah.edu.hn
Bach. Johana Aylin Rodríguez Antúnez
(Astronomía y Astrofísica, UNAH)
Correo electrónico: johana_antunez@outlook.com

Contacto

M. Sc. Vilma Lorena Ochoa López
lorena.ochoa@unah.edu.hn
Máster Eduardo Enrique Rodas Quito
eduardo.rodas@unah.edu.hn

Para mayor información:

Página web:
<https://www.camjol.info/index.php/CE/index>

Correo electrónico:
revista.cespaciales@unah.edu.hn

*Facultad de Ciencias Espaciales.
El 17 de abril de 2009, mediante Acuerdo N° CU-O-043-03-2009, el Consejo Universitario de la UNAH creó la Facultad de Ciencias Espaciales en reconocimiento al funcionamiento del Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa (OACS/UNAH).*

CONTENIDO

Volumen 14, Número 2 Otoño, 2023

ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA		6
Análisis de los datos de banda baja de EDGES para restringir parámetros de las primeras fuentes de luz del universo		7
<i>Bryan Josué Mejía Lazo</i>		
CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA		18
Comparación y análisis estadístico entre modelos de probabilidad de ocurrencia de incendios forestales para Honduras. Año 2019		19
<i>José Cáceres</i>		
Análisis de Factibilidad Zona de la Laguna del Pedregal del Distrito Central. Una perspectiva desde la academia del Ordenamiento territorial		39
<i>Yeny Castellanos, Carlos Archaga Martínez, Kevin Gerardo Irias Padilla, José Samuel Martínez González, José David Cáceres</i>		
ARQUEOASTRONOMÍA Y ASTRONOMÍA CULTURAL		54
Identificación y análisis de la orientación astronómica en los entierros mayas del Período Clásico, en el Parque Arqueológico de Copán		55
<i>Marco A. Pineda M. y César I. Rodríguez C.</i>		
El Chibil Kin bajo una perspectiva antropológica. Las dinámicas de depredación y devoración en los eclipses mayas.		77
<i>Daniel Grecco Pacheco</i>		
Comparación de la tabla de eclipses maya y el Ciclo de Saros griego.		93
<i>Raúl Pérez-Enríquez, Julio Saucedo Morales, Alfredo Carmona Martínez, Jesús Clemente Olvera Trejo, Xenophon Moussas y Ezequiel Rodríguez Jáuregui</i>		
Los intervalos entre los eclipses lunares sucesivos y la estructura de la tabla de eclipses del Códice de Dresde.		111
<i>Stanislaw Iwaniszewski</i>		

CIENCIAS AERONÁUTICAS

130

Verosimilitud de la educación por competencias de la Ingeniería Aeronáutica en México

131

Roberto Sánchez Escobar

NOTAS INFORMATIVAS

140

Política Editorial e instrucciones a los autores

141

ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA

ANÁLISIS DE LOS DATOS DE BANDA BAJA DE EDGES PARA RESTRINGIR PARÁMETROS DE LAS PRIMERAS FUENTES DE LUZ DEL UNIVERSO

Bryan Josué Mejía Lazo^{1,*}

¹Departamento de Astronomía y Astrofísica, Facultad de Ciencias Espaciales
Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 05/septiembre/2022

Aceptado: 15/mayo/2023

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.16919>

RESUMEN

El universo en sus etapas más tempranas ha sido una gran fuente de preguntas, dada la dificultad que presenta su observación directa. Se ha logrado crear modelos, tanto matemáticos como computacionales, capaces de darnos una idea del universo temprano y de su evolución a lo largo de miles de millones de años. La línea de 21 cm emitida por el hidrógeno neutro es capaz de proveernos de la información observacional que se necesita para comprobar la veracidad de dichos modelos. En este documento se presenta un anteproyecto para el estudio y análisis de condiciones iniciales que dieron origen a un perfil de absorción en 78 MHz detectado por los instrumentos de banda baja del *Experiment to Detect the Global Epoch of Reionization Signature*. Dicho perfil está de acuerdo con los modelos de la señal global de 21 cm del hidrógeno neutro, durante la formación de las primeras estructuras del universo. Se espera que al culminar dicho proyecto se cuente con una herramienta eficiente para el estudio de las señales obtenidas por detectores en tierra y que, comparándolas con diferentes modelos de 21 cm, aporte información que nos ayude a entender mejor las primeras etapas del universo.

Palabras clave: Reionización, Hidrógeno, EDGES, Cosmología.

ABSTRACT

The universe in its earliest stages has been a great source of questions given the difficulty of direct observation. Models have been created, both mathematical and computational, capable of giving us an idea of the early universe and its evolution over billions of years. The 21 cm line emitted by neutral hydrogen can provide us with the observational information needed to check the accuracy of these models. This document presents a preliminary project for the study and analysis of the initial conditions that gave rise to an absorption profile at 78 MHz detected by the low-band instruments of the "Experiment to Detect the Global Epoch of Reionization Signature". This profile agrees with the models of the global 21-cm signal of Neutral Hydrogen, during the formation of the first structures of the universe. It is expected that at the end of this project an efficient tool will be available for the study of the signals obtained by ground detectors and that, comparing them with different 21 cm models, will provide information that will help us better understand the first stages of the universe.

Keywords: Reionization, Hydrogen, EDGES, Cosmology

*bjmejia@yahoo.es  <https://orcid.org/0009-0005-5875-335X>

1 Introducción

Bowman *et al.* (2018) mediante el experimento *Experiment to Detect the Global Epoch of Reionization Signature* (EDGES), detectaron una señal que corresponde a un perfil de absorción centrado en una frecuencia de 78 MHz, que corresponde a un $z \sim 17$ (es decir, a ~ 180 millones de años después del Big Bang, según los parámetros cosmológicos actuales). Dicha señal corresponde a la esperada por los modelos de la señal de 21 cm de HI en estos instantes del universo. Antes de hablar de las implicaciones de esta detección, es necesario conocer la línea de 21 cm del HI y por qué resulta de interés estudiarla.

La línea de 21 cm es un producto de la emisión de un fotón con una energía de $5,8743 \mu\text{eV}$, por el hidrógeno neutro. Dicha energía es equivalente a una longitud de onda de 21,1061 cm, de ahí su nombre. Es observada frecuentemente en radio astronomía, debido a que las ondas de radio pueden penetrar grandes nubes de polvo cósmico interestelar que son opacas a la luz visible. A pesar de que la probabilidad de observar esta línea es excesivamente baja para un átomo de hidrógeno, la cantidad de hidrógeno neutro presente en el universo permite que podamos observarla con relativa facilidad. La observación de esta línea presenta diversas ventajas, siendo tres de ellas: 1) al ser una línea espectral, la información del corrimiento al rojo puede ser usada para trazar la historia tridimensional completa; 2) directamente da información sobre el gas del medio intergaláctico, la cual contiene una vasta mayoría de materia bariónica; y 3) su largo tiempo de vida permite que la línea se encuentre lejos de la saturación y, gracias a esto, es sensible a las variaciones ocurridas durante la reionización (Furlanetto, 2006).

1.1 Física de la línea de 21 cm

La línea de 21 cm de HI es producto de una transición prohibida entre los dos estados hiperfinos del nivel $1^2 S_{1/2}$ del átomo de hidrógeno neutro, es decir, de un estado de espín paralelo entre el núcleo y el electrón a un estado antiparalelo (Field, 1958).

Medimos la intensidad de una línea espectral mediante su temperatura diferencial de brillo. Para la línea de 21 cm se mide la diferencia entre la temperatura de brillo de la señal y el fondo cósmico de microondas. Está dada por la siguiente ecuación:

$$\delta T_b(\nu) = \frac{T_s - T_\gamma}{1 + z} (1 - e^{-\tau_{\nu_0}})$$

$$\delta T_b(\nu) \approx 9\chi_{HI}(1 + \delta)(1 + z)^{\frac{1}{2}} \left[1 - \frac{T_\gamma(z)}{T_s} \right]$$

donde τ_{ν_0} es la profundidad óptica a la frecuencia de línea ν_0 ; T_γ es la temperatura de brillo del fondo cósmico de microondas; H_z es el parámetro de Hubble, $dv_{(v/dr_\nu)}$ es el gradiente de la velocidad en el componente paralelo a la línea de visión; χ_{HI} es la fracción de hidrógeno neutro; y el factor $(1 + \delta)$ da información acerca de la sobre-densidad friccionala de bariones.

1.2 Evolución de la señal global de 21 cm.

En la figura 1 de Pritchard y Loeb (2012) se muestra la evolución de la señal global de 21 centímetros. A partir de las ecuaciones mostradas, se observa que la temperatura de brillo depende de la temperatura de espín T_s y esto a su vez dicta si la línea se observa en emisión, absorción o si no se observa. T_s es determinada por tres procesos compitiendo entre sí: absorción de fotones de fondo cósmico de microondas (FCM), así como la emisión estimulada; colisiones con otros átomos de hidrógeno, electrones libres, y

protones; y dispersión de fotones ultravioleta. Y está descrita mediante la siguiente ecuación:

$$T_s^{-1} = \frac{T_\gamma^{-1} + x_c T_K^{-1} + x_\alpha T_c^{-1}}{1 + x_c + x_\alpha}$$

Donde x_s y x_α son los coeficientes de acoplamiento para colisiones y dispersión UV respectivamente; T_k es la temperatura cinética del gas; y T_c es la temperatura de color efectiva del campo de radiación UV (Pritchard y Loeb, 2012).

De esta ecuación se observa que, a muy altos corrimientos al rojo, durante la edad oscura (antes de $z \sim 200$), la temperatura de espín esta acoplada al FCM por medio de dispersión Compton, y a la temperatura del gas vía colisión electrónica. A un $z \sim 200$ el universo tiene la densidad suficiente para que ocurran colisiones frecuentemente y, así, la temperatura de espín y del gas se desacoplan del FCM y se enfrían, de manera que la línea de 21 cm es observada en absorción y se puede ver como un leve pozo de absorción con pico cerca de $z \sim 80$ (ver Figura 1 en (Pritchard y Loeb, 2012; Furlanetto, 2006)).

A medida que el universo se expandía, la densidad del gas decrecía como lo dicta la ley de los gases ideales; las colisiones se volvieron cada vez menos frecuentes y, a $100 > z > 30$, la temperatura de espín se desacopla de la temperatura del gas y se reacopla al FCM, y el gas deja de emitir fotones de 21 cm. A $z \sim 30$, la línea no podía ser observada.

Con las primeras fuentes de ionización, la temperatura de espín se desacopla del FCM y se acopla con la temperatura del gas mediante el mecanismo *Wouthuysen-Field* (Field, 1958; Wouthuysen, 1952). Dicho mecanismo consiste en la sobre población de nivel hiperfino fundamental por la continua dispersión de fotones *Lyman Alpha* ($Ly - \alpha$). En este momento la línea se vuelve a observar en absorción. Este momento es el de mayor interés para la presente investigación y tiene un pico cerca de $z \sim 20$ (ver Figura 1 en (Pritchard y Loeb, 2012)).

Luego de esto, a medida el gas es calentado por la saturación de la radiación $Ly - \alpha$, la temperatura de espín supera la temperatura del FCM y la línea se observa en emisión en las regiones más calientes hasta que, eventualmente, todo el medio se vuelve brillante a 21 cm (Pritchard y Loeb, 2012).

1.3 Implicaciones físicas de la detección de EDGES.

La detección de EDGES es un hito en el campo de la cosmología de 21 cm, debido a que es la primera detección directa de un perfil de absorción a 1,42 GHz que data de la época de la reionización. El perfil de absorción detectado ocurre a un corrimiento al rojo esperado, pero presenta una característica interesante: la profundidad del pozo de absorción es aproximadamente dos veces más fuerte que la predicha por modelos astrofísicos estándar (basados en el modelo cosmológico *Lambda Cold Dark Matter* (LCMD) y la formación jerárquica de estructuras), donde el valor esperado más fuerte es $T_s \sim -209 \text{ mK}$, asumiendo que los fotones del FCM forman un fondo de radiación con temperatura de $\sim 48.5 \text{ K}$ y la temperatura más fría posible del medio intergaláctico es de $\sim 7.2 \text{ K}$ en ausencia de fuentes de rayos X. El perfil de absorción detectado requiere, ya sea que el gas sea mucho más frío que lo esperado o que el fondo de radiación sea más fuerte, lo que resulta difícil de explicar con la astrofísica actual (Fialkov y Barkana, 2019). Esto ocasionó que gran parte de la comunidad científica centrara sus esfuerzos en dar una explicación a este hecho, procurando que sus hipótesis sean consistentes con información observacional, como la que se obtiene del FCM.

En esta sección se describirán algunos de los campos de investigación en los que mayormente se está trabajando, con el objetivo de explicar las implicaciones de un pozo de absorción más profundo en una señal global de 21 cm.

1.3.1 Materia oscura

Con la detección del fuerte pozo de absorción de EDGES se tiene una nueva forma de estudiar la materia oscura, ya que se cree que las interacciones con ella podrían enfriar el gas presente en el medio intergaláctico más allá de los niveles esperados (Fialkov *et al.*, 2018).

Otro caso de estudio interesante se da al saber que la materia bariónica (MB) puede ser enfriada si una fracción (menos del 1% del total) de las partículas de materia oscura tuviera poca masa (1 – 100 veces la del electrón) y tuviera una carga eléctrica de cerca de una millonésima parte de la del electrón. Esto ocasionaría que existiese una interacción entre la materia oscura (MO) y la MB (donde se asume que su comportamiento asemeja al de un fluido) causando un arrastre en la velocidad relativa entre estas debido a la dispersión de electrones y protones por interacciones de Coulomb, disipando así la energía cinética en energía térmica. Adicionalmente, la interacción entre MO y MB tenderá a llevar a los dos fluidos al equilibrio térmico. Dado que la temperatura de la MO es muy baja, la interacción puede reducir en gran manera la temperatura de la MB. Para poder enfriar el gas (tanto como se requiere para explicar los datos de EDGES) con interacciones de MO-MB, se requiere que existan tantas partículas de MO mini-cargadas como bariones. Este escenario puede explicar los datos de EDGES sin necesidad de introducir ninguna fuerza fundamental, pero requiere de una evidencia extraordinaria para poder probarlo (Muñoz y Loeb, 2018).

1.3.2 Exceso de radiación de fondo

Un exceso de radiación de fondo en radiofrecuencia explicaría la profundidad del pozo de absorción de los datos de EDGES. Fuentes astrofísicas, como agujeros negros supermasivos con acreción o supernovas, podrían generar la radiación en radiofrecuencia extra, vía emisión sincrotrón. Sin embargo, ambos tipos de fuentes necesitarían ser miles de veces más eficientes de lo que son sus contrapartes a pequeños corrimientos al rojo. Esto conlleva a la búsqueda de fuentes de radio creadas por procesos más exóticos, donde la intensidad de estas no está relacionada con la historia de formación estelar. Ejemplos incluyen el decaimiento radiactivo de neutrinos primordiales en neutrinos estériles y modelos mediante los cuales se inyecta radiación a 1,42 GHz adicional al gas, vía decaimiento de partículas de materia oscura ligeras. interesante mente, se ha detectado evidencia de exceso de radiación de fondo sobre el FCM a frecuencias de 3 – 90 GHz de radio por ARCADE2 y recientemente fueron confirmadas por LWA1 a 40 – 80 MHz. Sin embargo, aún no está claro que parte de ese exceso es de origen extra-galáctico. Por lo que la comunidad científica se mantiene en constante investigación (Fialkov y Barkana, 2019).

Con estos ejemplos podemos notar que, en el momento en que se produjo este pozo de absorción, los procesos astrofísicos se volvieron importantes y dominantes, ya que es cuando las estrellas y los cuásares ionizaron el medio intergaláctico (MIG) y se convierte en una etapa del universo de vital interés para la cosmología. Por lo que este campo de estudio intenta responder preguntas fundamentales, como ser: ¿mediante qué proceso se formaron las primeras estrellas?, ¿qué tan masivas eran y cuantos de sus fósiles aún permanecen en el universo local?, ¿cuándo se formaron los elementos pesados por primera vez, y que procesos los distribuyeron a las galaxias y el MIG?, ¿cuándo y cómo se formaron los primeros agujeros negros y que rol tuvieron en la formación de las galaxias?, ¿qué fuentes comenzaron el proceso de reionización? (Furlanetto, 2006).

El estudio del perfil de absorción que se espera que se produzca a estos corrimientos al rojo, nos permite extraer información que se puede traducir en un rango de parámetros que describen el medio en el que se produjo la señal y los procesos físicos involucrados; como ser: fluctuaciones de densidad, reionización cósmica y calentamiento por rayos X, entre otros (Fialkov *et al.*, 2018). De esta manera, el perfil se convierte en una sonda cosmológica directa, que nos permite explorar dichas etapas tempranas del universo y su evolución durante un lapso considerable, aproximadamente $20 > z > 5$ (Bowman *et al.*, 2018).

Este estudio plantea una metodología que permite la extracción de información de una señal global de 21 cm, utilizando la señal detectada por EDGES, para restringir parámetros relevantes para la formación estelar y galáctica. De la misma manera, dicha metodología permitirá estudiar las señales detectadas por la “Sonda Cosmológica de las Islas para la Detección de Hidrógeno Neutro” (Sci-HI) (Voytek *et al.*, 2014), ubicada en México.

2 Metodología

La presente metodología está dividida en varias fases, culminando con la extracción de parámetros a partir de los datos tomados por EDGES.

Datos - Fase 1

El presente estudio hará uso de los datos de banda baja de EDGES (50 MHz – 90 MHz). Los datos que serán utilizados son de los instrumentos “low-1” y “low-2” de EDGES, con varias configuraciones de *hardware* y procesamiento. La radiación del cielo fue recolectada por una antena de dipolo de banda ancha, que consiste en dos paneles de metal rectangulares, montados horizontalmente sobre un plano de metal en tierra. El receptor es instalado bajo el plano en tierra y se usa un *balun* (*balanced-unbalanced line transformer*, por sus siglas en inglés) para guiar la radiación de la antena a los receptores (Bowman *et al.*, 2018). Los datos fueron tomados entre 2016 y 2017.

Datos – Fase 2

Los datos son presentados en forma tabular con formato CSV. Cada fila del archivo es una frecuencia diferente entre 50 y 100 MHz con resolución espectral de 0,390625 MHz, para un total de 128 filas de datos. Los datos se encuentran públicamente disponibles en internet¹ y son utilizados para crear la figura 2 en (Bowman *et al.*, 2018).

Para evaluar las restricciones astrofísicas, se evaluará la consistencia entre el espectro de banda baja de EDGES y 10.000 señales globales de 21 cm simuladas mediante el programa 21cmFAST², un código semi-numérico que realiza cálculos aproximados para modelar un universo tridimensional, reduciendo el tiempo de cómputo (Miller, 2018). Fue diseñado para simular la señal de 21 cm durante la reionización.

2.1 Definición de los parámetros.

Para realizar esta tarea se realizarán simulaciones hasta formar una base de datos compuesta por 10.000 señales distintas de 21 cm. Cada simulación estará definida por un set de ocho parámetros distintos definidos por (Park *et al.*, 2018) y son los siguientes:

$f_{*,10}$: Una normalización de la fracción de gas galáctico presente en las estrellas a alto z , f_* evaluado para halos de masa de $10^{10} M_{\odot}$. Se le permitirá variar logarítmica mente en un rango de $\log_{10}(f_{10}) = [-3, 0]$.

¹Los datos pueden ser obtenidos en el siguiente enlace: <https://loco.lab.asu.edu/edges/edgesdata-release/>

²Se puede obtener siguiendo el siguiente enlace <https://github.com/andreimesinger/21cmFAST>

α_* : El factor de escala de ley de potencias de f_* con la masa del halo. Se le permitirá variar linealmente en un rango de $\alpha = [-0.5, 1]$.

Los dos anteriores permitirán obtener información sobre la masa estelar promedio en galaxias en halos de masa M_h , mediante la siguiente función:

$$M_*(M_h) = f_{*,10} \left(\frac{M_h}{10^{10} M_\odot} \right)^{\alpha_*} \left(\frac{\Omega_b}{\Omega_m} \right) M_h$$

$f_{esc,10}$: La normalización de la fracción de escape de fotones ionizantes UV de galaxias a alto z , f_{esc} , evaluada para halos de $10^{10} M_\odot$. Se le permitirá variar logarítmicamente en el rango $\log_{10}(f_{esc,10}) = [-3, 0]$

α_{esc} : El factor escala de ley de potencias f_{esc} . Se espera que este valor sea negativo debido a que las supernovas pueden evacuar más fácilmente canales de densidades columnares bajas de pozos de potencial poco profundos. Se permitirá que varíe linealmente en un rango de $\alpha_{esc} = [-1, 0.5]$.

t_* : Tiempo de escala de formación estelar tomado como una fracción del tiempo de Hubble, $(H^{-1}(z))$. Se permitirá que varíe en el rango $t_* = [0, 1]$.

Con el anterior se podrá encontrar valores para tasa de formación estelar promedio (SFR, por sus siglas en inglés) de galaxias alojadas en halos de masa M_h mediante la siguiente función:

$$M_*(M_h, z) = \frac{M_*}{t_* H(z)^{-1}}$$

M_{turn} : La masa de cambio de SFR del halo bajo la cual la abundancia de galaxias con formación estelar activa es suprimida exponencialmente, de acuerdo con la función $f_{duty} = \exp(-M_{turn}/M_h)$. Se permite que este parámetro varíe logarítmicamente en un rango de $\log_{10}(M_{turn}) = [8, 10]$. Donde el límite inferior está motivado por un límite de enfriamiento atómico, mientras que el superior está motivado por la cola tenue observada en las funciones de luminosidad actuales de UV.

E_0 : La energía mínima que un fotón de rayos X debe tener para ser capaz de escapar de la galaxia; los fotones más suaves son absorbidos por el medio interestelar de las galaxias a alto z . Se permite que varíe linealmente en un rango de $E_0 = [0.1, 0.5]$. Análogamente, este parámetro corresponde a $\log_{10}(N_{HI}/cm^2) = [19.3, 23.0]$.

$L_{X < 2keV}/SFR$: La normalización de la banda suave de luminosidad de rayos X por unidad de formación estelar, calculado sobre la banda $E_0 = -2keV$. Se permite que el parámetro varíe de forma logarítmica en un rango definido por $\log_{10}(L_{X < 2keV}/SFR) = [38, 42]$.

Los dos anteriores aportan información acerca de la emisividad específica en rayos X comóvil calculada en el marco emitido $E_e = E(1+z)/(1+z)$, y está dada por la siguiente función:

$$\epsilon_X(x, E_e, z') = \frac{L_x}{SFR} \left[(1 + \overline{\delta_{nl}}) \int_0^\infty dM_h \left(\frac{dn}{dM_h} \right) f_{duty}(M) \right] \quad (2.1)$$

Donde x es una posición espacial dada, $\overline{\delta_{nl}}$ es la sobre densidad no lineal media de la capa alrededor de (x, z) , el termino entre corchetes corresponde a la densidad de la tasa de formación estelar a lo largo del cono de luz y dn/dM_h es la función de masa de halo condicional (HMF).

2.2 Creación de las simulaciones

Para realizar las simulaciones, se procederá a la instalación del programa “21cmFAST”, es un código escrito en un lenguaje de programación de alto nivel conocido como “C”. Y será ejecutado en el sistema operativo “Linux”.

Los sets de parámetros para cada simulación serán definidos mediante una rutina en lenguaje Python diseñada exclusivamente para dicha tarea. Serán introducidos en los archivos de formato “*.H”. Dichos archivos se encuentran en una carpeta llamada “Parameter_files”, creada por el autor.

Los archivos que serán modificados son:

- ANAL_PARAMS.H
- COSMOLOGY.H
- HEAT_PARAMS.H
- INIT_PARAMS.

En el archivo “ANAL_PARAMS.H” se introduce el set de parámetros astrofísicos, mismos que son leídos por el programa “driver_logZscroll_Ts” para realizar la simulación.

En el archivo “COSMOLOGY.H” se introduce el modelo cosmológico a ser utilizado, en esta investigación se utilizarán los datos recopilados por la sonda Planck para el modelo Λ CMD. (Ade *et al.*, 2016). Los mismos se muestran en la tabla 1.

En el archivo “INIT_PARAMS.H” es posible modificar los requerimientos computacionales para la simulación. Configurados para que, a más altos requerimientos, mayor es la precisión de los resultados. En este estudio se creará un volumen de 300 Mpc que contiene una caja de alta resolución (albergada en la variable DIM) de 1200^3 celdas y una caja de baja resolución (alojada en la variable HII_DIM) de 400^3 celdas, donde serán muestreadas las condiciones iniciales que el programa tomará para la subsecuente evolución de densidad, la simulación de los campos de ionización, etc.(Mesinger *et al.*, 2011).

Tabla 1: Parámetros que serán introducidos en el archivo COSMOLOGY.H

Parámetro Cosmológico	Valor
Fluctuación de densidad a $8 h^{-1}$ Mpc	$\sigma_B = 0.81$
Parámetro de Hubble	$h = 0.67$
Parámetro de densidad de materia	$\Omega_m = 0.31$
Parámetro de densidad bariónica	$\Omega_b = 0,048$
Parámetro de densidad de Energía Oscura	$\Omega_\lambda = 0,69$
Índice Espectral Escalar	$n_s = 0,97$
Parámetro de densidad total	$\Omega_{\text{tot}} = 1$

Los valores de las dimensiones de las cajas de alta y baja resolución son elegidos de acuerdo con los requerimientos de RAM del código, denotado por la siguiente formula:

$$4 \cdot (DIM^3 + 4 \cdot (HII_{DIM})^3) / 10^9 \text{GB} \quad (2.2)$$

Para la realización de este trabajo se necesita un mínimo de 8 GB de memoria RAM disponible en el sistema para poder generar la señal exitosamente.

2.3 Diseño del proyecto – Fase III

Se diseñará un programa que utilice el método Cadena de *Markov* Montecarlo. Es posible programar el método en cualquier lenguaje de programación de alto nivel, como, por ejemplo: Fortran, C o C++. Para este trabajo se utilizará el lenguaje de programación Python. Es un método de simulación para generar muestras de las distribuciones y estimar cantidades de interés *a posteriori*. Se simulan valores sucesivamente de una densidad propuesta, que no tiene que ser necesariamente parecida a la distribución deseada. Cada valor simulado depende del valor generado anteriormente, de ahí la noción de cadena de Markov. La convergencia se da cuando los valores tienen la similitud suficiente con la distribución deseada, es decir, se encuentran dentro de un rango de aceptabilidad.

2.3.1 Distribución de probabilidad *a priori*

Para poder realizar una comparación entre datos utilizando estadística Bayesiana, se requiere de un modelo de distribución de probabilidad a priori, un modelo preliminar a partir del cual se creará la cadena de Markov y se esperará que converja con el método de Monte Carlo. Se definirá un modelo a priori que involucre los ocho parámetros a analizar. Se listan en la siguiente tabla y fueron elegido de manera que el momento en el que se dio el final de la reionización sea consistente con observaciones actuales ([Park et al., 2018](#); [Monsalve et al., 2018](#); [Greig y Mesinger, 2018](#)):

Tabla 2: Parámetros para la distribución a priori

Parámetro	Paso Inicial
$f_{,10}$	0.05
α_*	0.5
$f_{esc,10}$	0.1
α_{esc}	-0.5
M_{turn}	5×10^8
t_*	0,5
$L_{X<2keV})/SFR$	$10^{40.5}$
E_0	0.5

2.4 Diseño del Proyecto – Fase IV

Se observará la distribución de probabilidad posterior de cada parámetro producto de la comparación, usando el método de Cadena de Markov Monte Carlo y, de esta manera, se obtendrán los rangos de los parámetros que producen una señal de 21 cm a alto z, similar a la detectada por EDGES con un 68 % y 95 % de nivel de credibilidad.

2.5 Diseño del proyecto – Fase V

Los rangos de parámetros, previamente obtenidos, serán comparados con restricciones encontradas por distintos métodos encontrados en la literatura, como ser, el estudio de galaxias emisoras de Lyman-alpha o las supernovas tipo Ia (Dijkstra, 2014). Al igual que con mediciones cosmológicas realizadas por telescopios en tierra y sondas espaciales, como ser el observatorio espacial Planck.

3 Resultados esperados

- Se espera que la base de datos creada a partir de las simulaciones genere un conjunto de señales similar al mostrado en la figura 4 en (Monsalve *et al.*, 2018)
- Se espera que, una vez realizadas las simulaciones, y se comparen con los datos de EDGES, se obtenga una gráfica similar a la figura 3 en (Monsalve *et al.*, 2018)
- Con esta investigación se podrá ser capaz de encontrar rangos para los parámetros definidos, con un 95% de nivel de credibilidad. Así como, descartar rangos de valores al encontrarlos muy poco probables, definiendo cotas inferiores o superiores para cada parámetro.

4 Conclusiones

1. Con esta investigación se logrará desarrollar una herramienta eficiente para el estudio de las señales obtenidas por detectores en tierra y que, comparándolas con diferentes modelos de 21-cm, aporte a la comunidad científica información útil para el entendimiento de las primeras etapas del universo.
2. Se obtendrán restricciones con alto nivel de credibilidad respecto a los datos de EDGES, a espera de ser comparadas con futuras investigaciones utilizando distintas detecciones de la señal global de 21cm.
3. Se espera ser capaz de extender el método, utilizando otros códigos numéricos computacionales para la simulación de 21-cm como, por ejemplo: “21cmSense”³ y “CUBE3M”⁴. De igual manera, utilizando otros métodos estadísticos. Así, de esta forma, estudiar los modelos existentes con el propósito de afinarlos en su descripción de la física de 21-cm.

5 Referencias

Ade, P. A. R., Aghanim, N., Arnaud, M., Ashdown, M., Aumont, J., Baccigalupi, C., Banday, A. J., Barreiro, R. B., Bartlett, J. G., Bartolo, N., Battaner, E., Battye, R., Benabed, K., Benoît, A., Benoit-Lévy, A., Bernard, J.-P., Bersanelli, M., Bielewicz, P., Bock, J. J., ..., y Zonca, A. (2016). Planck2015 results: XIII. Cosmological parameters. *Astronomy & Astrophysics*, 594:A13. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1502.01589>.

Bowman, J., Rogers, A., Monsalve, R., Mozdzen, T., y Mahesh, N. (2018). An absorption profile centred at 78 Megahertz in the sky-averaged spectrum. *Nature*, 555:67–70. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature25792>.

³<https://github.com/jpober/21cmSense>

⁴<https://github.com/jharno/cubep3m>

- Dijkstra, M. (2014). Ly-alpha emitting galaxies as a probe of reionization. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31. DOI: <https://doi.org/10.1017/pasa.2014.33>.
- Fialkov, A. y Barkana, R. (2019). Signature of excess radio background in the 21-cm global signal and power spectrum. , 486(2):1763–1773. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stz873>.
- Fialkov, A., Barkana, R., y Cohen, A. (2018). Constraining baryon–dark-matter scattering with the cosmic dawn 21-cm signal. *Phys. Rev. Lett.*, 121:011101. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.011101>.
- Field, G. B. (1958). Excitation of the Hydrogen 21-CM Line. *Proceedings of the IRE*, 46:240–250. DOI: <https://doi.org/10.1109/JRPROC.1958.286741>.
- Furlanetto, S. R. (2006). The global 21-centimeter background from high redshifts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 371(2):867–878. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2006.10725.x>.
- Greig, B. y Mesinger, A. (2018). Simultaneously constraining the astrophysics of reionisation and the epoch of heating with 21cmmc. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 12(3):18–21. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1743921317011103>.
- Mesinger, A., Furlanetto, S., y Cen, R. (2011). 21cmFAST: Fast, Semi-Numerical Simulation of the High-Redshift 21-cm Signal. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 411(2):955–972. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2010.17731.x>.
- Miller, M. (2018). *Recovering the Physics of the Epoch of Reionization using Semi-Analytic 21CMMC code*. PhD Thesis. Disponible en: https://www.brown.edu/academics/physics/sites/physics/files/images/Miller_Michelle_Miller_Final_Thesis.pdf.
- Monsalve, R. A., Greig, B., Bowman, J. D., Mesinger, A., Rogers, A. E., Mozdzen, T. J., y Mahesh, N. (2018). Results from EDGES High-Band: II. Constraints on Parameters of Early Galaxies. *Astrophysical Journal*, 863(1). DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aace54>.
- Muñoz, J. B. y Loeb, A. (2018). A small amount of mini-charged dark matter could cool the baryons in the early universe. *Nature*, 557:684–686. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0151-x>.
- Park, J., Mesinger, A., Greig, B., y Gillet, N. (2018). Inferring the astrophysics of reionization and cosmic dawn from galaxy luminosity function and the 21-cm signal. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 484(1):933–949. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stz032>.
- Pritchard, J. y Loeb, A. (2012). 21 cm cosmology in the 21st century. *Reports on Progress in Physics*, 75(8). DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/75/8/086901/pdf>.
- Voytek, T., Natarajan, A., García, J. M., Peterson, J., y Cruz, O. (2014). Probing the dark ages at $z \sim 20$: The sci-hi 21 cm all-sky spectrum experiment. *The Astronomical Journal Letters*, 782(1):1–5. DOI: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/782/1/L9>.
- Wouthuysen, S. (1952). On the excitation mechanism of the 21-cm (radio-frequency) interstellar hydrogen emission line. *Astronomical Journal*, 57:31–32. DOI: <https://doi.org/10.1086/106661>.

CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

COMPARACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENTRE MODELOS DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES PARA HONDURAS. AÑO 2019

José Cáceres Coello^{1,*}

¹Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica
Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 4/marzo/2023

Aceptado: 6/junio/2023

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.16918>

RESUMEN

Honduras por sus condiciones climáticas y fisiográficas en los últimos años ha sufrido impactos negativos a causa que los incendios forestales que ocasionan pérdidas en la economía del país, como el cierre de aeropuertos, en la salud de las poblaciones urbanas y rurales, incidencia de plagas y enfermedades en agricultura y el bosque, mayor degradación y erosión de suelos, alteración de sistemas de recarga hídrica, efectos negativos sobre la biodiversidad así como la pérdida de valores escénicos. Para el 2019 se reportaron 1 177 incendios con una superficie afectada de 72 434.77 hectáreas. Los departamentos con mayor incidencia de incendios forestales fueron; Francisco Morazán, Olancho, y Copán. En esta investigación se analizó estadísticamente el desempeño de tres modelos (ICF, Random Forest y MaxEnt) para la generación de mapas de susceptibilidad a incendios forestales a partir de variables ambientales. Los modelos se calibraron con los datos de los reportes de incendios generados por el ICF. Adicionalmente se seleccionaron puntos de incendios de manera aleatoria obtenidos del Sistema FIRMS. El modelo Random Forest tuvo el mejor rendimiento con un AUC para los datos de prueba de 0.973 y un AUC de datos MODIS-FIRMS de 0.919. Usando las clasificaciones promedio de las medidas de importancia de la variable ambiental, la cercanía a asentamientos humanos fue el mejor predictor de igniciones de incendios forestales, seguido de cerca por la distancia a carreteras no pavimentadas y la elevación, para los modelos basados en algoritmos de aprendizaje autónomo.

Palabras clave: Incendios Forestales; MaxEnt; Random Forest; AUC; FIRMS.

*jcaceres@unah.edu.hn,  <https://orcid.org/0000-0002-6055-7690>

ABSTRACT

Honduras, due to its climatic and physiographic conditions in recent years, has suffered negative impacts due to wildfires that cause losses in the country's economy, such as the closure of airports, in the health of urban and rural populations, incidence of pests and diseases in agriculture and forestry, greater soil degradation and erosion, alteration of water recharge systems, negative effects on biodiversity as well as the loss of scenic values. In 2019, 1,177 fires were reported with an affected area of 72,434.77 hectares. The departments with the highest incidence of wildfires were; Francisco Morazán, Olancho, and Copan. In this research, the performance of three models (ICF, Random Forest and MaxEnt) for the generation of susceptibility maps to wildfires from environmental variables was statistically analyzed. The models were calibrated with the fire report data generated by the ICF. Additionally, fire points were selected randomly obtained from the FIRMS System. The Random Forest model had the best performance with an AUC for test data of 0.973 and an AUC for MODIS-FIRMS data of 0.919. Using the average rankings of the environmental variable importance measures, proximity to human settlements was the best predictor of wildfire ignitions, closely followed by distance to unpaved roads and elevation, for models based on Machine Learning Algorithms.

Keywords: Wildfires; MaxEnt; Random Forest; AUC; FIRMS.

1 Introducción

Honduras por sus condiciones climáticas y fisiográficas en los últimos años ha sufrido impactos negativos a causa que los incendios forestales que ocasionan pérdidas en la economía del país, como el cierre de aeropuertos, en la salud de las poblaciones urbanas y rurales, incidencia de plagas y enfermedades en agricultura y el bosque, mayor degradación y erosión de suelos, alteración de sistemas de recarga hídrica, efectos negativos sobre la biodiversidad así como la pérdida de valores escénicos ([Instituto de Conservación Forestal, 2014](#)).

Históricamente se han realizado estudios de las causas que originan la gran destrucción de los bosques debido a los incendios forestales en todas las regiones del país; logrando identificar de esta manera las coberturas más propensas a los mismos (mapa forestal y cobertura de la tierra de Honduras con imágenes rapidEye), la amenaza (Población), la vulnerabilidad de los bosques a causa de su accesibilidad, (camino y pendientes), etc. ([Instituto de Conservación Forestal, 2014](#); [Moreno Segura et al., 2017](#)).

Con estos elementos la Unidad Nacional de Monitoreo Forestal del Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), ha elaborado mapas de riesgo a incendios a escala nacional en los últimos 3 años utilizando la metodología de ICF que consiste en una matriz que toma como base la amenaza, vulnerabilidad y propensión para construir categorías de riesgo a incendios forestales que permite la identificación y cuantificación de las zonas de riesgo tanto a nivel nacional, regional como municipal.

Esta herramienta ha permitido a la Comité Nacional de Protección Forestal (CONAPROFOR) elaborar planes con información actualizada en los diferentes niveles de planificación con datos reales que hacen más eficiente la aplicación de las diferentes actividades y permiten coordinar las acciones de participación e integración de esfuerzos gubernamentales y de la sociedad civil en una forma planificada y coordinada, que contribuyan al desarrollo de actividades que fortalezcan las capacidades políticas, técnicas y operativas, orientadas a reducir los efectos negativos que originan los incendios a los ecosistemas la salud y la economía nacional.

A pesar de contar con esta metodología se han desarrollado dos metodologías más para la caracterización del riesgo a incendios forestales, por otros proyectos que apoyan al ICF (Máxima Entropía y Random Forest desarrolladas por China-Taiwán). En tal sentido, se busca comparar la eficiencia de cada una de estas 3 herramientas para la definición de riesgos a incendios y así aplicar la herramienta más adecuada en la toma de decisiones de la institución en esta temática.

De las diferentes amenazas a las que se encuentran expuestos los bosques, los incendios forestales es una de las principales que se presentan cada año. Estos siniestros ocurren principalmente en bosques de pino y mixto (pino y roble) que representan el 34.70 % de la cobertura boscosa 2.19 millones de hectáreas (Cáceres Coello, 2020).

Para el 2019 se reportaron 1 177 incendios con una superficie afectada de 72 434.77 hectáreas. Los departamentos con mayor incidencia de incendios forestales fueron; Francisco Morazán con 268, Olancho con 213 y Copán con 132 incendios; estos representan 52.08 % de los incendios ocurridos a nivel nacional. El departamento con la mayor cantidad de área afectada por incendios forestales es Gracias a Dios con 24 372.93 hectáreas, seguido por Olancho con 15 936.62 hectáreas (Instituto de Conservación Forestal, 2020).

En esta investigación se analizó estadísticamente el desempeño de tres modelos para la generación de mapas de susceptibilidad a incendios forestales.

2 Marco Teórico

Los incendios forestales pueden ser originados por causas humanas o naturales. Ambos tipos de igniciones son esencialmente procesos no aleatorios que dependen de impulsores de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba y tienen patrones espaciales explícitos (Krawchuk *et al.*, 2006; Narayanaraj y Wimberly, 2011; Parisien y Moritz, 2009). Los controladores descendentes reflejan la variabilidad espacial a gran escala del tiempo y el clima, que a su vez afectan directamente las igniciones naturales (p. Ej., Rayos) y también cambian la humedad del combustible, lo que cambia la probabilidad de una ignición (Latham y Williams, 2001). Variables de escala local que afectan la combustibilidad del combustible y la proximidad a fuentes de ignición humanas (Krawchuk *et al.*, 2006; Sturtevant y Cleland, 2007; Syphard *et al.*, 2007; Syphard *et al.*, 2008).

El enfoque más común para comprender los patrones espaciales de ignición de incendios forestales y sus fuerzas impulsoras es el modelado de distribución basado en ubicaciones históricas de ignición (Bar Massada *et al.*, 2011; Sturtevant y Cleland, 2007; Syphard *et al.*, 2008). Algunos estudios consideraron únicamente igniciones antropogénicas (Syphard *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2007) o por rayos (Díaz-Avalos *et al.*, 2001; Krawchuk *et al.*, 2006), mientras que otros examinaron ambos (Parisien y Moritz, 2009; Sturtevant y Cleland, 2007). El hallazgo general es que las igniciones humanas y naturales de incendios forestales tienen patrones espaciales distintivos que pueden cuantificarse fácilmente utilizando variables explicativas humanas y biofísicas. Sin embargo, es importante distinguir los dos objetivos del modelado de ignición: (1) modelado explicativo para probar hipótesis sobre el papel que juegan diferentes factores en causar igniciones, (2) modelado predictivo para identificar aquellas áreas que son más propensas a igniciones, y donde se pueden apuntar los tratamientos de prevención de incendios o reducción de combustible (Bar Massada *et al.*, 2013).

Conceptual y metodológicamente, el modelado de la distribución de la ignición está estrechamente relacionado con el modelado de la distribución de especies (MDS) (Franklin, 2010). El enfoque básico es

analizar las ubicaciones de ignición de incendios forestales (análogas a las ubicaciones de ocurrencia de especies) en relación con las variables ambientales que se hipotetizan para influir en la distribución espacial de igniciones (o ocurrencias de especies). Los modelos estiman la respuesta de incendios forestales (o especies) a estas variables predictoras ambientales. Al igual que en MDS, hay dos tipos de datos de ignición que pueden analizarse: presencia (la ocurrencia de un evento de ignición en un punto en el espacio) o abundancia (el número de igniciones por unidad de área). El tipo de datos afecta la elección del tipo de modelo porque los datos de presencia generalmente requieren una respuesta binomial, mientras que los datos de abundancia requieren una respuesta continua. Además, aunque los datos de presencia a menudo van acompañados de datos de ausencia, también se han desarrollado métodos especiales de modelado para datos de solo presencia, donde las ubicaciones de presencia se comparan con las condiciones ambientales de fondo ('usado versus disponible') (Elith *et al.*, 2006; Franklin, 2010), porque a menudo es imposible identificar lugares donde no puede ocurrir ignición.

Se ha utilizado un conjunto diverso de modelos para modelar igniciones (o apariciones de especies), incluidos métodos estadísticos como modelos lineales generalizados (Nelder y Wedderburn, 1972), modelos aditivos generales (Hastie y Tibshirani, 1990) y algoritmos de aprendizaje automático como Random Forest (Prasad *et al.*, 2006) y Máxima entropía (Maxent) (Phillips *et al.*, 2006). Dada la amplia gama de tipos de modelos, la pregunta es ¿hasta qué punto la elección del modelo afecta los resultados? ¿Algunos tipos de modelos son consistentemente mejores para explicar o predecir los incendios forestales? En los estudios de vida silvestre, el tipo de modelo afecta fuertemente el rendimiento y los mapas resultantes de los MDS (Elith *et al.*, 2006; Elith y Graham, 2009; Guisan *et al.*, 2007), y por lo tanto, planteamos la hipótesis de que los modelos de ignición también se verían afectados por la elección del modelo..

3 Metodología

3.1 Modelos estadísticos

Para la predicción de la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales se utilizaron tres tipos de modelos de distribución de incendios: un modelo paramétrico (ICF) y dos algoritmos de aprendizaje automático (Random Forest y MaxEnt).

En el caso del modelo de ICF (Figura 1), se utilizó una ponderación lineal combinada para construir un mapa de riesgo a Incendios Forestales definido por un modelo de propensión. Este modelo considera las siguientes variables: recurrencia de incendios forestales, uso del suelo (cobertura forestal), sequía meteorológica, infraestructura técnica, productiva y asentamientos humanos, áreas de interés especial (áreas protegidas, zonas productoras de agua, etc.), pendiente y accesibilidad; asignando una valoración para cada categoría (ICF, 2014).

El modelo Random Forest es una técnica de conjunto que amplía el enfoque de modelado de árboles de clasificación (Breiman, 2001) promediando las predicciones de muchos árboles de clasificación individuales, cada uno desarrollado utilizando un subconjunto de los datos de entrenamiento. Este algoritmo supera el problema de la inestabilidad en el uso de árboles de clasificación única, lo que resulta en una mayor precisión de predicción (Franklin, 2010; Syphard y Franklin, 2010). El Random Forest estima el error del modelo y la importancia de la variable al comparar la predicción de cada árbol con un conjunto de datos de prueba que consiste en todas las observaciones que se retrasaron durante su desarrollo (muestras descartadas). La importancia de variable en Random Forest se calcula calculando el error medio cuadrático (RMSE) de cada árbol comparando su predicción basada en las observaciones del subconjunto con

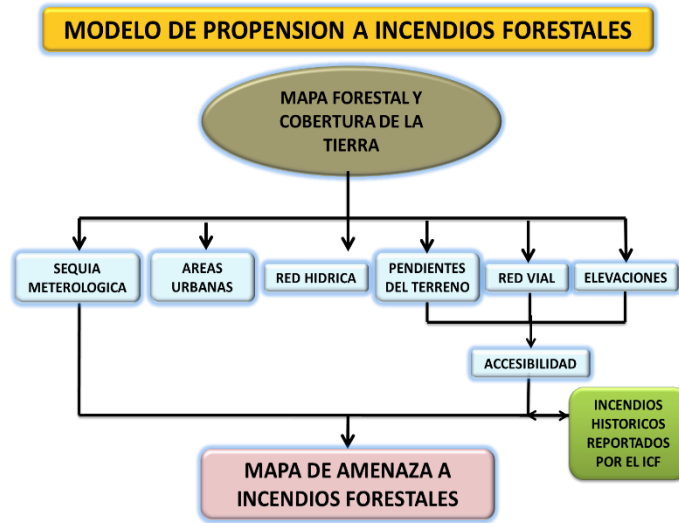


Figura 1: Mapa de Propensión a Incendios Forestales. Metodología ICF.

las basadas en las observaciones *out-of-bag*. Para cada variable, las observaciones de la muestra *out-of-bag* se permutan aleatoriamente, y el RMSE se vuelve a calcular. Para cualquier variable permutada, la diferencia en RMSE para cada árbol (generalmente un aumento), promediada en el bosque y normalizada por la desviación estándar de las diferencias, es una medida de su importancia, con diferencias mayores medidas como incremento porcentual en RMSE que indica más importancia (Cutler *et al.*, 2007). Para la generación del modelo de incendios, utilizando el principio de máxima clasificador Random Forest, se tomaron en consideración trece variables (Figura 2) y se generó el modelo Random Forest utilizando las herramientas desarrolladas por el Marine Geospatial Ecology Tools (Roberts *et al.*, 2010).

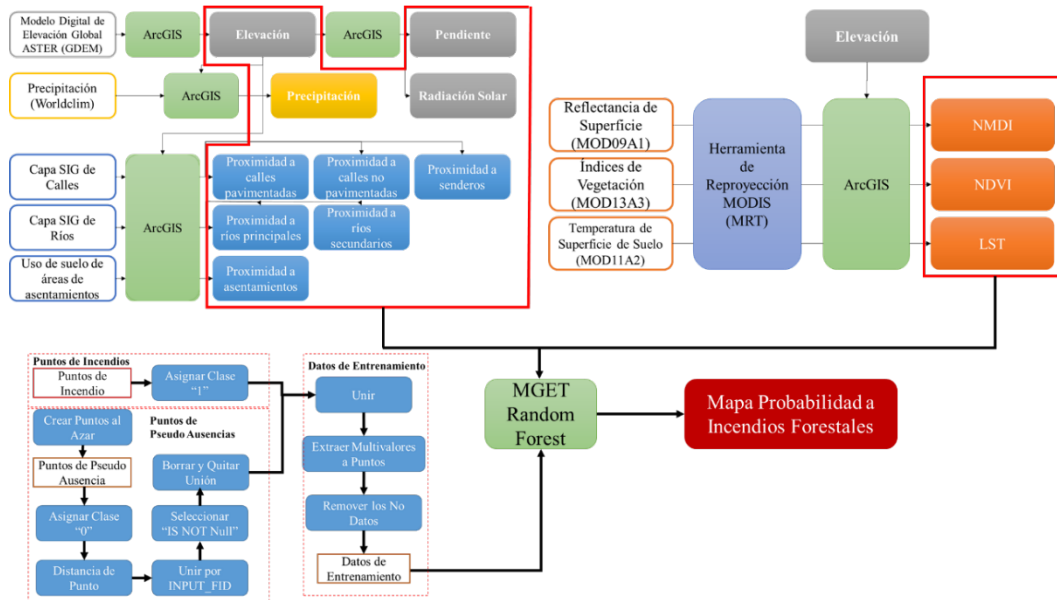


Figura 2: Mapa de Propensión a Incendios Forestales. Metodología Random Forest.

Maximum Entropy es un algoritmo de aprendizaje automático de presencia única que contrasta iterativamente valores de predictores ambientales en ubicaciones de ocurrencia con los de una gran muestra

de antecedentes tomada a lo largo del área de estudio (Elith *et al.*, 2011; Phillips *et al.*, 2006). Maxent se ha utilizado para modelar la ignición de fuego en los EE. UU. (Parisien y Moritz, 2009) y la aparición de incendios en las montañas Ghats de la India (Renard *et al.*, 2012). Maxent representa Π , la distribución de las ubicaciones de ignición para un conjunto x de sitios en el área de estudio (Phillips y Dudík, 2008). Cada sitio x se asigna a un valor no negativo $\Pi(x)$, y estos valores en todos los sitios suman uno. Maxent luego genera un modelo de Π basado en las restricciones ambientales obtenidas a partir de los datos de ocurrencia, donde cada restricción se define como una función de una variable ambiental. El modelo requiere que el valor promedio de cada una de estas funciones esté dentro de un pequeño margen de error del promedio empírico de las variables ambientales correspondientes en todos los sitios de muestra. Entre la gran cantidad de posibles distribuciones de probabilidad, Maxent selecciona la que tiene la entropía máxima (o la más uniforme) como el mejor representante de los datos (Phillips *et al.*, 2006) y asigna una probabilidad de ocurrencia a cada ubicación. Entre los modelos de distribución de especies de solo presencia, Maxent demuestra consistentemente una mayor precisión de predicción, especialmente con tamaños de muestra pequeños (Elith *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2006). La importancia de variable se cuantifica en función del aumento de la ganancia de entrenamiento regularizada mediante las iteraciones de desarrollo del modelo, donde la ganancia de entrenamiento denota el aumento en la probabilidad de ignición en los lugares de entrenamiento (es decir, variables que contribuyen a aumentar las posibilidades de ignición se consideran más importantes). Para la generación del modelo de incendios, utilizando el principio de máxima entropía, se tomaron en consideración trece variables (Figura 3) y se utilizó el software autónomo Maxent, disponible en: https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.

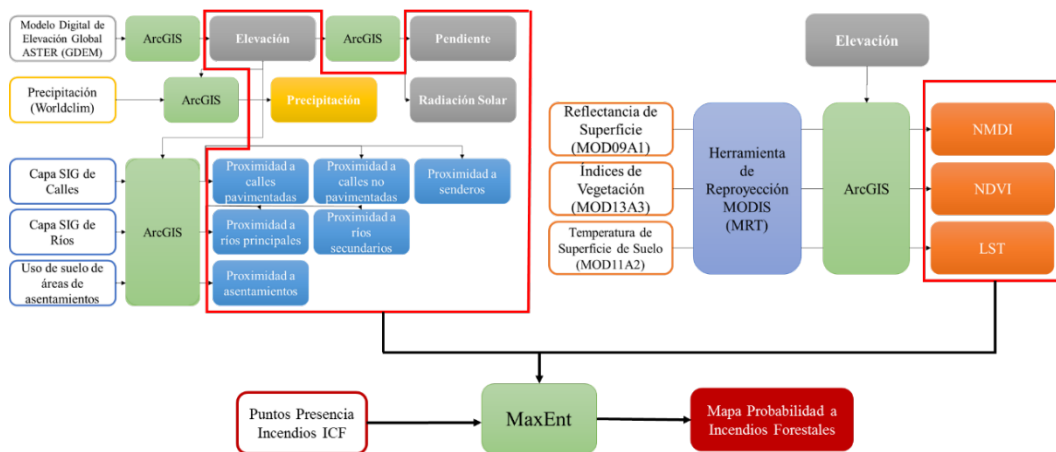


Figura 3: Mapa de Propensión a Incendios Forestales. Metodología MaxEnt

3.2 Comparación y evaluación de los modelos

Para comparar la precisión de predicción entre los tres modelos, se calculó el área bajo la curva (AUC) de la representación de la característica operativa del receptor (ROC) (Hanley y McNeil, 1982). El gráfico ROC (Figura 4) muestra la relación entre la tasa de error falso positivo (1-especificidad, donde la especificidad es la proporción de no igniciones que predijo correctamente) y la tasa verdadero-positiva (sensibilidad o la proporción de igniciones predichas correctamente) para cada umbral valor a la probabilidad de presencia predicha por el modelo, cuanto mayor sea la separación de la curva ROC de la diagonal, mayor será el poder predictivo del modelo. Solo dos (Random Forest y MaxEnt) de los tres modelos evaluados predicen probabilidades continuas de ocurrencia entre cero y uno, por lo tanto, se debe establecer un umbral para determinar si la probabilidad denota presencia o ausencia. El AUC es una métrica independiente del

umbral porque evalúa el rendimiento de un modelo en todos los valores umbral posibles (Franklin, 2010). El AUC varía de 0.5 a 1, donde 0.5 es análogo a una predicción completamente aleatoria y 1 implica una predicción perfecta. Los valores de AUC entre 0.5 y 0.7 indican pobre, entre 0.7 y 0.9 indican moderada, y mayor que 0.9 denota un alto rendimiento del modelo (McCune y Grace, 2002). Aunque el AUC ha sido criticado (Lobo *et al.*, 2008), es el método estándar para evaluar la precisión de predicción debido a su independencia de umbral y la facilidad de interpretar sus resultados.

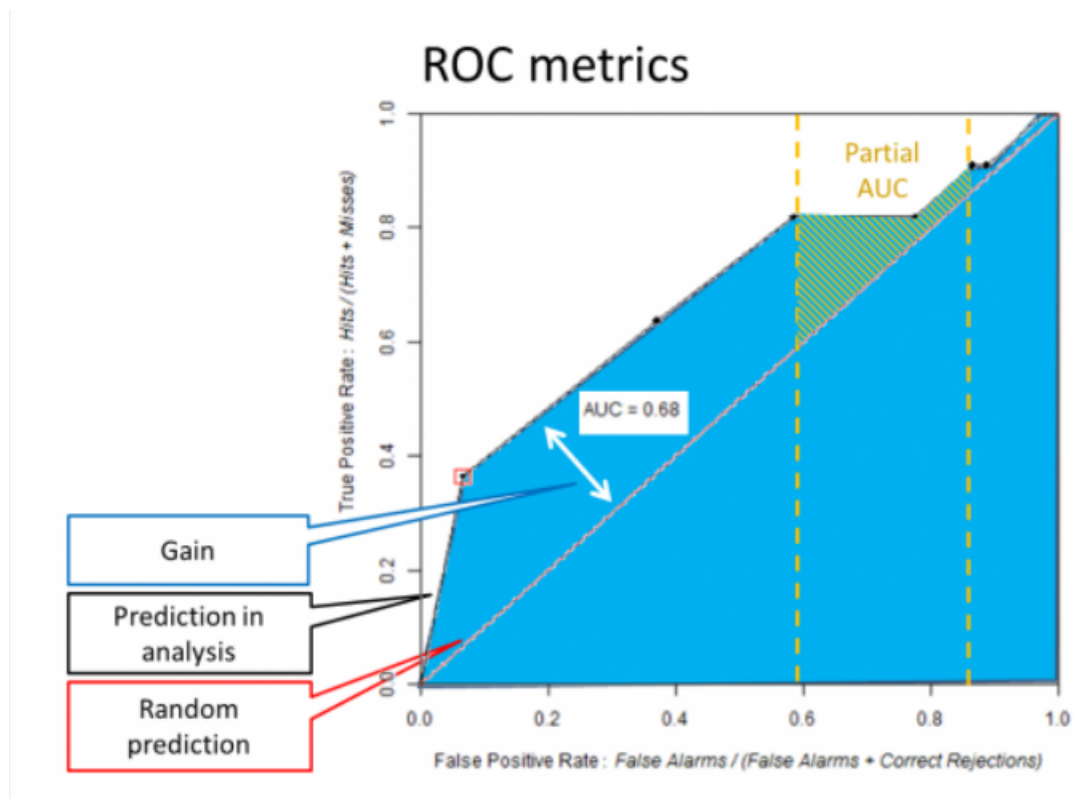


Figura 4: Curva ROC y métricas respectivas. Fuente: Tomado de Mas *et al.* (2013)

3.3 Evaluación de la importancia de la variable

Dadas las diferentes características de los modelos, se utilizó un estimador jackknife de importancia de variable basado en el cambio en AUC usando los datos de prueba. Esto produce resultados directamente comparables en dos de los tres tipos de modelos (MaxEnt y RF). El enfoque consiste en eliminar las variables de predicción del modelo completo de una a la vez, entrenar al modelo y calcular el AUC utilizando los datos de prueba. La diferencia entre el modelo completo y parcial (sin la variable) AUC indica la contribución de cada variable al modelo. Por lo tanto, representa la información proporcionada por una variable determinada que no está presente en otras variables. Además, se cuantificó el AUC del modelo usando una variable a la vez, se compararon los valores AUC de los modelos de variable única y se clasificó las variables en consecuencia.

3.4 Comparación de los mapas de predicción de la probabilidad de ignición

Para dos de los tres modelos, se generaron mapas de predicción de probabilidad de ignición basados en mapas de trama de todas las variables predictores. Estos mapas son equivalentes a los mapas de idoneidad

del hábitat en modelos de distribución de especies y representan la idoneidad de un píxel dado para la ignición, en relación con todos los demás píxeles. Los valores de píxel oscilan entre 0 (no apto) y 1 (perfectamente adecuado para el encendido). Debido a que los valores de píxel contenidos en el modelo derivado de la metodología de ICF representan una variable categórica, y no una probabilidad, se realizó una reclasificación de los valores entre los tres modelos (Tabla 1) para llevar los valores de los tres modelos a la misma escala. Luego se seleccionó una muestra aleatoria de 800 puntos de incendios recopilados por ICF para el año 2015, se extrajeron los valores de cada modelo para cada uno de esos puntos, y se realizó un análisis multivariado correlacional para los tres modelos.

Tabla 1: Reclasificación de valores entre los tres modelos

Modelo	Valor Original	Valor Nuevo
ICF	Nulo	1
	Bajo	2
	Medio	3
	Alto	4
MaxEnt	0-0.25	1
	0.25-0.5	2
	0.5-0.75	3
	0.75-1	4
Random Forest	0-0.25	1
	0.25-0.5	2
	0.5-0.75	3
	0.75-1	4

Por último, para evaluar las diferencias entre los modelos, se comparó visualmente los tres mapas y calculamos el coeficiente de correlación de Spearman entre cada par de mapas.

4 Resultados

4.1 Rendimiento de los enfoques de los modelos

El rendimiento predictivo basado en datos de prueba independientes fue adecuado para todos los dos modelos y similar entre los tipos de modelo.

Los modelos se calibraron con el 80 % de los datos de los reportes de incendios para el año 2015 generados por el ICF, por lo cual se utilizó el 20 % restante como datos de prueba para analizar el rendimiento predictivo de los modelos. Adicionalmente se seleccionaron puntos de incendios de manera aleatoria obtenidos del Sistema FIRMS (Kaufman *et al.*, 1998).

Los valores de AUC obtenidos para ambos modelos y para ambos datos de prueba se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores de AUC obtenidos para ambos modelos

Modelo	AUC Test Data	AUC Modis Data
MaxEnt	0.883108601	0.867837585
RF	0.973117276	0.918905323

El modelo Random Forest tuvo el mejor rendimiento con un AUC para los datos de prueba de 0.973 y un AUC de datos MODIS-FIRMS de 0.919. La curva ROC de ambos modelos, y su comparación contra un modelo aleatorio, se presenta en la Figura 5.

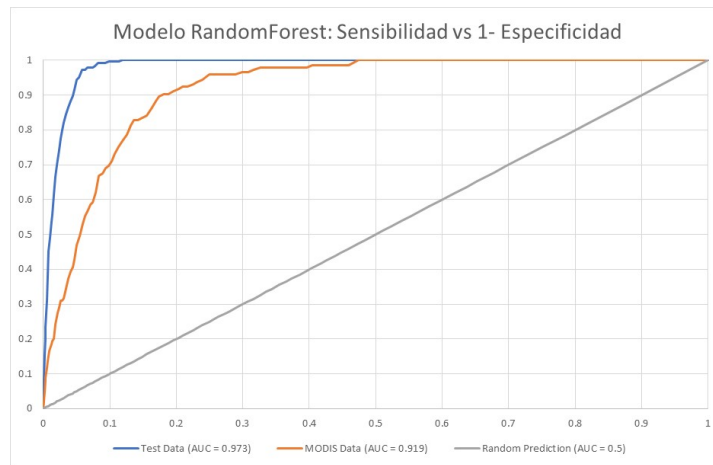


Figura 5: Curvas ROC del modelo Random Forest

El modelo MaxEnt Forest tuvo rendimiento moderado (McCune y Grace, 2002) con un AUC para los datos de prueba de 0.883 y un AUC de datos MODIS-FIRMS de 0.868. La curva ROC de ambos modelos, y su comparación contra un modelo aleatorio, se presenta en la Figura 6.

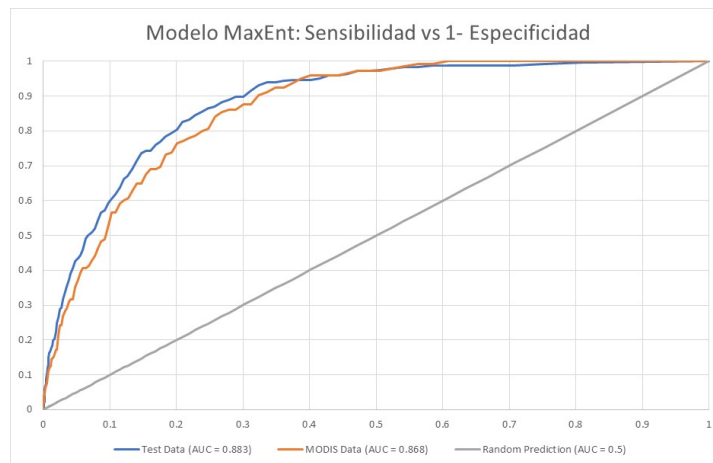


Figura 6: Curvas ROC del modelo MaxEnt

4.2 Importancia de las variables

Se realizó un análisis multivariado de las 13 variables ambientales de los modelos probabilísticos (RF y MaxEnt), y se generó una tabla que muestra el resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas (Tabla 3). Incluye medidas de tendencia central, de variabilidad, y de forma.

Luego se realizó una gráfica (Figura 7) que muestra todos los diagramas de dispersión entre cada par de las variables seleccionadas en el análisis. Cada par de variables se grafica dos veces, una con la primer variable en el eje-X, y otra con esa en el eje-Y. Por ejemplo, todos los diagramas en la primera fila tienen a DEM en el eje-Y. Todos los diagramas en la primera columna tienen a DEM en el eje-X. Este es el equivalente gráfico de una matriz de correlaciones y se utiliza para ayudar a determinar cuáles variables están más fuertemente relacionadas con otras. Las variables con mayor correlación (positiva o negativa) son el DEM con la pendiente y la temperatura de superficie.

En dos modelos (RF y MaxEnt), y en base a medidas de importancia nativa y de jackknife de importancia, la variable ambiental con mayor ganancia cuando se usa aisladamente es la cercanía a caminos no pavimentados, que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La variable ambiental que disminuye la ganancia más cuando se omite es la cercanía a centros poblados, que por lo tanto parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables. En la figura 8 las barras denotan el área bajo la curva de la curva característica del operador receptor (AUC de ROC). La barra roja representa el AUC de modelo completo, mientras que las barras azules indican el AUC de los modelos univariados para las variables correspondientes y las barras aqua indican el AUC de los modelos con todas las variables excepto la variable correspondiente. Se observa que la proximidad a caminos no pavimentados, proximidad a asentamientos humanos, radiación solar y NDVI son las variables más importantes para el modelo.

Tabla 3: Resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas.

	DEM	LST	NDVI	NMDI	Precipitacion	Prox Main_River	Prox Non_Paved	Prox Paved	Prox Sec_River	Prox Settlement	Prox Trail	Slope	Solar Radiation
	2901	2901	2901	2901	2901	2901	2901	2901	2901	2901	2901	2901	2901
Recuento	785.759	29.9189	0.610153	0.420565	40.4636	8327.23	5474.48	24385.5	563.815	8356.15	1829.44	5.94213	327135
Promedio	794	29.605	0.60385	0.409793	35	7158.91	1500	16807.7	500	5099.02	500	5.13297	327425
Mediana	470.592	4.16546	0.140824	0.0648751	16.8223	6110.69	9240.41	23615.4	796.015	10036.9	4194.25	4.42917	17747.9
Desviación Estándar	59.89 %	13.92 %	23.08 %	15.43 %	41.57 %	73.38 %	168.79 %	96.84 %	141.18 %	120.11 %	229.26 %	74.54 %	5.43 %
Coefficiente de Variación	0	0	-0.12605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mínimo	2200	46.9667	0.9221	0.80719	130.5	61077.8	62211.3	118242	11423.7	68229.4	36962.8	30.247	379364
Máximo	2200	46.9667	1.04815	0.80719	130.5	61077.8	62211.3	118242	11423.7	68229.4	36962.8	30.247	379364
Rango													

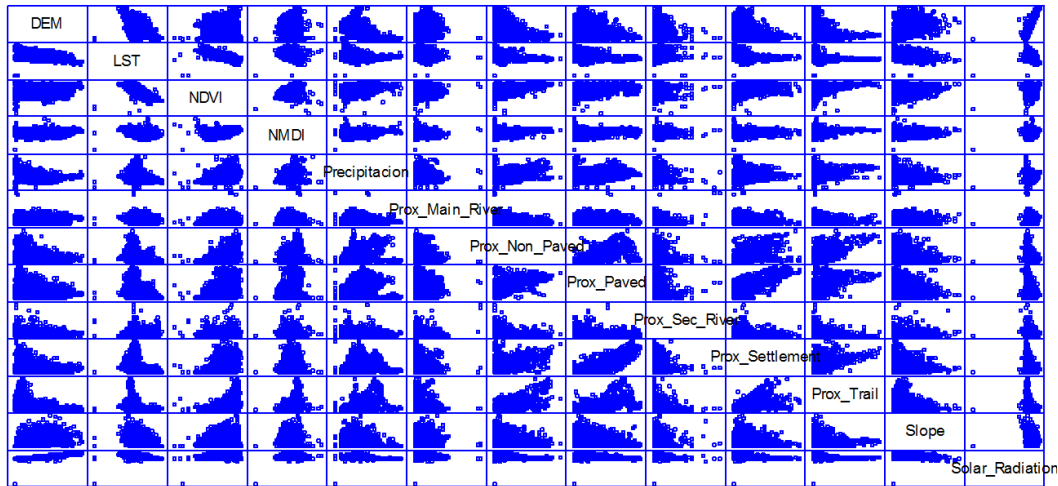


Figura 7: Diagramas de dispersión entre cada par de las variables seleccionadas.

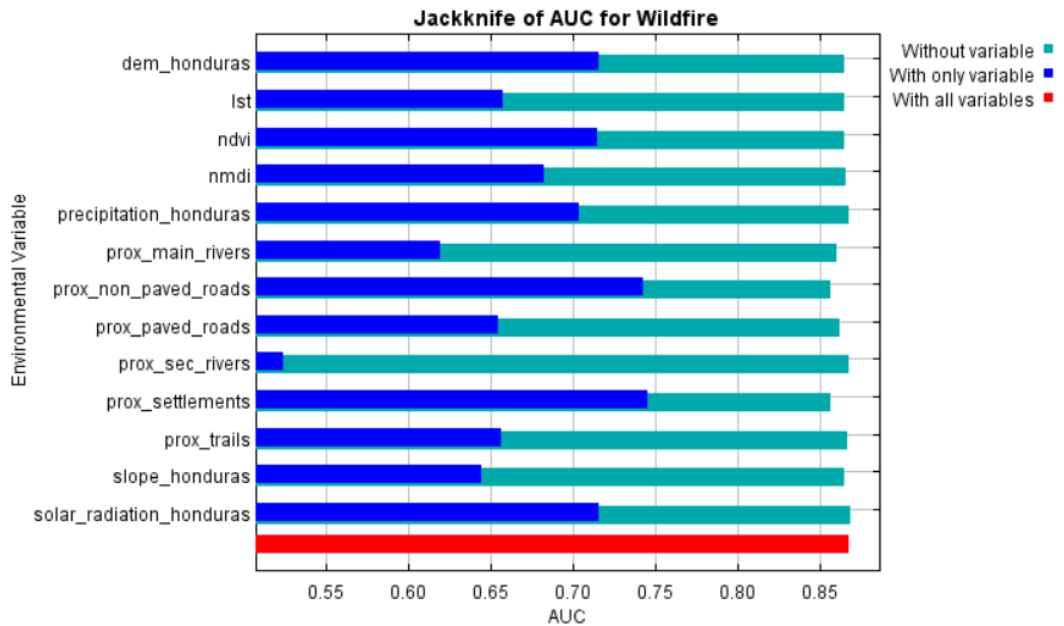


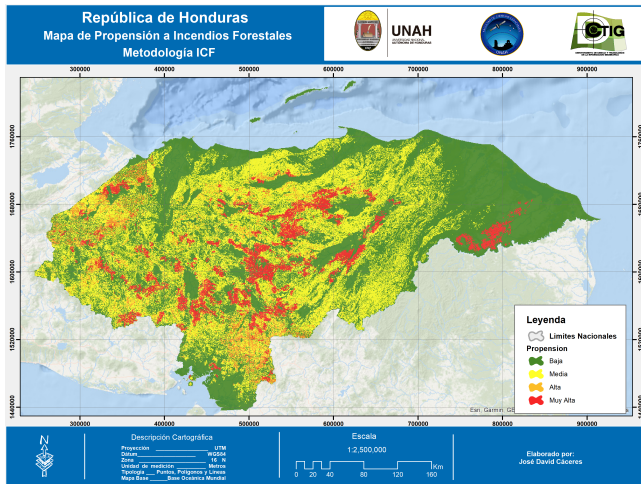
Figura 8: Estimaciones Jackknife de importancia de la variable para dos tipos de modelos de distribución de incendios.

Usando las clasificaciones promedio de las medidas de importancia de la variable ambiental, la cercanía a asentamientos humanos fue el mejor predictor de igniciones de incendios forestales, seguido de cerca por la distancia a carreteras no pavimentadas y la elevación, para los modelos basados en algoritmos de aprendizaje autónomo.

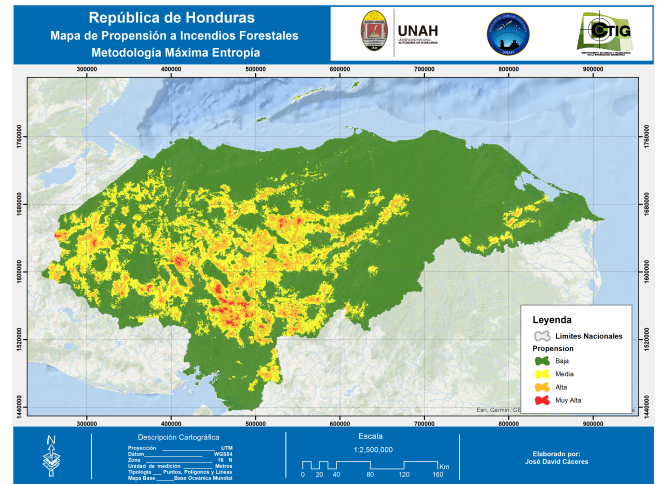
4.3 Patrones espaciales de probabilidades de ocurrencia de incendios

Los resultados de los tres modelos revelaron patrones espaciales distintivos de probabilidades de ocurrencia de incendios forestales (Figura 9). Los valores indican la idoneidad de cada píxel para tener una ocurrencia de incendio.

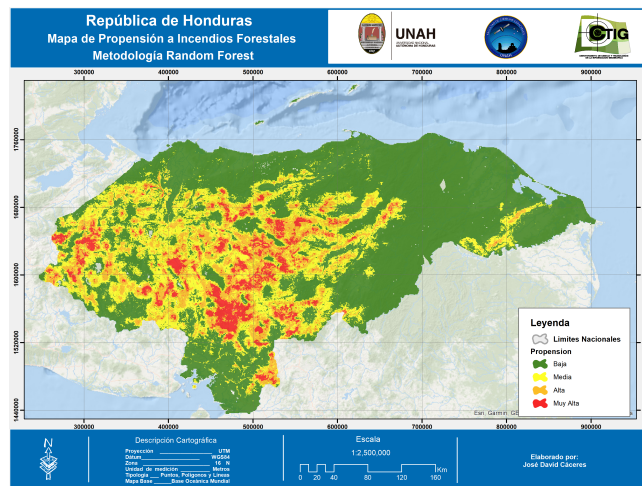
Para poder realizar la comparación estadística entre los tres modelos, debido a que los valores difieren entre sí, se realizó una reclasificación de los valores para llevarlos a una sola escala ordinal de medición, y así poder comparar el desempeño de los mismos. Se seleccionaron valores enteros en el rango de 1 a 4, como se ilustró en la Tabla 1. Valores de 1 representan la menor probabilidad de ocurrencia (colores verdes) y valores de 4 (colores rojos) representan la mayor probabilidad de ocurrencia de incendios.



(a)



(b)



(c)

Figura 9: Mapas predictivos de probabilidad de ocurrencia de incendios: (a) ICF, (b) MaxEnt, (c) Random Forest.

Una vez que los valores de los tres modelos se encontraban en la misma escala, se procedió a extraer los valores de los respectivos modelos utilizando los puntos de incendios reportados por ICF. Con estos valores se procedió a realizar un análisis multivariado de los mismos y se generó una tabla que muestra el resumen estadístico para cada uno de los modelos (Tabla 4). Incluye medidas de tendencia central, de variabilidad, y de forma. Siendo que los puntos seleccionados son puntos de incendios reales, se espera que los valores extraídos de los tres modelos posean en su mayoría la mayor categoría posible (4). Como se puede observar en la Tabla 4, el modelo con el promedio mayor, y por ende la mayor concordancia con la ocurrencia de incendios, es el modelo Random Forest, en concordancia con el modelo que obtuvo la mayor AUC. El modelo Random Forest es también el modelo con la menor desviación estándar (0.218081). Se puede observar también que en el modelo RF el valor que más se repite, la moda, pertenece a la categoría de mayor probabilidad de ocurrencia de incendios.

Tabla 4: Resumen estadístico de los tres modelos aplicados.

	ICF	MaxEnt	RF
Recuento	800	800	800
Promedio	2.28875	2.68875	3.95
Mediana	2.0	3.0	4.0
Moda	1.0	3.0	4.0
Desviación Estándar	1.21541	0.845735	0.218081
Coficiente de Variación	53.1036 %	31.4546 %	5.52105 %
Mínimo	1.0	1.0	3.0
Máximo	4.0	4.0	4.0
Rango	3.0	3.0	1.0

En la Figura 10 se muestran los diagramas de dispersión entre cada par de los modelos de ocurrencia de incendios desarrollados, donde se muestra que MaxEnt y RF tienen una menor dispersión entre sí, en comparación con el modelo ICF.

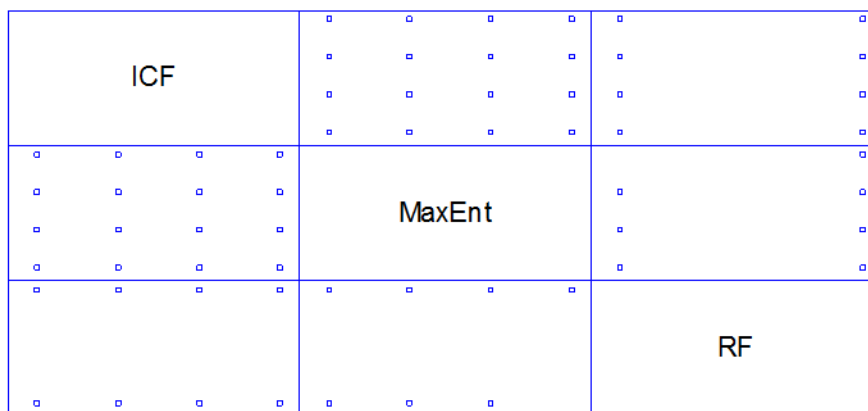


Figura 10: Diagramas de dispersión entre los modelos aplicados.

En la Tabla 5 se muestran las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada

coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. El modelo RF y MaxEnt son los que presentan la mayor correlación de Pearson.

Tabla 5: Correlaciones de Pearson entre cada par de modelos.

	ICF	MaxEnt	RF
ICF		-0.0695 (800)	-0.0257 (800)
		0.0490	0.4671
MaxEnt	-0.0695 (800)		0.3634 (800)
	0.0490		0.0000
RF	-0.0257 (800)	0.3634 (800)	
	0.4671	0.0000	

Por último, se tomaron los tres mapas derivados de los tres modelos y se procedió a calcular la correlación de Spearman (Tabla 6). El coeficiente de Correlación de Spearman (ρ) es una medida de la correlación (la asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias continuas. Para calcular ρ , los datos son ordenados y reemplazados por su respectivo orden. La interpretación del coeficiente de Spearman es igual que la del coeficiente de correlación de Pearson, Oscila entre -1 y +1, indicando asociaciones negativas o positivas respectivamente, o cero, significa no correlación pero no independencia.

Tabla 6: Correlación de Spearman entre cada par de modelo.

Modelo	RF	MaxEnt	ICF
RF	1.00000	0.80963	0.27354
MaxEnt	0.80963	1.00000	0.21082
ICF	0.27354	0.21082	1.00000

Es importante mencionar que, a pesar de las correlaciones moderadas entre los mapas predichos, hubo diferencias notables en los patrones y la magnitud. Los modelos RF y MaxEnt produjeron mapas similares de predicción ($\rho = 0.81$) mientras que el modelo ICF tuvo una baja correlación con el modelo MaxEnt ($\rho = 0.21$) y con el modelo RF ($\rho = 0.27$).

5 Conclusiones

Se analizaron las diferencias en el rendimiento, la importancia variable y los mapas de predicción de la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales entre tres tipos comunes de modelos estadísticos y encontramos que los algoritmos de aprendizaje automático (Random Forest y Maxent) tuvieron un desempeño ligeramente mejor que el enfoque paramétrico (ICF) en términos de precisión de predicción. A pesar del poder predictivo similar de los diferentes tipos de modelos, los mapas de predicción resultantes de la probabilidad de ocurrencia de incendios fueron muy diferentes; siendo el modelo Random Forest

el más diferente ya que predijo mayores probabilidades de ignición en proporciones más grandes del país. Debido a que no existe una herramienta de modelado única y perfecta, los estudios de probabilidad de ocurrencia de incendios forestales pueden beneficiarse del uso de enfoques múltiples, lo que arroja un rango de predicciones en lugar de un solo mapa. Para el caso particular de los datos analizados, el modelo Random Forest fue el que arrojó mejores resultados.

Se recomienda observar en los modelos, el efecto de eliminar la/las variables que menos aportan a la adecuación del modelo (en este caso la proximidad a ríos secundarios) para analizar los cambios que podrían ocurrir en el ajuste del modelo. Así mismo, resulta importante incluir dentro de las variables del modelo la cobertura del suelo, ya que en el caso particular de Honduras, la cobertura de bosque de pino presenta una mayor ocurrencia de incendios que cualquier otra cobertura del suelo.

Si bien algunas de las variables ambientales del modelo pueden ser actualizadas cada 8 días, se recomienda que siempre que se tengan nuevos reportes de incendios, se vuelva a calibrar el modelo para poder identificar posibles patrones espaciales que esté siguiendo algún incendio, aún y cuando las variables ambientales permanezcan inalteradas.

6 Referencias

Bar Massada, A., Syphard, A., Hawbak, T., Stewart, S., y Radeloff, V. (2011). Effects of ignition location models on the burn patterns of simulated wildfires. *Environmental Modelling Software*, 26(5):583–592. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2010.11.016>.

Bar Massada, A., Syphard, A., Stewart, S., y Radeloff, V. (2013). Wildfire ignition-distribution modeling: a comparative study in the huron–manistee national forest, michigan, usa. *International Journal of Wildland Fire*, 22(2):174–183. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/WF11178>.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45:5–32. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.

Cutler, D., Edwards, T., Beard, K., Cutler, A., Hess, K., Gibson, J., y Lawler, J. (2007). Random forests for classification in ecology. *The Ecological Society of America*, 88(11):2783–2792. Disponible en: <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>.

Cáceres Coello, J. (2020). Análisis multitemporal de pérdida de cobertura en 65 microcuencas del corredor seco hondureño. año 2010 - 2017. *Ciencias Espaciales*, 13(1):42–59. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/ce.v13i1.11255>.

Díaz-Avalos, C., Peterson, D., Alvarado, E., Ferguson, S., y Besag, J. (2001). Space–time modelling of lightning-caused ignitions in the blue mountains, oregon. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(9):1579–1593. Disponible en: <https://doi.org/10.1139/x01-089>.

Elith, J. y Graham, C. (2009). Do they? how do they? why do they differ? on finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography*, 32:66–77. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/J.1600-0587.2008.05505.X>.

Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettman, F., Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L., Loiselle, B., Manion, G., Mortiz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J., Townsend Peterson, A., Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R.,

- Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M., y Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2):129–151. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>.
- Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y., y Yates, C. (2011). Na statistical explanation of maxent for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1):43–57. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>.
- Franklin, J. (2010). *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Ecology, Biodiversity and Conservation. Disponible en: https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=CkshAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=Mapping+species+distributions:+spatial+inference+and+prediction.+Ecology,+Biodiversity+and+Conservation.+Cambridge+University+Press&ots=6reRauKG3l&sig=UG3NNfzJDchp43Kb_LCdoK02W0k#v=onepage&q&f=false.
- Guisan, A., Zimmermann, N., Elith, J., Graham, C., Phillips, S., y Peterson, A. (2007). What matters for predicting the occurrences of trees: Techniques, data, or species' characteristics? *Ecological Monographs*, 77(4):615–630. Disponible en: <https://doi.org/10.1890/06-1060.1>.
- Hanley, J. y McNeil, B. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (roc) curve. *Radiology*, 143(1):29–36. Disponible en: <https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747>.
- Hastie, T. y Tibshirani, R. (1990). *Generalized Additive Models*. Monographs on statistics and applied probability: Vol. 43. Chapman and Hall., 1 st edición.
- Instituto de Conservación Forestal (2014). Análisis técnico para la definición de riesgo a incendios forestales. Technical report.
- Instituto de Conservación Forestal (2020). *Anuario Estadístico Forestal de Honduras 2019*. 34 ed., Tegucigalpa: Centro de Información y Patrimonio Forestal, Unidad de Estadísticas Forestales. Disponible en: <https://www.icf.gob.hn/?portfolio=cipf-2>.
- Kaufman, Y., Justice, C., Flynn, L., Kendall, J., Prins, E., Giglio, L., Ward, D., Menzel, W., y Setzer, A. (1998). Potential global fire monitoring from eos-modis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103:32215–32238. Disponible en: <https://doi.org/10.1029/98JD01644>.
- Krawchuk, M., Cumming, S., M.D.Flannigan, y R.W.Wein (2006). Biotic and abiotic regulation of lightning fire initiation in the mixedwood boreal forest. *Ecology*, 87:458–468. Disponible en: <https://doi.org/10.1890/05-1021>.
- Latham, D. y Williams, E. (2001). *Forest Fires*, capítulo Chapter 11 - Lightning and Forest Fires, pp. 375–418. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012386660-8/50013-1>.
- Lobo, J., Jiménez-Valverde, A., y Real, R. (2008). Auc: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17:145–151. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>.
- Mas, J.-F., Filho, B., Pontius, R., Gutiérrez, M., y Rodrigues, H. (2013). A suite of tools for roc analysis of spatial models. *Revista internacional de información geográfica de ISPRS*, 2(3):869–887. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijgi2030869>.

McCune, B. y Grace, J. (2002). *Analysis of Ecological Communities*. MjM Software Design, 1 edición.

Moreno Segura, E., Mondragón Rivera, C., Cáceres Coello, J., y Carias Arias, A. (2017). Identificación de riesgos por desastres naturales en las cuencas hidrográficas matasnillo (panamá) y goascorán (honduras), y su relación con el cambio climático utilizando tecnologías de información geográfica. *Ciencias Espaciales*, 9(1):53–80. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/ce.v9i1.3126>.

Narayanaraj, G. y Wimberly, M. (2011). Influences of forest roads on the spatial pattern of wildfire boundaries. *Journal of the International Association of Wildland Fire*, 20(6):792–803. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/WF10032>.

Nelder, J. y Wedderburn, R. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society.*, 135(3):370–384. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/2344614>.

Parisien, M. y Moritz, M. (2009). Environmental controls on the distribution of wildfire at multiple spatial scales. *Ecological Monographs*, 79(1):127–154. Disponible en: <https://doi.org/10.1890/07-1289.1>.

Pearson, R., Raxworthy, C., Nakamura, M., y Townsend Peterson, A. (2006). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in madagascar. *Journal of Biogeography*, 34(1):102–117. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>.

Phillips, S., Anderson, R., y Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190:231–259. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.

Phillips, S. y Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31:161–175.

Prasad, A., Iverson, L., y Liaw, A. (2006). Newer classification and regression tree techniques: Bagging and random forests for ecological prediction. *Ecosystems*, 9:181–199. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0054-1>.

Renard, Q., Péliissier, R., Ramesh, B., y Kodandapani, N. (2012). Environmental susceptibility model for predicting forest fire occurrence in the western ghats of india. *International Journal of Wildland Fire*, 21(4):368–379. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/WF10109>.

Roberts, J., Best, B., Dunn, D., Treml, E., y Halpin, P. (2010). Environmental modelling & software. *Environmental Modelling & Software*, 25:1197–1207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.029>.

Sturtevant, B. y Cleland, D. (2007). Human and biophysical factors influencing modern fire disturbance in northern wisconsin. *International Journal of Wildland Fire*, 16(4):398–413. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/WF06023>.

Syphard, A. y Franklin, J. (2010). Species traits affect the performance of species distribution models for plants in southern california. *Journal of Vegetation Science.*, 21:177–189. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01133.x>.

Syphard, A., Radeloff, V., Keeley, J., Hawbaker, T., Clayton, M., Stewart, S., y Hammer, R. (2007). Human influence on california fire regimes. *Ecological Applications.*, 17:1388–1402. Disponible en: <https://doi.org/10.1890/06-1128.1>.

Syphard, A., Radeloff, V., Keuler, N., Taylor, R., Hawbaker, T., Stewart, S., y Clayton, M. (2008). Predicting spatial patterns of fire on a southern california landscape. *International Journal of Wildland Fire.*, 17:602–613. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/WF07087>.

Yang, J., He, H., Shifley, S., y Gustafson, E. (2007). Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the missouri ozark highlands. *Forest Science.*, 53(1):1–15.

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA LAGUNA DEL PEDREGAL DEL DISTRITO CENTRAL: UNA PERSPECTIVA DESDE LA ACADEMIA DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Yeny Castellanos^{1,*}
Carlos Archaga Martínez
Kevin Gerardo Irias Padilla
José Samuel Martínez González
José David Cáceres^{1,†}

¹Departamento de Ciencia y Tecnologías de Información Geográfica
Facultad de Ciencias Espaciales
Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 20/mayo/2023

Aceptado: 17/agosto/2023

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.16978>

RESUMEN

El fortalecimiento de la generación y aplicación del conocimiento desde la academia en materia del Ordenamiento Territorial, como un aporte en la vinculación Universidad-Sociedad, está ligado directamente en el desarrollo de planes tanto de gobiernos locales como ser las alcaldías y asociaciones que están interesadas en ejecutar proyectos de mejora de las ciudades; en este caso la Asociación GOAL Internacional con el proyecto "Barrio Resiliente: Construyendo ciudades resilientes a través de barrios resilientes" que es ejecutado por la Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC) con la asistencia técnica de GOAL. El análisis de la factibilidad de uso urbano para la zona de Laguna El Pedregal, se ha llevado a cabo teniendo como base los estudios desarrollados por el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), con el propósito de formar parte de las herramientas que apoyen, de una mejor manera, la planificación urbana de la administración de la Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC), con la cual sean de utilidad para la toma de decisiones en la correcta gestión sostenible del suelo, permitiendo la rehabilitación, preservación o la restauración de sus funciones para el beneficio de la ciudad, y que es parte de las funciones de la Ordenación Territorial de esta municipalidad.

Palabras clave: Ordenamiento territorial, gobierno local, toma de decisiones.

ABSTRACT

The strengthening of the generation and application of knowledge from the academy in terms of Territorial Planning, as a contribution to the University-Society link, is directly linked to the development of plans for both local governments and mayors and associations that are interested in execute city improvement projects; in this case, the GOAL International Association with the project "Resilient Neighborhood: Building resilient cities through resilient neighborhoods" which is executed by the Municipal

*ycastellanos@unah.edu.hn,  <https://orcid.org/0000-0002-3980-6568>

†jcaceres@unah.edu.hn,  <https://orcid.org/0000-0002-6055-7690>

Mayor's Office of the Central District (AMDC) with the technical assistance of GOAL. The analysis of the feasibility of urban use for the area of Laguna El Pedregal, has been carried out based on the studies developed by the Honduran Institute of Earth Sciences (IHCIT), with the purpose of being part of the tools that better support the urban planning of the administration of the Municipal Mayor's Office of the Central District (AMDC), with which they are useful for decision-making in the correct sustainable management of land allowing the rehabilitation, preservation or restoration of their functions for the benefit of the city, and which is part of the functions of the Land Management of this municipality.

Keywords: Land use planning, local government, decision making.

1 *Introducción*

En el Municipio del Distrito Central; como resultado de su disposición geográfica, composición de suelos, condiciones meteorológicas y demás aspectos geomorfológicos, se dan las condiciones para que, en ciertas zonas de su territorio, existan acuíferos capaces de retener una cantidad de agua considerable, resultante de las precipitaciones estacionales. Sin embargo; como resultado directo de actividades de naturaleza antrópica, como plantaciones agrícolas y la expansión descontrolada del perímetro urbano, el volumen a la par de la calidad de estos acuíferos se ha visto afectada, haciendo que su utilización para el consumo y las actividades humanas se convierta en un riesgo para la salud de la población que disponen de éstos.

Las razones antes expuestas entre otras han demandado la realización de diferentes estudios que ayuden a determinar el grado de afectación que sufren los acuíferos; de manera que pueda definirse un límite óptimo para la ejecución de las actividades antes mencionadas y pueda asegurarse la integridad de los acuíferos presentes en las zonas identificadas en esta unidad territorial. En este caso; se trata de la zona comprendida por la meseta de la Laguna del Pedregal, localizada al oeste de la ciudad capital, la que en décadas recientes ha experimentado un crecimiento acelerado de asentamientos humanos formales e informales; en particular en su ladera este, lo que provoca una presión en los diferentes acuíferos de los que se surten la población.

Por tanto; el presente análisis consistió en llevar a cabo un análisis multicriterio a partir de diferentes fuentes de información, comprendida de capas geográficas que muestran datos de la zona, que van desde el uso del suelo, microcuencas declaradas, amenaza por movimiento de ladera, hasta los datos de recarga media anual que posee el suelo de la meseta, algunos de los datos que se usaron que son los más actualizados fueron provistos por el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra de la UNAH (IHCIT) y otras instituciones estatales que se han interesado en desarrollar trabajos en conjunto que demuestra la importancia de la conservación, rescate y preservación de los acuíferos. En el presente análisis pretende determinar las regiones dentro de la zona de estudio en donde se visualiza la expansión que visiblemente está latente en este espacio geográfico, sin comprometer aún más los acuíferos; además de establecer las zonas que deben preservarse y recuperarse para aumentar la disponibilidad del recurso hídrico.

2 *Metodología*

Como parte de la metodología para poder lograr este análisis, se llevó a cabo la revisión y análisis de los datos espaciales necesarios para poder identificar la técnica más adecuada que nos permitiera demostrar las regiones que tienen prioridad de conservación de acuíferos identificados en el Distrito Central y donde se debe de frenar el crecimiento urbano para lograr la conservación.

Una vez validados los datos se llevó a cabo el proceso del Análisis Multicriterio (AMC), aplicando estas metodologías espaciales, ayudan para la toma de decisiones que involucran un elemento geográfico; con mayor frecuencia en procesos de selección de sitios donde se quieren considerar diferentes factores (ESRI, 2018). Esta técnica sirve de apoyo en la toma de decisiones durante el proceso de planificación y permite integrar diferentes criterios de acuerdo con la opinión de uno o más actores en un solo marco de análisis para brindar una visión integral del objeto o fenómeno de estudio.

En este caso; para la formulación del análisis multicriterio en la zona de estudio, se consideraron las siguientes variables geográficas:

- Recarga media anual (datos obtenidos por el IHCIT).
- Usos de suelo o cobertura forestal.
- Pendientes.
- Microcuencas declaradas.
- Amenazas por movimiento de ladera.

2.1 Método de obtención de datos

Se partió de la información levantada y proporcionada por el IHCIT; la cual se caracterizó siguiendo los parámetros establecidos en el estudio Hidrológico de la zona de la Laguna El Pedregal. Con esta información es como se determinarán las zonas de mayor cuidado y prevención para la ampliación del perímetro urbano.

Las demás capas de información (recarga hídrica) son procedentes de las diferentes bases de datos geográficos de instituciones del Estado; desde la información caracterizada para la alcaldía del Distrito Central (uso de suelo, amenaza por movimientos de ladera), que se usó para definir los riesgos geofísicos en la zona; los datos proporcionados por geo portales ambientales, como elementos que señalan el estado actual del perímetro urbano en la zona.

2.2 Datos e información IHCIT

Se recopilaron las bases de datos geográficos que fueron generados durante el desarrollo de diferentes estudios en la zona de la Laguna del Pedregal por parte del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT); se hizo empleo de algunas de las capas de datos tales como: el polígono del área de estudio, el Modelo Digital de Elevación (DEM) y los datos de la oferta de agua, definida por los valores de la recarga media anual, derivados de los datos de precipitación levantados por el departamento de meteorología del IHCIT.

Área de estudio

Se utilizó la capa de área de estudio delimitada por IHCIT (Figura 1); la cual abarca la región comprendida por la meseta de la Laguna del Pedregal y sus inmediaciones. Esta área de estudio abarca un total de 14,266 hectáreas; dejando por fuera una parte de la ciudad de Comayagüela y prácticamente toda la ciudad de Tegucigalpa.



Figura 1: Área de estudio Laguna del Pedregal, dato proporcionado por el IHCIT.

Recarga media anual

Según los documentos proporcionados el IHCIT; esta capa fue obtenida tomando como base los valores de precipitación (Figura 2), los que posteriormente se utilizaron para calcular los valores de evapotranspiración real e infiltración en el suelo; indicando así la cantidad de agua que llegan a poseer los acuíferos. Por lo que; a partir del polígono del área de estudio, se realizó un corte, de manera que los resultados generados durante el análisis solo abarcasen el área de estudio. Para una mejor apreciación de la cantidad de agua distribuida en la zona de estudio, se estableció una división de los valores en intervalos de veinte milímetros; de manera que puede observarse cómo en lo alto de la meseta el volumen de agua almacenada es mucho menor que en la zona norte.

Pendientes

Una variable geográfica importante; que está relacionada la normativa municipal de zonificación para el establecimiento de urbanizaciones, es la pendiente del terreno (Figura 3). Por lo que, para obtener esta capa de información, se utilizó del Modelo Digital de Elevación (DEM). Esta nueva capa muestra las pendientes en valores porcentuales (%) y fue muestreada con una resolución espacial de cinco metros. Para la visualización práctica se estableció una clasificación con intervalos del quince por ciento (15%).

2.3 Datos e información portal de riesgo AMDC

Para el estudio se dispuso de la información del Mapa Multiamenazas para el Municipio del Distrito Central, generada por organizaciones de cooperación internacional e instituciones nacionales; y obtenida en el geoportal de la Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC).

La capa brinda una visualización geoespacial de las diferentes zonas de riesgo dentro del perímetro urbano y en los alrededores del Distrito Central; las cuales están divididas en diferentes categorías y compuestas todas en el mapa de multiamenazas.

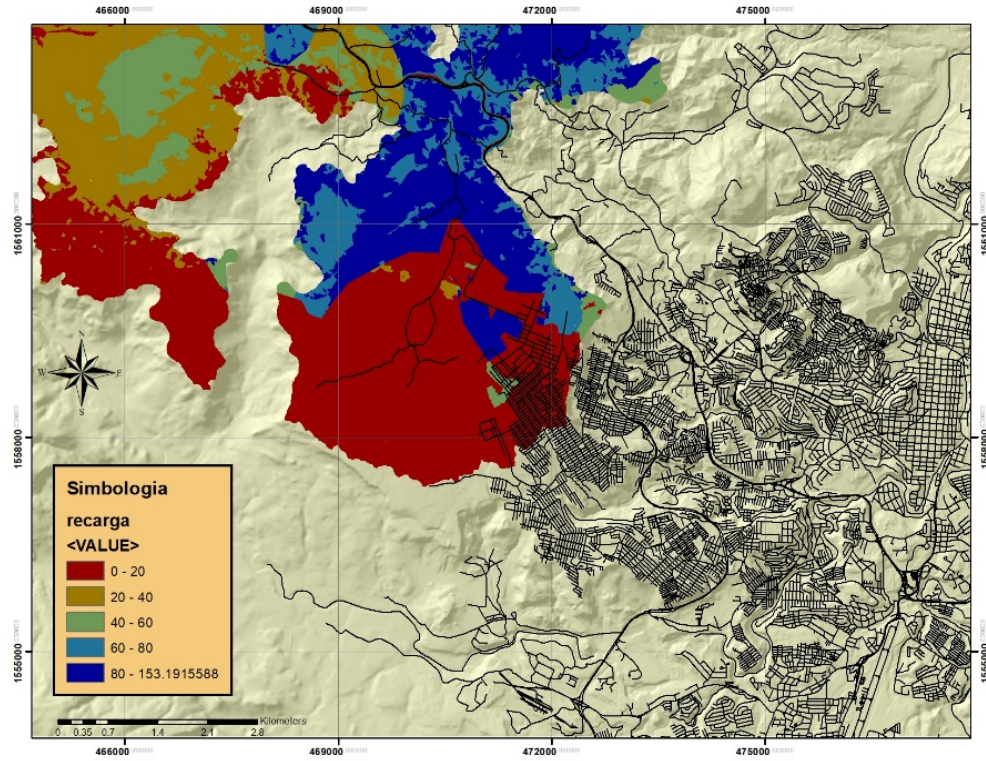


Figura 2: Dato de recarga media anual. Análisis realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

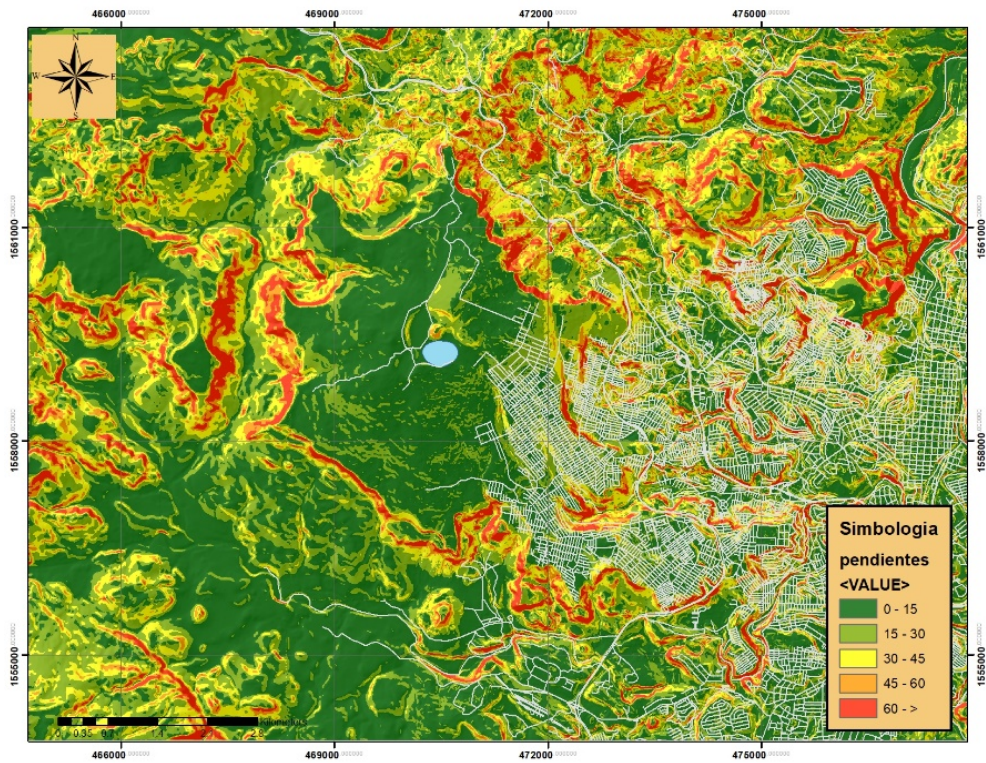


Figura 3: Pendientes en la zona de estudio, realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

En la zona de estudio se encuentran varios tipos de riesgos que involucra amenazas de movimiento de ladera, inundaciones, susceptibilidad a movimiento de ladera y otras deformaciones geológicas que se pudo identificar. Debido a que el objetivo del estudio es señalar las zonas de cuidado y conservación del recurso hídrico en la zona de la Laguna El Pedregal; se usaron los datos de amenazas a movimiento de ladera; al tratarse de una zona que está caracterizada por un nivel de riesgo alto, medio y bajo. A su vez; como parte del objetivo del estudio, se identifican las zonas que están limitadas por riesgos, para así tener un mejor control en la ampliación del perímetro urbano.

2.4 Datos obtenidos del geoportal Territorios en Riesgo

Para la obtención de la capa de microcuencas declaradas; se recurrió al portal “Territorios en Riesgo” diseñado en cooperación con el Observatorio Universitario de Ordenamiento Territorial (OUOT). La zona de estudio que se va a llevar a cabo el análisis, se ubica parte de la microcuenca perteneciente al río Guacerique (Figura 4), el cual abastece de agua a la represa Los Laureles; por tanto, se debe priorizar como un factor de aprovechamiento y cuidado. Concretamente; la superficie que abarca la microcuenca en el área de estudio son unas 6.812,8 hectáreas, lo que equivale a casi la mitad del área total; por lo que se considera una variable importante a tener en cuenta en el análisis.

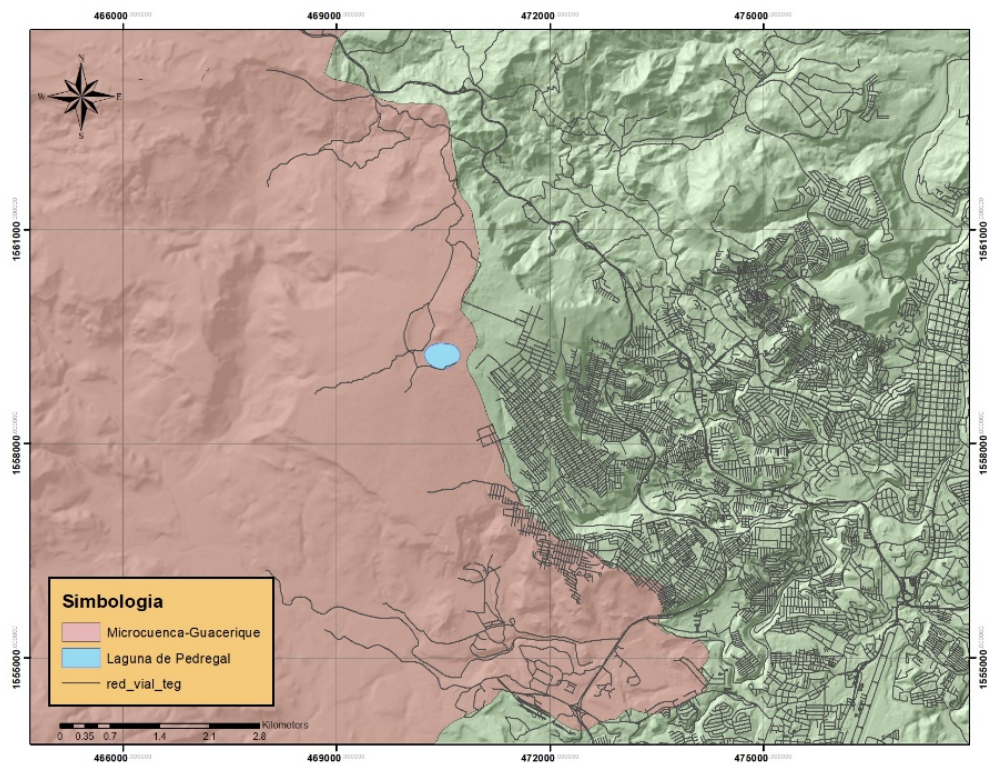


Figura 4: Microcuencas. Fuente: Portal Territorios en riesgo.

2.5 Datos obtenidos del Instituto de Conservación Forestal ICF

El análisis también requirió de la información espacial contenida en la capa de uso de suelos o cobertura forestal; que se encuentra disponible en el Sistema de Información para la Gestión y Monitoreo Forestal (SIGMOF) del Instituto de Conservación Forestal (ICF). La capa muestra los tipos de cobertura del suelo en la zona de estudio al año 2018 (Figura 5); de las que se observa una mayor predominancia de diferentes

tipos de vegetación, un factor que será de importancia al fijar los parámetros del análisis, ya que es uso de suelo que se busca conservar.

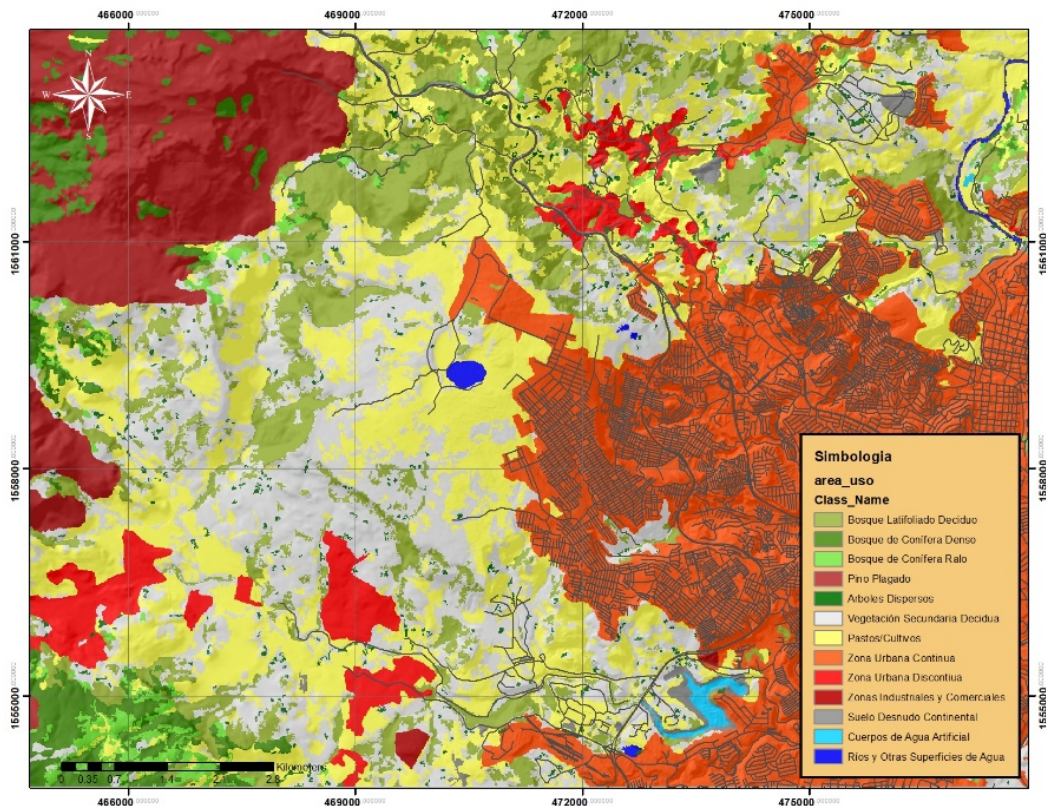


Figura 5: Capa uso de suelos. Fuente: ICF.

2.6 Preprocesamiento de las variables geográficas

Como se mencionó anteriormente; al montar la base de datos con las capas primarias, en el entorno del software SIG, se hizo el corte respectivo de las capas de datos geográficos mediante el polígono del área estudio, de forma que las variables a utilizar solo abarquen el área determinada por éste. Posteriormente; se sometió a un proceso de rasterización a las capas que se encontraban en formato vectorial, definiendo su resolución espacial a cinco metros y estableciendo la capa de pendientes como su capa de alineación. Este último paso se repetiría para las capas en formato ráster, durante el proceso de reclasificación, para garantizar así, que todas las capas tengan el mismo número de celdas y éstas se encuentren alineadas unas sobre otras conforme a su ubicación.

Tomando los valores y atributos de cada una de las variables geográficas como base, se establecen los criterios para determinar la distribución espacial de las categorías a definir por el análisis. Estos criterios tendrán un valor de importancia o jerarquía al momento de realizar el cruce de las variables. Para definir estos criterios es preciso someter cada una de las capas ráster a un proceso de reclasificación.

2.6.1 Microcuencas declaradas

Partiendo de la información nacional, la información base se obtuvo portal "Territorios en Riesgo" diseñado en cooperación con el Observatorio Universitario de Ordenamiento Territorial (OUOT). En la zona

de estudio se ubicada parte de la microcuenca perteneciente al río Guacerique, el cual abastece de agua a la represa Los Laureles; por tanto, se debe priorizar como un factor de aprovechamiento y cuidado. Concretamente; la superficie que abarca la microcuenca en el área de estudio son unas 6,812.8 hectáreas, lo que equivale a casi la mitad del área total; por lo que se considera una variable importante a tener en cuenta en el análisis; sumando la información de cobertura del suelo aportan datos básicos y necesarios para realizar el análisis. La zona de Laguna del Pedregal posee características geográficas con las que se debe tener un cuidado determinado; debido a las condiciones y los recursos que se encuentran en ella. Por tanto; es una de las variables con mayor jerarquía en el análisis (las cuencas hidrográficas). Tomando esto en consideración se estableció que al área que se encuentra dentro del perímetro de la cuenca se le otorgaría el nivel más alto de conservación, es decir un nivel de tres. Mientras que al resto del área de la zona estudio se le asignó el valor de uno, el nivel más bajo de conservación. (Figura 6).

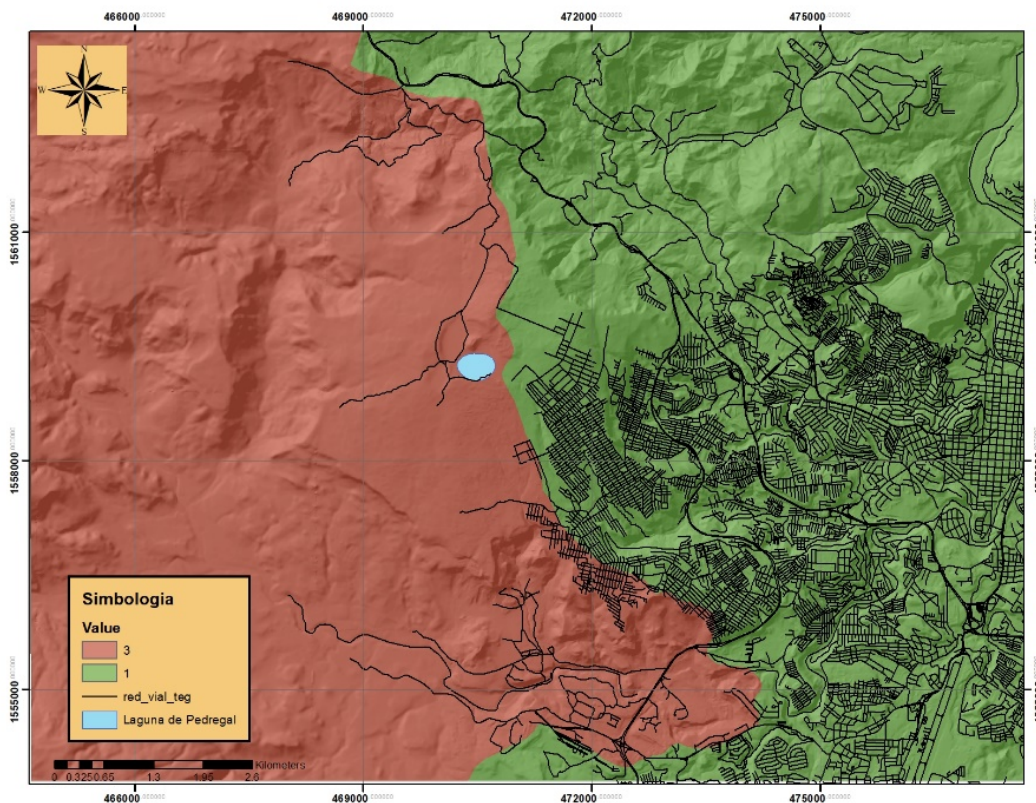


Figura 6: Valores reclasificados de microcuencas declaradas. Análisis realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

2.6.2 Uso o cobertura de suelos

En la zona de estudio se encuentran diferentes usos del suelo. En este caso se priorizarán los usos de suelo destinado a recursos forestales y todo tipo de vegetación secundaria, además de cuerpos de agua. Estos elementos representan el valor de tres, como alta conservación. Los usos de suelo destinado a agricultura de todo tipo y suelo desnudo son categorizados como zonas de media conservación (nivel dos) y los usos de suelo destinados a uso urbano, corresponde el valor de baja conservación (nivel uno) (Figura 7).

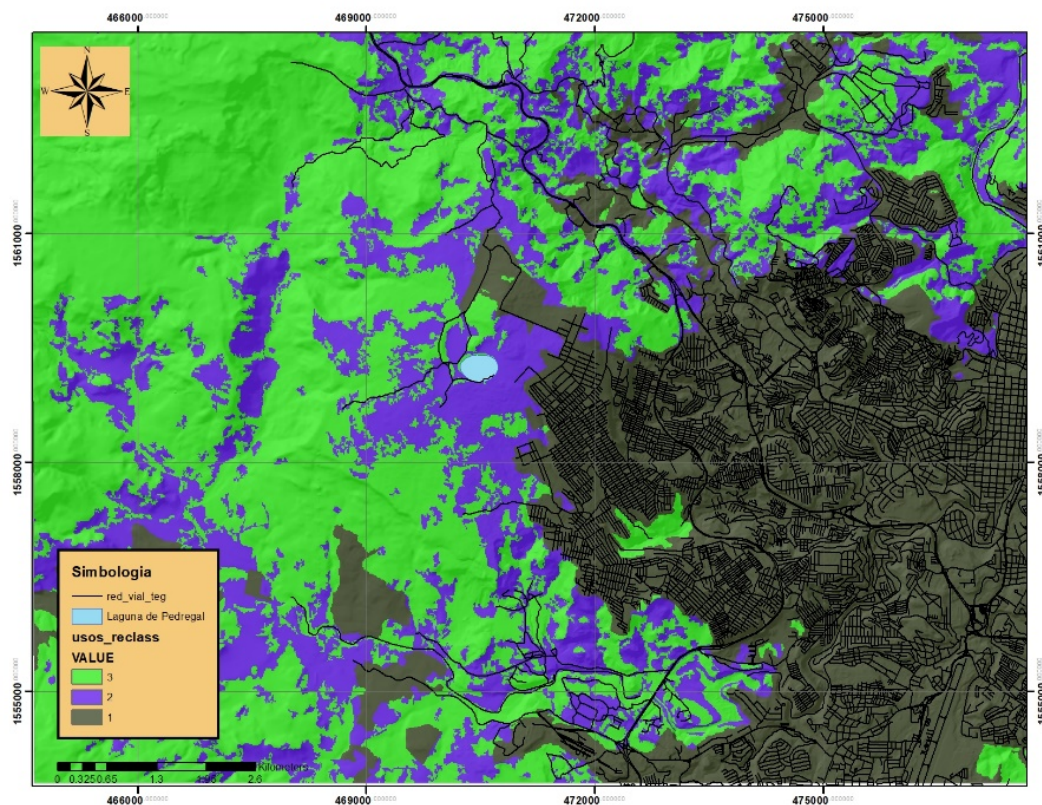


Figura 7: Resultado de la reclasificación de usos de suelo. análisis realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

2.6.3 Amenazas por movimiento de laderas

Tomando como base la caracterización del Mapa Multiamenazas del Municipio del Distrito Central; se identifican los diferentes riesgos presentes en el área. Usando los datos de amenazas por movimiento de ladera de la zona y, como referencia, los antecedentes de la región, sobre problemas surgidos de proyectos habitacionales afectados por estos fenómenos físicos, se pudo conocer la distribución de zonas categorizadas como de alto riesgo. Se quiere priorizar, como fundamento principal este aspecto para resguardar y garantizar a los asentamientos humanos un suelo estable. Este condiciona en qué zonas debe limitarse el crecimiento urbano y cómo será la distribución de los asentamientos humanos que se van a establecer cercanos a las fuentes de agua.

Para este caso, a las zonas categorizadas como de mayor amenaza, zonas de susceptibilidad alta y amenaza media, se les asignó un nivel de conservación de tres; a las zonas de media susceptibilidad, un nivel de dos. Finalmente; las zonas con baja susceptibilidad se les asignó el nivel uno (Figura 8). Esta capa en particular presenta vacíos en sus datos; sin embargo, al localizarse en la zona interior de la cuenca, se le asignó el nivel más alto a los valores "No Data".

2.6.4 Recarga media anual

Este dato fue levantado como parte de la estimación de la oferta de agua que se encuentra en las capas inferiores del suelo en la Laguna del Pedregal. Es una de las variables de mayor importancia en el análisis; aunque la capa inicial no abarca en su mayoría la zona de estudio, sí cubre la zona alta de la meseta y la zona norte, lugares en donde el crecimiento urbano se está dando de manera formal e informal.

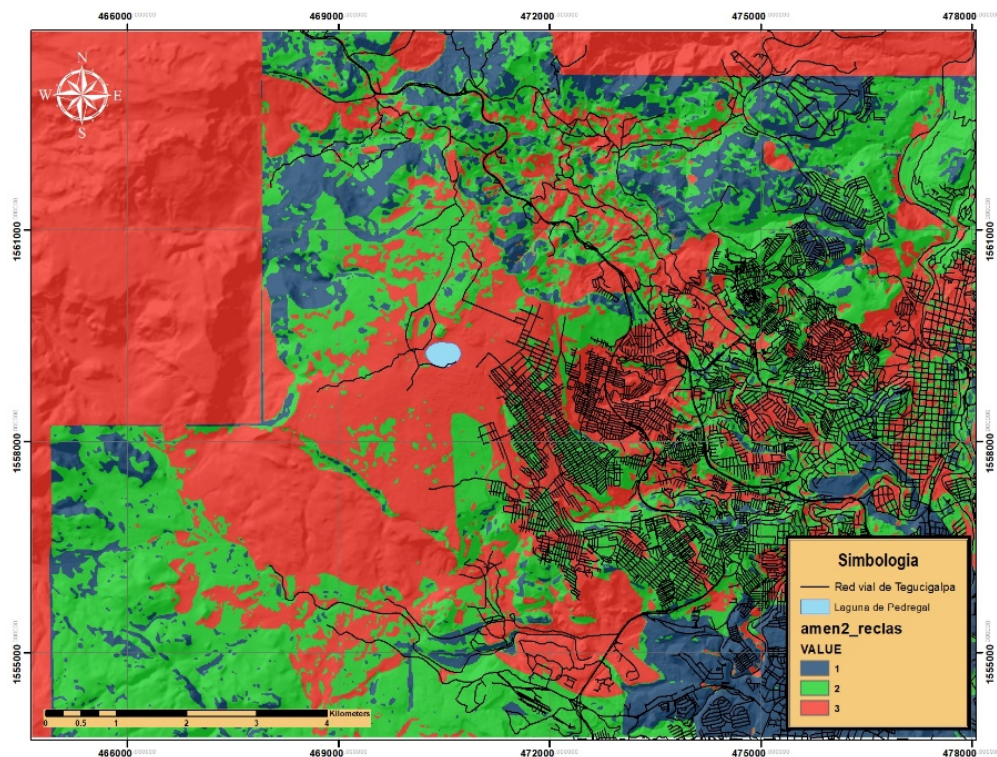


Figura 8: Valores reclasificados de amenaza por movimiento de ladera. análisis realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

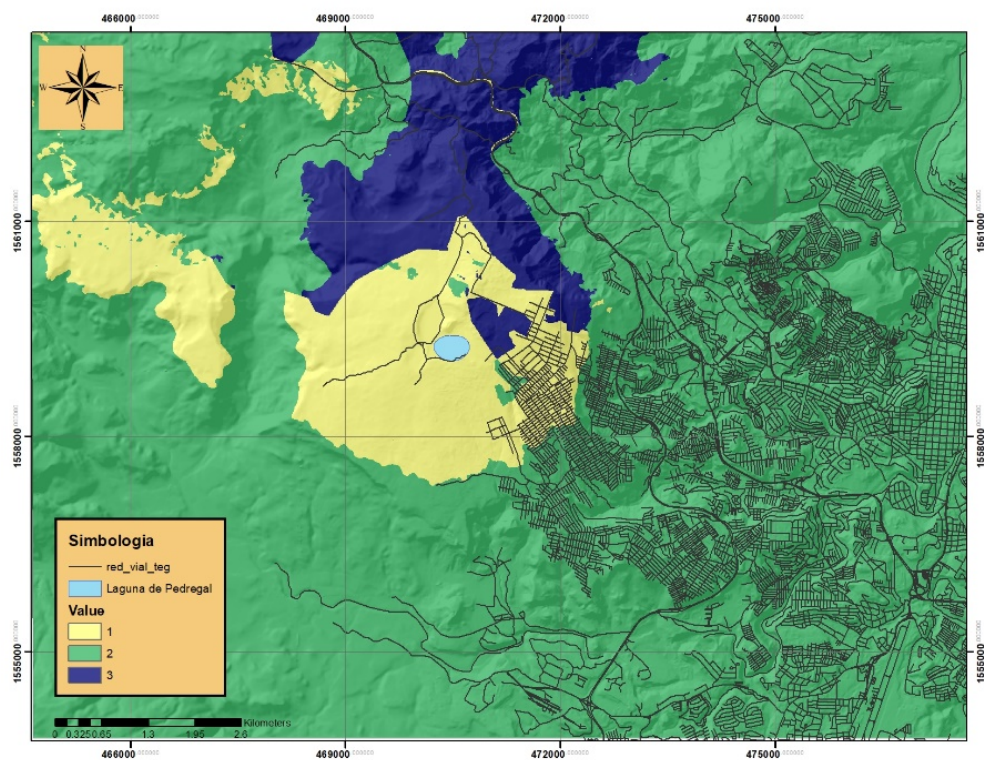


Figura 9: Valores reclasificados de la Recarga Media Anual. Análisis realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

Para su reclasificación; a los valores entre cero y veinte milímetros se les asignó el nivel más bajo de conservación (nivel uno), mientras que a los valores entre veinte y sesenta milímetros les correspondió el nivel dos y, finalmente, a los valores de sesenta en adelante, el nivel más alto de conservación (nivel 3) (Figura 9). Por otro lado; esta capa también contiene datos vacíos, y al ser una variable con mayor jerarquía en el análisis podría influir en el resultado de éste; por lo que, para evitarlo, a los valores “No Data” se les asignó el nivel dos de conservación.

2.6.5 Pendientes

Esta variable guarda relación con la capa de amenaza por movimiento de ladera y por normas de zonificación de la alcaldía de Distrito Central; que establecen que no puede desarrollar ningún proyecto de urbanización en terrenos con una pendiente mayor al treinta por ciento (30%). A esta capa se le asigna una reclasificación de solo dos niveles, en los que a las áreas con pendientes menores de treinta por ciento, les corresponde el nivel uno y, por otro lado, a las pendientes mayores que ese valor se le asigna el nivel tres (Figura 10).

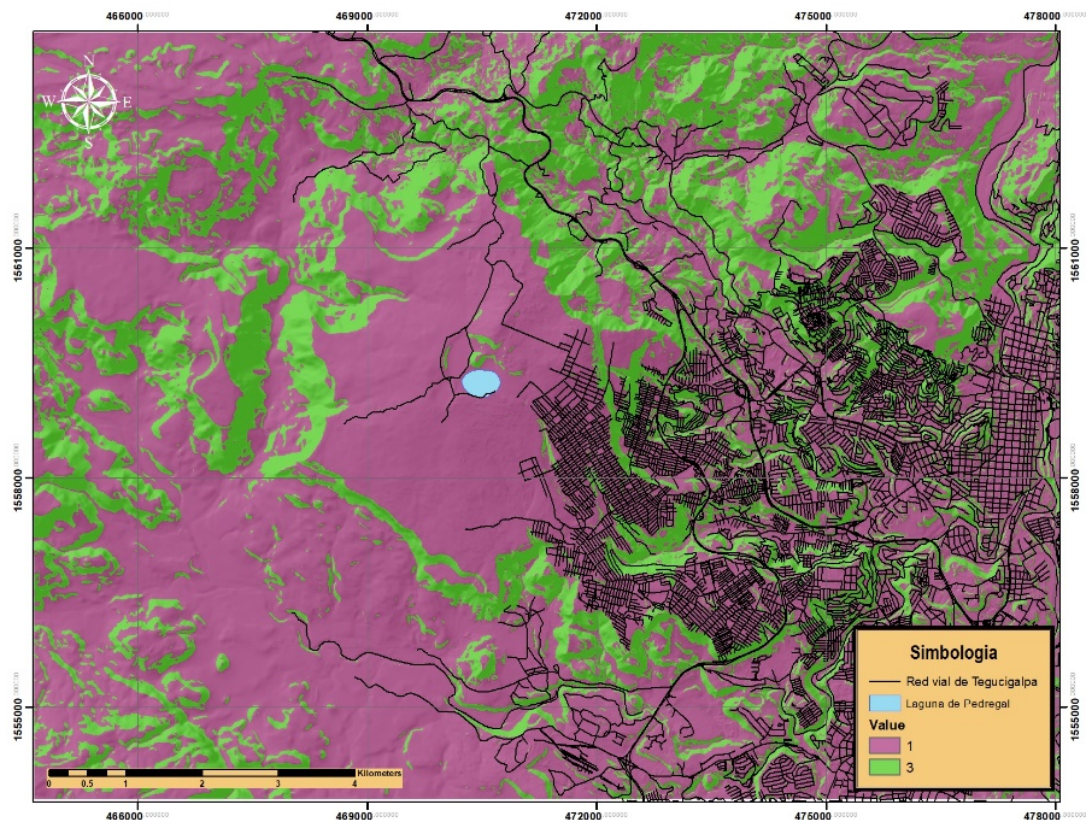


Figura 10: Valores reclasificados de la pendiente. Análisis realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

2.7 Cruce de variables por superposición de datos

Una vez concluido el proceso de reclasificación de los valores, se ejecuta la superposición de las capas por medio de la función de álgebra de mapas del software SIG; definiendo según el peso asignado a las variables la siguiente expresión:

$$(Microcuencas * 4) + (RecargaMediaAnual * 4) + (Usodesuelo * 3) + (Multiamenaza * 2) + (Pendiente * 1)$$

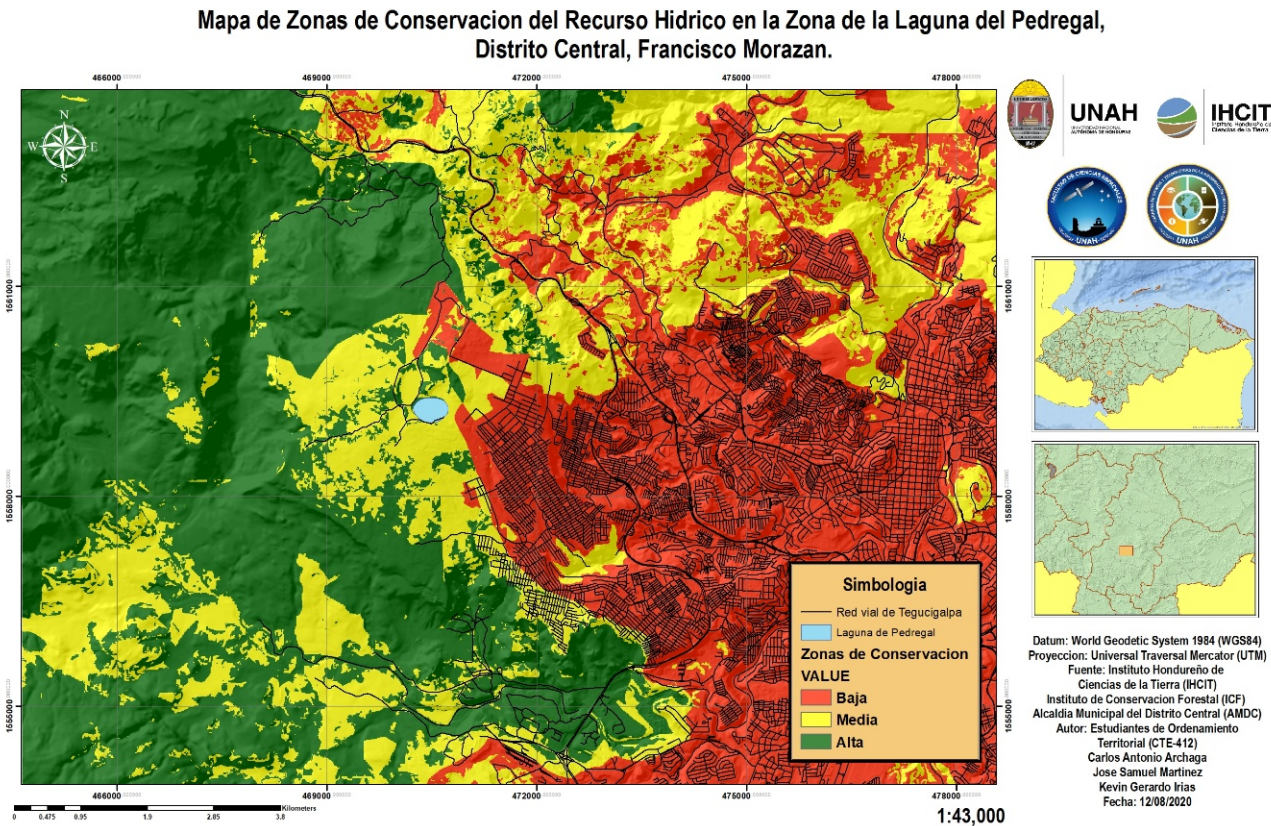


Figura 11: Mapa resultante de nuestro análisis AMC. Análisis realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

A partir del mapa final y la información generada se definen las zonas óptimas para tener un control adecuado del perímetro urbano. Esta información trata de ofrecer una idea del espacio geográfico al momento de realizar un proyecto de urbanización, y que se debe tener en consideración para poder aprovechar al máximo los recursos naturales de la zona determinada.

3 Resultados

Los resultados del análisis se establecieron en 3 categorías; Alta conservación, Media conservación y Baja conservación. En las que el área comprendida por la categoría de alta conservación es la más grande con 5.363 hectáreas; siguiéndole la categoría baja con 5.285,2 y, por último, la categoría de media con 3.612,02. Estos resultados indican que el área de estudio reúne más características para ser una zona abocada a la conservación que a la expansión del perímetro urbano. La proporción de la superficie ocupada por cada una de estas categorías en el área de estudio se especifica en el siguiente gráfico que se muestra en la Figura 12.

Ahora, es preciso definir los aspectos relacionados a cada una de las categorías y los tipos de actividades que se pueden realizar en cada categoría para aprovechar de mejor manera los recursos en la zona.

GRAFICO DE PROPORCION DE ZONAS DE CONSERVACION EN EL AREA DE ESTUDIO

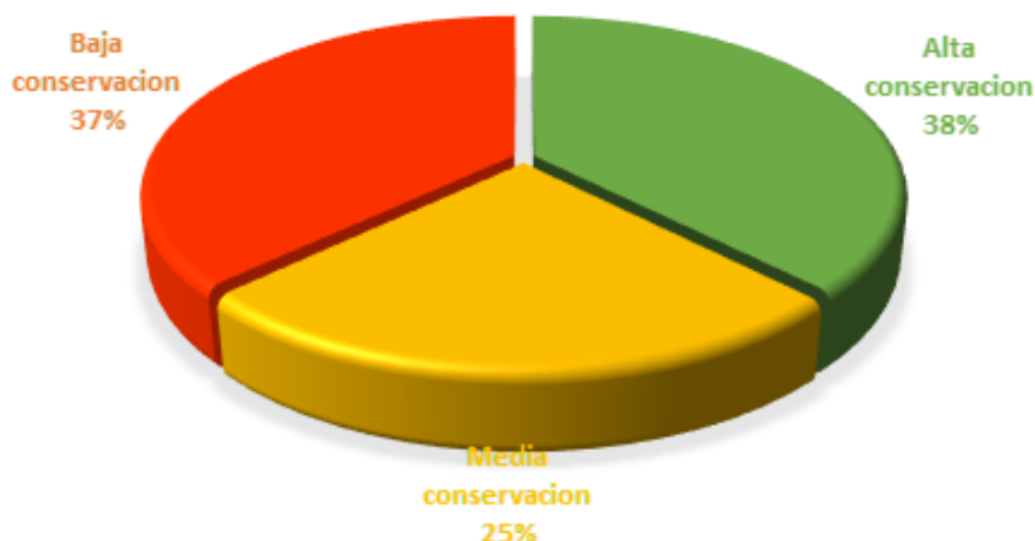


Figura 12: Gráfico de proporción de Zonas de Conservación en el área de estudio. Análisis realizado por los estudiantes de la asignatura Ordenamiento Territorial.

Alta conservación.

Se define como una zona de importancia para el aprovechamiento del recurso hídrico; debido a esto, no se consideran bajo ningún término zonas aptas para la ampliación del perímetro urbano.

La zona de alta conservación es un área que se debe mantener ajena de cualquier tipo de intervención antrópica que no implique una obra de sistemas de agua; a fin de mantener la integridad física y química del agua que se encuentra en las fuentes superficiales, como en los acuíferos, para el beneficio de las personas establecidas en la zona de la Laguna El Pedregal.

Media conservación

Considerando que en los estudios para la actualización y ampliación del perímetro urbano la Laguna del Pedregal ha sido categorizada como una Zona de Reserva Hidrológica; declarando así, que es una zona destinada a la protección y conservación de los recursos hídricos. Implica que dentro de ella no pueden llevarse a cabo ningún tipo de proyecto o actividad que afecte negativamente a los recursos y ciclos naturales que en ella se desarrollan.

Por tanto; la categoría media se refiere a las zonas en que se deben aplicar, de parte de las instituciones correspondientes, políticas de transición de usos de suelos destinados a la recuperación y restauración de estas áreas que han sido objeto de deforestación, quema, prácticas agrícolas y urbanización sin regulación, de forma que se pueda asegurar un mejor manejo de los acuíferos y las fuentes superficiales. Esta zona no es apta para la expansión urbana.

Baja conservación

Se consideran bajo esta categorización a las áreas que; por los diferentes aspectos geográficos de la zona de la Laguna del Pedregal, solo reúnen las condiciones mínimas de recarga del recurso hídrico y se localizan fuera del perímetro de la microcuenca, aunque, por otro lado, en su mayoría son áreas de carácter urbano o reúnen las características espaciales para serlo.

En estas zonas es permitida la densificación urbana; sin embargo, considerando que el perímetro urbano actual ya se encuentra en contacto con el perímetro de la microcuenca (y en algunos casos la sobrepasa); cualquier proyecto de urbanización estará sumamente restringido y deberá considerar todas las medidas ambientales y sociales propias de este tipo de proyecto.

4 Discusión

En las zonas que se muestran dentro como media conservación, es preciso desarrollar estudios más específicos para determinar el uso que puede otorgárseles.

Para lograr un resultado más preciso en futuros análisis, es necesario obtener más datos provenientes de la región sur de la zona.

Desarrollo de proyectos que permitan la extracción de agua en los acuíferos en la región norte de la zona, sin que comprometan las propiedades de filtración que posee el suelo.

Reforzar la cooperación entre el gobierno local y las comunidades; de forma que sean estas mismas las que ayuden a preservar las fuentes de agua hasta ahora existentes.

Aunque existe en la legislación hondureña la denominación de zonas de preservación, nos encontramos en la realidad la evidencia de la expansión de la población en esa zona, aunque la expansión urbana no ha sobrepasado de manera excesiva el límite para causar un daño grave a la fecha de este análisis, existe una presión latente en la zona; por lo que, para asegurar la conservación de los recursos en la zona, podría establecer un plan de manejo específico para esta dentro del marco de las zonas de preservación.

5 Conclusiones

Debido a que la mayor parte de la zona del estudio se encuentra dentro de una microcuenca; las actividades que se desarrollen dentro de esta zona deberán estar enfocados en la conservación del recurso hídrico; por tanto, aún las zonas de baja conservación deberán incluir acciones relacionadas a la conservación, aunque en menor medida que las zonas media y alta.

Como muestra el estudio realizado sobre multiamenazas (amenaza e inundación) presentes en el Distrito Central; la zona de estudio es muy susceptible a los movimientos ladera; lo que se traduce en un mayor riesgo para la población que ya se encuentra o puede establecerse en zona, por tanto, el desarrollo urbano no debe de considerarse una prioridad en la zona.

Al realizar el mapeo de las fuentes de agua con los datos provistos de recarga media anual, puede apreciarse que, en su mayoría, estas fuentes no se encuentran en los lugares donde la concentración de las aguas de precipitación es mayor; por lo que no se está aprovechando al máximo los acuíferos más grandes.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos; es necesario limitar la expansión urbana en la zona debido a que varios asentamientos ya se encuentran dentro y, en algunos casos, supera el límite señalado para garantizar la preservación de los recursos hídricos.

6 Referencias

ESRI (2018). Análisis multicriterio. Consultado en 2018, <https://www.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=5874bf9388024486bd33e734c6db60b9>.

ARQUEOASTRONOMÍA Y ASTRONOMÍA CULTURAL

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ORIENTACIÓN ASTRONÓMICA EN LOS ENTIERROS MAYAS DEL PERIODO CLÁSICO, EN EL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE COPÁN

Marco Antonio Pineda Montoya^{1,*}

¹Investigador independiente

César Israel Rodríguez Carías^{2,†}

²Departamento de Arqueoastronomía y Astronomía Cultural

Facultad de Ciencias Espaciales

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 1/septiembre/2022

Aceptado: 20/abril/2023

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.17070>

RESUMEN

Honduras cuenta con múltiples sitios arqueológicos registrados. Uno de ellos y de gran importancia para el área maya es el Sitio Maya de Copán, este importante sitio está ubicado en la zona occidental del país en el departamento de Copán y tuvo su apogeo entre los siglos V y IX. En el Parque Arqueológico de Copán ya se han realizado estudios arqueoastronómicos de diferentes estructuras como las pirámides, templos, altares, juego de pelota y estelas, ejercicios académicos que han venido a fortalecer la protección del patrimonio cultural presente en el sitio, en este caso al patrimonio astronómico, de ahí que estudiar la orientación de los entierros mayas en el sitio, durante el periodo clásico, es importante para entender la cosmogonía de esta grandiosa civilización.

Desde el interés de la arqueoastronomía se destaca la identificación de la orientación con algún astro en el cielo, de la posición en la que se enterraban a los muertos; los mayas eran grandes astrónomos, comprometidos con la cuenta de los días y observadores del movimiento aparente del Sol. También observaban con mucho interés a la Luna y el planeta Venus, de ahí que con esta investigación se identifica y analiza la posible orientación de entierros del periodo clásico (250 d.C – 900 d.C) en el reino maya de Copán. Esta investigación cumple el objetivo de analizar la posible orientación astronómica de los entierros mayas del periodo clásico, en el Parque Arqueológico de Copán. El análisis de las posibles orientaciones astronómicas de los entierros mayas en Copán es un esfuerzo académico para fortalecer la construcción del corpus teórico del campo de la Astronomía Cultural en Honduras. Los resultados preliminares de este estudio sugieren variaciones en la orientación de los entierros mayas en Copán y su posible connotación astronómica. Se recomienda ampliar esta línea de investigación.

Palabras clave: Orientación Astronómica, Entierros Mayas, Copán.

ABSTRACT

*geogpineda1408@gmail.com,

†crodriguez@unah.edu.hn,  <https://orcid.org/0009-0001-8087-3762>

Honduras has multiple registered archaeological sites. One of them and of great importance for the Mayan area is the Mayan Site of Copán, this important site is located in the western part of the country in the department of Copán and had its heyday between the 5th and 9th centuries. In the Archaeological Park of Copán, archaeoastronomical studies have already been carried out on different structures such as pyramids, temples, altars, ball courts and steles. These academic exercises have strengthened the protection of the cultural heritage present at the site, in this case the astronomical heritage, resulting in the interest for studying the orientation of the Mayan burials at the site, during the classical period, which is important to understand the cosmogony of this great civilization.

From the archaeoastronomical point of view, the identification of the orientation the burials with respect to celestial objects is of main interest. The Mayans were great astronomers, committed to counting the days and observers of the apparent movement of the Sun. They also observed the Moon and the planet Venus with great interest, hence this research identifies and analyzes the possible orientation of burials of the classic period (250 AD – 900 AD) in the Mayan kingdom of Copan. The analysis of the possible astronomical orientations of the Mayan burials in Copán is an academic effort to strengthen the construction of the theoretical corpus of the field of Cultural Astronomy in Honduras. The preliminary results of this study suggest variations in the orientation of the Mayan burials in Copán and their possible astronomical connotation. It is recommended to expand this line of research.

Keywords: Astronomical orientation, maya burials, Copán.

1 *Introducción*

El Sitio Maya de Copán se localiza en el occidente de la República de Honduras, en el municipio de Copán Ruinas (departamento de Copán). El Sitio incluye (1) el Grupo Principal, (2) una zona urbana alrededor del Grupo Principal, (3) una zona rural que cubre las montañas alrededor de la zona urbana. ([Asociación Copán, 2013: 8](#)). El Parque Arqueológico, está ubicado a 1 kilómetro del pueblo de Copán Ruinas, además cerca del Grupo Principal se ubican las zonas residenciales de El Bosque, Las Sepulturas, y el Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas. ([Asociación Copán, 2013: 8](#)). Según [Sharer \(2007\)](#), durante el periodo clásico, el sitio arqueológico de Copán fue la capital de una poderosa entidad que dominó la región maya sudoriental, la frontera con América Central. Copán es célebre por su espléndido estilo escultórico y arquitectónico; por lo que se dice que Copán representa una variación clara dentro de la tradición maya de las tierras bajas. Según [Fash y Fash \(2006: 105\)](#), el sitio Maya de Copán ha sido contemplada por la cultura occidental como una ciudad situada en la cumbre de la cultura y la expresividad artística y literaria. El Sitio Maya de Copán fue declarado Patrimonio Cultural Mundial por la UNESCO en 1980 en base a los criterios (iv) y (vi) de “valor universal excepcional” (VUE) definidos por el Comité Patrimonio Mundial. ([Asociación Copán, 2013: 8](#)).

En los inicios del siglo XXI, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras a través de la Facultad de Ciencias Espaciales y el Departamento de Arqueoastronomía y Astronomía Cultural se ha interesado por la investigación de las características arqueoastronómicas en el Parque Arqueológico de Copán, específicamente se han estudiado estructuras como Estelas, Templos, y Altares. Según [Rivera Gutiérrez \(2011\)](#) los mayas conocían el movimiento de los astros con gran detalle, llegando hasta dejar registros extensos de los movimientos de Venus, la Luna y Marte en los códices (p.44). Agrega que la identificación de los eventos celestes que se dieron en Copán durante el período de desarrollo de la ciudad puede aportar conocimientos para los estudios que se realizan en el sitio arqueológico, especialmente los eventos astronómicos observables a simple vista y eventuales durante el período 400 d.C. al 900 d.C. ([Rivera Gutiérrez, 2011: 44.](#)). También [Pineda Montoya \(2013\)](#) estudio el Sector Núñez Chinchilla (Sector 9L-22 y 9L-23) que se ubica en el lado Este de la Plaza de las Estelas, allí se encuentra la réplica de un entierro, dispuesto tanto

los restos óseos como las ofrendas, en la Estructura 9L-103. Agrega que se trata de un hombre de edad adulta media, que presenta deformación craneal frontal, su cuerpo se ubicó con una orientación Norte-Sur y su rostro viendo hacia el Este (p.104).

Con este tipo de estudios se ha llegado a la comprensión que los eventos astronómicos tenían una gran importancia para la cultura Maya. Dentro de esa línea de investigación y aprovechando los últimos descubrimientos en el sitio, específicamente en lo que son tumbas y fosas mortuorias; motiva investigar la posible relación astronómica de los entierros mayas en Copán, debido a que permitirá interpretar el escenario cultural en el que se desarrollaban los mismos y la concepción del más allá o del otro mundo después de la muerte que concebían la civilización maya en Copán, esta es la condición que justifica este proyecto de investigación enmarcado dentro del campo científico de la astronomía cultural. El interés en la investigación de los entierros mayas como tema exclusivo no ha sido prioridad en Copán, a excepción de cuando se ha investigado las tumbas de los miembros de su dinastía real; de ahí que es meritorio y también de mucho interés para el campo científico de la astronomía cultural la identificación y el análisis de las posibles orientaciones astronómicas de los entierros mayas en Copán.

[Zárate Montes \(2010\)](#), en base a sus estudios en México menciona que los grupos prehispánicos pretendieron orientar a sus muertos hacia alguno de los cuatro puntos cardinales, excepto aquellos entierros que están dirigidos hacia otros puntos. Por ejemplo, agrega que, en Cholula, la mayoría de los esqueletos están en posición sedente y orientados hacia el norte; los que conservaron una posición en decúbito tienen una tendencia sobre el eje norte-sur. También en Cholula, describe un contexto funerario con entierros primarios y ceremoniales orientados hacia el poniente. Y en el sitio de La Ventilla, en Teotihuacan, afirma que encontraron que la mayor parte de los esqueletos se orientan en el eje este oeste (p.1037). Otro caso, [Pérez de Heredia et al. \(1999\)](#) menciona la existencia de entierros infantiles en vasijas de la transición del Clásico Tardío al Clásico Terminal en Chichen Itza (p.85). Afirma se podría estar en presencia de actividades rituales de sacrificios infantiles, como parte de ritos más complejos asociados posiblemente a la construcción de nuevos edificios ([Pérez de Heredia et al., 1999](#): 98). Menciona también [Quintanilla González \(2013\)](#) que en su investigación en el sitio de Cancuén, descubrió que la orientación de los cráneos hacia el norte fue la de mayor frecuencia (34%), siendo los niños los primeros, seguidos por las mujeres, varones y adultos indeterminados. La segunda frecuencia es para el este (25%) con un orden de representatividad de hombres, niños, mujeres y adultos indeterminados. La tendencia de orientación hacia el sur (20%) está representada por los adultos indeterminados en primer lugar, seguidos por igual número de adultos y niños y finalmente las mujeres. Hacia el oeste (4%) con las mujeres y hombres y adultos indeterminados (p.93).

[Chase y Chase \(2004\)](#) mencionan que existe una relación entre la orientación de los edificios y ciertos entierros. Los entierros iniciales en Caracol fueron colocados con frecuencia en tumbas en el extremo este, utilizadas en una estructura y los entierros subsecuentes inmediatos fueron generalmente colocados hacia el oeste, ya sea en el exterior del edificio o en la base del escalón inicial. La colocación secuencial este-oeste de entierros dentro de estas construcciones del este va a la par del ascenso y descenso del sol y es simbólicamente consistente con la concepción del renacimiento (p.225). Agregan [Chase y Chase \(2004\)](#) que en vez de ver a los edificios del este como los lugares utilizados para los entierros que honran a los muertos, quizás deberíamos ver a los muertos como una parte básica del complejo ritual general asociado con el uso de esos edificios (p.226). Según [Quintanilla González \(2013\)](#) los ritos relacionados con la muerte corresponden en gran parte al culto a sus antepasados (p.21). También [Chase y Chase \(2004\)](#) afirman que solamente los ancestros más queridos fueron enterrados en un grupo residencial. Este culto funerario era parte integral de la cosmología y las prácticas de Estado. Los rituales mortuorios servían para dignificar a

los antepasados y reconocer a los descendientes, a fin de otorgarles importancia social, cultural, política, ideológica y jerárquica (p.204). Además, el atavío funerario que usaba en el momento de la muerte no reflejaba sólo riqueza y prestigio, sino que era manifestación y síntesis de rango social, contexto ritual y persona sagrada. (Bajkova, 2015: 116). A este respecto, Quintanilla González (2013) confirma que todos los aspectos desde la condición del depósito hasta la posición y complejidad misma que caracterizan los gestos funerarios son el producto de procesos sociales en los que se desarrolló el individuo en vida como de su propia historia personal (p. 22).

Un aspecto relevante en el análisis de los entierros radica en que siempre evidencian la diferenciación social entre la población, esto se puede observar en el tipo y calidad de la estructura del entierro o tumba, en la forma como fue depositado el cuerpo, el tipo cantidad y calidad de ofrenda que le acompaña, e incluso en lo que le espera después de la muerte, en el caso que nos ocupa como es el de la civilización maya. El ritual funerario maya se fue transmitiendo a través de la historia y durante ese proceso cultural se fueron consolidando algunas costumbres; según Vásquez de Agredos Pascual (2009). Fueron tres las costumbres funerarias que el Clásico mesoamericano (del 250 al 900 d.C) heredó del periodo anterior: la ubicación de entierros en grupos domésticos, la circulación de partes del esqueleto en contextos secundarios, y la práctica de incluir objetos en los entierros, en especial vasijas cerámicas, sin embargo, la constancia y regularidad con la que el color participó en las tumbas más distinguidas del área maya desde el preclásico en adelante sugiere que al menos en esta cultura fueron cuatro las costumbres funerarias que el periodo Clásico asumió del preclásico que le precedió.

Ichikawa y Morita (2011) mencionan que en el Período Clásico se observa una diferenciación social más avanzada que la del Preclásico mediante el punto de vista de la diferencia de la energía gastada al entierro y la presencia de combinación de materiales prestigiosos (p.684). A esto Chase y Chase (2004) describen que hay una variación extraordinaria en los tipos de enterramiento y en los esfuerzos empleados en su creación (p.205). Destacando que los mayas tuvieron la tendencia de enterrar a sus muertos adentro o en la parte posterior de sus casas, generalmente con ofrendas de comida y además de objetos preciados (Chase y Chase, 2004: 206). Según Ichikawa y Morita (2011) entre estas ofrendas tenemos: jades, conchas, obsidias, artefactos de barro, piedras, huesos, huesos de animal y artefactos de piritas o hematites. Agregando que posiblemente, se difunde una ideología que dichos materiales indiquen poder religioso, político o económico (p. 683). Por su parte, Quintanilla González (2013) agrega que la colocación de ofrendas como parte del ritual mortuorio es un elemento relacionado con la concepción que el muerto inicia otra vida y por ende el comienzo de un nuevo y gran camino, se volvía necesario el acompañamiento de ofrendas que le proveyeran de provisiones necesarias para el trayecto (p.24). Las categorías de las ofrendas en grupos serían cerámica, lítica, concha, hueso trabajado y figurillas, Según Bajkova (2015) las prácticas del culto funerario a los ancestros, así como a las deidades que giraban en torno a éstos, tienen hondas raíces en la sociedad maya, que se materializan en las tumbas, pirámides, bultos sagrados, representaciones iconográficas y textos jeroglíficos (p.116). A esto, Ubelaker (2007) menciona que se han encontrado esqueletos en cementerios, bajo suelos de casas, en plazas, en escondrijos y hogares en montículos y abrigos rocosos, en urnas de barro, y esparcidos en vertederos de poblados. El enterramiento puede ser primario (esqueletos completos articulados), o secundario (desarticulados en disposición artificial (p. 23).

Para este tipo de estudios debemos saber y conocer sobre osteología, antropología física, astronomía y geografía entre otras ciencias, Es muy importante el estudio de los restos presentes en entierro, su ubicación, orientación y estado. Ubelaker (2007) menciona que la posición de un esqueleto se describe mejor con referencia a tres componentes anatómicos: (1) las piernas, (2) los brazos, y (3) la cabeza (p. 38). Otro autor, Quintanilla González (2013) afirma que dentro del registro del entierro también se considera la posición y orientación del cuerpo. Respecto a la posición, se enlistan las siguientes: 1. En decúbito dorsal (el

cuerpo es colocado boca-arriba) - Extendido - Flexionado 2. En decúbito ventral (el cuerpo es colocado boca-abajo) - Extendido - Flexionado Ambos en cualquier lateralidad izquierda o derecha. 3. Sedente (el cuerpo es colocado en aparente posición de estar sentado) La colocación del cuerpo también se correlaciona con la orientación del cráneo, que se clasifica en base a los puntos cardinales (p .27). [Zárate Montes \(2010\)](#) agrega que en su estudio se estableció la orientación de los esqueletos tomando como referencia el eje mayor del cuerpo, que se define por la orientación de las vértebras; si el cráneo se encontraba orientado, se tomaba a partir del cráneo y si las extremidades también se encontraban alineadas, se incluían en el eje de orientación (p.1040). Según [Ubelaker \(2007\)](#) cuando un esqueleto está boca arriba, boca abajo o de lado, su orientación es “la dirección en la que yace la cabeza en una línea que va desde el cráneo al centro de la pelvis”. La orientación debería registrarse con una brújula, sirviéndonos de marcas naturales del terreno, elementos culturales o preferiblemente combinaciones de todos ellos (p.41).

Al analizar el sitio de Copán nos encontramos que para [Márquez Morfín y Hernández Espinoza \(2013\)](#), los estudios realizados por Webster sugieren que hacia el 750 d.C. la densidad demográfica había aumentado hasta llegar a los 27,750 habitantes. Anotando que de las diversas excavaciones en el sitio se habían recuperado una muestra de esqueletos de 239 individuos, sobre todo de los entierros localizados en el complejo 9N-8, denominado La Casa de los Bacabes, en el barrio residencial de Sepulturas, correspondiente al momento de máxima densidad demográfica y de florecimiento de esta sociedad, en la transición del Clásico Tardío al Clásico Terminal (700 a 1000 d.C.). (p. 59). Además, [Márquez Morfín y Hernández Espinoza \(2013\)](#) mencionan que, en el caso de Copán, la exploración sistemática del sitio logró la recuperación cuidadosa de los restos óseos, consiguiendo así una buena representación de individuos en la mayoría de los grupos de edad. En la serie de Copán, el 50 % de los individuos tiene menos de 20 años, reflejo de una población joven (p.67). Pero comentan que estas muestras son solo una representación de parte de la población original de la ciudad.

2 Metodología

Con esta investigación se identificó y analizó las posibles orientaciones astronómicas en los entierros encontrados en el Sitio Arqueológico de Copán, para ello se realizó una revisión bibliográfica de documentos aportados por los proyectos de investigación arqueológica del sitio arqueológico de Copán, en los mismos se revisaron las imágenes y diseños de tumbas, luego se definió una serie de variables aplicables a cada uno de los entierros, entre estas variables se destaca el cálculo del acimut del esqueleto a partir del norte magnético de la tierra. Cada una de las variables se describe, luego se definen sus indicadores; estos a su vez permiten identificar el comportamiento de cada variable aplicada en cada uno de los entierros analizados, esto ayuda a describir su comportamiento estadístico y deducir su tendencia; de tal forma que conduzca a observaciones que faciliten tanto la identificación de posibles orientaciones astronómicas de cada uno de los entierros mayas en Copán, como describir el ajuar funerario que acompaña a cada esqueleto analizado.

Esta investigación es de tipo documental, con un enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, en la misma se realiza la identificación de indicadores de variables previamente diseñadas, luego se tabula, gráfica y analiza el comportamiento de cada variable. Una vez analizada cada variable en cada uno de los entierros muestreados, se establecerá si hay o no orientación astronómica en los entierros en Copán.

Se pudo realizar una corta visita antes del inicio de Pandemia de COVID 19 al Parque Arqueológico Copán por medio del Instituto de Arqueoastronomía y Patrimonio Cultural y Natural. (IARPACUNA), para corroborar datos bibliográficos y obtener información de fuentes primarias para nuestra investigación a

través de informes de campo y registros fotográficos de proyectos arqueológicos resguardados en el CRIA (Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas).

Este estudio contó con el apoyo del Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAIH), su personal en Copán y CRIA.

Definición de variables

Las variables que se estudiaron están representadas en el diagrama de la Figura 1, en donde la variable principal del estudio, llamada también variable dependiente Y, representa la posible orientación astronómica en los entierros mayas del periodo clásico en Copán. El ajuar funerario o condiciones y ambiente delimitado por la tumba en el que se encuentran esqueletos mayas del periodo clásico en Copán será medido y analizado usando las siguientes variables:

- Tipo de entierro
- Edad del difunto
- Sexo del difunto
- Ofrendas
- Posición del esqueleto
- Acimut del esqueleto
- Orientación Astronómico

Cada variable se ha conceptualizado y se han determinado los indicadores de cada una de ellas en la Tabla 1.

2.1 Mapa Conceptual

Variabes que permiten analizar la orientación astronómica en los entierros mayas en Copán.

3 *Análisis y discusión de resultados*

En base al análisis de los datos obtenidos del material bibliográfico primario consultado en el CRIA de Copán, como ser fichas de campo y literatura de los proyectos de investigación sobre todo el: Proyecto Arqueológico Copán Segunda Fase. Registrado en los tomos de libros: Excavaciones en el Área Urbana de Copán I-IV (Sanders, 1986; Sanders, 2000), por el Instituto Hondureño de Antropología e Historia y corroborado con los datos de campo que se pudieron tomar. Se obtuvieron los siguientes resultados de investigación.

3.1 Tipo de Entierro

Se trata del espacio o lugar donde se deposita el cuerpo del difunto y para estimar diferencias entre uno y otro entierro. Se analizó la calidad del material y la estructura del mismo, a veces se encuentran enterrados uno o varios cadáveres en un mismo entierro. La estimación del tipo de entierro en el que se encuentra el esqueleto del difunto permite considerar la posición social del o los fallecidos; del total de

Tabla 1: Definición conceptual de variables y sus indicadores

Variable	Descripción conceptual	Definición operacional	Indicador	Preguntas orientadas
Tipo de entierro	Sepulcro o lugar donde se deposita el cuerpo del difunto	La calidad del material y la estructura del entierro donde se encuentra enterrado uno o varios cadáveres	Entierro simple complejo. Entierro primario o secundario	¿Que tipo de entierro es?
Edad del difunto	Tiempo aproximado de vida que vivió el enterrado	La edad del enterrado permite deducir las funciones sociales que desarrollaba en vida el difunto.	Niño o adulto	¿Se trata del entierro de un niño o un adulto?
Sexo del difunto			Masculino femenino	Se trata de un hombre o de una mujer
Ofrendas que acompañan al muerto	Objetos materiales que las personas depositan en la tumba del fallecido en su viaje al más allá	Son objetos materiales con valor e importancia para la persona cuando estaba viva	Vasijas de cerámica cuentas de jade pedernal	¿Para que le servían estas ofrendas al enterrado?
Posición del esqueleto	Postura en la que se encuentra el esqueleto depositado en el entierro		Decúbito dorsal Decúbito de frente Posición fetal.	¿En que posición se depositó el cuerpo del difunto.
Acimut del esqueleto	Desviación con respecto al norte magnetico, del eje central del cuerpo del enterrado, tomado con relación a la línea de pies a cabeza pasando por la columna.	Se toman en consideración los dos datos de acimut del esqueleto, es decir los extremos de pies a cabeza. Se mide en grados y va de 0° en el norte hasta 360° pasando por los cuatro puntos cardinales	Acimut 90° E Acimut 45° NE Acimut 135° SE Acimut 225° SO Acimut 270° O Acimut 315° NO	¿Cuántos grados de desviación tiene el eje central del cuerpo del difunto, con respecto al norte magnético?
Posible orientación astronómica	Ubicación del esqueleto del difunto con su eje central en dirección a un punto cardinal o posición de un astro en el cielo u horizonte celeste.	La cabeza del esqueleto del difunto está orientada hacia la posición de otro planeta, luna o incluso del Sol en determinadas fechas del calendario anual.	Esqueleto alineado con el equinoccio. Esqueleto alineado con un solsticio. Esqueleto alineado con un punto cardinal	¿El esqueleto está alineado con la posición de cualquiera de los cuatro puntos cardinales? ¿El esqueleto está alineado con salida o puesta de Sol, en equinoccios

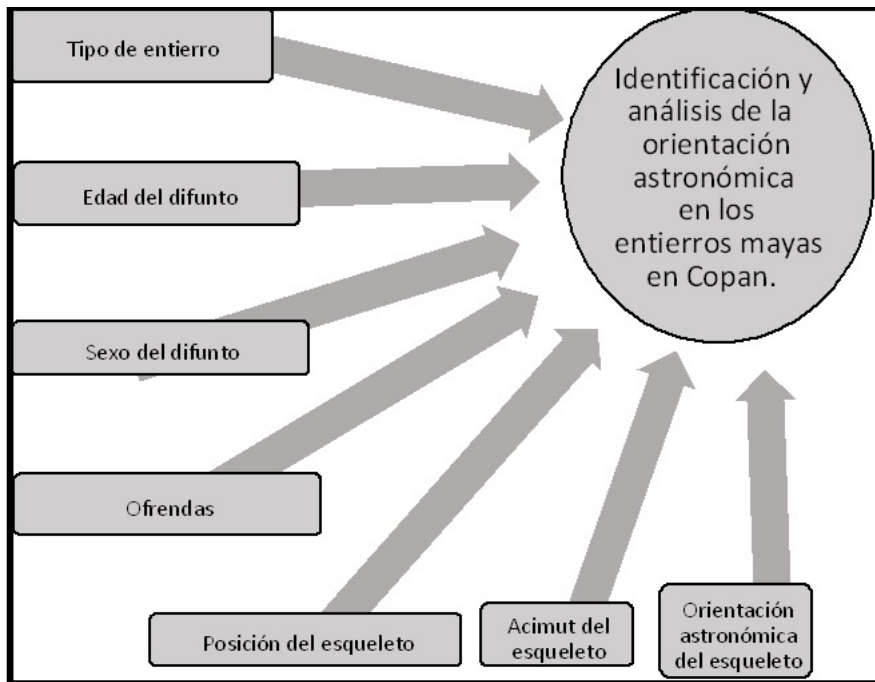


Figura 1: Mapa Conceptual de relación entre variables.

119 (100 %) entierros analizados, 98 de ellos (82 %) presentan una estructura considerada de tipo primaria, es decir dispone de paredes de piedra debidamente acomodada de tal forma que se dispuso de un espacio abierto para la colocación del cuerpo del difunto como se muestra en la Tabla 2. (Ver Figura 1), el detalle de dos entierros primarios con sus paredes de piedra debidamente acomodadas se puede apreciar en las figuras (3 y 4), estudiados como resultado del proyecto: Excavaciones en el Área Urbana de Copán. Proyecto Arqueológico Copán. Como entierros de tipo secundario o poco estructurado y con paredes poco definidas para la protección del cuerpo del difunto, se contabilizaron un total de 19 entierros, lo que representa el 16 % de los casos analizados. Como entierros de tipo indeterminados se contabilizaron únicamente 2, lo que representa un poco menos del 2 %, es de hacer notar que el comportamiento de los datos en este indicador de tipo de entierro en el que claramente predomina el tipo Primario se debe a que los casos de entierros analizados se ubican en el área urbana de Copán y por ende se trata de población de clase social media y probablemente cercana no solo al quehacer de la elite política, sino probablemente también, practicantes de los patrones mortuorios tradicionales del grupo elite dominante.

Tabla 2: Indicador tipo de entierro.

Indicador: Tipo de entierro	Total	%
Primario	98	82
Secundarios	19	16
Indeterminado	2	2
Total	119	100

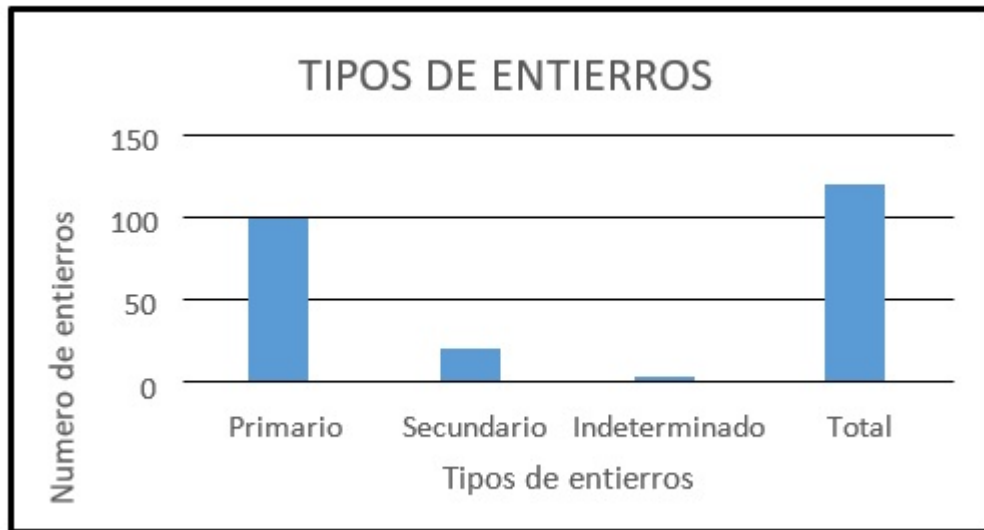


Figura 2: Indicador tipos de entierros.

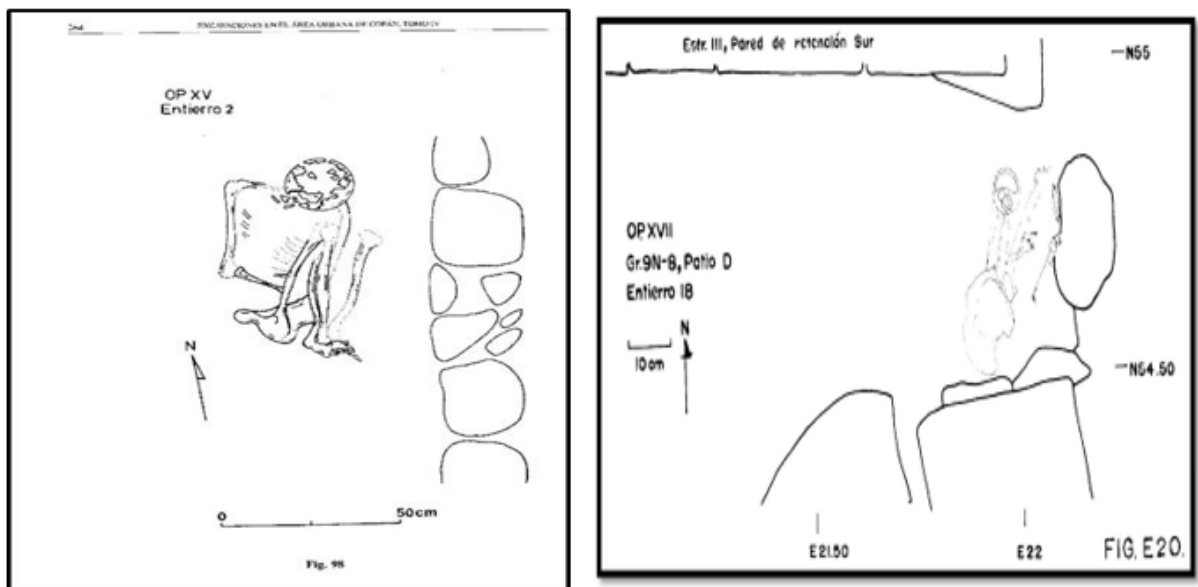


Figura 3: Ejemplo de entierros primarios en Copán (Sanders, 2000).

3.2 Edad del difunto

Se define como el tiempo aproximado de vida que vivió el enterrado o difunto. La edad del enterrado permite deducir las funciones sociales que desarrollaba en vida el difunto. Los resultados muestran una alta mortalidad infantil, 43 % de los entierros son personas menores de 15 años, dentro de este mismo grupo de edad destacan los difuntos con edad entre 0 y 5 años con un 29 % del total de entierros analizados. Luego se destaca el grupo de edad de 21 a 35 años con 41 % del total de los difuntos, si observamos los datos de edad de 0 a 35 años representan el 85 % de los difuntos, a partir análisis de los datos se puede inferir que la población contenida en estos entierros es en su mayoría niños y adultos no viejos. Ver Tabla 3 y Figura 4.

Tabla 3: Indicador edad del difunto.

Intervalo de edades	Total	%	Frecuencia acumulada	% Frecuencia acumulada
Feto	1	1	1	1
0-5	31	26	32	29
6-10	12	10	44	40
11-15	3	2.5	47	43
16-20	1	1	48	44
21-25	14	11.7	62	57
26-30	22	18.5	84	77
31-35	9	7.5	93	85
36-40	3	2.5	96	88
41-45	3	2.5	99	91
46-50	2	2	101	93
51-55	1	1	102	94
56-60	0	0	102	94
Indeterminada	7	6	109	100
Total	109	100	109	100

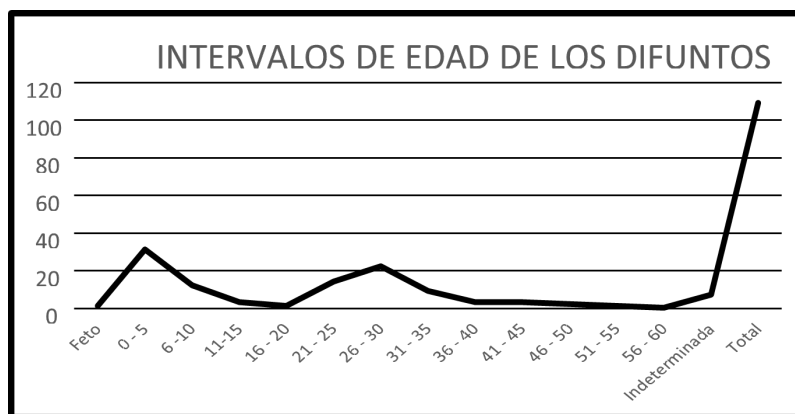


Figura 4: Indicador edad del difunto. En esta imagen se puede apreciar los dos principales picos de la curva en la se muestran las edades de los difuntos, corresponden las mayores frecuencias a los grupos de edades de 0 a 10 años y luego el grupo de edades entre los 20 y 35 años respectivamente

3.3 Sexo del difunto

En el análisis de los datos se observa que en un 65 % de los entierros no se determinó el sexo del difunto (77 unidades) debido al deterioro en que aparecen los restos óseos; los entierros (42 unidades) que si tienen determinado el factor sexo representan el restante 35 %, de los que un 19 % son masculinos (23 individuos) y el complementario 16 % corresponden al género femenino (19 individuos). Aunque los datos de los restos de individuos con sexo determinado no permiten opinar con contundencia la dominancia del género masculino, debido principalmente a que el porcentaje de individuos en los que no se determinó el factor sexo es casi el doble de los casos en los que si se determinó el género. Ver Tabla 4 y Figura 5.

Tabla 4: Indicador sexo del difunto.

INDICADOR:		
Sexo del difunto	Total	%
Maculino	23	19
Femenino	19	16
Indeterminado	77	65
Total	119	100

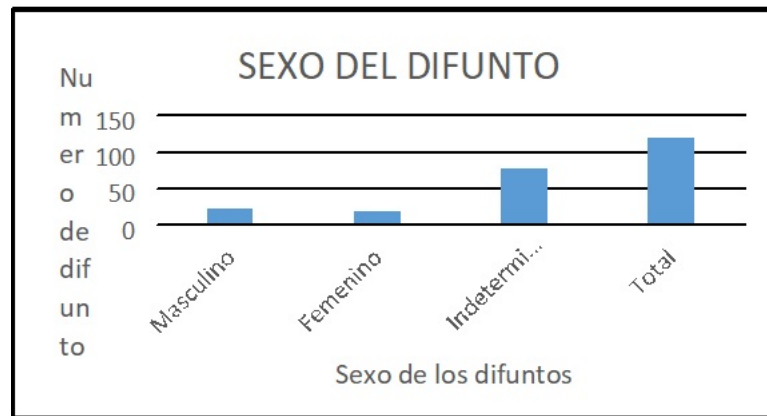


Figura 5: Indicador sexo del difunto.

4 Ofrendas que acompañan al muerto

Se trata de los objetos materiales que las personas depositan en la tumba del fallecido, como un reconocimiento o para que le sea útil en su viaje al más allá u otro mundo. Son objetos materiales con valor e importancia para la persona cuando estaba viva. Al analizar los datos se observa que un total de 70 individuos (59 %) no tenían ofrendas o materiales que les acompañen; el resto de los individuos 49 en total para un 41 %; de este número de individuos con ofrendas 38 tenían entre 1 y 5 objetos, mientras que 11 tenían más de 5 objetos que acompaña a los restos del individuo, tratándose generalmente de objetos de arcilla tipo vasijas y en menos caso se trata de muestras de jade, bien como ofrendas o como parte de su mismo ajuar o vestimenta de uso cuando vivía. Ver Tabla 5, Figura 6. Igualmente la Figura 7 nos muestra un ejemplo de entierros con múltiples ofrendas referenciados del proyecto: Excavaciones en el Área Urbana de Copán. Estas ofrendas en cantidad y calidad demuestran la condición social y el poder que pudo haber tenido su ocupante.

Tabla 5: Indicador ofrendas que acompañan al difunto.

INDICADORES:	Total	%
Numero de ofrendas		
Entre 1 y 5	38	32
Más de 5	11	9
Ninguna	70	59
Total	119	100

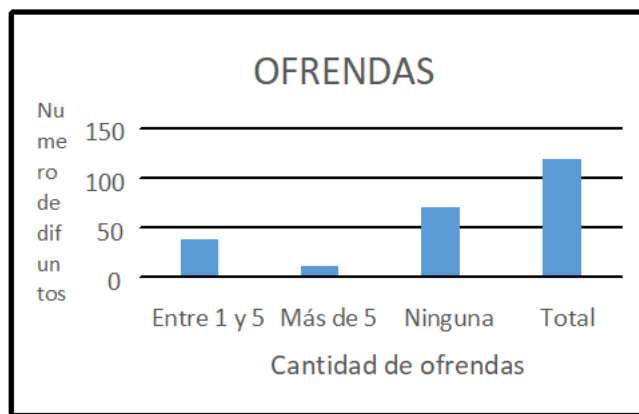


Figura 6: Indicador ofrendas que acompañan al difunto.

5 Posición del esqueleto

Esta variable hace referencia a la postura en la que se encontró el esqueleto depositado en el entierro. Debido a lo alterado que aparecen los restos de los individuos del 100 % de los casos analizados un 23.5 % no tienen determinada su posición (28 individuos). Un 60.5 % de los individuos estudiados aparecen en una posición de flexionados (72 en total) siendo esta posición flexionada la más recurrente del total de individuos analizados, siendo un total de 72 individuos los que aparecen sus restos depositados en esta posición (60.5 %). La siguiente posición con más frecuencia es la que el esqueleto del individuo aparece

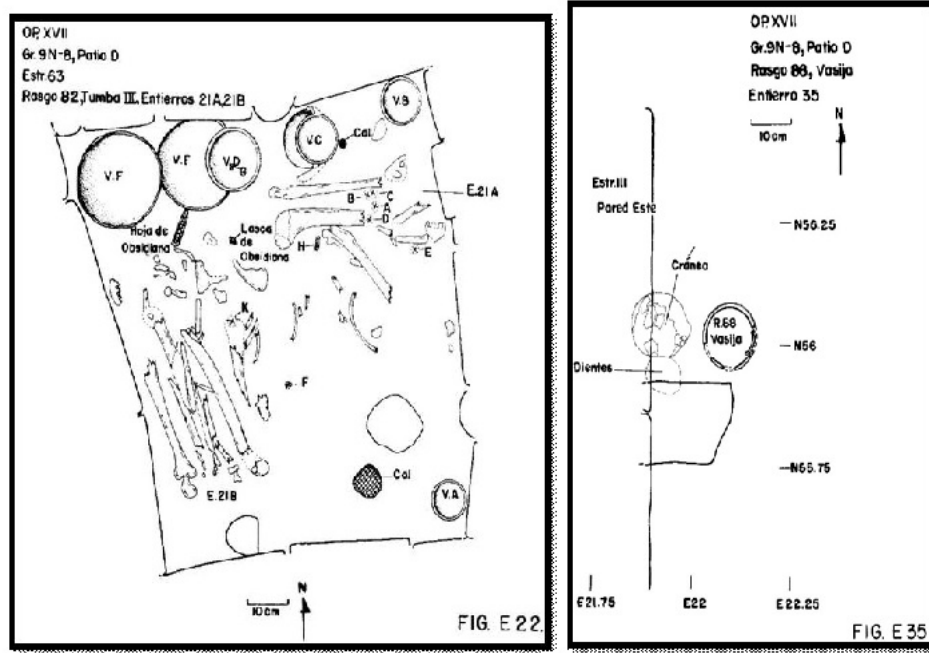


Figura 7: Ofrendas en dos entierros mayas en Copán (Sanders, 1990).

de forma extendida con un total de 16 individuos que representan el 13.4%. Con la menor frecuencia de los individuos analizados aparece la posición de sentada con únicamente 3 individuos que representan el 2.5%. Los datos de este indicador, es decir, la posición del esqueleto permite deducir una mayor tendencia, por lo menos en este sector de la sociedad Maya en la ciudad de Copan de enterrar a los individuos en posición de flexionados. Ver Tabla 6 y Figura 8. También se muestran ejemplos de estos entierros en la Figura 9.

Tabla 6: Indicador posición del esqueleto.

INDICADOR:	Total	%
Posición de esqueleto		
Extendida	16	13.3
Flexionada	72	60.5
Sentada	3	2.5
Indeterminada	28	23.5
Total	119	100

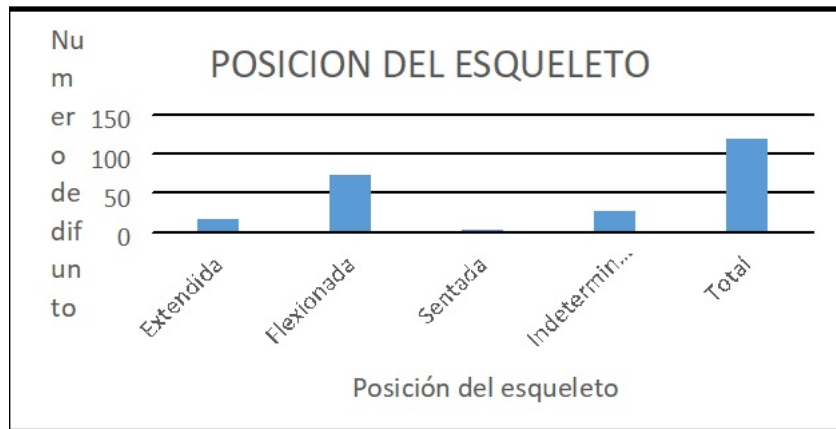


Figura 8: Indicador posición del esqueleto. Es mas notoria la posición del flexionado en relación con las demás descritas.

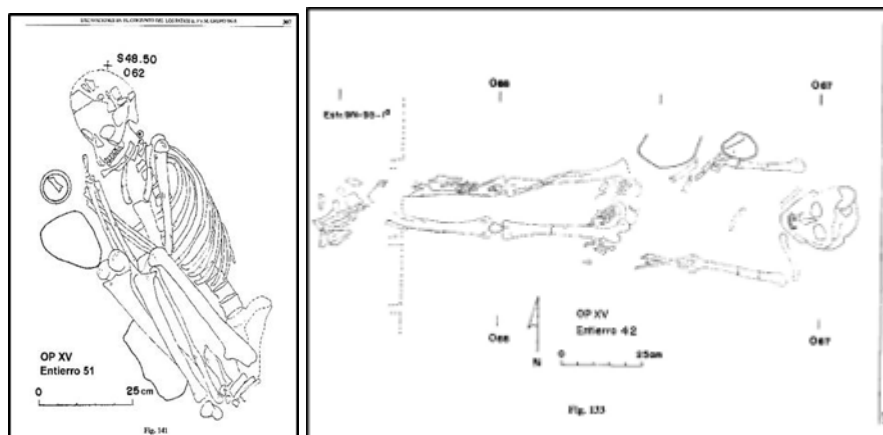


Figura 9: Posición del esqueleto en entierros flexionada y extendida respectivamente Sanders (2000)

6 Acimut del esqueleto

Esta variable trata la desviación del eje central del cuerpo del enterrado, con respecto al punto cardinal Norte de la tierra, tomado con relación a la línea de pies a cabeza, pasando por la columna del esqueleto. Se toma en consideración los dos datos de acimut del esqueleto, es decir los extremos de pies a cabeza, luego se mide la desviación del eje del cuerpo con respecto al Norte, se hace en medida angular y va de 0 grados en el norte hasta 360 grados pasando por los cuatro puntos cardinales. Al observar y analizar los datos tabulados del comportamiento de esta variable se puede ver una heterogeneidad en la desviación con respecto al Norte, dentro de esa heterogeneidad se puede destacar la mayor cantidad de entierros con una disposición del esqueleto o restos del difunto con orientación hacia el punto cardinal Este con 16 unidades que representan un 13,4%, luego aparecen hacia el Noreste 15 unidades que representan el 12.6%; luego con dirección hacia el Norte y hacia el Sur aparecen 12 unidades para cada orientación correspondiéndoles a cada una el 10% de los datos. Ver Tabla 7 y Gráfico 10.

La mayoría de los casos el acimut parece corresponder al seguimiento del movimiento aparente del sol y en menor cuantía con la posición de algún astro o punto de marcación ritual, ceremonial o territorial específico sin determinar como elementos importantes del cielo y paisaje de la época. Los mayas se interesaron en conocer los demás astros del cielo, registrarlos y estudiarlos. El Parque Arqueológico de Copán tiene en su interior varios templos, edificaciones, estelas e incluso entierros que los antiguos mayas que

Tabla 7: Indicador acimut del esqueleto.

Punto Cardinal	Total	%
Norte	12	10
Sur	12	10
Este	16	13.4
Oeste	9	7.5
NE	15	12.6
SE	10	8.4
NO	13	10.9
SO	8	6.7
Indeterminada	24	20.1
Total	119	100

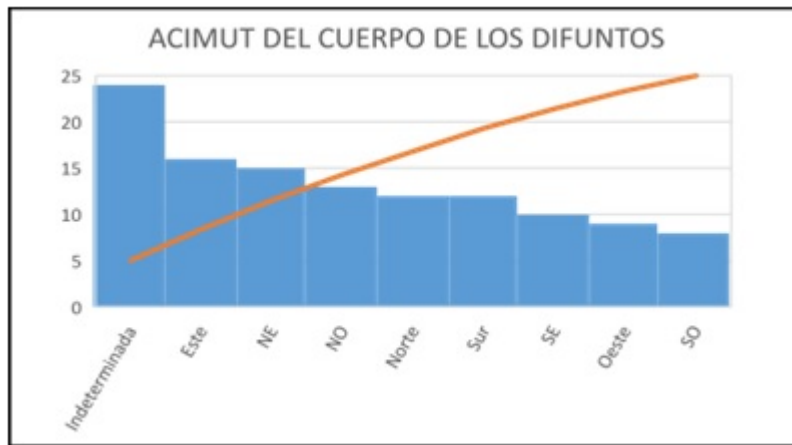


Figura 10: Indicador acimut del esqueleto. Elaboración propia(2019)

poblaron este sitio diseñaron y construyeron de manera alineada con la observación del cielo y los astros, con lo que se demuestra sus características arqueoastronómicas; principalmente vinculadas a la observación de la trayectoria del sol por la esfera celeste y a la aparición del planeta Venus (Pineda Montoya, 2013: 105). Según Aveni, los mayas conocían el movimiento de los astros con gran detalle, llegando hasta dejar registros extensos de los movimientos de Venus, la Luna y Marte en los códices (Rivera Gutiérrez, 2011: 44). En este sentido bien está demostrado que los mayas copanecos construyeron edificaciones, estelas, templos y juegos de pelota de manera puntual alineada con el movimiento aparente de los astros, también es cierto que estos alineamientos los hacían de forma conjunta; como así lo demuestra la disposición de las estructuras en los patios Este, Oeste y la Plaza de las Estelas. Considerando la disposición de las diferentes estructuras o monumentos arqueológicos del Parque Arqueológico de Copán, se demuestra que los mayas copanecos ordenaban el uso del espacio territorial, por lo menos en el sector del Grupo Principal; de acuerdo con las observaciones que hacían del cielo (Pineda Montoya, 2013: 105).

Según Zárate Montes (2010: 1038), los muertos pudieron ser orientados hacia el sol, dado su significado o buscando una dirección este-oeste. También pudieron utilizar la posición del sol para orientarse hacia el eje norte-sur. Comenta este autor que en la muestra de Tlatilco sólo 99 entierros se pudieron orientar. Sesenta entierros se orientaron sobre el eje este-oeste, entre los $65^{\circ}15'$ y $114^{\circ}45'$, y los $245^{\circ}15'$ y $294^{\circ}45'$. Con los pies al este y el cráneo al oeste, 32, y 28 con los pies al oeste y el cráneo al este (Zárate Montes,

2010: 1041). Agrega que diez entierros se orientaron sobre el eje norte-sur, entre los $155^{\circ}15'$ y $204^{\circ}45'$, y $335^{\circ}15'$ y $24^{\circ}45'$. Tres de ellos con los pies al norte y la cabeza al sur, siete con los pies al sur y la cabeza al norte. Veintinueve entierros se ubicaron fuera del ángulo de desviación de 49.5° , hacia cualquiera de los cuatro puntos cardinales (Zárate Montes, 2010: 1042).

7 Posible orientación astronómica del esqueleto

Esta variable trata de la ubicación del esqueleto del difunto, con su eje central en dirección a un punto cardinal o posición de un astro en el cielo u horizonte celeste. La cabeza del esqueleto del difunto está orientada posiblemente hacia la posición de un planeta, luna o incluso las salidas del sol para determinadas fechas del calendario anual. Las orientaciones norte-sur son las de mayor frecuencia con 37 unidades que representan el 31 % de los casos analizados; luego la orientación Este - Oeste presenta 30 unidades que representan el 25.2 %; luego aparece la orientación Sur-Norte con 11 unidades que representan el 9.2 %; con frecuencias inferiores aparecen otras orientaciones con 5 o menos unidades de entierros que les corresponden menos del 5 %. La mayoría de las orientaciones de los restos en los entierros aparecen alineados con el eje Norte – Sur, cuestión que podría permitir pensar que los restos del difunto se disponían con la posibilidad de que en la otra vida, el difunto pudiera estar pendiente o poder observar la salida o la puesta del sol, o sea viendo (orientación de la cabeza del difunto) hacia el Este o al Oeste, puntos cardinales sobre los que se produce la variación o desplazamiento de las salidas y las puestas del sol, fenómeno que tiene como extremos de salida las fechas de equinoccio de primavera (en torno al 20-22 de marzo) y solsticio de verano (en torno al 20- 22 de junio). Ver Tabla 8, Figura 11 y Figura 12. Igualmente significativos el equinoccio de otoño (20-22 de septiembre) y (20-22 de diciembre) para el solsticio de invierno. En cuanto a las demás frecuencias la orientación Este-Oeste 25.2 %; igualmente está relacionada con el movimiento aparente del sol y posición de astros celestes. Rituales y celebraciones calendáricas en relación con periodos de siembra y cosecha. Por último, aparecen la orientación Sur-Norte, 9.2 %; igualmente en relación con la posición de astros celestes en el cielo nocturno y con frecuencias inferiores aparecen otras orientaciones con menos del 5 % con variaciones de posible índole astronómica a algún astro u objetos de marcación terrestre.

Tabla 8: Indicador orientación del esqueleto.

Orientación cardinal	Numero de esqueletos	%
N - S	37	31
S - N	11	9.2
E - O	30	25.2
O - E	9	7.5
NE - SO	3	2.5
NO - SE	3	2.5
SE -NO	5	4.2
SO - NE	2	1.6
Indeterminada	19	15.9
Total	119	100

En cuanto a la diversidad de orientaciones encontradas en el estudio presente, se comenta que para los mayas copanecos los alineamientos de sus construcciones estaban relacionadas con la observación de los

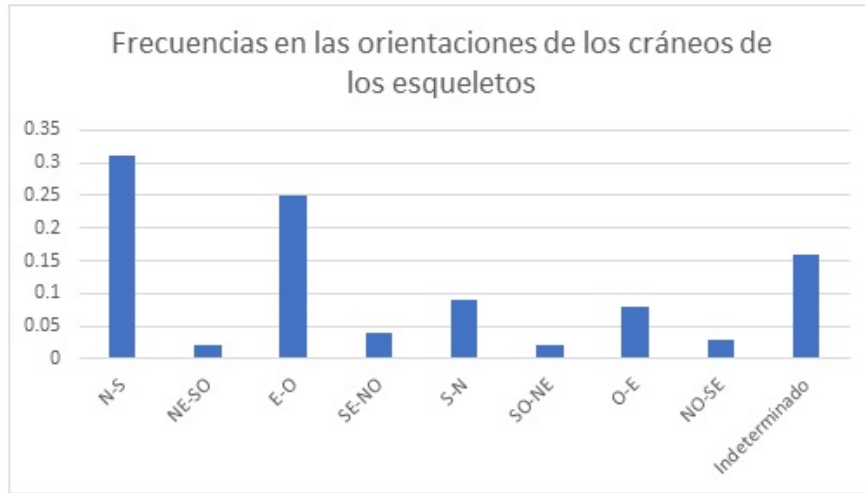


Figura 11: Indicador orientación del esqueleto.

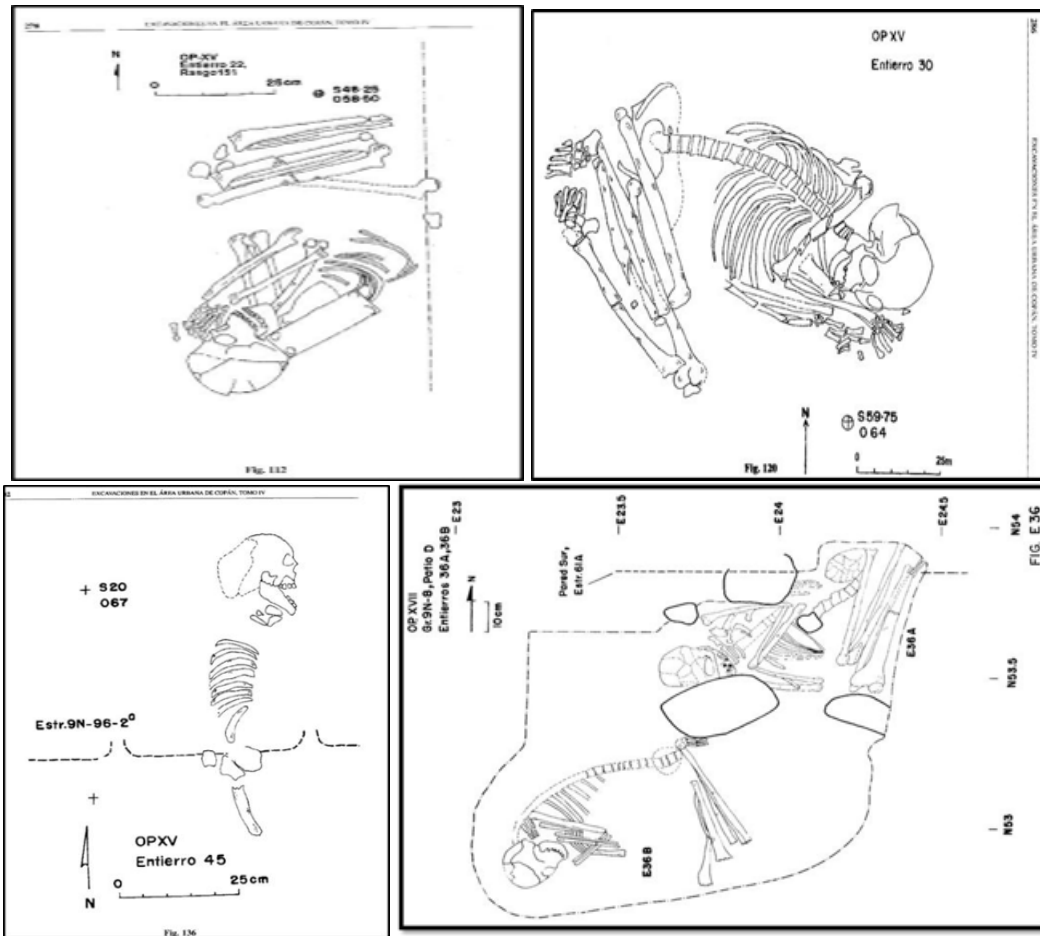


Figura 12: Variación de Orientación de los cráneos hacia determinado horizonte geográfico en cuatro entierros mayas en Copan. El norte aparece indicado por las flechas que acompañan escala en imágenes (Sanders, 1990; Sanders, 2000).

astros, principalmente con la salida y la puesta del sol, esto se concebía como una tradición de gran importancia para la elite gobernante, pues de esta forma podían predecir eventos de gran trascendencia tanto para la vida presente como para el destino de los seres humanos después de morir (Pineda Montoya, 2013: 105). Zárate Montes (2010: 1038), agrega que los grupos prehispánicos pretendieron orientar a sus muertos hacia alguno de los cuatro puntos cardinales, norte, sur, este, oeste, sin embargo, su orientación no fue precisa dado que utilizaron al sol como elemento de orientación, lo que ocasionó una diversidad de orientaciones debido a que el sol presenta diferentes posiciones sobre la bóveda terrestre en su movimiento durante el día y a lo largo del año. Este mismo autor menciona en cuanto a su investigación, que los resultados hacen patente una preferencia de orientación sobre el eje este-este con un 60.6 % y sólo 10.1 % sobre el eje norte-sur. De tal manera que un 70.7 % de la muestra se relaciona directamente con el ángulo de 49.5° de desplazamiento del sol durante el año trópico. El 29.2 % parece no tener relación con este movimiento, sin embargo, su orientación podría estar relacionada con las distintas posiciones que el sol ocupa durante el día, ocasionadas por su inclinación hacia el sur (Zárate Montes, 2010: 1042).

Se propone que utilizaron al sol como parámetro de orientación, ya que fue uno de los elementos principales dentro de su cosmovisión, determinó la concepción del tiempo y del espacio; aunque no fue el único cuerpo celeste conocido y observado por estos grupos, fue el más importante. También determinó la orientación de los principales edificios cívico-ceremoniales de Mesoamérica, los cuales “se encuentran dentro del ángulo de desplazamiento anual del Sol”, “lo que significa que las orientaciones han de referirse mayormente a determinadas fechas del año trópico señaladas por las posiciones correspondientes del Sol en el horizonte” (Sprajc), en Zárate Montes (2010: 1038). El sol y la luna, como dioses y astros más brillantes en el cielo marcaron las observaciones astronómicas de los mayas y sus representaciones en monumentos y alineamientos son las más evidentes. Según Thompson el Sol y la Luna eran elementos importantes de la cosmogonía maya. Se han estudiado las diversas formas que los grupos culturales de la región mesoamericana han relacionado al Sol y a la Luna, como padre y madre, como abuelo y abuela, madre e hija, como esposos (Rivera Gutiérrez, 2011: 47). Pineda agrega que la continua y segura salida y puesta del sol, la vista de la luna en sus diferentes fases, son evidencias de un orden natural, digno de ser imitado socialmente. Frecuentemente la salida del sol se asociaba al retorno a la vida y su puesta a la muerte, de ahí que crearan su propia cosmovisión del mundo (Pineda Montoya, 2013: 80). Según este autor y basándose en lo planteado por Girard (1962), en la mitología maya, los muertos emprenden el camino de las estrellas para acompañar al sol; quien devuelve la vida todos los días a los que viven en el mundo presente, al hacer su aparición por el Este; de ahí que cuando enterraban a una persona la colocaban con el rostro viendo hacia el Este o sea a la vida, y la espalda al Oeste o sea a la muerte. Pineda Montoya (2013: 104) agrega que con el ritual de la ubicación del cuerpo de los muertos en su entierro, los mayas plantean la importancia que tenía la salida y la puesta del sol, pues con esta posición el difunto pasaba a formar parte del cortejo solar, aclarando de esta forma el destino del ser humano después de morir; el cual es de incorporarse a las estrellas y convertirse en un compañero del sol (Pineda Montoya, 2013: 105).

8 Conclusiones

En esta investigación se analizó un total de 119 entierros mayas que se encuentran en el Área Urbana del reino Maya de Copan, por lo tanto, se trata de un sector de la población que mantenía una relación cercana a la elite política que dominaba Copan, de ahí que se puede decir que se trata de entierros de población de clase social media durante el periodo Clásico Tardío al Clásico Terminal (700 a 1000 d.C.), por lo que el ritual mortuorio en los casos analizados en esta investigación podrían estar relacionados con los propios de la casta gobernante.

Considerando la variable del tipo de entierro, se encontró que el 82 % de las unidades estudiadas son de tipo primario, es decir que se trata de un entierro con una cavidad estructurada con paredes de piedra debidamente colocada para proteger el cuerpo del difunto y sus pertenencias como ofrendas y objetos propios de su vestimenta, de ahí que se trate de entierros de población, posiblemente con un estatus social de clase media de la época del clásico terminal al clásico tardío en el reino Maya de Copan.

El análisis de los datos de la variable de edad de los difuntos que aparecen en los entierros estudiados se observa que los porcentajes más altos de mortalidad aparecen en los grupos de edad de 0 a 10 años con un 36 % del total de individuos, lo que permite deducir que se trata de una población con una importante mortalidad infantil, luego los datos arrojan información de otros grupos de edad en los que se incluyen tres intervalos de quinquenios incluidos en las edades de 20 a 35 años con un 38 % de los individuos enterrados; siendo entonces niños y adultos jóvenes los entierros más representativos de este grupo de población.

al género de los individuos que aparecen en los entierros estudiados se destaca que, debido al estado de deterioro de los restos óseos, a un 65 % no se les determinó su género. En el resto de los individuos hay predominancia del sexo masculino con un 19.3 % comparado con el género femenino que aporta un 16 % de los casos aquí estudiados, lo que hace suponer que la mortalidad afectó más a los adultos jóvenes del género masculino.

Considerando la presencia de objetos de ofrenda u otros propios del difunto, dentro del entierro, acompañando los restos óseos, detalle practicado en la civilización Maya como un reconocimiento o como elementos de utilidad para hacer menos penoso su transitar en la siguiente vida; en todo caso se trata de objetos materiales con un alto valor e importancia para la persona cuando estaba viva. La presencia o no de ofrendas en un entierro, su calidad y cantidad es una muestra de la importancia social o política que tenía en vida el difunto; en este grupo de población la mayoría de los entierros analizados (59 %) no tienen ofrendas u objetos que acompañan los restos del difunto; el 32 % de los casos contienen entre 1 y 5 objetos, luego solo el 9 % tienen más de 5 objetos. Este indicador permite deducir que no se trata del grupo elite de la dinastía real gobernante, sino de un grupo social próximo a esta, que reconocía la importancia de las ofrendas en los entierros, para uso del interesado en el camino hacia la otra vida.

El indicador de la posición de los esqueletos contenidos en los entierros analizados, no muestra un patrón único y contundente de orientación de los restos de los difuntos, pero si se destaca la frecuencia del 31 % en los casos con un alineamiento Norte – Sur, y en segundo puesto aparece el eje de alineamiento Este – Oeste con 25.2 % del total de los entierros analizados; lo que permite pensar en una posible relación de la orientación de los restos de los difuntos con la salida y puesta diaria del sol y/o con la observación de los movimientos aparentes del sol como equinoccios y solsticios.

Considerando la variable de desviación del eje central del cuerpo del difunto (acimut) con respecto al punto cardinal Norte, los datos analizados presentan el siguiente comportamiento, en un 20 % de los casos no se pudo determinar su acimut o desviación debido al deterioro de los restos del difunto, el resto de los datos presentan una dispersión importante en la que con poca diferencia se distancian del resto los restos desviados hacia el Este (13.5 %), hacia el Noreste (12.6 %) y hacia el Noroeste (10.9 %) y hacia el Norte y el Sur con un 10 % en cada caso, siendo estas las desviaciones más frecuentes con respecto al punto cardinal Norte. Si bien es cierto que los datos reflejan una gran dispersión en esta variable, también se puede decir que en las desviaciones con mayor frecuencia es fácil que el rostro del difunto se oriente hacia el horizonte de salida y puestas del sol.

En el análisis de los datos de la variable de posible orientación astronómica del esqueleto, se observó que la mayoría de los esqueletos aparecen orientados con un eje Norte-Sur (31 %), con un eje Este-Oeste (25.2 %)

siendo en estos dos casos la mayor frecuencia de los datos es decir un 56.2%; en ambos casos se podría suponer que se trata de la ubicación de los esqueletos o restos de los difuntos de tal forma que posibiliten la observación continua de la salida y/o puestas del sol durante el ciclo anual. Se puede considerar que el tipo de tumba, los materiales usados, las ofrendas encontradas y su cantidad son indicadores de una diferenciación social, que conceden un estatus o importancia al individuo aún más allá de la muerte; y dentro de esa importancia se puede considerar la ubicación de sus restos con una orientación de tal forma que le permita en el camino hacia la otra vida, observar a los astros para que le sirvan de guía en su camino hacia el xibalba (inframundo) y hacia el Itzamna (supramundo).

Una mirada regional a este tipo de estudios permitirá tener datos más amplios y mayor cantidad de muestras a considerar. En esta dirección las ciudades más importantes del periodo clásico maya podrán mostrarnos más evidencias de este tipo de patrones rituales mortuorios de la grandiosa Civilización Maya.

Se recomienda una segunda fase del proyecto ampliando investigación de campo y bibliográfica con registros más actuales de investigaciones recientes, mayor número de muestras y mayor profundidad en el análisis de datos relacionando la edad, el género y otras, agregando el cruce con los acimut y orientaciones para ver si hay alguna relación relevante. Se considera esta investigación una primera aproximación para el desarrollo de más estudios en este campo.

9 Referencias

Asociación Copán (2013). *Sitio Maya de Copán Plan de Manejo 2014*.

Bajkova, V. (2015). El ajuar funerario de los gobernantes del Clásico como expresión del cosmos en el universo maya. *Estudios de Cultura Maya*, 46.

Chase, D. y Chase, A. F. (2004). Patrones de enterramiento y ciclos residenciales en caracol, belice. En Cobos, R., (Ed.), *Culto funerario en la sociedad maya: Memoria de la Cuarta Mesa Redonda de Palenque*, pp. 203–230. Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Fash, W. L. y Fash, B. (2006). Ritos de fundación en una ciudad pluri-étnica: cuevas y lugares sagrados lejanos en la reivindicación del pasado en Copán. En Iglesias Ponce de León, M. J., Valencia Rivera, R., y Ciudad Ruiz, A., (Eds.), *Nuevas ciudades y nuevas patrias. Fundación y relocalización de ciudades en Mesoamérica y el Mediterráneo antiguo*, pp. 105–129. Madrid: Publicaciones de la Sociedad Española de Estudios Mayas.

Girard, R. (1962). *Los mayas eternos*. México: Mex Editores.

Ichikawa, A. y Morita, W. (2011). Estudio del patrón funerario en el Sureste Maya a través de la arqueología y antropología física. En Arroyo, B., Paiz, L., Linares, A., y Arroyave, A., (Eds.), *Proceedings del Simposio de Investigaciones Arqueológicas de Guatemala No.24*, pp. 681–696. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología. Disponible en: <http://www.asociaciontikal.com/simposio-24-ano-2010/55-ichikawa-y-morita-doc/>.

Márquez Morfín, L. y Hernández Espinoza, P. (2013). Los mayas del clásico tardío y terminal. Una propuesta acerca de la dinámica demográfica de algunos grupos mayas prehispánicos: Jaina, Palenque y Copán. *Estudios de Cultura Maya*, 42(1):53–86.

Pineda Montoya, M. A. (2013). Identificación de características arqueoastronómicas en el Parque Arqueológico de Copán Ruinas. *Revista Ciencias Espaciales*, 6(1).

- Pérez de Heredia, E., Euan Canul, G., Pérez Ruiz, F., Osorio, J., y Arias, J. (1999). Un patrón de entierros infantiles en vasijas durante la transición del Clásico tardío al Terminal en Chichen Itzá, Yucatán, México. Technical report. Consultado el 15 de junio del 2022 en http://www.famsi.org/reports/03101es/85perez_de_heredia/85perez_de_heredia.pdf.
- Quintanilla González, C. (2013). *Estudio y análisis de los enterramientos humanos del Sitio Arqueológico Cancuen*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rivera Gutiérrez, N. (2011). Caracterización del cielo de Copán del 400 al 900 d.C. *Revista Ciencias Espaciales*, 4(2).
- Sanders, W. (1986). *Excavaciones en el Área Urbana de Copán*, volumen I. Tegucigalpa: Secretaría de Cultura y Turismo.
- Sanders, W. (1990). *Excavaciones en el Área Urbana de Copán*, volumen III. Tegucigalpa: Secretaría de Cultura y Turismo.
- Sanders, W. T. (2000). *Excavaciones en el Área Urbana de Copán*, volumen IV. Tegucigalpa: Secretaría de Cultura y turismo.
- Sharer, R. (2007). *La Civilización Maya*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Ubelaker, D. (2007). *Enterramientos humanos: excavación, análisis, interpretación*. Donostia: Sociedad de Ciencias Aranzadi.
- Vásquez de Agredos Pascual, M. L. (2009). El color y lo funerario entre los mayas de ayer y hoy: ritual, magia y cotidianeidad. *Península*, 4(1):61 – 73.
- Zárate Montes, P. (2010). Análisis de la orientación de los entierros de Tlatilco, Estado de México y Santa María Texcalac, Tlaxcala. *Estudios de Antropología Biológica*, 12(2).

EL CHIBIL KIN BAJO UNA PERSPECTIVA ANTROPOLÓGICA. LAS DINÁMICAS DE DEPREDACIÓN Y DEVORACIÓN EN LOS ECLIPSES MAYAS

Daniel Grecco Pacheco^{1,*}

¹Posgrado en Arqueología, Escuela Nacional de Antropología e Historia
Instituto Nacional de Antropología e Historia, México

Recibido: 15/agosto/2023

Aceptado: 9/noviembre/2023

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.17069>

RESUMEN

Este artículo discutirá el acto de devoración de los astros celestes ocurrido durante los eclipses entre los mayas de diferentes temporalidades. Serán enfocados y analizados los diferentes agentes protagonistas en estos actos de devoración, y desde una perspectiva de teorías antropológicas recientes sobre la depredación, el canibalismo y la devoración en diferentes partes de Abya Yala, incluida el área mesoamericana, realizaré una reflexión sobre el acto de devorar el Sol y la Luna. A partir de algunas cuestiones como: ¿Cuál serían las implicaciones ontológicas de este momento? ¿Cuál es el papel de los agentes no-humanos y la implicación que les causaría el acto de devorar el Sol o la Luna? Con esto, esta investigación presenta un primer acercamiento a este tema, a fin de contribuir para un mayor entendimiento sobre los eclipses en diferentes momentos de las historias de los pueblos mayas.

Palabras clave: eclipses, mayas, devoración.

ABSTRACT

This article will discuss the act of devouring the celestial objects that occurred during eclipses among the Maya of different temporalities. The different leading agents in these acts of devouring will be focused and analyzed, and from the perspective of recent anthropological theories about predation, cannibalism and devouring in different parts of Abya Yala, including the Mesoamerican area, I will reflect on the act of devour the Sun and the Moon. Based on some questions such as: What would be the ontological implications of this moment? What is the role of non-human agents and the implication that the act of devouring the Sun or the Moon would cause them? With this, this research presents a first approach to this topic, in order to contribute to a better understanding of eclipses at different times in the histories of the Maya peoples.

Keywords: eclipses, maya, devouring.

*daniel_gpacheco@yahoo.com.br  <https://orcid.org/0000-0001-5184-675X>

1 Introducción

O eclipse é um macro-fenômeno que coloca entre colchetes o dia a dia, instaurando um outro espaço-tempo em que as fronteiras entre os seres tornam-se permeáveis e as espécies naturais passam umas nas outras: o tatu vira arraia, os peixes viram cobra e assim por diante. Por isso, na escuridão, os antigos diziam para correr, para ir-se [...] se os itseke os encontrassem, morreriam [...] pois todos os itseke passeiam durante o eclipse^{1,2} (Fausto, 2012: 69)

Un momento de suspensión del tiempo, de la rutina diaria, de las actividades, de los seres. Un evento peligroso que impone miedo e incertidumbre, que puede causar problemas físicos y hasta llevar a una destrucción total de la humanidad. Un eclipse siempre es la interrupción de la regularidad celeste, y, por lo tanto, para muchas culturas, está vinculado a catástrofes naturales, epidemias, desgracias físicas en las personas, fenómenos atribuidos a un negativismo.

En diferentes culturas en distintas partes del mundo los eclipses son percibidos como momentos de miedo, de riesgos para todos los miembros de estas comunidades. Según Claude Lévi-Strauss, los eclipses representan una ruptura en una cadena de relaciones presente en un orden regular (Lévi-Strauss, 2021: 376). Para este autor, el charivari, la confusión, los gritos por ocasión de los eclipses tenían como objetivo asustar y hacer huir el animal, o el monstruo que se preparaba para comer los astros. Algo presente en comunidades de varias partes del mundo, como, China, India, África, Perú, y México.

Ya según Carlos Fausto, la asociación entre el eclipse, el acto de devorar y las enfermedades, así como las prácticas para evitarlas, son tan recurrentes y tan difundidas, que parecen ser una verdadera proto-idea humana, cuya resiliencia desafía el relativismo de las antropólogas y los antropólogos (Fausto, 2012: 65). En algunas culturas actuales de las tierras bajas sudamericanas están presentes narrativas de seres que actúan devorando los dos astros celestes durante los eclipses. En la Alta Amazonia, entre los Tikuna, Orión, asociada al clan jaguar, es la estrella devoradora de los astros (Nimuendajú, apud Lévi-Strauss, 1968: 71). Ya durante el período colonial, según Claude d'Abbeville, un misionero capuchino francés, los tupinambá de la isla do Maranhão, Brasil, decían jaguar a una estrella que perseguía a la Luna para devorarla. Cuando la Luna llena nacía roja los Tupinambá hacían un gran alboroto, temiendo que se la comiera el jaguar y que las enfermedades se extendieran por la tierra (Fausto, 2012: 64).

Entre diferentes pueblos mayas contemporáneos y de diferentes momentos de la historia están presentes estos mismos momentos de miedo e incertidumbre causados por problemas enfrentados por el Sol y la Luna. El riesgo que el orden cósmica y social sea roto y resulte en un final del mundo y de los seres. Todos estos estados de tensión reflejan algunas de las percepciones de los diferentes pueblos mayas en relación a los eclipses. En las ontologías mayas, así como en otras de Abya Yala³, el Sol y la Luna ejercen una gran

¹Este artículo es parte del dossier resultado de la mesa Los ciclos calendáricos y los eclipses en la cultura maya, realizada en el XII Congreso Internacional de Mayistas, organizado por el Centro de Estudios Mayas, de la Universidad Nacional Autónoma de México, en junio de 2023.

²El eclipse es un macrofenómeno que pone entre paréntesis la vida cotidiana, estableciendo otro espacio-tiempo en el que las fronteras entre los seres se vuelven permeables y las especies naturales pasan unas a otras: el armadillo se convierte en mantarraya, el pez en serpiente, etc. Por eso, en la oscuridad, los antiguos decían que corrieran, que fueran [...] si los Itseke los encontraban, morirían [...] porque todos los Itseke caminan durante el eclipse. (Traducido por el autor).

³Abya Yala es una palabra que proviene del idioma guna, del pueblo Guna, ubicado en la región caribeña en Panamá y tiene el significado de "Tierra madura", "Tierra Viva", "Tierra de Sangre", siendo sinónimo de América y la forma como estos pueblos tratan este territorio (Keme, 2021: 25). Aunque cada uno de los diversos pueblos originarios que habitan el continente tenga diferentes nombres para designar el lugar donde viven o vivieron, el término Abya Yala es utilizado cada vez más como un sentimiento de unidad y pertenencia, pasando a ser parte de un proyecto indígena propio creado para elaborar sus propias propuestas civilizatorias (Del Valle Escalante, 2015: 16).

influencia e importancia sobre la vida en la tierra, cosmos y de los diferentes seres, adquiriendo papeles protagonistas en las rutinas cotidianas y prácticas religiosas.

La alineación de los dos astros celestes causada por el fenómeno del eclipse siempre ha resultado un constante estado de incertidumbre. Durante el período Posclásico (900-1525 EC) aparecen registros de otra percepción sobre este evento; mordidas o intentos de comer al Sol y la Luna conducidos por agentes animales o seres no-humanos. Algo presente también durante el período colonial y en la contemporaneidad en diferentes comunidades mayas. Este estado de temor a los eclipses entre los mayas fue discutido anteriormente por Martha Iliá Nájera Coronado, quien afirma que:

Imagínese la zozobra del hombre indígena al ver apagarse en pleno día al maravilloso astro solar del cual depende la vida sobre la tierra, el calor y la luz, el Sol que lucha contra las tinieblas nocturnas enemigas de la vida humana; el temor que surge al observar una penumbra inesperada, el descenso brusco de la temperatura, las parvadas de pájaros buscando sus nidos, el chillar de los grillos, el despertar de los murciélagos, el centelleo de las luciérnagas y el desconcierto general en toda la naturaleza; se vive una atmósfera irreal. O bien observar cómo desaparece Nuestra Madre la Luna, la luz nocturna, protectora de las aguas, la que brinda la energía fecundante, la fertilidad y protege el nacimiento. Los eclipses marcan una desaparición, una ocultación accidental de la luz, por ello se consideran dramáticos y peligrosos (Nájera Coronado, 1995: 319).

En este artículo será enfocado un evento específico presente en las percepciones sobre los eclipses; las narrativas que dan cuenta de actos de depredación y devoración del Sol y de la Luna durante estos momentos. A partir de una reflexión generada por discusiones en la antropología de otros contextos de Abya Yala, presentaré un primer acercamiento a este tema, al pensar; ¿Qué tipo de relaciones los agentes de los eclipses mayas mantenían con el Sol y la Luna al devorarlos?, o aún, si ¿es posible pensar el acto de devoración presente en los eclipses mayas como una manera de canibalismo, o como un acto de depredación?

Reflexiones sobre estas cuestiones irán estructurando el estudio presente en este artículo para buscar un mayor entendimiento sobre la devoración del Sol y de la Luna entre los mayas en diferentes temporalidades de sus historias. Además, este estudio busca colaborar con lo que (Iwaniszewski, 2021a: 152) afirma ser una de las principales funciones de la astronomía cultural; la de investigar como los humanos perciben y seleccionan ciertas cualidades y actuaciones de los astros celestes a fin de crear diferentes tipos de relaciones tejidas en un enmarañado, con la presencia de seres humanos y no-humanos. Algo que orienta y articula diferentes aspectos de las vidas sociales.

2 La depredación y el canibalismo desde la antropología amerindia

A partir de mi propuesta de entender a los eclipses mayas en términos de la depredación, conecto estas ideas a las reflexiones sobre los conceptos de depredación y antropofagia presentes en la antropología amerindia en las últimas décadas. Estudios que pasaron a pensar en tales prácticas como reglas de funcionamiento sociales, así como elementos importantes en la constitución de los seres y las personas. Pensadas dentro de una cadena de fenómenos sociales, la depredación y la antropofagia pasaron a ser pensadas como cuestiones fundamentales en la construcción de relaciones con las alteridades, con el otro, con el enemigo. Relaciones intrínsecas entre seres de diferentes orígenes y naturalezas.

Influenciadas también por las discusiones sobre el cuerpo y la formación de la persona, recuperadas por la antropología a partir de finales de los años 1990 (Gell, 1998; Strathern, 2006; Wagner, 2011), estas nuevas

propuestas para pensar la depredación y la antropofagia en las tierras bajas de América del Sur, poco a poco fueron se expandiendo a los estudios sobre estos temas en otras partes de Abya Yala.

Según Eduardo Viveiros de Castro, el canibalismo amazónico busca, sobre todo, incorporar el aspecto subjetivo del enemigo, que pasa a ser hiper-subjetivado (Viveiros de Castro, 2002: 392). Sería la máxima socialización de la violencia. Con eso, en estas sociedades, la enemistad, es tratada como una relación social tan definida como cualquier otra, una relación de alteridad, en la cual el matador adquiere, por medio del homicidio, un aspecto de la identidad de su víctima. Hay un punto de fusión y una dependencia recíproca entre depredador y presa, asesino y víctima, en la cual las dos partes distintas se convierten en una diferencia intensiva, inmanente a una singularidad dividida, según las palabras de Viveiros de Castro (2002: 293). Con eso, la relación de depredación se constituye en un modo de subjetivación, una reafirmación de la diferencia, que lleva a una reafirmación del “yo”. Una construcción identitaria que necesita de la presencia del otro, de un enemigo, de la alteridad que opera en la transformación del propio “yo”.

Todo eso se constituye como una poética de la alteridad, según Viveiros de Castro, una interiorización del otro, que es inseparable de la exteriorización del “yo”, a partir de una asimilación de los signos de la alteridad de la víctima (Viveiros de Castro, 2002: 290). Así, lo que se busca es la construcción de esta alteridad como un punto de vista o perspectiva sobre el “yo”, una relación, en la cual, lo que se devora del enemigo es su relación al grupo agresor, una ocupación del punto de vista del enemigo.

Esta lógica transformadora presente en las sociedades indígenas de Abya Yala, trata el enmarañamiento con la alteridad como un proceso fluido y transformativo de “volverse otro”, como algo que caracteriza las bases de estas ontologías. Con todo eso, se crea una naturaleza ambivalente del devenir otro, a partir de la necesidad de la presencia de la alteridad (González Gálvez *et al.*, 2022: 9). Un proceso también necesario para la reproducción misma del cosmos y de la vida. Algo que discutiré más adelante para pensar la incorporación de la alteridad en actos de depredación durante los eclipses mayas como un elemento necesario para la reproducción y manutención del cosmos durante momentos de incertidumbre.

Conectando estas ideas al contexto mesoamericano, Stan Declercq identifica una lógica semejante en algunas prácticas sociales en la Mesoamérica; una dinámica cosmológica de depredación (Declercq, 2023). La tradición mesoamericana es marcada por un mundo animado y depredador que se extiende a humanos y a no-humanos, paisajes, astros y objetos todos con la capacidad de devorar (Declercq, 2023: 28). Esta idea ya había sido discutida anteriormente por David Carrasco (Carrasco, 1995) que afirma la existencia de un mundo caníbal mesoamericano. Al analizar específicamente el caso mexica, Carrasco identifica una religión de consumo por parte de este grupo, formada por un mundo en el cual dioses mexicas, eran presentados como seres hambrientos que necesitaban ser alimentados por los humanos, a través del sacrificio. Además, esta lógica también puede ser extendida al paisaje mesoamericano que presenta capacidades de morder, con la tierra siendo una entidad hambrienta. Para Carrasco, la devoración estaría relacionada a una idea de recomposición, de un poder cosmológico regenerativo, generando una dinámica de consumo que tenía el objetivo de adquirir un poder cosmomágico.

Ya Stan Declercq amplía y problematiza un poco las ideas iniciales de Carrasco, enfocándose en el carácter relacional de la antropofagia y del acto de devoración presente en Mesoamérica, específicamente entre los mexicas. Según este investigador, el canibalismo puede ser entendido como una forma de crear relaciones, de conectar a dos mundos, presente en una dinámica del consumo considerada como una multitud de canibalismos que fungen como vehículos de las fronteras cósmicas (Declercq, 2023: 31).

Al estudiar las guerras floridas mexicas, *xochiyaoyotl*, Declercq afirma que el enemigo, al ser clasificado como un ser menos humano, participaba en la fabricación de un parentesco cosmopolítico, como una forma de depredación recíproca entre vecinos emparentados con el fin de integrar al enemigo en la comunidad propia (Declercq, 2020: 99). Todo eso se daba a partir de prácticas de un canibalismo que implicaba metamorfosis y un proceso de convertirse en ese otro.

Estas ideas de la presencia de los enemigos para la conformación de la identidad mexicana también son corroboradas por Guilhem Olivier, que discute la presencia de estos como una parte esencial no solamente de la conformación de la identidad mexicana, sino también la de sus dioses tutelares (Olivier, 2015).

Por fin, es necesario recalcar la presencia de actividades de cacería, depredación y captura en relación a las entidades anímicas mesoamericanas, tal como fue discutido por Declercq e Iwaniszewski (Declercq, 2019; Iwaniszewski, 2021a). Algo que también está presente en la actualidad entre diferentes pueblos mesoamericanos, con las presencias de espíritus y potencias que atacan las personas y otros seres bajo la forma de enfermedades y se apoderan y capturan las almas o las entidades anímicas. En la parte final de este estudio iré conectando estas ideas con mi propuesta de interpretación sobre los agentes de los eclipses mayas.

3 Los eclipses entre los mayas en diferentes temporalidades

El tema de los eclipses entre los mayas ha sido trabajado por diferentes investigadores e investigadoras (Teepie, 1931; Thompson, 1935; Closs, 1989; Pincemin, 1992; Davoust, 1994; Nájera Coronado, 1995; Milbrath, 1999; Prager, 2006; Bricker y Bricker, 2011; Vail y Hernández, 2013; Justeson, 2017; Love, 2018; Milbrath, 2020; Iwaniszewski, 2020, 2021a,c, 2022) que buscaron comprender sus mecanismos de observación, uso social, representación gráfica y epigráfica, además de sus cambios a lo largo de la historia. Entre todos estos diferentes temas, lo que discutiré en este estudio son los actos de depredación sufridos por los dos astros celestes, el Sol y la Luna, durante los eclipses, algo que según Susan Milbrath (1999: 113), y Jaime Echeverría García (2014), estaba presente en muchas de las narrativas de los pueblos mesoamericanos sobre estos fenómenos.

Antes de ingresarnos en esta discusión de una manera más detallada quisiera presentar una inquietud que fue parte de mis investigaciones sobre los eclipses. Si es posible encontrar informaciones detalladas sobre la previsión de la ocurrencia de estos fenómenos celestes, como las que están en las tablas del Códice de Dresde del período Posclásico Temprano (900/1000-1250 E.C.), ¿por qué estaba presente el miedo, y la preocupación de que el Sol y la Luna pudieran ser comidos y desaparecer, dejando un caos en el mundo y en el cosmos? Stanislaw Iwaniszewski sugiere la existencia de una diferenciación de entendimiento de los eclipses por parte de la gente común, que entendía este momento como un acto de depredación en contra los astros celestes, en contrapartida que las elites, podrían predecir y esperar la desaparición de estos astros (comunicación personal). Algo que también fue discutido por Martha Ilía Nájera Coronado (1995). Esta hipótesis explicaría la diferencia de reacción por parte de los dos grupos sociales distintos en relación a los eclipses.

Además, es necesario mencionar los diferentes tipos de registros sobre eclipses presentes en el Códice de Dresde, específicamente dos tipos; los almanaques y las tablas. Los primeros servían para tratar los eclipses como señales meteorológicas, mientras las tablas eran herramientas para rastrear las posibilidades de eclipses (Iwaniszewski, 2021c). Otra cuestión importante que es necesario citar es el uso social y político de los eclipses por los *ajaw* del período prehispánico. Los gobernantes y las elites mayas emplearon una

amplia variedad de ciclos de calendario, con las predicciones de eclipses, para conectarse con las acciones de las deidades patronas mitológicas, ancestros importantes, y, de esta manera, afirmar sus poderes para gobernar (Iwaniszewski, 2020: 357).

A partir de la percepción de la importancia y de una presencia de larga duración de reflexiones sobre los eclipses a lo largo de la historia de los pueblos mayas, empiezo ahora a discutir de manera más detallada este fenómeno celeste. Empezando por la lingüística maya tenemos que entre los yucatecos hay una serie de expresiones para referirse a los eclipses como siendo actos de devoración; *ch'bil k'in*, significa "eclipsarse el Sol", y está relacionado a la señal que dejan los dientes en las mordidas o bocados quitados (Barrera Vásquez, 1980: 33;93;824). Ya para referirse al eclipse Lunar es usada la expresión *ch'bil u*, "eclipsarse la Luna, estar mordiendo la Luna". Ya la frase *tupul u wich k'in*, significa "eclipsado está el Sol, o escondió su rostro el Sol." Una estructura igual a esta es utilizada para la Luna, *tupul u wich u*, "eclipsarse la Luna, escondió su rostro la Luna" (Closs, 1989; Nájera Coronado, 1995: 322).

Otra expresión para estos eventos es; *bala'an u wich k'in*, "eclipsado está el Sol". Para los eclipses Solares totales, los mayas yucatecos usan: *tupa'an* "apagar la llama" y *tupa'an u wich k'in* o *tupul u wich k'in*, que significa "cegar o borrar el Sol" (Milbrath, 1999). Todas estas ideas de los yucatecos que tratan de los eclipses como actos de mordeduras de seres a los astros están presentes desde el período colonial en los libros Chilam Balam, como en el Chilam Balam de Chumayel, que menciona esta percepción por parte de los habitantes de la península (Mediz Bolio, 1986).

Una acción de depredación y devoración también está presente entre los ch'oles de Chiapas, México, con la expresión, *woli k'uxbahlum*, "el jaguar se lo está comiendo". Para los tojolabales, también de Chiapas, el eclipse Solar es mencionado con el término *cha' k'ab'u*, refiriéndose al final del Sol, lo que implica su muerte. Ya los *poqom* de Tukurú, Alta Verapaz, Guatemala, definen el eclipse como un momento en el cual "el Sol o la Luna se están bañando", *yo chi atink li saq'e* (para el caso del Sol), y *yo chi atink li po* (para el caso de la Luna) (comunicación personal Ramón Cun).

Regresando al período prehispánico, entre los mayas del Clásico (250-900 EC) y del Posclásico es posible encontrar el glifo Nam, que Christian M. Prager (2006) propone que /na-mu/ representa una interpretación fonética del glifo T326, muy probablemente NA:M. Esta raíz está atestiguada en varias fuentes yucatecas y ch'ortíes y en la mayoría de los casos está asociada con fenómenos celestes. Es un glifo que aparece en las referencias a los eclipses presentes en el Códice de Dresde.

Hay pocos registros de eclipses en el período Clásico, pero estudios recientes han identificado algunos ejemplos previamente no reconocidos, y al menos un texto del Preclásico (2000 AEC a 250 EC) registra un eclipse Solar en el año 143 E.C., con la inscripción de una "Luna que come el Sol" en un texto epi-olmeca de La Mojarra, Veracruz (Justeson, 2015: 305). La Estela 3 de Santa Elena Poco Uinic, México, tiene el ejemplo conocido de un glifo de eclipse, que está presente también durante el período Posclásico (Iwaniszewski, 2021c).

Ya en Xultun, Guatemala, fue encontrada una tabla astronómica pintada en las paredes de una estructura del siglo IX. La tabla registra una serie de "semestres" Lunares de 6 meses (177 o 178 días) en una tabla que muestra 162 meses sinodales Lunares, agrupados en 27 columnas (27 x 6 meses), abarcando unos 13 años (4.784 días). Según Susan Milbrath, el texto sería una posible inscripción de Serie Inicial reconstruida como una fecha de Cuenta Larga (9.15.10.0.6) equivalente al 30 de junio de 741 EC en el calendario juliano o al 4 de julio de 741 EC en el calendario gregoriano (Milbrath, 2020). Las tablas Lunares de Xultun parecen estar estrechamente relacionadas con los textos del Códice de Dresde.

La predicción de eclipses fue especialmente importante en el período Posclásico Temprano (900/1000-1250 EC), pero es posible que este conocimiento se haya perdido para los períodos Posclásico Tardío y Colonial. En el Códice de Dresde el eclipse aparece representado como el momento en el cual una serpiente del cielo, interpretada como Venus, come el glifo k'in, del Sol (Velásquez García, 2016: 82).

Pasando a las fuentes etnohistóricas, podemos identificar algunos relatos sobre eclipses, como en los escritos de Alonso Dávila, enviado por Francisco de Montejo a buscar minas de oro cerca de Chetumal en 1531. El explorador relata la ocurrencia de un eclipse como un momento de miedo e incertidumbre. Menciona guerreros mayas haciendo muchos ruidos para defender a la Luna en contra una mordedura. Ya Pedro Sánchez de Aguilar en 1639, en Yucatán, narra un eclipse con la Luna muriendo y siendo comida, por un tipo de hormiga llamada xubab (sic) (Closs, 1989). También en el Popol Vuh, los eclipses están presentes, cuando los héroes gemelos que representan los futuros Sol y Luna tienen las cabezas cortadas en ciertos puntos de la narración, como en la escena en que Hunahpú decapita a Xbalanque, que sugiere un eclipse Lunar (Milbrath, 1999: 130-131).

Las fuentes etnográficas presentan una serie de datos importantes para mi análisis e interpretación de los eclipses mayas como actos de devoración y depredación. Robert Redfield y Alfonso Villa Rojas (Redfield y Villa Rojas, 1934) en su clásico estudio sobre el pueblo de Chan Kom, Yucatán, presentan narrativas de que periódicamente un animal malo intenta devorar a los astros celestes, y los eclipses serían un gran peligro para la humanidad. Muchos no pueden especificar el animal que quiere comer el Sol o la Luna, dicen apenas que es uno muy malo, como ciertas hormigas o tigres. Para la gente de Chan Kom, el eclipse es un momento de calamidad, en el cual la Luna y el Sol pueden fallar en reaparecer. Con ello, todos los objetos y las cosas humanas se llenarían de seres malévolos que intentarían devorar a las cosas vivas. Así sería necesario espantar al animal que devora a los astros haciendo lo máximo de ruido posible.

Alfonso Villa Rojas en sus estudios en X-Cacal, Yucatán, menciona que la población de este poblado interpretaba los eclipses cuando animales malos, como la hormiga xulab, intentan comer el Sol o la Luna (Villa Rojas, 1945). Así, el eclipse ocurre porque la superficie de la Luna estaría cubierta por estas hormigas rojas, que tienen un piquete doloroso y destruyen con facilidad árboles y plantas. También para la gente de X-Cacal los eclipses son momentos peligrosos y de tensión, pues la desaparición del Sol y de la Luna puede hacer con que los instrumentos domésticos sean transformados en criaturas vivas y maten a sus dueños.

Ya entre los lacandones de Chiapas, Didier Boremansé (1981) menciona que los eclipses son resultado de una captura de la Luna y del Sol, con el riesgo de que los astros pudieran ser devorados por jaguares, o por iguanas celestiales. Además, el dios creador, Hachak'yum, también es un posible agente de ataque a la Luna, lo que provocaría un eclipse Lunar. Para los ch'oles de Tumbalá, en la década de los 50s, cuando ocurría el eclipse un tigre estaría devorando la madre sagrada, la Luna. Tigre, llamado de ch'ay bajlum, que después también iría a la tierra a devorar a toda la población (Whittaker y Warkentin, 1965: 71). Los ch'orties temían que la entidad Ah Kilis, asociado al Sol, iría comerlo cuando tuviera hambre, lo que resultaría en un eclipse. Esta deidad también puede comer a la Luna. Ya para los tsotsiles de Zinacantán, México, el eclipse es causado por acciones predatorias de la estrella muk'ta k'anal, Venus, que irá matar a la Luna (García de León, 1973: 307). También para este grupo, los diferentes seres malignos que suelen atacar a los astros se originan desde cada uno de los puntos cardinales del cielo, siendo vinculados también con los colores (Nájera Coronado, 1995: 323).

Los poqom de Tukurú, Alta Verapaz, Guatemala interpretan el eclipse como un momento en el cual son necesarios algunos cuidados, sobre todo, por parte de las mujeres embarazadas que deben evitar salir

durante este fenómeno por el peligro de que sus hijos nazcan con algún problema físico. Además, para este grupo maya del norte de Guatemala, hay la necesidad de defenderse del mal de ojo causado por el eclipse.

Analizando los relatos etnográficos sobre los eclipses en diferentes partes del área maya es posible identificar algunas acciones relacionadas, como; la depredación, devoración, mordeduras, además de peleas entre el Sol y la Luna, relaciones sexuales entre los astros, y enfermedades de los dos, así como el mal de ojo. Sin embargo, uno de los temas principales de los relatos etnográficos es la devoración del Sol y la Luna. Con todo eso, es importante mencionar que los eclipses no son eventos naturales, sino causados por la agencia de un actante específico (Latour, 2015). Son eventos culturales. Además, en diferentes momentos de las historias de los pueblos mayas es posible identificar algunos tipos de destrucción de la humanidad, resultadas por los eclipses, como; objetos domésticos sustituidos por demonios o bestias que irán devorar a todos los seres vivos, animales que entran a la casa para comerse a sus amos, jaguares celestiales que irán descender del cielo y devorar a la gente, y muertos que son revividos (Closs, 1989). Para eso, fueron pensados y creados diferentes dispositivos de defensas en relación a los eclipses en diferentes momentos de la historia, desde la realización de sacrificios humanos, autosacrificios, cantos floridos en los templos, durante el periodo prehispánico, así como la producción de ruido y gritos por la población, a fin de evitar el regreso al tiempo primigenio, presentes durante el periodo colonial y contemporáneo.

4 Los agentes causantes de los eclipses mayas

Algo central en mi reflexión sobre los actos de depredación y devoración sufridos por el Sol y la Luna durante los eclipses es la actuación de lo que podemos llamar de agentes de los eclipses, los seres que suelen atacar los astros durante la ocurrencia de estos fenómenos. Yo recalcaré los principales actantes que aparecen en las narrativas etnográficas y también en fuentes del período Posclásico y colonial.

En los relatos aparecen principalmente agentes como: jaguares, tigres, las hormigas *xulab*, iguanas celestiales, lagartos, escorpiones, la entidad *Ah kilis*, el diablo (Nájera Coronado, 1995), Venus, Kukulcán, serpientes que tragan los astros, seres que descenden del cielo para comer la población, que podemos encontrar paralelos con en *Popol Vuh* y el final de la humanidad de madera, así como entre los mexicas con las *tzitzimine*.

En estudios anteriores, Michael Closs planteó que muchos de todos estos actantes derivan de un único agente; Venus (Closs, 1989). Este autor ha recalcado las relaciones entre la hormiga *xulab* y Venus, el jaguar como un aspecto de Venus, que también es descrito como jaguar celeste, serpiente celeste, o el señor del Inframundo. Según Closs, Venus actuaría como un agente cosmológico del eclipse, tal como aparece en los códices de Dresde y Madrid, y sería algo derivado de una antigua tradición del periodo Clásico (Closs, 1989). En las páginas 56 y 57 del Códice de Dresde está presente una serpiente asociada a Venus, comiendo el Sol, que lleva dos punzones de hueso (Velásquez García, 2016: 83).

Aunque muchos de estos agentes puedan ser relacionados de alguna manera a Venus, en las informaciones etnográficas, aparecen una mayor complejidad de agentes devoradores del Sol y de la Luna. Venus sería apenas uno agente más en la lista. Me parece equivocado atribuir todas estas acciones de los eclipses a un único personaje. Eso será retomado en la siguiente sesión del texto.

5 Una propuesta de interpretación y reflexiones finales

A lo largo de este estudio mi intención fue la de mostrar casos en que los eclipses mayas son entendidos en términos de depredación de los astros celestes como una condición de la reproducción social. Una amenaza que es al mismo tiempo una manera de seguir la vida, seguir el flujo y el ciclo de vida de las sociedades mayas. La actuación de estos animales y agentes de los eclipses constituyen relaciones que son una condición para la manutención del equilibrio cósmico.

Según Stanislaw Iwaniszewski, el cielo siempre está en constante movimiento, lo que nos llevaría a pensarlo de manera relacional (Iwaniszewski, 2021b). Así, cada vez que los cuerpos celestes aparecen en el cielo, se encuentran con agentes humanos y no-humanos que se dedican a diferentes actividades. Apoyándose en las discusiones teóricas de Tim Ingold (Ingold, 2000), sobre el paisaje, y el concepto de *skyscape* discutido por Fabio Silva, que propone que el cielo es el fenómeno natural que está transformado en *skyscape* cultural mediante la agencia humana (Silva, 2015), Iwaniszewski propone la existencia de un celaje celeste, un espacio compuesto por una serie de relaciones entre seres de diferentes naturalezas y tipos (Iwaniszewski comunicación personal). Mediante esta propuesta, podemos pensar el paisaje del cielo no como algo natural, sino como una construcción cultural, pues son los humanos quienes conceptualizan el cielo, atribuyen los significados a los objetos y fenómenos celestes, sincronizan los movimientos de estos objetos con varios aspectos de la vida social.

La idea de un cielo relacional conectado en una malla con la tierra y a diferentes seres fue algo discutido anteriormente por Hans Martz de la Vega, que, en sus estudios sobre el sitio maya de Malpasito, México, analizó las orientaciones y sus relaciones con el paisaje, el cielo y el cosmos creando una relación entre estos diferentes elementos, como un elemento fundamental en el establecimiento de estas relaciones (Martz de la Vega, 2023). Con eso, Martz de la Vega, sugiere la existencia de un paisaje de malla y de un paisaje de pliegue, un *foldscape*. El constante contacto y relación entre los seres que habitan el espacio y su entorno es la base de la propuesta de la existencia de un paisaje general (*meshworkscape*), pero también definir un paisaje particular (*foldscape*) en Malpasito (Martz de la Vega, 2023: 15). Estas constantes relaciones y contactos entre diferentes tipos de seres, hacen que Martz de la Vega piense la existencia de una amplia malla de relaciones entre los seres, el paisaje celeste y terrestre y las manifestaciones humanas en el paisaje terrestre.

Reflexionando sobre el mundo celeste y las interacciones presentes en este espacio ontológico, y específicamente los actos de devoración en contra el Sol y la Luna durante los eclipses, mi propuesta es pensar los astros celestes como seres con alta concentración de *tonalli* (fuerza Solar, calor, valentía, entidad anímica relacionada a la personalidad, individualidad de cada persona (López Austin, 1980), seres con un importante “potencial” para ser devorados. En el caso maya del período Clásico, esta entidad anímica era conocida como *b'aahis*, también asociado a los linajes y ancestros (Velásquez García, 2011: 243).

Al pensar el espacio nocturno o el momento en que la tierra se oscurece durante un eclipse, como una antítesis del mundo Solar maya, en el cual están actuando una infinidad de seres monstruosos, *wahyis*, alteridades, que roban almas, podemos interpretar el acto de depredación sufrido por el Sol y la Luna, como un momento de cacería. Los *wahyis* son criaturas nocturnas, relacionadas a la depredación, que habitan espacios oscuros, y pueden establecer relaciones sociales con otras entidades en diferentes planos del universo. Están conectados al acto de dormir y soñar, con el vocablo *way* (Velásquez García, 2011), y pueden ser considerados la contraparte maya de los nahuales del Centro de México (Iwaniszewski, 2021a: 157). Según Sebastian Matteo y Asier Rodríguez Manjavacas (Matteo y Rodríguez Manjavacas, 2009: 21) un *way* es un animal compañero que ciertas personas pueden utilizar para hacer daño a otras. También es

importante recalcar que, por su naturaleza animal, estos seres frecuentemente son llamados de animales compañeros. Los *wahyis* afectan directamente los sueños, la energía vital y la muerte, y poseen una serie de características diversas enumeradas por los adjetivos que llevan en sus nombres (Sheseña, 2010).

David Stuart destacó el aspecto siempre maléfico y sanguinario de estos seres, supuestas coesencias, que aparecen representados en la cerámica maya del período Clásico (Stuart, 2005). Los *wahyis* serían representaciones de las fuerzas oscuras animadas ejercidas por los hechiceros mayas del período Clásico en sus intentos de influir en otras personas, y quizás en otros gobernantes, siendo manifestados también por medio de enfermedades. Para Stuart, estos seres fueron componentes importantes del gobierno maya del período Clásico y de su ideología (Stuart, 2005). Ya en la actualidad, los *wahyis* aparecen en diferentes pueblos y etnias mayas. Entre los tseltales de Cancuc, México, por ejemplo, son asociados a los lab, aunque según Pedro Pitarch, son seres que poseen diferentes denominaciones entre los distintos pueblos mayas contemporáneos (Pitarch, 1996: 116). Otra cuestión importante es la capacidad de los *wahyis* en entrar en conflictos, luchas, con otras entidades no-humanas, además de tener la capacidad de robar almas, y otras entidades anímicas durante el sueño, la noche, o en momentos de oscuridad. Para Alfonso Villa Rojas, entre los tseltales de Oxchuc, estos seres también ejercen una función de un control social, haciendo posible el apego continuo a la costumbre tradicional y el código moral del grupo (Villa Rojas, 1947).

Apoyándome en la propuesta de Stanislaw Iwaniszewski (2021a: 158), de que el acto de morder realizado por los animales nocturnos en el cielo estaría relacionado a un momento de agencia y animacidad de las constelaciones celestes, amplío este acto para el caso de las actuaciones del Sol y la Luna durante un eclipse. Para Iwaniszewski, la mordedura, caracterizada por el termino yucateco *ch'ibal*, denota “morder” y “dolor”, un “dolor punzante” (Barrera Vásquez, 1980: 92), la llaga y el escozor que parece morder, o también una mordedura de una serpiente, un dolor ardiente o mordaz (Iwaniszewski, 2021a: 156). Estos términos son los mismos utilizados y causados por los *wahyis*, identificados por Iwaniszewski en los Chilam Balam, y en las constelaciones del Códice Paris, que serían manifestaciones de estos tipos de seres peligrosos y maléficos.

En el momento de la devoración el *b'aahtis* de los astros pasarían a los agentes del eclipse, lo que resultaría en que estos seres pasaran a estar impregnados de su “enemigo”, o su víctima (Declercq, 2020). Llevando a un proceso de “enimización”, según Aparecida Vilaça (2002), la lógica de adquirir la alteridad del otro hasta cierto punto. Siguiendo la propuesta de Stan Declercq, del acto de consumo como un devenir otro (Deleuze y Guattari, 2017), podemos pensar la devoración del Sol y de la Luna, como posibles momentos de transformación de estos seres. Un devenir, un eterno proceso de cambio, transformación de tornarse algo nuevo.

Pero un proceso que nunca termina, así como ambos los astros nunca desaparecen por completo definitivamente, son devorados temporalmente, transformando la tierra en un local peligroso y de la presencia de un caos pasajero, pero que al final no se completa. Durante un eclipse Lunar, por ejemplo, la Luna sufre una transformación, pero no desaparece por completo. A medida que avanza el eclipse, la apariencia de la Luna se transforma de Luna llena a Luna creciente, hasta que se queda completamente cubierta por una sombra que hace con que se parezca a un disco de color rojo. La Luna se presenta en un devenir.

El Sol y la Luna retoman su forma anterior, o se transforman en una nueva forma, pero vuelven a existir. Mucho también en función de la acción de la gente de la comunidad que actúa activamente para defender sus padres, sus astros queridos, de los peligros del otro, de los agentes devoradores. Se crea entonces, un gran ensamblaje entre los diferentes actores involucrados en los eclipses que, por fin, crean relaciones transformadoras entre ellos, pero que terminan promoviendo la manutención de la vida, el mundo y el cosmos (Figura 1).

Ensamblaje entre los diferentes actantes involucrados en los eclipses.

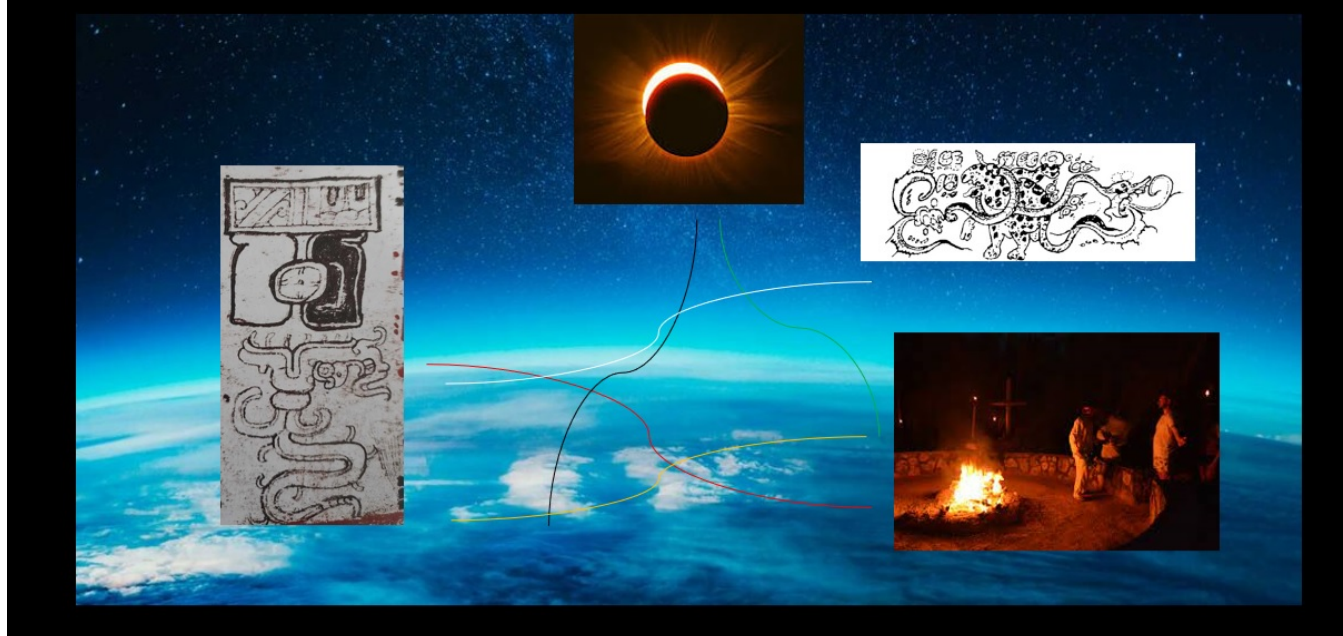


Figura 1: Dibujo del ensamblaje presente durante los eclipses mayas. Un enmarañado de relaciones que implican el Sol y la Luna, los seres que van a comer estos astros, y la acción de las personas en la tierra para defenderlos (diseño hecho por el autor).

Dialogando con las ideas de [Martz de la Vega \(2023\)](#) sobre la existencia de un *foldscape*, propongo pensar la presencia de un gran ensamblaje entre los diferentes actantes involucrados en los eclipses mayas. Un entretejido de relaciones que empiezan por los astros celestes, el Sol o la Luna que son amenazados por seres no-humanos que buscan devorarlos para robar su *b'aahis*. Este acto es realizado por estas entidades que habitan el cielo maya, como los *wahyis*, por ejemplo, que desde el período Clásico empleaban batallas y conflictos con otros seres en el cielo durante las noches. Otro actante de este ensamblaje es la propia tierra, que establece relaciones con el cielo en la conformación de un paisaje más amplio. Por fin, están las personas de las comunidades mayas que deben actuar durante los eclipses a fin de ahuyentar los seres devoradores de la Luna y del Sol, con la realización de ruidos, rezas y actos para defender los dos astros celestes durante estos momentos de peligro y amenaza, dado el papel fundamental, y el poder calorífico y energético del Sol y de la Luna en las actividades cotidianas, como la cosecha, por ejemplo.

Los eclipses como actos de captura y devoración del Sol y de la Luna pueden ser entendidos a partir de la lógica de la captura como un devenir otro, un convertirse en otro, tal como plantea Viveiros de Castro ([Viveiros de Castro, 2002](#)). Una transformación incompleta en su enemigo poderoso, un proceso de indiferenciación, una captura del *tonalli*, o del *b'aahis*, de la fuerza vital de estos astros-seres, realizada por los diferentes seres que habitan los cosmos de las diferentes comunidades mayas. Cada una de ellas, con un "agente del eclipse" diferente, seres que emprendían jornadas para la caza y el consumo del Sol y de la Luna durante los eclipses. Y que, al morderlos, consumirlos estarían buscando convertirse en ellos, capturar su poder y fuerza calorífica.

Un movimiento de depredación y consumo que permitía la creación de una serie de relaciones entre diferentes seres humanos y no-humanos, pero, que al final contribuía para el ejercicio de una renovación cósmica durante el acto del eclipse, con el nacimiento de un nuevo Sol o una nueva Luna, transformados

en otros seres, pero que seguían actuando para la protección y el funcionamiento de la vida en el cosmos y en la tierra.

6 Agradecimientos

Quisiera agradecer al doctor Stanislaw Iwaniszewski por la invitación para participar de la mesa “Los ciclos calendáricos y los eclipses en la cultura maya”, durante el 12° Congreso Internacional de Mayistas, organizado por el Centro de Estudios Mayas, de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizado en julio de 2023, que generó la publicación de este artículo.

7 Referencias

- Barrera Vásquez, A. (1980). *Diccionario Maya Cordemex. Maya-español. Español-maya*. Mérida: Ediciones Cordemex.
- Boremansé, D. (1981). Southern Lacandon Maya account of the Moon eclipse. *Latin American Indian Literature*, 5:1–6.
- Bricker, H. y Bricker, V. (2011). *Astronomy in the Maya Codices*. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Carrasco, D. (1995). Cosmic Jaws: We Eat the Gods and the Gods Eat Us. *Journal of the American Academy of Religion*, LXIII(3):429–463.
- Closs, M. (1989). Cognitive aspects of ancient Maya eclipse theory. En Aveni, A., (Ed.), *World Archaeoastronomy*. Oxford.
- Davoust, M. (1994). Sangue de lua: reflexões sobre espíritos e eclipses. *Journal de la Société des Américanistes*, 98(1):63–80.
- Declercq, D. (2019). La captura de los dioses y “otras” entidades anímicas. *Noticonquista*, 59:1–3.
- Declercq, D. (2020). “Siempre peleaban sin razón”. La guerra florida como construcción social indígena. *Estudios de Cultura Náhuatl*, 59:97–130.
- Declercq, D. (2023). Depredación y canibalismo. Una breve introducción. *Revista de Arqueología Mexicana*, 180:28–33.
- Del Valle Escalante, E. (2015). *Teorizando las literaturas indígenas contemporáneas*. Raleigh: Editorial A Contra Corriente.
- Deleuze, G. y Guattari, F. (2017). *Mil Platôs*. São Paulo: Editora 34.
- Echeverría García, J. (2014). “El Sol es comida”: representaciones, prácticas y simbolismos del eclipse Solar entre los antiguos nahuas y otros grupos mesoamericanos. *Revista Española de Antropología Americana*, 44(2):367–391.
- Fausto, C. (2012). Sangue de lua: reflexões sobre espíritos e eclipses. *Journal de la Société des Américanistes*, 98(1):63–80.

- García de León, A. (1973). Breves notas sobre la lengua Tzotzil: literatura oral y clasificadores numerales. *Estudios de Cultura Maya*, 9:303–312.
- Gell, A. (1998). *Art and Agency: An Anthropological Theory*. Oxford: Clarendon.
- González Gálvez, M., Di Giminiani, P., y Bacchiddu, G. (2022). Introduction. En González Gálvez, M., Di Giminiani, P., y Bacchiddu, G., (Eds.), *Theorizing Relations in Indigenous South America.*, pp. 1–25. Nueva York/Oxford: Berghahn.
- Ingold, T. (2000). *The Perception of the Environment: Essays on Livelihood, Dwelling, and Skill*. Londres: Routledge.
- Iwaniszewski, S. (2020). The use of the Palenque ratio in the Lunar Series as a means to perform long-time calculations linking the ruling dynasty with its patron deities. En *Harmony and Symmetry. Celestial regularities shaping human culture. Actas de la conferencia de la SEAC 2018 en Graz.*, pp. 356–362. SEAC: Graz, Austria.
- Iwaniszewski, S. (2021a). Ah ch'ibal canob: rethinking celestial animals in the Paris Codex 23-24. *Estudios Latinoamericanos*, 41:147–164.
- Iwaniszewski, S. (2021b). Archaeoastronomical sites as fields of relationship. En González-García, A., Frank, R. M., Sims, L., Rappenglück, M., Zotti, G., Belmonte, J., y Šprajc, I., (Eds.), *Beyond Paradigms in Cultural Astronomy: Proceedings of the 27th SEAC conference held together with the EAA.*, pp. 73–80. Oxford: British Archaeological Reports.
- Iwaniszewski, S. (2021c). Remarks on the Lunar Series and Eclipse Cycles in Late Classic Maya Records. En Efrosyni BoutsikasStephen, E., McCluskey, S. C., y Steele, J., (Eds.), *Advancing Cultural Astronomy: Studies In Honour of Clive Ruggles.*, pp. 237–249. Springer.
- Iwaniszewski, S. (2022). La teoría Lunar maya. En Lizano, S. y Rodríguez Jorge, L. F., (Eds.), *La astronomía en México antes y después de la Conquista.*, pp. 57–84. Ciudad de México: El Colegio Nacional.
- Justeson, J. (2015). Modeling indigenous mesoamerican eclipse theory. En Dowd, A. S. y Milbrath, S., (Eds.), *Cosmology, calendars, and horizon-based astronomy in Ancient Mesoamerica.*, pp. 301–349. Boulder: University Press of Colorado.
- Justeson, J. (2017). A cyclical-time model for eclipse prediction in mesoamerica and the structure of the eclipse table in the dresden codex. *Ancient Mesoamerica*, 28(2):507–541.
- Keme, E. (2021). *Indigeneidad y descolonización. Diálogos trans-hemisféricos*. Buenos Aires: Editorial del Signo.
- Latour, B. (2015). *Reagregando o social. Uma introdução à Teoria do Ator-Rede*. Salvador: EDUFBA; Bauru, São Paulo: EDUSC. Traducción de Gilson César Cardoso de Sousa.
- Lévi-Strauss, C. (1968). *Mythologiques. III. L'origine des manières de table*. Paris: Plon.
- Lévi-Strauss, C. (2021). *Mitológicas 1: O Cru e o Cozido*. São Paulo: Zahar.
- López Austin, A. (1980). *Cuerpo Humano e ideología. Las concepciones de los antiguos nahuas*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas.

- Love, B. (2018). The “eclipse glyph” in maya text and iconography: A century of misinterpretation. *Ancient Mesoamerica*, 29(1):219–244.
- Martz de la Vega, H. (2023). From the base to the top: Walking through the ritual circuit of the foldscape in malpasito, tabasco, mexico. *Global Journal of Archaeology & Anthropology*, 12(5):1–17.
- Matteo, S. y Rodríguez Manjavacas, A. (2009). La instrumentalización del way según las escenas de los vasos pintados. *Península*, 4(1):17–31.
- Mediz Bolio, A. (1986). *Libro de Chilam Balam de Chumayel*. Ciudad de México: Secretaría de Educación Pública.
- Milbrath, S. (1999). *Star Gods of the Maya: Astronomy in Art, Folklore, and Calendars*. Austin: University of Texas Press.
- Milbrath, S. (2020). *The Moon in Meso-America*. xford Research Encyclopedia of Planetary Science.
- Nájera Coronado, M. I. (1995). El temor a los eclipses entre comunidades mayas contemporáneas. En Varela Torrecilla, C., Bonor Villarejo, J., y Fernández Marquínez, M. Y., (Eds.), *Religión y sociedad en el área maya*. Madrid: Sociedad Española de Estudios Mayas.
- Olivier, G. (2015). *Cacería, sacrificio y poder en Mesoamérica. Tras las huellas de Mixcoatl, “Serpiente de nube”*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos.
- Pincemin, D. S. (1992). *Los antiguos mayas y los eclipses*. San Cristóbal de Las Casas: Gobierno del Estado de Chiapas, Instituto Chiapaneco de Cultura.
- Pitarch, P. (1996). *Ch’ulel: una etnografía de las almas tzeltales*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Prager, C. (2006). Is T326 a logograph for NA:M “hide, to go out of sight”? Notes on Ancient Maya Writing. Documento electrónico, no publicado: https://www.academia.edu/8219716/Is_T326_a_Logograph_for_NA_M_hide_to_go_out_of_sight_.
- Redfield, R. y Villa Rojas, A. (1934). *Chan Kom: A Maya Village*. Washington: Carnegie Institution.
- Sheseña, A. (2010). Los nombres de los naguales en la escritura jeroglífica maya: Religión y lingüística a través de la onomástica. *ournal of Mesoamerican Languages and Linguistics*, 2(1):1–30.
- Silva, F. (2015). The role and importance of the sky in archaeology: an introduction. En Silva, F. y Campion, N., (Eds.), *Skyscapes: The Role and Importance of the Sky in Archaeology.*, pp. 1–8. Oxford: Oxbow Books.
- Strathern, M. (2006). *O Género da Dádiva. Problemas com as Mulheres e Problemas com a Sociedade na Melanésia*. Campinas: Editora da Unicamp.
- Stuart, D. (2005). The way beings. En *Sourcebook for the 29th Maya Hieroglyphic Forum, The Maya Meetings* UT Austin, pp. 160–165, Austia, TX. Austin: University of Texas at Austin.
- Teeple, J. E. (1931). Maya astronomy. *Contributions to American Archaeology*, 2:29–115.
- Thompson, J. E. S. (1935). *Maya chronology. The correlation question*. Carnegie Institution of Washington, Publications, 456.

- Vail, G. y Hernández, C. (2013). *Re-creating primordial time. Foundation rituals and mythology in the postclassic Maya codices*. Boulder: University Press of Colorado.
- Velásquez García, E. (2011). Las entidades y las fuerzas anímicas en la cosmovisión maya clásica. En Martínez de Velasco, A. y Vega, M., (Eds.), *Los mayas, voces de piedra.*, pp. 235–254. Ciudad de México: Ámbar Diseño.
- Velásquez García, E. (2016). Códice de dresde. parte 1. edición facsimilar. *Revista de Arqueología Mexicana*, Edición especial 67.
- Vilaça, A. (2002). Making kin out of others in amazonia. *The Journal of the Royal Anthropological Institute.*, 8(2):347–365.
- Villa Rojas, A. (1945). *The Maya of East Central Quintana Roo*. Washington: Carnegie Institution.
- Villa Rojas, A. (1947). Kinship and nagualism in a tzeltal community, southeastern Mexico. *American Anthropologist.*, 49:578–587.
- Viveiros de Castro, E. (2002). *A inconstância da alma selvagem e outros ensaios de Antropologia*. São Paulo: Cosac & Naify.
- Wagner, R. (2011). A pessoa fractal. *Ponto Urbe*, 8 [online]. <http://journals.openedition.org/pontourbe/173>.
- Whittaker, A. y Warkentin, V. (1965). *Chol Texts on the Supernatural*. Número 13 en Summer Institute of Linguistics Publications in Linguistics and Related Fields. Norman: University of Oklahoma Press.

COMPARACIÓN DE LA TABLA DE ECLIPSES MAYA Y EL CICLO DE SAROS GRIEGO

Raúl Pérez-Enríquez^{1,*}
 Julio Saucedo Morales^{1,†}
 Alfredo Carmona Martínez^{2,‡}
 Jesús Clemente Olvera Trejo^{2,§}
 Xenophon Moussas^{3,¶}
 Ezequiel Rodríguez Jáuregui^{1,||}

¹Universidad de Sonora

²ROIIG México

³National and Kapodistrian University of Athens

Recibido: 9/agosto/2023

Aceptado: 22/noviembre/2023

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.17086>

RESUMEN

Motivados por la construcción del Mecanismo de Antikythera Monumental para Hermosillo y su futura exhibición en el campus Centro de la Universidad de Sonora, México, emprendimos un estudio acerca de la predicción de eclipses, implementada en dicho mecanismo cuya base es el conocimiento del Ciclo de Saros. Resultó natural, el llegar a la necesidad de agregar a dicho estudio, la perspectiva Mesoamericana de los eclipses; en particular, arribamos al análisis de la Tabla de Eclipses del Códice Dresde. Fue a partir de la secuencia de intervalos de dicha tabla, que decidimos hacer una comparación entre ambas perspectivas: la Maya del Códice Dresde y la Griega del Ciclo de Saros. En este reporte presentamos nuestros hallazgos y contrastamos sus propiedades principales. En la Maya: La predicción de eclipses solares podría obtenerse de observaciones sistemáticas de la Luna pues, en la sección introductoria de la tabla (páginas 51a y 52a), existen elementos para elaboración de la secuencia de 69 eclipses reportados a partir de la página 53a hasta la 58b; El período de 11,960 días (11,958 en la secuencia) les permitió agrupar los eclipses solares de acuerdo a su tipo por grupos; Las diez viñetas posteriores a los intervalos de 148 días, podrían atribuirse a eclipses observados en la zona Maya; y, al cotejar la secuencia de eclipses de la tabla con la secuencia de eclipses ocurridos en el lapso de 700 a 800 CE, la serie identificada por el eclipse del 06/08/0788 resultó la serie de mayor coincidencia. Por el lado del Saros tenemos: los eclipses aparecen registrados en la espiral correspondiente del mecanismo y son 27 eclipses solares; cada eclipse aparece con fecha y hora de ocurrencia por medio de la espiral y los glifos en ella; en el período de 19,755 días (3 Saros = 3 X 6585 días = 1 Exeligmus) un eclipse vuelve a ocurrir en la misma longitud geográfica; los reportados son eclipses observados en la zona del mecanismo yendo de parcial a anular y, finalmente, a total y viceversa. Estos hallazgos sugieren

*raulpe55@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-2544-6423>

†julio.saucedo@unison.mx,  <https://orcid.org/0000-0003-4253-7327>

‡mantenimiento@relojesolvera.com.mx

§clemente@relojesolvera.com.mx

¶xmoussas@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-5553-9017>

||ezequiel.rodriguez@unison.mx

que los Mayas debieron tener un modelo del Mundo en el cual la Tierra, la Luna y el Sol tenían un rol específico que jugar en los eclipses; y, en consecuencia, debieron poseer un comprensivo modelo propio.

Palabras clave: Predicción de eclipses; Mecanismo de Antikythera; período de 11,960 días; ciclo Maya; Exeligmus.

ABSTRACT

Motivated by the construction of the Monumental Antikythera Mechanism for Hermosillo and its future exhibition at the "Centro" campus of the Universidad de Sonora, Mexico, we undertook a study about the prediction of eclipses, implemented in this mechanism whose basis is the knowledge of the Saros Cycle. It was natural, to arrive at the need to add to this study, the Mesoamerican perspective of eclipses; in particular, we arrive at the analysis of the Table of Eclipses of the Dresden Codex. It was from the sequence of intervals of this table, which we decided to make a comparison between both perspectives: the Maya of the Dresden Codex and the Greek of the Saros Cycle. In this report we present our findings and contrast their main properties. In Maya case: The prediction of solar eclipses could be obtained from systematic observations of the Moon because, in the introductory section of the table (pages 51a and 52a), there are elements for elaboration of the sequence of 69 eclipses reported from pages 53a to 58b; The period of 11,960 days (11,958 in the sequence) allowed them to group solar eclipses according to their type by groups of 7 or 9; The ten vignettes after the 148-day intervals could be attributed to eclipses observed in the Maya zone; and, when comparing the sequence of eclipses in the table with the sequence of eclipses that occurred in the span of 700 to 800 CE, the series identified by the eclipse of 06/08/0788 was the series of greater coincidence. On the side of the Saros we have: the eclipses are recorded in the corresponding spiral of the mechanism and there are 27 solar eclipses; Each eclipse appears with date and time of occurrence by means of the spiral and the glyphs in it; in the period of 19,755 days (3 Saros = 3 X 6585 days = 1 Exeligmus) an eclipse occurs again at the same geographical longitude; Those reported are eclipses observed in the area of the mechanism going from partial to annular and, finally, to total and vice versa. These findings suggest that the Maya must have had a model of the World in which the Earth, Moon and Sun had a specific role to play in eclipses; and, consequently, they must have had a comprehensive model of their own.

Keywords: : Eclipse prediction; Antikythera mechanism; period of 11,960 days; Mayan cycle; Exeligmus.

1 *Introducción*

A lo largo de los últimos dos años, un equipo interdisciplinario e interinstitucional, ha venido trabajando en el proyecto Mecanismo de Antikythera Monumental para Hermosillo (MAMH); proyecto que está enfocado a la reproducción de una versión actualizada, conforme a los más recientes progresos en la interpretación del denominado Mecanismo de Antikythera descubierto en una isla griega de ese nombre hace ya más de 120 años y que ha sido datado a una época alrededor de 150 a 100 a.C. La UNISON (Universidad de Sonora), la empresa ROIIIIG (Relojes Olvera III Generación) y la NKUA (Nacional y Kapodistriana Universidad de Atenas) han concretado la fabricación: en una primera etapa y en una escala 1 a 1, de una réplica funcional del Mecanismo de Antikythera (MA1) con sus funciones básicas y la habilidad para representar el movimiento de los planetas visibles (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno) vistos desde la Tierra; y en una segunda fase que está por finalizar, una versión en escala 10 a 1 del mismo (ver Figura 1).

El arribo a esta etapa final de construcción del MAMH ha sido posible gracias al apoyo del Gobierno del Estado de Sonora, México, y a la voluntad de la Rectoría de la UNISON. Se espera que para cuando hayan

sido publicadas estas líneas, el proyecto haya culminado y ya sea posible visitar este mecanismo, movido por un reloj monumental de la empresa Relojes Olvera III Generación, en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México; mismo que dará seguimiento tanto a los planetas ya mencionados en un fondo del Zodíaco como a los eclipses y a los calendarios lunares (Metónico y Calípico), mediante las espirales correspondientes de su carátula posterior.

Ha sido, precisamente, la realización de este mecanismo monumental el que ha llevado a nuestro equipo de investigadores a abordar el tema de la predicción de eclipses desde dos perspectivas distintas: la de Grecia sustentada en el conocimiento milenario del Ciclo de Saros y su implementación en la Espiral de Saros del mecanismo; y, la Maya que se apoya en la Tabla de Eclipses del Códice Dresde cuya información proviene, muy probablemente, de una época no tan remota pero sí de siglos de antigüedad.¹

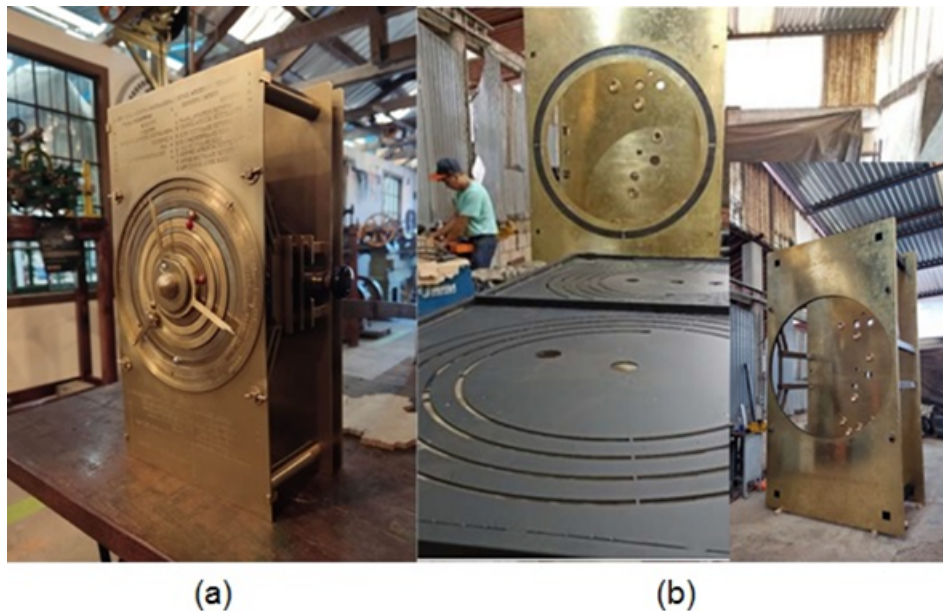


Figura 1: Versiones funcionales del Mecanismo de Antikythera: a) MA1 – modelo escala 1 a 1; b) MAMH – modelo escala 10 a 1.

El Mecanismo de Antikythera Monumental para Hermosillo está siendo fabricado en la ciudad de Zacatlán, Puebla, México, a partir de la revisión y estudio de las investigaciones realizadas a lo largo 120 años; hechas por investigadores entre los cuales se pueden nombrar: Freeth, Wright y Moussas, los más recientes; y, aquellos que se remontan a los años veinte del siglo pasado, a los pocos años de su descubrimiento ocurrido en 1902, Valerios Stais y más tarde Derek J. de Solla. Desde su descubrimiento realizado por buceadores recolectores de esponjas marinas, los vestigios de esta extraordinaria máquina han sido identificados desde 1903 como un dispositivo hecho de engranes (Moussas, 2018). Mismos que han sido confirmados por los más recientes estudios de tomografía de rayos X; estos estudios han puesto al descubierto que este mecanismo tiene las características de una computadora analógica que daba seguimiento a los movimientos del Sol, la Luna y de los cinco planetas visibles a simple vista (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno) en un fondo de las constelaciones del Zodíaco tal como Derek de Solla P. sugería en su modelo de 1959 (Yagi *et al.*, 1996). El mecanismo de Antikythera, además, mostraba las fases de la Luna y su cambio de velocidad en su órbita alrededor de la Tierra (anomalía lunar). Todo ello, mediante trenes de engranes adecuados (Wright, 2005).

¹Artículo elaborado en base a la ponencia presentada en el XII Congreso Internacional de Mayistas llevado a cabo del 26 al 30 de junio del 2023 en Ciudad de México.

Asimismo, el diseño del Mecanismo de Antikythera incluía las dos espirales calendáricas en donde se podían seguir los ciclos de Metón de 19 años y de Saros de 18 años (más 11 días y 8 horas) que permiten, con base en la commensurabilidad de los ciclos solares y lunares, la predicción de eclipses de Sol y de Luna. El mecanismo, mediante un par de trenes de engranes adicionales, facilita: uno, la repetición del primero por cuatro veces para completar los 76 años del Ciclo Calípico; otro, la repetición del segundo por tres veces para completar el ciclo Exeligmus.

Será sobre el ciclo de Saros y el de Exeligmus que abundaremos para llegar a la predicción de los eclipses. Para otros detalles del diseño tales como las fases de la Luna y su velocidad variable en su órbita alrededor de la Tierra, remitimos al lector a la literatura al respecto (Freeth *et al.*, 2006; Moussas, 2014).

Por su parte, la predicción de eclipses contenida en el Códice Dresde se muestra en la llamada Tabla de Eclipses, en donde mediante una secuencia de 69 intervalos de 177 y 148 días con duración total de 11.958 días, se podrían fijar las fechas de igual número de eclipses. Serán la secuencia y su presentación lo que nos permitirá sentar las bases para una comparación de este enfoque con el del ciclo de Saros.

Así, en la sección de Metodología, presentamos los elementos básicos de ambas perspectivas: la Secuencia de la Tabla de Eclipses del Códice Dresde (STECD) y la Secuencia de la Espiral del Ciclo de Saros del Mecanismo de Antikythera (SCSMA). En la sección de Resultados, comparamos los tipos de eclipses y enumeramos sus similitudes y coincidencias. La discusión acerca de nuestros hallazgos la hacemos en la sección correspondiente en la que podremos destacar que mientras la Tabla de Eclipses proporciona un listado paralelo de los eclipses que ocurrieron en un período entre el 700 y el 800 d.C.; la Espiral de Saros nos proporciona 27 eclipses solares observables en la región de diseño del mecanismo; incluyendo la fecha y la hora de los mismos. Ahí mismo presentamos la comparación destacando los rasgos más relevantes de cada una de ellas. A manera de Conclusión presentamos nuestros comentarios finales sobre la comparación.

2 Metodología

Pensando en la exhibición del MAMH y su museografía asociada fue como llegamos a pensar en la predicción de los eclipses entre los pueblos de Mesoamérica. En particular, y animados por el doctor Stanislaw Iwaniszewski, nos dimos a la tarea de estudiar la denominada Tabla de Eclipses del Códice Dresde (Velásquez García, 2016). Códice de origen Maya que sobrevivió a la destrucción ocurrida con la llegada de los españoles a estas tierras (Mesoamérica). Junto con los códices de París, de Madrid y del pueblo Maya (antes Grolier), el Códice Dresde recoge el conocimiento de esta cultura y su recuperación ha sido paulatina y realizada por un gran número de investigadores (Yuri Knorozov, Erick Thompson, Teeple, Clive Ruggles, Anthony Aveni, los esposos Bricker y Eric Velásquez, entre otros). Por otra parte, el Ciclo de Saros en el Mecanismo de Antikythera está presente a través de una de las dos espirales de su cara posterior y, en ella, se da cuenta de la aparición de 27 eclipses solares.

En el siglo pasado, se hicieron diversos estudios sobre la Tabla de Eclipses Maya, contenida en el Códice Dresde. En general el enfoque ha sido ver la coincidencia de las fechas del código, usando diversas Constantes de Correlación; tal y como lo hace Francisco Beverido. Él nos dice que:

La primera etapa fue la conversión de fechas Maya en Fechas Cristianas. En Seguida, se hizo la identificación de la existencia de eclipses en las fechas obtenidas y la graficación de las trayectorias de la sombra proyectada en la Tierra. Nuestro enfoque es un camino alterno: Elaborar,



Figura 2: Códices prehispánicos de origen Maya: Códice Paris; Códice Madrid; Códice Maya (antes Grolier); y, Códice Dresde.

a partir de la lista de eclipses ocurridos en un período determinado (eclipses de Sol), elaborar un listado de fechas para estos eventos usando la secuencia de eventos de la Tabla de Eclipses y, después verificar cuales de ellos coincidieron con los observados. (Beverido Pereau, 1992)

A continuación, pasamos a hacer una revisión somera de estos dos productos de la observación del cielo realizada por astrónomos (o deberíamos decir sacerdotes-astrónomos) de la antigüedad: la Tabla de Eclipses del Códice Dresden Maya y la Espiral del Ciclo de Saros Griego. Esto con la idea de hacer una comparación entre ambas aproximaciones al fenómeno de los eclipses y su predicción; en particular, de los eclipses solares. Para ello, necesitaremos un tercer elemento: La secuencia de Eclipses Solares Ocurridos a partir del año 750 d.C.

Tabla de Eclipses del Códice Dresden

El Códice Dresden es uno de los cuatro códices de origen Maya existentes; los otros tres son: El Códice Maya (antes Grolier), el Códice París y el Códice Madrid. Ellos reciben sus nombres de acuerdo con la ciudad en donde se encuentran actualmente. El códice que estudiamos sobresale no solo por ser, tal vez, el más importante de todos en el terreno astronómico sino, también, porque es el que contiene varias tablas de carácter numérico; en particular, contiene la Tabla de Eclipses que se discute aquí, pero en él están contenidos, además, las Tablas de Venus y Marte y la Tabla de Lunaciones (Iwaniszewski, 2020), entre otras.

La Tabla de Eclipses está contenida en las páginas 51 a 58 del códice; mismas que están divididas en dos secciones (a - superior y b - inferior). Así, la tabla tiene dos partes: una introductoria en las páginas 51a y 52a; y, la llamada Secuencia de Eclipses, en las páginas 53a a 58a seguidas por 51b a 58b, en la que se inscriben intervalos de 177 y 148 días, como se muestra en la figura 3a. Intercaladas en la secuencia y en seguida de los intervalos de 148 días, aparece un total de diez viñetas con jeroglíficos y motivos que

remiten a eclipses y otro tipo de información. La secuencia cubre un total 69 eclipses solares (o lunares) que se presentan en un período de 11,958 días. Como ya mencionamos líneas arriba, los estudiosos del códice han encontrado, gracias a un registro de días acumulado que aparece en la parte superior de la columna, que entre cada eclipse de la secuencia los intervalos pueden ser de 177, 178 o 148 días (Bricker *et al.*, 1983; Bricker y Bricker, 2011; Teeple, 1960). En la figura 3b, se puede apreciar la secuencia completa de los 69 eclipses que para nuestro enfoque son eclipses de Sol. En la figura 4, se subraya en rojo, en la página 53a, la parte del acumulado.



(a)

Intervalos (días)	Figura	Total (días)
177, 177, 148	53a	502
177, 177, 177, 177*, 177, 177, 177, 177, 177, 148	55a	1,734
177*, 177, 177, 177, 177, 148	56a	1,034
177, 177, 177, 177*, 177, 177, 148	57a	1,211
177, 177, 177*, 177, 177, 177, 177, 177, 177, 148	52b	1,742
177*, 177, 177, 177, 177, 148	53b	1,034
177, 177, 177, 177, 177, 177, 148	54b	1,210
177, 177, 177*, 177, 177, 177, 177, 177, 148	56b	1,565
177, 177*, 177, 177, 177, 177, 148	57b	1,211
177, 177, 177, 177	58b	708

Nota. *en ocasiones se suma 178 aunque el número anotado es 177

(b)

Figura 3: Tabla de Eclipses del Códice Dresde, (a) páginas 51 a 58 (Velásquez García, 2016) y (b) Secuencia de Eclipses (Bricker *et al.*, 1983).

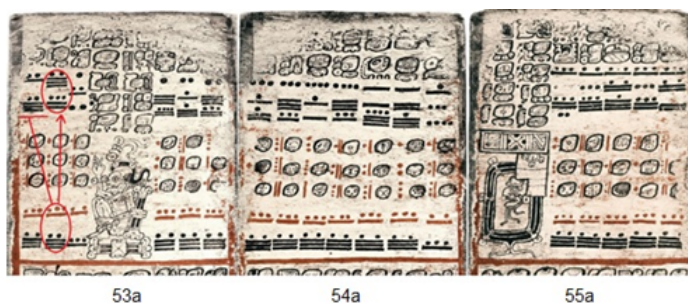


Figura 4: Páginas 53a – 55a de la Tabla de Eclipses mostrando (en rojo) el lugar en que se llevan los acumulados (Velásquez García, 2016).

Esta Secuencia de la Tabla de Eclipses del Códice Dresde (STECD) será la que utilizaremos a manera de regla móvil (regla de cálculo) para hacerla coincidir con la Secuencia de Eclipses Solares Ocurredos a

partir del año 750; misma que describimos más abajo. Después de cada intervalo de 148 días, será posible esperar el reporte de un eclipse de Sol observable desde la región de influencia de la cultura Maya.

Además, podemos identificar que el período de 11,960 días aparece en sucesivas intercalaciones de la STECD.

Espiral del Ciclo de Saros

El Ciclo de Saros de los Eclipses fue descubierto hace más de 3000 años por los astrónomos de la antigua Mesopotamia. Ya desde los registros en tablas cuneiformes, recuperadas en Babilonia (Huber y Meis, 2004) se puede identificar el número de días (6,585) que indica cuando un eclipse de Sol (o de Luna) ocurrirá en una región determinada de la Tierra tan solo desplazada por un intervalo de 8 horas. Los astrónomos griegos hacia el año 350 a.C., descubrieron que deberían pasar tres períodos de Saros para que sucediera la observación de un eclipse con las mismas características en la región: ellos llamaron Exeligmus a este nuevo ciclo.

Es precisamente este concepto el que está plasmado en la Espiral de Saros del Mecanismo de Antikythera. Como puede ser observado en la Figura 5, la espiral de cuatro vueltas tiene los registros de 27 eclipses de Sol que deben ser recorridos por tres veces como lo indica el pequeño dial dividido en tres sectores, marcadas con los números 8 y 16 y un espacio en blanco que sería cero o de ajuste inicial.

El Ciclo de Saros está implementado en el Mecanismo de Antikythera de manera que una espiral de cuatro vueltas recorre las 223 lunaciones que ocurren en el lapso de 6,585 días. Así, los investigadores han descubierto que cada cuarto de vuelta corresponde a un ciclo de Luna llena (Freeth *et al.*, 2008). De manera que cada eclipse en una serie de Saros ocurre con una diferencia de 8 horas. Los eclipses del Exeligmus ocurren de manera casi idéntica y a la misma hora día. El dial de apoyo de este período de tres Saros está dividido en 3 sectores como se ve en la Figura 5. Y están marcadas cero horas (sin marca), 8 horas y 16 horas, respectivamente.

Por consiguiente, los eclipses de una serie de Saros pueden ser considerados como locales; y entonces, los 27 eclipses de Sol que aparecen en la espiral del mecanismo corresponden, necesariamente, a eclipses que fueron observados en la zona del mundo de diseño para la que se fabricó el mecanismo (Siracusa), pero quedan asignadas a diversas series de Saros (Anastasiou *et al.*, 2016). El lugar atribuido a su diseño según Goran Henriksson (2009) sería Sicilia.

Cabe destacar que, en la espiral del mecanismo, se predicen los eclipses incluyendo no solo la fecha de ocurrencia sino, también, la hora de observación.

2.1 Secuencia de Eclipses Ocurrecidos

En la actualidad, es posible estudiar los eclipses que ocurrieron en el pasado utilizando programas de computadora. Un ejemplo de ello es el uso de Stellarium (Zotti *et al.*, 2021); programa que permite tener un listado de eclipses (por ejemplo, solares) en un período de tiempo determinado: 750 d.C. a 850 d.C., incluyendo tipo de eclipse, horas de observación y las latitudes correspondientes. Con esta información es posible generar, al calcular el número de días entre un eclipse y el siguiente, la Secuencia de Eclipses Ocurrecidos a partir de 750 d.C. (SEO750).

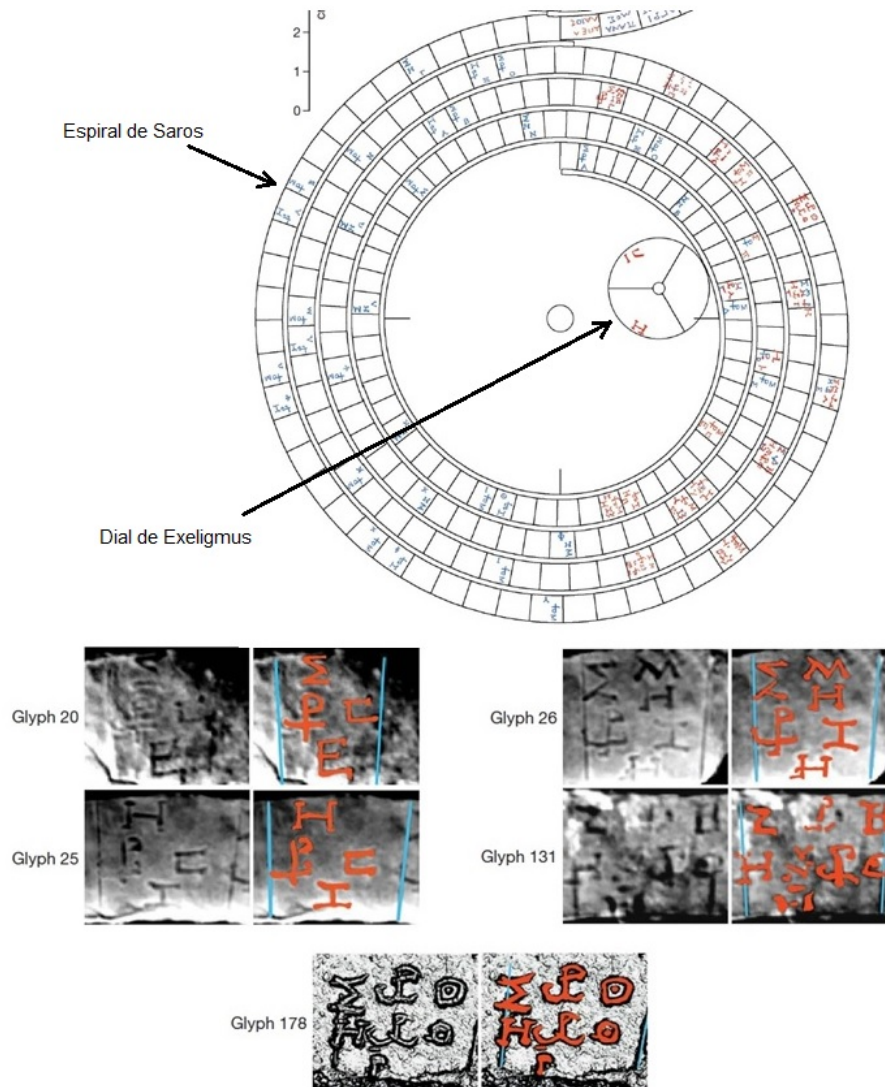


Figura 5: Espiral del Ciclo de Saros y el dial de los Exeligmus (Freeth *et al.*, 2008); en detalle, se muestran cinco glifos de registro de eclipses específicos y su interpretación.

En la Naturaleza, existen eclipses de sol cuya separación temporal es de tan solo 30 días; prácticamente, todos ellos van ligados a otro de 148 días y, por lo tanto, si se suprimen del listado, se obtendrá una secuencia con intervalos de 177, 178 u 148 días. Esta secuencia reducida (se suprimen alrededor de 9 eclipses en 78) conduce a una secuencia de eclipses similar a la que está presente en el Códice Dresde. Cabe señalar que todos los eclipses que son eliminados fueron eclipses observados en algún lugar de la Tierra en latitudes por encima de los 60°; esto es muy al norte o sur del planeta.

A esta secuencia SEO750 se le designó como la secuencia de referencia contra la cual habría de ser cotejada la STECD, como ya mencionamos. Debemos completar esta descripción mencionando que se harán destacar en la secuencia aquellos eclipses que hayan ocurrido para la latitud de Chichen-Itzá.

Antes de proceder a la sección de análisis de resultados, debemos reiterar que el número de días entre dos eclipses determinados por la secuencia se puede redondear a 11,960. Por ejemplo, el 11 de julio de 1991 fue la última vez que se vio un eclipse total de Sol en México. El próximo total en México ocurrirá el 8

de abril de 2024. El número de días entre estos 2 eclipses totales es 11,960. ¿Es coincidencia que el lapso entre estos dos eclipses sea 11,960 días? O en otras palabras ¿Es el período de 11.960 días un predictor de eclipses? Para responder a esta pregunta podemos recurrir al "Five Millennium Canon of Solar Eclipses: -1999 to +3000" (Espenak y Meeus, 2007). Así, partiendo de un eclipse conocido, el anular de Sol del 14 de octubre de 2023, cuya franja de totalidad atravesará la península de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, así como en otras regiones mayas de Centroamérica; encontramos que el 12 de julio de 2056 ocurrirá otro eclipse anular, visible de manera parcial en el área maya. El número de días entre estos eclipses anulares es 11,960 días. Después de 11,959 días vendrá el del 10 de abril de 2089, luego de 11,960 días otro en 08 de enero de 2122, seguido por el de 07/10/2154, 06/07/2187, 04/04/2220, ... etc. Y de la igual forma yendo al pasado: 15/01/1991, 19/04/1958, etc. Pero no adelantemos conclusiones.

3 Resultados

Los resultados de nuestro análisis lo presentamos en dos partes como hemos hecho notar arriba. Primero presentamos el contraste entre la secuencia de referencia y la de la Tabla de Eclipses; después, la comparación entre la serie de Saros y la del Códice Dresde.

Coincidencia entre secuencias SEO750 y STECD

La secuencia de eclipses ocurridos fue utilizada como referencia para hacer el cotejo. Para ello, la serie SEO750 se colocó en la fila 1 de la tabla que se muestra en la Figura 6 indicando que tipo de intervalo observado es: o – intervalo de 148 días o ausencia; * - intervalo de 177 días; y, + - intervalo de 178 días. En las filas sucesivas de la tabla (filas 2 a 11) se colocó la secuencia STECD con un desplazamiento de manera que su inicio coincidiera con los eclipses solares observados; esto es, "***o" en la serie SEO750.

Una vez hecho el cotejo indicado, procedimos a alinear los inicios de las diez series. Así, podemos verificar el grado de coincidencia que cada una de las secuencias STECD tiene con respecto a la parte correspondiente de SEO750. En la Figura 7, se muestra dicho cotejo después de asignar un valor numérico a lo que sería el índice de coincidencia para los intervalos de 148 días que como ya mencionamos arriba, son los puntos cuando aparecen en el código las viñetas representativas (Velásquez García, 2016). En la figura se ha asignado un valor 0 si las fechas coinciden con a lo más 1 día; de 1 si la diferencia es de cuando mucho dos días; y, de 2 para cuando la diferencia es mayor.

El resultado de la suma de los diez valores de coincidencia que se muestra en la última columna de esta tabla nos permite proponer que, precisamente, la posición STECD075 es la mejor con un valor de 6. La fecha del eclipse indicado corresponde al Día Juliano 2.007.555; esto es, corresponde al eclipse ocurrido el día 23 de mayo de 787 d.C. En la figura 8, mostramos la reconstrucción de la Tabla de Eclipses indicados por el Códice Dresde, pero haciendo el ajuste para la fecha indicada. Además, presentamos en una columna de la tabla los eclipses que fueron visibles para la zona de influencia Maya; representada por la ciudad de Chichen-Itzá. Al revisar el trabajo de Nohemy Lizeth Rivera Gutiérrez (2016), se puede identificar al eclipse del Baktún correspondiente para eclipses vistos desde Copán: 16 de julio de 790 d.C.

Podemos resumir con estas palabras: Al cotejar la secuencia STECD contra SEO750 obtuvimos una coincidencia en fecha entre los eclipses predichos y los ocurridos que alcanza un poco más del 81 % de los casos; esto es, los eclipses solares que sucedieron con a lo más un par de días respecto de los determinados por la secuencia son 48 de los 69; por otro lado, aquellos que difieren por lapsos mayores de 4 días son un 11 % del total.

The figure displays three columns of comparison tables, each showing the sequence of eclipse intervals observed starting from the year 750 d.C. (SEO750) in the first row, and its contrast with the STECD displaced (rows 2 to 11) using symbols (o - 1 día; 1 - hasta 2 días; 2 - más de 2 días).

The first column covers the period from LUN750 to LUN1470. The second column covers the period from LUN750 to LUN1470. The third column covers the period from LUN750 to LUN1470.

The rows in each column are labeled with LUN (Maya) and STECD (Greek) codes. The symbols used are +, o, 1, and 2, representing different levels of overlap between the intervals.

Figura 6: Secuencia de intervalos de eclipses observados a partir del año 750 d.C. (SEO750) (fila 1) y su contraste con la STECD desplazada (filas 2 a 11) con símbolos (o - 1 día; 1 - hasta 2 días; 2 - más de 2 días).

	Eclipse0	Eclipse02	Eclipse03	Eclipse04	Eclipse05	Eclipse06	Eclipse07	Eclipse08	Eclipse09	Eclipse10	Indice Coinc.
STECD007 0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	9	
STECD015 0	2	1	1	2	1	1	2	2	0	12	
STECD022 0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	9	
STECD030 0	2	1	0	2	1	1	2	1	0	10	
STECD037 0	2	0	0	2	1	0	1	1	0	7	
STECD045 0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	9	
STECD053 0	2	1	1	2	1	1	2	1	0	11	
STECD060 0	2	1	0	2	1	0	1	1	0	8	
STECD068 0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	9	
STECD075 0	2	0	0	2	0	0	1	1	0	6	

Figura 7: Comparación del grado de coincidencia entre SEO750 y STECD de las secuencias desplazadas.

No.	STECD075				SEO750				STECD075				SEO750			
	Intervalos	Acumulado	Eclipses D _i	Chichen-Itzá No.	Intervalos	Acumulado	Eclipses D _i	Chichen-Itzá No.	Intervalos	Acumulado	Eclipses D _i	Chichen-Itzá No.	Intervalos	Acumulado	Eclipses D _i	Chichen-Itzá No.
		0	2008590.20		31	177	5374	2013964.20		62	177	10748	2019338.20			
1	177	177	2008767.20		32	177	5551	2014141.20		63	177	10925	2019515.20			
2	177	354	2008944.20		33	177	5728	2014318.20		64	177	11102	2019692.20			
3	148	502	2009092.20		34	177	5905	2014495.20		65	148	11250	2019840.20			
4	177	679	2009269.20		35	177	6082	2014672.20		66	177	11427	2020017.20			
5	177	856	2009446.20		36	148	6230	2014820.20	*07	67	177	11604	2020194.20			
6	177	1033	2009623.20		37	178	6408	2014998.20		68	177	11781	2020371.20			
7	178	1211	2009801.20	*01	38	177	6585	2015175.20		69	177	11958	2020548.20	*11		
8	177	1388	2009978.20		39	177	6762	2015352.20	*08							
9	177	1565	2010155.20		40	177	6939	2015529.20								
10	177	1742	2010332.20		41	177	7116	2015706.20								
11	177	1919	2010509.20		42	148	7264	2015854.20								
12	177	2096	2010686.20		43	177	7441	2016031.20								
13	148	2244	2010834.20	*02	44	177	7618	2016208.20								
14	177	2421	2011011.20	*03	45	177	7795	2016385.20								
15	177	2598	2011188.20		46	177	7972	2016562.20								
16	178	2776	2011366.20		47	177	8149	2016739.20								
17	177	2953	2011543.20		48	177	8326	2016916.20								
18	177	3130	2011720.20		49	148	8474	2017064.20								
19	148	3278	2011868.20		50	177	8651	2017241.20								
20	177	3455	2012045.20		51	177	8828	2017418.20								
21	177	3632	2012222.20		52	178	9006	2017596.20	*09							
22	177	3809	2012399.20	*04	53	177	9183	2017773.20								
23	177	3986	2012576.20	*05	54	177	9360	2017950.20								
24	178	4164	2012754.20		55	177	9537	2018127.20								
25	177	4341	2012931.20	*06	56	177	9714	2018304.20								
26	147	4488	2013078.20		57	177	9891	2018481.20								
27	177	4665	2013255.20		58	148	10039	2018629.20								
28	177	4842	2013432.20		59	177	10216	2018806.20	*10							
29	178	5020	2013610.20		60	178	10394	2018984.20								
30	177	5197	2013787.20		61	177	10571	2019161.20								

Inicio D_i 2005590
Fecha: 23/marzo/0787

Figura 8: Reconstrucción en Hoja de Cálculo Electrónica de la Tabla de Eclipses para el Día Juliano 2008590 o el 23 de marzo de 787 CE.

Permítanos agregar un par de observaciones respecto a la Tabla de Eclipses del Código Dresde; estas son:

1. En la página 52a, en las columnas A, B y C, aparecen seis números mayas intercalados (rojos y negros) que en conjunto con los trece números 13 (dos barras y tres puntos en rojo) de la columna D, servirían de guía para la elaboración o verificación de la secuencia de intervalos STECD (Pérez-Enríquez, 2023); y,
2. La secuencia de eclipses predice las fechas de los eventos, pero no el lugar geográfico; tampoco, la hora del día en que serán observados. Esto es así ya que solo los eclipses correspondientes a los Ciclos de Saros ocurren en lugares similares y con semejantes trayectorias.

3.1 Período de 11,960 días

La búsqueda de coincidencias de la distancia temporal de 11,960 días entre eclipses del registro de [Espenak y Meeus \(2007\)](#), se hizo para el período que va del año 0 al año 3000 CE (Saucedo Morales, en preparación); mismo que corresponde a un total de 2,947 años y fracción, equivalente a 1.076.638 días, o bien, a 90 posibles ciclos de 11,960 días. El resultado obtenido presenta la distribución de lapsos que se muestra en la Tabla 1. Los datos son resultado de la aplicación de la metodología citada arriba.

Tabla 1: Ciclos Mayas de 11,960 días para el período 0 – 3000 CE

Amplitud del ciclo (días)	No. de Eclipses	%
11,960	73	79.3
11,959	10	10.9
11,961	4	4.3
11,962	1	1.1
11,931	3	3.3
11,930	1	1.1
Total	92	100

Como se puede observar en la tabla, un 94.5 % de los lapsos caen intervalos de $11,960 \pm 1$ días. Debemos destacar que los casos de 11,931 y 11,930 días corresponden a una separación, respecto del objetivo, de un mes de 29 y 30 días, respectivamente. Aparte de estos dos últimos, solo hay un caso que difiere en más de 1 d. De estos resultados queda claro que el ciclo Maya de 11,960 días puede considerarse como un predictor de eclipses. Recordemos que Stanislaw [Iwaniszewski \(2020\)](#) reporta acerca de la utilidad del período de 11.960 días para calcular las componentes de la Serie Lunar.

Ciclo de Saros griego

Como se ha discutido en las secciones previas de este trabajo, y se sabe desde hace más de un siglo, los ciclos de 148, 177 y 178 días del Códice Dresde son útiles para predecir, de alguna manera, la mayoría de los eclipses visibles en algún lugar de la Tierra (excepto aquellos que están separados por un lapso de 30 días). Pasemos ahora a la consideración de la manera en que el Ciclo de Saros está implementado en el Mecanismo de Antikythera. El ciclo de Saros es capaz de predecir el tiempo en que ocurren los eclipses dentro de una familia de Saros, e inclusive predecir la longitud geográfica del lugar donde ocurren (hora del día). Recientemente, un interesante método alternativo para calcular la época del Saros del Mecanismo de Antikythera ha sido propuesto por A. [Voulgaris et al. \(2023\)](#). Una discusión básica de los principios en los que se finca este ciclo puede ser encontrado en [Torroja Menéndez \(1941\)](#).

Un eclipse de una serie de Saros ocurre 120° al oeste del anterior. Pero para saber todos los eclipses que ocurren en el mundo es necesario conocer todas las familias de Saros. El ciclo de Saros es valioso por la precisión de sus predicciones, la cual se debe a su conmensurabilidad con los meses astronómicos conocidos (los meses solares, y los meses lunares (draconico, sinódico y sideral)). Es importante recordar que este ciclo fue descubierto en Babilonia y fue usado por siglos hasta su utilización en el mecanismo de Antikythera.

Como ya mencionamos arriba, los investigadores han descubierto por qué la carátula de Saros es una espiral de cuatro vueltas: “cada cuarto de vuelta de la espiral cubre un ciclo de Luna llena; por ello, el diámetro aparente de la Luna, que define la duración y el tipo de un eclipse, se indica por medio del ángulo del puntero dentro de cada cuarto de vuelta del dial” (Freeth *et al.*, 2008). Así, después de tres ciclos de Saros (el Exeligmus) el eclipse sucede casi a la misma hora del día en el lugar. Para obtener ese registro, el MA cuenta con un dial de apoyo, dividido en tres sectores, que indica el momento en que se debe reinicializar el avance del indicador en la espiral, tal como lo muestra la figura 9. Los eclipses de una serie de Saros tienen una separación de 6,585 días (18 años 11 días y 8 horas para ser precisos) y por ello, los 27 eclipses de Sol que aparecen en la espiral corresponden, necesariamente, a eclipses que fueron observados en la zona del mundo para la que se fabricó el mecanismo.

El ciclo de Exeligmus, entonces, permite predecir eclipses que ocurren en la misma ubicación geográfica, muy similares entre sí, lo cual se debe a que tiene un número casi entero de días.

4 Discusión

En la sección de Resultados del presente reporte se han hecho evidentes las características principales de los dos métodos de predicción de eclipses que aquí pretendemos discutir.

La Tabla 2 nos proporciona algunos de los rasgos identificables entre las secuencias de eclipses que aquí se discuten. Podríamos decir que mientras el Ciclo Maya permite conocer las fechas de eclipses solares ocurridos en un lapso dado, sin importar si fue observable o no en la Zona Maya; el ciclo de Saros proporciona listas de eclipses solares con fechas y horas de ocurrencia visibles para el diseñador del MA.

El de ciclo 11,960 días tiene cierta semejanza con el Exeligmus (19,755 días), sobre todo en cuanto a la similitud de los eclipses. Una familia de 11,960 tiende a agrupar eclipses similares de manera consecutiva. Por ejemplo, los 7 eclipses de esta familia que ocurrieron del 27 de enero del 0092 al 16 de julio de 0288, fueron anulares. Asimismo, los 7 eclipses del 20 de julio de 1925 al del 08 enero de 2122 (incluyendo el observado en la zona Maya el 14 de octubre) son eclipses anulares.

5 Conclusiones

Uno de nuestros primeros comentarios finales al que arribamos, es que la Secuencia de la Tabla de Eclipses del Códice Dresde debió ser producto de la observación de la Luna a lo largo de generaciones; un seguimiento que posiblemente, incluyó la comparación entre las trayectorias lunares y solares. El casi 90% de coincidencia entre la secuencia STECD y la serie de eclipses ocurridos a partir del año 784 d.C., sugieren tal aproximación. Por otro lado, el ciclo de 11,960 días podría considerarse una especie de ciclo Exeligmus descubierto por los Mayas.

La comparación entre los métodos de predicción de eclipses aquí discutidos nos obliga a considerar que los sacerdotes-astrónomos de la antigüedad debieron contar con un modelo acerca de la forma en que, aparentemente, el Sol y la Luna evolucionan en el tiempo y el espacio al derredor de la Tierra. En la Figura 9, mostramos la manera en que en la actualidad y haciendo uso de Leyes de la Física descubiertas en siglos posteriores a siglo VIII d.C., por científicos como Isaac Newton, Galileo Galilei, Nicolás Copérnico o Johannes Kepler y, más recientemente, Edmund Halley, por mencionar solo algunos de los más importantes, es posible predecir los eclipses y sus trayectorias sobre la Tierra. Esas teorías y modelos han sido utilizados para poder conocer la SEO750, por ejemplo.

Tabla 2: Rasgos de los Ciclos de Eclipses

Tabla de eclipses del código de Dresde	Espiral de Saros del Mecanismo de Antikithera
<ul style="list-style-type: none"> - Se proporciona una secuencia de 69 eclipses que se observaron en algún lugar del mundo (11,958 días). - Al menos diez de los eclipses fueron observables en la región de influencia Maya (Chichen-Itzá). - Los eclipses predichos cubren un período de casi 33 años (32,745 días). - En la parte introductoria de la Tabla (Página 52a), se muestran números que podrían facilitar la elaboración de la secuencia de intervalos. - Estos números están en cuatro columnas: tres columnas de números intercalados (Rojos y Negros) múltiplos de 11,960¹ y una columna de trece 13's rojos. - En la secuencia se marcan diez posiciones con viñetas figurativas con contenidos jeroglíficos diversos que podrían corresponder a los eclipses observables. 	<ul style="list-style-type: none"> - En ella aparecen un total de 27 eclipses solares. - De cada uno de ellos se proporciona la fecha y hora del eclipse; es decir, son eclipses observables en la región. - Los eclipses pertenecen a varias series (7) de Saros pues la distancia temporal entre ellos es de 6,585 días. - Cubre un período de 54 años en cuatro vueltas de la espiral repetida tres veces: Ciclo Exeligmus (19,755 días)². - La predicción incluye el día y la longitud geográfica dada la fecha y ubicación del eclipse anterior. - Los eclipses sucesivos cambian de parciales a anulares y totales y viceversa.

¹ Se reporta su posible uso como fracciones en Pérez-Enríquez (2023).

² Un Exeligmus = tres Saros.

Existe una buena cantidad de documentos producidos por los astrónomos griegos y sus antepasado que permiten entender el grado de aproximación al fenómeno de los eclipses; sin embargo, en el caso de la cultura Maya, podemos formular las siguientes preguntas: ¿Cuáles eran los modelos de los astrónomos acerca de las relaciones entre el Sol, la Luna y la Tierra?; ¿Dieron seguimiento a las trayectorias de la Luna en el cielo que les permitieron elaborar la secuencia STECD?; ¿Cuáles eran sus instrumentos y métodos de observación?

En los próximos meses seremos testigos de dos eclipses solares especiales: uno, Anular, observable en la zona Maya, el 14 de octubre de 2023; otro, Total y que, también, será observable en México, el 8 de abril de 2024, pero en la zona Maya se verá como parcial. La distancia temporal en días entre ellos será de 177. Por ello, podemos afirmar que ambos estarían en la Tabla de Eclipses Maya reciclada para la actualidad; sin embargo, el primero corresponde a la serie de Saros número 134 (el 44 de 71), mientras el segundo pertenece a la serie 139 (el 34 de 71) y, por lo tanto, solo uno de ellos aparecería en la secuencia de Saros griega.

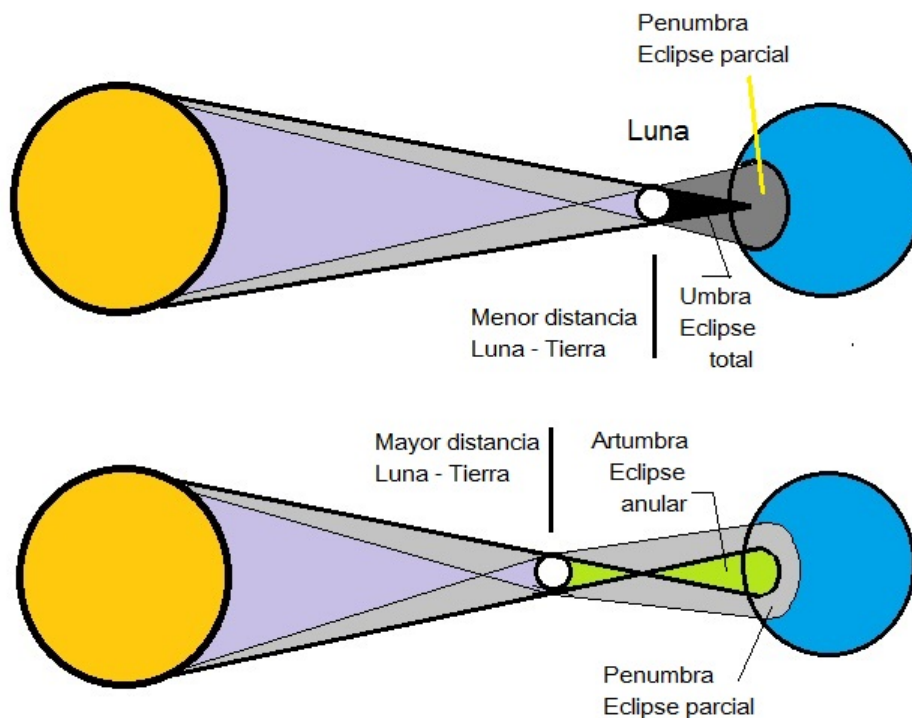


Figura 9: Modelos como este permiten entender los diversos tipos de eclipse solar que pueden ocurrir. Estos modelos y las Leyes de la Física permiten obtener la SEO750 (Fuente: Revista Ciencia, UNAM).

Finalmente, deseamos llamar la atención sobre el período de 11,960 días. Veamos, el ciclo de Exeligmus, igual a tres Saros, permite predecir eclipses en la misma ubicación geográfica y similares entre sí, lo cual se debe a que tiene un número casi entero de días. El ciclo de 11,960 días (al que [van den Bergh \(1955\)](#) denominó ciclo Maya) tiene cierta semejanza con el Exeligmus, sobre todo en cuanto a la similitud de los eclipses. Una familia de este Ciclo Maya tiende a agrupar eclipses similares de manera consecutiva. Por ejemplo, los 7 eclipses de esta familia entre el 92 y el 288 CE) fueron anulares. Asimismo, los 7 eclipses entre 1925 y 2122 son también anulares. En tanto que 9 eclipses totales ocurrieron consecutivamente con el período de 11,960 días entre el 01 junio de 0550 a 14 de abril de 0812.

Mientras para una familia de Saros (o Exeligmus), los eclipses de la familia se suceden primero como parciales y van cambiando hasta llegar a los anulares y totales, para luego seguir un camino en reversa hacia los parciales. En el ciclo de 11,960 días, vemos como se acumulan eclipses de un tipo por varios siglos y después cambian a otros tipos para luego regresar a los anteriores. Por otro lado, en cuanto a que ocurran en la misma longitud geográfica, tampoco es comparable con la precisión del Exeligmus, pero si tiene cierta semejanza. Esto se debe a que 11,960 días corresponde a 405.0037 meses sinódicos, cantidad cercana a un número entero. Estas 405 lunaciones divididas entre 3 dan lo que se conoce como el período conocido como Tritos de 135 lunaciones. Como ya mencionamos, fue Van Den Bergh quien denominó al ciclo de 11,960 días como Ciclo Maya, pero es poco conocido en la literatura, aunque si lo es el llamado Tritos. El número 11,960 fue de gran importancia para los Mayas. Principalmente por ser conmensurable con el Tzolkin, calendario sagrado de 260 días (13 números y 20 días) usado en Mesoamérica desde hace aproximadamente 3 milenios. Así tenemos que $11,960 \text{ días} = 46 \text{ Tzolkin}$.

6 Referencias

- Anastasiou, M., Bitsakis, Y., Jones, A., Steele, J. M., y Zafeiropoulou, M. (2016). The Back Dial and Back Plate Inscriptions. *Almagest*, 7(1):138–215. DOI: <https://doi.org/10.1484/J.ALMAGEST.5.110735>.
- Beverido Pereau, F. (1992). Los Eclipses en el Códice Dresde. *La Ciencia y el Hombre*, (12-13):69–83. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/5166/19921213P69.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Bricker, H. M. y Bricker, V. R. (2011). Astronomy in the Maya Codices. *Memoirs of the American Philosophical Society*, 265. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Bricker, H. M., Bricker, V. R., y Aveni, A. (1983). Classic maya prediction of solar eclipses [and Comments and Reply]. *Current Anthropology*, 24(1):1–23.
- Espenak, F. y Meeus, J. (2007). Five Millenium Canon of Lunar Eclipses: -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE). Technical report, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center. Disponible en: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCSE/5MCSEcatalog.txt>.
- Freeth, T., Bitsakis, Y., Moussas, X., Seiradakis, J. H., Tselikas, A., Mangou, H., Zafeiropoulou, M., Hadland, R., Bate, D., Ramsey, A., Allen, M., Crawley, A., Hockley, P., Malzbender, T., Gelb, D., Ambrisco, W., y Edmunds, M. G. (2006). Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism. *Nature*, 444:587–591. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature05357>.
- Freeth, T., Jones, A., Steele, J., y Bitsakis, Y. (2008). Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism. *Nature*, 454:614–617. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07130>.
- Henriksson, G. (2009). Ten solar eclipses show that the antikythera mechanism was constructed for use on sicily. En *The European society for astronomy in culture 17th annual meeting, SEAC*.
- Huber, P. y Meis, S. D. (2004). *Babylonian eclipse observations from 750 BC to 1 BC*. Milan: Mimesis.
- Iwaniszewski, S. (2020). Los cambios en las series lunares: una regla del pulgar en Cobá. *Ciencias Espaciales*, 13(2):32–40. DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v13i2.11261>.
- Moussas, X. (2014). *Antikythera Mechanism, The oldest computer and Mechanical Cosmos 2nd century BC*. School of Physics and Astronomy, University of Birmingham.
- Moussas, X. (2018). *Antikythera Mechanism, The oldest computer*. Athens: Ed. Canto Mediterraneo.
- Pérez-Enríquez, R. (2023). New interpretation of the table of eclipses in dresden codex: Intercalated numbers as fractions. *Journal of Historical Archaeology and Anthropological Sciences*, 8(2):54–57. Disponible en: <https://medcraveonline.com/JHAAS/JHAAS-08-00274.pdf>.
- Rivera Gutiérrez, N. L. (2016). Caracterización del cielo de Copán del 400 al 900 d. c. *Ciencias Espaciales*, 4(2):42–66. DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v4i2.2544>.
- Teeple, J. E. (1960). Astronomía maya. *Anales. BP. MT. II.-60*, pp. 479–581.

- Torroja Menéndez, J. M. (1941). Contribución al estudio general del problema de la repetición de eclipses. En *Memoria del Observatorio del Ebro VIII*. Instituto Nacional de Geofísica. Disponible en: https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1941MmEbr..8....2M&defaultprint=YES&filetype=.pdf.
- van den Bergh, G. (1955). *Periodicity and Variation of Solar (and Lunar) Eclipses*. Número v. 1. Haarlem, Netherlands: H.D. Tjeenk Willink.
- Velásquez García, E. (2016). Códice de Dresde. Parte 1. *Arqueología Mexicana*, Edición especial 67:8–91.
- Voulgaris, A., Mouratidis, C., y Vossinakis, A. (2023). The Initial Calibration Date of the Antikythera Mechanism after the Saros Spiral Mechanical Apokatastasis. *Almagest*, 14(1):4–39. DOI: <https://doi.org/10.1484/J.ALMAGEST.5.134609>.
- Wright, M. T. (2005). Epicyclic Gearing and the Antikythera Mechanism, part 2. *Antiquarian Horology*, 29(1):54–60.
- Yagi, E., Badash, L., y de Beaver, D. (1996). Derek J. de S. Price (1922-83) Historian of science and herald of scientometrics. *Interdisciplinary Science Reviews*, 21(1):64–84. DOI: <https://doi.org/10.1179/isr.1996.21.1.64>.
- Zotti, G., Hoffmann, S. M., Wolf, A., Chéreau, F., y Chéreau, G. (2021). The Simulated Sky: Stellarium for Cultural Astronomy Research. *Journal of Skyscape Archaeology*, 6(2):221–258. DOI: <https://doi.org/10.1558/jsa.17822>.

LOS INTERVALOS ENTRE LOS ECLIPSES LUNARES SUCESIVOS Y LA ESTRUCTURA DE LA TABLA DE ECLIPSES DEL CÓDICE DE DRESDE

Stanislaw Iwaniszewski^{1,*}

¹Posgrado en Arqueología, Escuela Nacional de Antropología e Historia
Instituto Nacional de Antropología e Historia, México

Recibido: 15/agosto/2023

Aceptado: 4/octubre/2023

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.17083>

RESUMEN

A pesar de las interpretaciones recientes de Bricker y Bricker y Justeson, la manera en la que los mayas construyeron la Tabla de Eclipses del Códice de Dresde aún queda desconocida. Si bien la estructura de la tabla revela, en cierto modo, los métodos y procedimientos mediante los cuales se hicieron las predicciones, necesitamos averiguar cómo los mayas llegaron a desarrollarlas. Es posible que los mayas desarrollaron sus predicciones a partir de los registros de las fechas de eclipses, sin embargo, las desconocemos. Podemos corregir la necesidad de datos brutos con los catálogos de eclipses de Espenak y Meeus. Debido a que en un área determinada se perciben más eclipses lunares que solares, asumimos que los mayas podrían predecir los eclipses solares de la misma manera que los lunares. Utilizando los datos de Espenak y Meeus mencionados arriba Justeson dedujo que los escribas mayas eligieron los períodos de 88 meses sinódicos (*tzolkinex*) para predecir eclipses. En este artículo demuestro que la secuencia de los intervalos de cinco y seis meses representados en la Tabla de Eclipses parece seguir los patrones de eclipses lunares visibles en la región maya en los siglos que preceden su instalación a mediados del siglo VIII. El trabajo sugiere que los mayas abandonaron el *tzolkinex* y adoptaron la cuenta del triple *tritots* (3 x 135 lunaciones). Se examinan los ciclos lunares visibles en Copán.

Palabras clave: astronomía maya, predicción de eclipses, *tzolkinex*, *tritots*, Copán .

ABSTRACT

The intervals between successive visible lunar eclipses and the structure of the Eclipse Table of the Dresden Codex. Despite recent interpretations by Bricker and Bricker and Justeson, the ways in which the Maya assembled the Dresden Codex Eclipse Table still need to be discovered. While the table structure reveals the methods and procedures by which they made predictions, we need to find out how the Maya came to develop them. It is possible that the Maya developed their forecasts from the records of eclipse dates; however, we have yet to discover them. We can correct the need for raw data with the solar and lunar eclipse canons of Espenak and Meeus. Because more lunar than solar eclipses are seen in any given area, we assumed that the Maya could predict solar eclipses in the same way as the lunar ones. Using the above data from Espenak and Meeus, Justeson deduced that the Mayan scribes chose the periods of 88 synodic months (*tzolkinex*) to predict eclipses. In this article, I demonstrate that the sequence of the five- and six-month intervals represented in the Eclipse Table appear to follow the patterns of lunar eclipses visible in the Maya region in the centuries preceding their installation in the mid-8th century. The work suggests that the Maya abandoned the *tzolkinex* and adopted the triple *tritots* count (3 x 135 lunations). Visible lunar cycles at Copán are examined.

Keywords: Maya astronomy, prediction of eclipses, *tzolkinex*, *tritots*, Copán .

*siwanisz@yahoo.com  <https://orcid.org/0000-0001-5365-7143>

1 Introducción

Por ser eventos celestes impresionantes, los eclipses de sol y luna siempre han causado gran curiosidad y preocupación.¹ Mientras que la creciente industria del astroturismo explota el deseo de excursionistas de observar los eclipses solares transportándolos miles de kilómetros a los lugares en donde podrán verlos, en otros tiempos y lugares los eclipses eran vistos con cierta inquietud y angustia, asociados con circunstancias desfavorables para la sociedad. Comúnmente, los eclipses fueron reconocidos como portadores de significados, como signos o señales de acontecimientos que iban a suceder.

Puesto que los eclipses se producen periódicamente, no pertenecen a los fenómenos erráticos imposibles de predecir. Sin embargo, comparados con otros eventos recurrentes en la bóveda celeste, los eclipses parecen mostrar cierto reto porque demandan observar el cielo con más atención. Su periodicidad facilita diseñar una regla de predicción sin la necesidad de entender astronómicamente como se producen. Quizá la más famosa de esas fórmulas es el ciclo de “dieciocho años” o “saros” descubierto por los babilonios y empleado por los griegos². Claro está que estas “reglas de pulgar” no podían anunciar todos los eclipses observables en un sitio determinado, ni pronosticar en donde se iban a presentar, sin embargo, daban cierta impresión de controlar- o dominarlos. La predicción basada en la recurrencia de eclipses es un fenómeno que se encuentra en varias astronomías pretelescopicas (Steele, 2000b). Aunque la invención de la física newtoniana mejoró la precisión de la predicción de eclipses, es la publicación electrónica de la NASA de los catálogos de eclipses solares y lunares la permite cotejar los registros de eclipses de distintas culturas y sociedades y determinar precisa- y confiablemente la ubicación y los momentos de la trayectoria de todos los eclipses entre 2000 a.C. y 3000 d.C. (Espenak y Meeus, 2007).

También los pueblos mesoamericanos mostraron gran interés en pronosticar eclipses. Su modo consistió en asociar los ciclos de eclipses con los ciclos del *tzolk'in*, una cuenta calendárica basada en 260 días. Así, al menos, lo manifiesta la llamada Tabla de Eclipses del Código de Dresde, la cual asocia 46 series de 260 días con 69 posibilidades de eclipses ($46 \times 260 = 11960$, $69 \times 173.31 = 11958.39$ días). Aunque se piensa que el Código de Dresde fue elaborado durante el Postclásico, alrededor del siglo XIII, (véanse Bricker y Bricker, 2011: 6-7; Velásquez García, 2016: 11; Thompson, 1988: 40-41) o un poco después (Paxton, 2022), algunas de sus secciones fueron copiadas o reproducidas de otros manuscritos cuyos originales provienen de siglos anteriores. Los especialistas parecen haber aceptado de que la Tabla fue elaborada en el siglo VIII, tal como lo indica la fecha de la Cuenta Larga (9.16.4.10.8 12 Lamat [1 Muan] = 755 d.C.) y empleada con ciertos ajustes hasta los siglos XIII y XIV (Bricker y Bricker, 2011: 273, 340-342). Algunos investigadores consideran que la tabla contiene la información derivada de las observaciones anteriores. De acuerdo con (Lounsbury, 1978: 811, 814) el cómputo de los eclipses podría iniciarse en las últimas décadas del siglo VII, pero según (Aveni, 1980: 180-181) y (Justeson, 1989: 83-85) – su origen podría remontarse hacia el siglo V. En 2017, Justeson publicó los resultados de su investigación en la cual examinó las fechas de los eclipses lunares de los catálogos producidos por Espenak y Meeus (2007) publicados por la NASA. El análisis estadístico de las fechas de los eclipses lunares observables en la región maya entre el 1er siglo a.C. y el siglo XVI d.C. permitió a este especialista a proponer que los mesoamericanos adoptaron el ciclo

¹Este artículo se basa en la ponencia presentada al XII Congreso Internacional de Mayistas celebrado del 26 al 30 de junio del 2023 en la Ciudad de México.

²Un ciclo de saros es un período igual a 223 lunaciones (meses sinódicos), tras el cual se repiten las circunstancias de un eclipse (solar o lunar). En los textos babilónicos el saros fue llamado “18 años” (Neugebauer, 1975: 497). En promedio, en un saros ocurren 38 posibilidades de eclipses, 33 de las cuales están separadas por las secuencias de 6 meses y las 5 restantes por los lapsos de 5 meses. Las relaciones entre el número de los intervalos de 5 y 6 meses describe la fórmula, en donde “a” y “b” son los números enteros y $a > 5b$. La única solución para la fórmula $6a + 5b = 223$ es $a = 33$ y $b = 5$, o sea, $6 \times 33 + 5 \times 5 = 223$ (consúltese la discusión en Steele, 2000b: 14 y 2002: 408-409).

de 88 lunaciones para prever eclipses. Observando que la utilidad de este ciclo fue de corta duración, de 170 a 200 años aproximadamente, este investigador propuso que los mayas conocieron este deslizamiento y buscaron otros ciclos de 88 lunaciones para seguir pronosticando. Por lo tanto, Justeson estudió las distintas familias (grupos) de los ciclos de 88 lunaciones a lo largo de estos 1600 años. Interesante, para él la Tabla de Eclipses fue elaborada para funcionar entre 1076 y 1116 d.C. Puesto que el lapso de 88 lunaciones es casi igual a 2600 días ($88 \times 29.53059 = 2598.69$ días) y 10 *tzolk'ines* (10×260 días) la propuesta de Justeson es particularmente interesante ya que adapta la predictibilidad de eclipses a la estructura calendárica mesoamericana. Además su propuesta incluye la idea de Teeple (1931) quien ha demostrado que 2×260 días = 3 medios años de eclipses (de 173.31 días cada uno).

Finalmente, para completar este breve repaso de opiniones y posiciones, vale la pena recalcar que los especialistas comienzan a coincidir en que los mayas utilizaron las observaciones del eclipses lunares para construir la tabla (Aveni, 1980: 178-181; Justeson, 2017). En el presente trabajo demostraré que efectivamente, la estructura de la Tabla de Eclipses se origina del registro de las observaciones de los eclipses lunares observables en el área maya. También señalaré que su estructura se basa en un ciclo de 135 lunaciones.

2 Sobre la periodicidad de los eclipses

Los eclipses se producen cuando los tres cuerpos astronómicos, el Sol, la Luna y la Tierra se sitúan sobre una línea recta denominada "sizigia" (sicigia, "reunión" en griego). Solo el Sol emite la luz, mientras que la Luna y la Tierra se mueven en el espacio con una mitad (aproximadamente) iluminada proyectando sus sombras en el lado opuesto. Un eclipse se produce cuando uno de los cuerpos, la Luna o la Tierra, se interpone en el camino de rayos solares, generando la sombra en el otro cuerpo. Los eclipses de Sol se producen cuando la Luna se halla en novilunio (o en la conjunción con el Sol), los eclipses de Luna ocurren cuando la Luna está en plenilunio (o en la oposición a la posición del Sol). No obstante, los eclipses no suceden cada vez que hay una luna nueva o llena. Mientras que la Tierra recorre el camino alrededor del Sol sobre la eclíptica, la Luna gira alrededor de la Tierra en una órbita inclinada alrededor de 5 grados respecto al plano de la eclíptica. La órbita lunar cruza la eclíptica en dos puntos llamados nodos. Y solo cuando se encuentra cerca de ellos puede producir eclipses solares o padecer eclipses propios.

El intervalo medio entre dos pasos sucesivos de la Luna por el mismo nodo se llama mes draconítico y dura 27.2122 días aproximadamente. La posición de nodos no es fija y retrograda sobre la eclíptica, por eso los eclipses ocurren sobre el fondo de distintas constelaciones zodiacales.

Naturalmente, para que se produzca un eclipse también el Sol debe colocarse lo suficientemente cerca de uno de los nodos de la órbita lunar. Cuando el Sol se sitúa cerca del nodo, inicia la llamada estación de eclipses (o temporada de eclipses) que dura unos 35 días (exactamente entre 31 y 37 días). Solo durante este periodo se dan condiciones de eclipses. Para volver al mismo nodo el Sol tarda 346.62 días lo que constituye el llamado año de eclipses y es unos 19 días más corto que el año solar (365.2422 días). Los puntos medios de cada temporada de eclipses están separados entre sí por 173.31 días, el medio año de eclipses, que es el periodo que tarda el Sol para llegar a un nodo opuesto. A grosso modo, los eclipses están separadas por 6 lunaciones (177.18 días).

Dado que el año de eclipses es más más corto que el año solar, el Sol puede cruzar hasta tres veces los nodos durante un año. Cuando el Sol se acerca a un nodo, siempre se producirá al menos un eclipse solar y un eclipse lunar. Sin embargo, debido a que la temporada de eclipses lunares es más corta y dura unos 25-26 días, los eclipses lunares son menos frecuentes que los solares.

Para finalizar, es necesario observar que para calcular los eclipses de Luna es necesario encontrar un mínimo común múltiplo de meses sinódicos y draconíticos (para simplificar las cosas omito el papel del mes anomalístico).

3 La predicción de eclipses

La regularidad con la cual se observan eclipses ayuda a crear simples reglas que permiten sustituir las teorías astronómicas más complejas y exactas. Naturalmente, las reglas derivadas de la identificación de los patrones de ocurrencia (“reglas del dedo gordo”, “reglas del pulgar”, rules of thumb) no son necesariamente rigurosas o fiables, pues su precisión no es comparable a la exactitud obtenida por la astronomía actual, no obstante, han sido suficientemente útiles para avisar sobre las temporadas de eclipses.

A pesar de que los eclipses solares son más frecuentes, cualquier intento de predecir eclipses tiene que empezar con la observación de los eclipses de Luna. Debido a que los eclipses de Luna se producen cuando la sombra de la Tierra cae en la superficie lunar, son visibles desde cualquier lugar de la Tierra en donde la Luna se encuentra sobre el horizonte. En cambio, los eclipses de Sol solo se perciben desde los lugares en la superficie de la Tierra en donde se proyecta la sombra de la Luna. Esta coincidencia hace que, observados desde un lugar específico, los eclipses de Luna son casi 4 veces más frecuentes que los de Sol (Britton, 1989: 3). Por tanto, el registro de los eclipses lunares permite comprender la periodicidad de este fenómeno antes de aplicarlo para predecir los eclipses de Sol.

Ahora bien, para que vuelva otro eclipse de Luna, este astro tiene que hallarse en la misma fase (plenilunio), es decir, después de recorrer un número entero de meses sinódicos. El resto consiste en fijarse en la secuencia de fechas de plenilunios y disponer de un amplio registro de eclipses lunares (por ejemplo, Aaboe, 1972: 106-107; Britton, 1989: 2-3; Steele, 2000a: 423-424).

El método es simple y consiste en contar las lunaciones a partir del último eclipse lunar visible (véanse Aaboe, 1972: 107-109; Brack-Bernsen y Steele, 2005: 181-182; Britton, 2007: 89-90; ?, ?: 84; Steele, 2000a: 423-424; 2000b: 14; 2002: 408-409; Huber y De Meis, 2004: 7). Por lo general, se necesitan completar 5 o 6 meses sinódicos para que la Luna llegue al plenilunio y suceda una posibilidad de eclipse³. Aunque también suceden los eclipses de Luna separados por una lunación, sin embargo en la mayoría de los casos son invisibles (Britton, 1989: 3; Meeus, 2004: 66). Ahora bien, al comparar los intervalos de 5 (147.65 días) y 6 lunaciones (=177.18 días) con la duración del medio año de eclipses (=173.3 días) se percibe que se necesitan más secuencias de 6 meses que las de 5 meses para acercarse a la duración del medio año de eclipses. Podemos adelantar que los eclipses suceden aproximadamente cada 5.8 lunaciones.

El segundo paso consiste en transformar el conteo de 5 o 6 lunaciones en las medidas de tiempo. De este modo el intervalo de 5 o 6 lunaciones es el tiempo mínimo requerido para volver a ver el eclipse. Y si no se presenta, hay que esperar otras 5 o 6 lunaciones, lo que produce un intervalo de 11 o 12 meses sinódicos. Y si observando el cielo, el eclipse de Luna no vuelve a aparecer, contamos otras 5 o 6 lunaciones, sumando ya los 17 o 18 meses. De esta manera se comprueba que la duración de los intervalos entre los eclipses visibles sucesivos siempre combina los múltiplos de 6 lunaciones con una serie de 5 lunaciones. Ahora bien, el periodo de 11 lunaciones resulta de la suma de 6+5 lunaciones mientras que el de 12 lunaciones

³La expresión “posibilidad de eclipse” (PE) la tomo de (Britton, 1989: 3-4). Hay que tener en cuenta que las reglas de pulgar no prometen el nivel correspondiente de certidumbre astronómica de que el eclipse realmente suceda en cierto momento y lugar, solamente avisan sobre la posibilidad de eclipse. Por otro lado, dicha regla indica que los eclipses no pueden suceder en cada Luna Llena.

contiene 6+6 lunaciones. De la misma manera observamos que el periodo de 17 lunaciones se compone de 6+6+5 meses, mientras que el periodo de 18 lunaciones consta de 6+6+6 meses. En otras palabras, a veces las posibilidades de eclipse están separadas por 6 meses y a veces resultan de la combinación de las series de 5 y 6 meses. Usando el guion para marcar la posibilidad de eclipse, en el último caso tenemos 6-6-5- y 6-6-6-, respectivamente lo que indica que en los periodos de 17 y 18 lunaciones suceden tres posibilidades de eclipse. De este modo construiremos paulatinamente un patrón consistente de los grupos de 6 lunaciones separados de vez en cuando por un grupo de 5 lunaciones. Esta característica permite diferenciar entre varios grupos de 6 meses.

De esta manera, los múltiplos de 6 meses, o en ocasiones de $6n+5$ meses, pueden convertirse en los periodos de tiempo, es decir, en las medidas de tiempo para predecir la posibilidad de eclipses⁴. Dicha regla parece ser muy sencilla ya que lo único que se necesita es determinar cuando cae el intervalo de 5 meses. Como se verá más adelante, la Tabla de Eclipses del Códice de Dresde coloca el intervalo de 5 meses al final de un grupo que contiene varios múltiplos de 6 meses. La inserción de los 5 meses marca el fin del un grupo y el comienzo de otro grupo de 6 meses. Ya que la posición del intervalo de 5 meses afecta la estructuración de las secuencias de intervalos de 6 meses, su ubicación es útil para identificar grupos individuales de 6 meses y, por lo tanto, reconocer momentos favorables a las posibilidades de eclipses.

Lo único que se necesita es construir un patrón que contiene varios grupos de 6 lunaciones separados por un grupo de 5 lunaciones. Lo que es importante es determinar el momento cuando conviene intercalar el intervalo de 5 meses.

Una de las reglas más famosas inventada para predecir eclipses en la época pre-telescópica es sin duda *saros*, el ciclo de 223 meses igual a 18 años. Como bien observa [Steele \(2000a: 422\)](#) usando el procedimiento descrito arriba los antiguos babilonios pudieron distinguir aquellos novilunios en los cuales los eclipses solares eran posibles y excluir aquellos en que no. No obstante, el saros no es el único ciclo que puede describir la periodicidad de eclipses. En la Tabla 1 se reproduce parte de la información acerca de los ciclos de eclipses aplicables a la construcción de las reglas de dedo para predecirlos. Siguiendo la nomenclatura de [Espenak y Meeus \(2007\)](#), el ciclo de 88 lunaciones recibe el nombre de *tzolkinex* y el de 135 lunaciones el nombre de *tritos*.

4 La estructura de la Tabla de Eclipses del Códice de Dresde

La llamada Tabla de Eclipses del Códice de Dresde se extiende de la página 53a hasta 58b y representa el conteo de los meses esquemáticos de 29 o 30 días para advertir sobre las fechas de las posibilidades de eclipse (Tabla 2). Igual que las tablas de Venus y Marte, la tabla propiamente dicha, está precedida por la introducción y la información necesaria para proceder con ella (Dresde 51a-52a; véase [Bricker y Bricker, 2011: 249-261](#)). La tabla representa 69 columnas con los números escritos en puntos y barras separadas por 10 imágenes que aluden a eclipses. Cada una de esas columnas corresponde a un grupo de 6 o 5 meses. El número de 177 días implica que se trata de 3 meses de 29 días y 3 meses de 30 días que se alternan simétricamente: 30, 29, 30, 29, 30, 29, mientras que el número de 178 días señala que hay 4 meses de 30 días y solo 2 meses de 29 días, arreglados por ejemplo como: 30, 29, 30, 30, 29, 30. Análogamente el número de 148 días denota una tanda de 5 meses: de 30, 29, 30, 29, 30 días. Además observamos que

⁴Mi procedimiento difiere aquí de lo que propone Britton. Para él, dicho intervalo es siempre “un múltiplo de 6 meses o 1 mes menos que dicho múltiplo” ([Britton, 1989: 5; 2007:89-90](#)), o sea $6n-1$. Ya que mi narrativa va en otra dirección, determinada por la Tabla de Eclipses, que coloca el grupo de 5 lunaciones al final del los múltiplos de 6 meses, como lo es por ejemplo 6+6+5, a mi me parece natural expresar dicha secuencia como $6n+5$.

Tabla 1: Ciclos de eclipses. Datos y nombres de ciclos según [Hartner \(1969\)](#), [Britton \(1989\)](#), [Espenak y Meeus \(2007\)](#), [Querejeta \(2011\)](#) y [McMinn \(2013\)](#).

Nombre	Lunaciones	Días	Tandas de 6 meses	Tandas de 5 meses	Periodicidad	Fórmula 6a+5b 6a+5b
	5	147.65	0	1	5	5
Semestre	6	177.18	1	0	6	6
Hepton	41	1210.75	6	1	41:7 = 5.857	6x6+5
Octon	47	1387.94	7	1	47:8 = 5.875	6x7+5
Tzolkinex	88	2598.69	13	2	88:13 = 5.867	6x13+5x2
Tritos	135	3986.63	20	3	135:23 = 5.870	6x20=5x3
Saros	223	6585.32	33	5	223:38 = 5.868	6x33+5x5
	317	9361.20	47	7	317:54 = 5.870	6x47+5x7
Inex	358	10571.95	53	8	358:61 = 5.869	6x53+5x8
Triple tritos(Dresde)	405	11959.89	60	9	405:69 = 5.8695	6x60+5x9
Exeligmos(triple saros)	669	19755.96	99	15	669:114 = 5.868	6x99+5x15

las columnas que representan los intervalos de 6 meses (las columnas con 177/178 días) terminan con una tanda de 5 meses (148 días) seguida por una imagen; la única excepción la constituye el Grupo X (ver Tabla 2 página 58b) en donde la imagen aparece después de una columna que evidencia 177 días (6 meses). En total, la tabla contiene 60 columnas de 177/178 días que corresponden a los grupos de 6 meses y 9 segmentos con 148 días que equivalen a 5 meses, en total, 69 columnas o 405 meses (60 x 6 + 9 x 5 = 405). Evidentemente las imágenes sirven para separar visualmente e identificar fácilmente cada uno de los grupos. En suma, la estructura de la tabla demuestra que existía un método especializado de agrupar los meses para avisar de posibilidades de eclipses.

La tabla comienza con la Cuenta Larga 9.16.4.10.8 12 Lamat [1 Muan] correspondiente al 6 de noviembre de 755⁵. En la página 52a esta fecha se encuentra entremezclada con las otras, de las cuales dos se colocan a los 15 días y 30 días después: 9.16.4.11.3 1 Akbal [16 Muan] y 9.16.4.10[11].18 3 Edznab [11 Pax] correspondientes a 21 de noviembre y 6 de diciembre de 755, respectivamente (página 52a). Según [Bricker y Bricker \(2011: 253-255\)](#) las tres fechas marcan la temporada de eclipses con la duración estandarizada de 30 días⁶. La cuarta fecha en la página 52a no sigue este patrón y su significado queda aún desconocido ([Bricker y Bricker, 2011: 255-256](#)).

Ahora bien, para simplificar más las consideraciones, propongo reemplazar los períodos de 177/178 días con el número de 6 meses y 148 días con la anotación de 5 meses. Esta conversión permite construir la Tabla 3. Mediante este sencillo procedimiento se revela el patrón con el cual los mayas arreglaron las secuencias de los meses lunares. Primero, observamos que con la excepción del Grupo X cada grupo termina con un grupo de 5 meses. También se percibe que los grupos II, III y IV y V, VI y VII parecen

⁵Todas las fechas están dadas en el calendario juliano utilizando la constante de 584283.

⁶Los autores cuentan erróneamente 31 días de la siguiente manera: 15 días + nodo + 15 días, pero entre 12 Lamat y 3 Eznab hay tan solo 30 días.

Tabla 2: El esquema de los intervalos de la Tabla de Eclipses del Códice de Dresde. La tabla contiene 405 meses marcando 69 posibilidades de eclipse (según Iwaniszewski (2022: 75 Figura 4)).

53a Grupo I	53a-55a Grupo I	55a-56a Grupo III	56a-57a Grupo IV	58a-52b Grupo V	52b-53b Grupo VI	53b-54b Grupo VII	54b-56b Grupo VIII	56b-57b Grupo IX	57b-58b Grupo X
0	177	178	177	177	178	177	177	177	177
177	177	177	177	177	177	177	177	178	177
177	177	177	177	178	177	177	178	177	177
148	178	177	178	177	177	177	177	177	177
imagen	177	177	177	177	177	177	177	177	imagen
	177	148	177	177	148	177	177	177	
	177	imagen	148	177	imagen	148	177	148	
	177		imagen	177		imagen	177	imagen	
	177			177			148		
	177			177			imagen		
	imagen			imagen					

conformar los módulos del nivel superior que contienen 20 columnas de 6 meses y 3 columnas de 5 meses, en total 23 columnas, mientras que los grupos VIII, IX y X cuentan solo con 18 columnas de 6 meses y 2 columnas de 5 meses, en total 20 columnas. Es fácil darse cuenta de al colocar el Grupo I junto con los grupos VIII, IX y X también se llega a la unidad compuesta de 23 columnas. Esta situación se representa en la Tabla 4.

Segundo, con esta transformación la estructura de la Tabla de Eclipses se presenta compuesta de tres módulos con 23 columnas cada uno, de los cuales 20 columnas tienen 6 meses y tres columnas solo 5 meses. Dado que cada módulo consta de 135 meses, toda la tabla contiene 405 meses (= 3 x 135, véanse Guthe, 1921: 20-21; Lounsbury, 1978: 795)⁷.

Tercero, reemplazando la notación de los meses esquemáticos de 29 o 30 días con el concepto de lunaciones (meses sinódicos), vemos que cada columna advierte sobre la posibilidad de eclipse y cada módulo advierte sobre la posibilidad de 23 eclipses. Vemos que toda la tabla permite avisar sobre la posibilidad de 69 (= 3 x 23) eclipses. Dado que al comienzo de nuestras consideraciones hablábamos de los eclipses lunares, ahora asumimos que esta estructura se deriva de la observación de los eclipses lunares. Eso significa que según los mayas la probabilidad de eclipse ocurre en promedio cada 5.87 meses (405:69 = 5.8695). Obviamente es imposible que aparezcan dos intervalos consecutivos de 5 meses.

Cuarto. Los datos de la Tabla de Eclipses muestran que los mayas divisaron las secuencias sucesivas de las posibilidades de eclipses separadas entre si por 6 lunaciones tras las cuales insertaron una posibilidad de eclipse siguiendo el intervalo de 5 meses respecto con la posibilidad anterior. En cada uno de los grupos de 135 meses un intervalo de 5 meses coincide con un número variado de los intervalos de 6 meses.

⁷Algunos investigadores hablan de "tres unidades modulares de aproximadamente 3986 días cada una" (Bricker y Bricker, 2011: 260-261) mientras que otros hablan de tres periodos de 135 meses o de tres periodos de medio años de eclipse (3 x 173.31 = 3986.13 días) (Guthe, 1921: 11, 18-23, 29; Willson, 1924: 11). Desde los tiempos de Meinshausen (1913) los estudiosos hablan de la división de la Tabla en tres unidades de 3986 y 3987 días, desde los tiempos de Guthe (1921) sobre tres intervalos de 135 meses y desde los tiempos de (Willson, 1924: 1) sobre tres periodos de 23 medio años de eclipse. Curiosamente, ninguno de los investigadores consideró agrupar las predicciones en subunidades compuestas de 23 medio años de eclipse, 135 meses o 3986/7 días como los intervalos útiles para predecir eclipses como los son el saros o el exeligmos.

Tabla 3: Intervalos de la Tabla de Eclipses. Cada tilde guión -indica la presencia de una posibilidad de eclipse (PE). Según Iwaniszewski (2022: 77 Figura 5).

Grupo	Secuencia	Los grupos de 6 versus 5 meses lunares	Número de la posibilidad de eclipses	Número de meses	Los grupos de 6 versus 5 meses lunares
I	6-6-5-imagen	2:1	3	17	2:1
II	6-6-6-6-6-6-6-6-5-imagen	9:1	10	59	20:3
III	6-6-6-6-6-5-imagen	5:1	6	35	
IV	6-6-6-6-6-6-5-imagen	6:1	7	41	
V	6-6-6-6-6-6-6-6-6-5-imagen	9:1	10	59	20:3
VI	6-6-6-6-6-5-imagen	5:1	6	35	
VII	6-6-6-6-6-6-5-imagen	6:1	7	41	
VIII	6-6-6-6-6-6-6-6-5-imagen	8:1	9	53	18:2
IX	6-6-6-6-6-6-5-imagen	6:1	7	41	
X	6-6-6-6-imagen	4:0	4	24	
Total		60:9	69	405	60:9

Esta coincidencia permite usarlos como indicadores o marcadores del grupo. Ahora bien, en cada ciclo de 135 meses hay 23 posibilidades de eclipse, 20 de las cuales están separados por 6 meses, mientras los restantes 3 cada 5 meses. O sea, $135 = 20 \times 6 + 3 \times 5$. Distribuyendo simétricamente los intervalos de 6 meses, la secuencia debe aproximarse a $20 \times 6 + 3 \times 5 = (7 \times 6 + 1 \times 5) + (7 \times 6 + 1 \times 5) + (6 \times 6 + 1 \times 5)$ lo que los investigadores suelen convertir en la notación de tipo 8-8-7, en donde 7 u 8 denota la cantidad de posibilidades de eclipses sucesivas separadas entre si por 6 meses seguidas por un intervalo de 5 meses.

Tabla 4: La hipotética reconstrucción de la Tabla de Eclipses del Código de Dresde. Cada módulo contiene 20 grupos de 6 meses y 3 grupos de 5 meses creando los grupos de 135 meses lunares ($20 \times 6 + 3 \times 5 = 135$) cada uno. Según Iwaniszewski (2022: 77 Figura 6).

Grupo	Secuencia	Los grupos de 6 versus 5 meses lunares	Número de la posibilidad de eclipses	Número de meses	Los grupos de 6 versus 5 meses lunares
II	6-6-6-6-6-6-6-6-6-5-imagen	9:1	10	59	20:3
III	6-6-6-6-6-5-imagen	5:1	6	35	
IV	6-6-6-6-6-6-5-imagen	6:1	7	41	
V	6-6-6-6-6-6-6-6-6-5-imagen	9:1	10	59	20:3
VI	6-6-6-6-6-5-imagen	5:1	6	35	
VII	6-6-6-6-6-6-5-imagen	6:1	7	41	
VIII	6-6-6-6-6-6-6-6-5-imagen	8:1	9	53	20:3
IX	6-6-6-6-6-6-5-imagen	6:1	7	41	
X	6-6-6-6-imagen-6-6-5-imagen	6:1	7	41	
Total		60:9	69	405	60:9

Sin embargo, la estructura de la Tabla de Eclipses revela un patrón diferente. Dos de los grupos de 135 meses (Grupos II, III y IV y V, VI, VII) demuestran la secuencia $(9 \times 6 + 1 \times 5) + (5 \times 6 + 1 \times 5) + (6 \times 6 + 1 \times 5)$ o 10-6-7, mientras que el tercer grupo (Grupos VIII, IX, X y I) exhibe la secuencia $(8 \times 6 + 1 \times 5) + (6 \times 6 + 1 \times 5) + (6 \times 6 + 1 \times 5)$ o 9-7-7 (ver Tabla 5). Ambas secuelas se alejan de la distribución simétrica o pareja se las posibilidades de eclipse lo que, en mi opinión, puede indicar su dependencia de las observaciones actuales. En resultado, separando los grupos I y X tenemos 2-1, 10-6-7, 10-6-7 y 9-7-4 (consultase Tabla 5).

Tabla 5: El desarrollo de las secuencias de los grupos de 6 meses separados por los intervalos de 5 meses.

Grupo	Número de meses	Número de meses contados desde la página 53a antes de la imagen	Número de grupos de 6 meses contados desde la página 53a antes de la imagen	Número de grupos de 5 meses contados desde la página 53a antes de la imagen
Tabla de eclipses				
I	17	17	2	1
II	59	76	11	2
III	35	111	16	3
IV	41	152	22	4
V	59	211	31	5
VI	35	246	36	6
VII	41	287	42	7
VIII	53	340	50	8
IX	41	381	56	9
X	24	405	60	9
Estructura hipotética				
Grupo	Número de meses	Número de meses contados desde la página 53a antes de la imagen	Número de grupos de 6 meses contados desde la página 53a antes de la imagen	Número de grupos de 5 meses contados desde la página 53a antes de la imagen
II	59	59	9	1
III	35	94	14	2
IV	41	135	20	3
V	59	194	29	4
VI	35	229	34	5
VII	41	270	40	6
VIII	53	323	48	7
IX	41	364	54	8
X + I	41	405	60	9

Haciendo uso de estos datos se nota que los grupos que aparecen en la estructura hipotética de la Tabla de Eclipses se definen por la expresión $6n+5$. Además el número de grupos depende de la cantidad de los intervalos de 5 meses. Cotejando ahora esta estructura con la Tabla de Eclipses se observa que el Grupo X solo anota 4 intervalos de 6 meses sin el grupo de 5 meses adjunto (véase Tabla 5). Para evitar esta discrepancia el Grupo X está unido al Grupo I.

5 Catálogo de eclipses observables del área maya

Para comprender los intervalos de eclipses de la Tabla de Eclipses del Códice de Dresde es necesario tener acceso a las fechas de eclipses lunares observables en la región maya. Sin embargo, contamos solo con la secuencia escasa de las fechas de sicigias de la Luna (instantes del novilunio o plenilunio) y ningún registro confiable de eclipses. No obstante, en los años recientes los cómputos de eclipses alcanzaron la precisión suficiente para remediar esta situación. Entre los catálogos de las fechas de eclipses publicados recientemente destacan los registros publicados por la NASA (Espanak y Meeus, 2007). Una de sus aplicaciones, JavaScript Lunar Eclipse Explorer, permite generar los datos sobre la visibilidad de eclipses desde una localidad particular. En este trabajo se procesaron las fechas de los eclipses lunares parciales y totales visibles desde Copán porque: 1) el sitio se sitúa está cerca del meridiano de 90° W y los resultados no necesitan ser reajustados, y 2) en este sitio se hallan las Series Lunares que podrían funcionar para predecir eclipses. El proyecto abarca también los estudios de los eclipses lunares desde otros centros mayas (Palenque, Cobá y Chichén Itzá).

El presente estudio analiza los eclipses lunares visibles en Copán entre 300 y 800 d.C. La primera fecha antecede por unos años el primer registro conocido de la Serie Lunar⁸ plasmado en la Estela 9 de Uaxactún, con una fecha de 8.14.10.3.15 correspondiente al año 327 d.C. Aunque el registro se encuentra parcialmente ilegible no cabe duda que los escribanos mayas divisaron la cuenta contando los grupos de 6 meses lunares lo que muy hipotéticamente podría compararse con el lapso de las 6 lunaciones que separan las posibilidades de eclipses. Queda manifiesto que la idea de crear los grupos de 6 meses se estableció antes de esta fecha. La segunda fecha coincide con el ocaso y abandono de Copán. Aunque la última fecha conocida que contiene la Serie Lunar procede del Templo de la Serie Inicial en Chichén Itzá mostrando la fecha 10.2.9.1.9 (878 d.C.), en realidad, tras el año 810 el número de monumentos con esta notación disminuye drásticamente. En Copán la Serie Lunar más temprana conocida se encuentra en la Estela 63 mostrando la fecha 9.0.0.0.0 (435 d.C.) y la última fecha conocida proviene del Templo 11 (9.17.2.12.16 \approx 773 d.C.). Por lo tanto, el rango de fechas de los eclipses lunares parece ser suficiente para el análisis de los intervalos de los eclipses en Copán.

Aunque el catálogo de Espanak y Meeus contiene las fechas de los eclipses lunares (parciales y totales) observables desde Copán, es necesario revisarlas porque sus circunstancias (las horas del inicio y fin, la altura sobre el horizonte) pueden retirar algunas de ellas de la lista. Ya que carecemos de los registros de las observaciones de eclipses hechas por los mayas durante el periodo del Clásico (250 – 800 d.C.), se utilizaron los datos provenientes de Babilonia. El primer paso consistió de generar las tablas de eclipses lunares observables desde Babilonia entre 747 y 341 a.C. para cotejarlas con las fechas de eclipses lunares registrados por los babilonios (Britton, 1989, 2007; Huber y De Meis, 2004; Steele, 2000a; Brack-Bernsen y Steele, 2005). Comparando estos datos con los eclipses visibles en Copán se precisaron las condiciones que debían cumplirse para asegurar la observación de eclipse.

Es de esperar que las observaciones fueron realizadas por los observadores adiestrados, quienes sabían más o menos cuándo buscar eclipses. Dado que no conocemos los lugares de observación, se tomó la altura del horizonte local de 0 grados. Las horas de salida y puesta del Sol fueron tomadas del sitio DateandTime.info (<https://dateandtime.info/es/citysunrisesunset.php?id>), tomando en cuenta las diferencias entre el calendario juliano y gregoriano proléptico. Adicionalmente, las fechas de

⁸Las llamadas Seres Lunares constan de 5-6 glifos ubicados después de la fecha de la Cuenta Larga. Indican la edad de la Luna, su ubicación en el grupo de 6 meses y la información si el mes en curso tenía 29 o 30 días.

los plenilunios fueron cotejadas con las tablas de [Goldstine \(1973\)](#) ⁹.

Tabla 6: Los eclipses lunares visibles en Copán. Datos tomados del canon de eclipses lunares de [Espanak y Meeus \(2007\)](#) ajustados a las condiciones locales. Se muestran los primeros 35 años del siglo IV.

Fecha calendario juliano	Número de meses desde la fecha anterior	Número de meses desde la primera fecha	Número de los intervalos de 6 meses	Número de los intervalos de 5 meses
09.05.301	0	0	0	0
02.11.301	6	6	1	0
20.08.305	47	53	8	1
01.07.307	23	76	11	2
14.12.308	18	94	14	2
30.04.310	17	111	16	3
24.10.310	6	117	17	3
14.10.311	12	129	19	3
07.04.312	6	135	20	3
27.02.313	11	146	21	4
16.02.314	12	158	23	4
11.08.314	12	158	23	4
06.02.315	6	170	25	4
14.12.317	35	205	30	5
14.11.319	24	229	34	5
29.03.321	17	246	36	6
22.09.321	6	252	37	6
11.09.322	12	264	39	6
01.09.323	12	276	41	6
15.01.325	17	293	43	7
04.01.326	12	305	45	7
04.11.328	35	340	50	8
28.02.332	41	381	56	9
22.08.332	6	387	57	9
16.02.333	6	393	5	9
11.08.333	6	399	59	9
16.12.335	29	428	63	10

⁹En los tiempos de la edición de este catalogo no se usaba la teoría de variaciones de las órbitas planetarias conocida como VSOP87. Por estas razones las horas de los plenilunios distan de los momentos de eclipses lunares

El presente análisis de las fechas de los eclipses se realizó en dos etapas. La primera etapa fue construir un registro de los eclipses lunares observables visibles en Copán entre el 09/05/301 y el 20/05/802 basado en las tablas de eclipses lunares de Espenak y Meeus ajustadas a las condiciones locales.

Por razones de espacio debo limitar esta descripción a la reproducción del inicio de esta tabla (Tabla 6). Después de la fecha juliana que marca el día local del eclipse siguen la columna 2 que proporciona el número de meses acaecidos desde el eclipse anterior y la columna 3 que marca el número de meses desde el inicio de la tabla. Lo que es particularmente importante para nuestras consideraciones se encuentra en las columnas 4-5. La columna 4 muestra el número de intervalos de 6 meses contados desde el primer eclipse de la lista y la columna 5 señala el número de intervalos de 5 meses desde el primer eclipse. Este procedimiento sigue la metodología descrita ya por Britton (1989: 4-7; 9-10). Se nota que los intervalos entre los eclipses lunares observables pueden ser subdivididos en grupos que abarcan varios múltiplos de 6 meses y terminan con un grupo de 5 meses siguiendo la fórmula de $6n+5$. Esta es la parte importante del análisis. No se comparan los intervalos que separan las fechas de eclipses lunares observables en Copán con los intervalos entre las fechas de la Tabla de Eclipses, sino las secuencias de tipo $6n+5$. Para crear la estructura pareja a la de la Tabla de Eclipses es necesario juntar todos los periodos de 6 meses que coinciden con el mismo número de los intervalos de 5 meses lo que demuestra Tabla 7. Se puede decir que si la Tabla 6 reproduce las fechas de todos los eclipses lunares observables en Copán, la Tabla 7 especifica todos los intervalos de índole de $6n+5$ meses que ocurrieron entre 301 y 802.

A partir de la elaboración de la Tabla 7 observamos que entre el 9 de mayo del año 301, la fecha del primer eclipse observable en el siglo IV y el 2 de mayo de 802, la fecha del primer eclipse lunar observable en el siglo IX, sucedieron 6197 lunaciones. Durante este periodo se produjeron 1056 posibilidades de eclipses. El número promedio de las lunaciones en cuanto al número de las posibilidades de eclipses es 5.87 ($6197:1056=5.86837$). Durante este periodo sucedieron 917 posibilidades de eclipse ocurridas 6 meses después del eclipse anterior y 139 posibilidades de eclipse después de 5 meses (véase Tabla 7).

La comparación de los datos exhibidos en la Tabla 7 con los grupos de meses separados por los intervalos de 5 meses en la Tabla de Eclipses (Tabla 5) demuestra que los intervalos de esta tabla están relacionados con la realidad astronómica. Por ejemplo, en ambas tablas aparecen los grupos de 35, 41, 53 y 59 meses. En las Tablas 5 y 7 el menor número de meses entre las posibilidades de eclipses en diferentes grupos es 17. Aunque el mayor número en la Tabla 7 es 88, queda obvio que consta de 2 grupos menores (ver años entre 592 y 599 en la Tabla 7). Por lo general, el número más alto es 71 ($=11 \times 6 + 5$) y todos los números siguen el mismo patrón de $6n+5$. Dicha comparación permite concluir que la estructura de la Tabla de Eclipses se deriva del registro sistemático de las observaciones de eclipses lunares.

Tabla 7: Los intervalos compuestos de $6n + 5$ meses. (2) - Número de meses desde el último intervalo de 5 meses; (3) Suma de meses; (4) Suma de grupos de 6 meses; (5) - Suma de grupos de 5 meses.

Fecha calendario					Fecha calendario				
juliano	(2)	(3)	(4)	(5)	juliano	(2)	(3)	(4)	(5)
09.05.301	0	0	0	0	15.10.422	47	1502	222	34
02.11.301	6	6	1	0	08.02.426	41	1543	228	35
20.08.305	47	53	8	1	02.06.429	41	1584	234	36
14.12.308	41	94	14	2	15.09.433	53	1637	242	37
30.04.310	17	111	16	3	08.01.437	41	1678	248	38
27.02.313	35	146	21	4	02.05.440	41	1719	254	39
04.12.317	59	205	30	5	08.02.445	59	1778	263	40
29.03.321	41	246	36	6	14.06.447	29	1807	267	41
15.01.325	47	293	43	7	01.04.451	47	1854	274	42
04.11.328	47	340	50	8	14.07.455	53	1907	282	43
28.02.332	41	381	56	9	15.10.460	65	1972	292	44
16.12.335	47	428	63	10	01.03.462	17	1989	294	45
04.10.339	47	475	70	11	14.06.466	53	2042	302	46
02.08.342	35	510	75	12	12.04.469	35	2077	307	47
10.05.347	59	569	84	13	2901.473	47	2144	314	48
23.08.351	53	622	92	14	17.11.476	47	2171	321	49
02.07.353	23	645	95	15	12.03.480	41	2212	327	50
30.03.359	71	716	106	16	05.07.483	41	2253	333	51
02.08.361	29	745	110	17	18.10.487	53	2306	341	52
31.05.364	35	780	115	18	10.02.491	41	2347	347	53
20.03.368	47	827	122	19	04.06.494	41	2388	353	54
14.07.371	41	868	128	20	16.09.498	53	2441	361	55
01.05.375	47	915	135	21	09.01.502	41	2482	367	56
17.02.379	47	962	142	22	03.05.505	41	2523	373	57
12.06.382	41	1003	148	23	15.08.509	53	2576	381	58
24.09.386	53	1056	156	24	08.12.512	41	2617	387	59
07.01.391	53	1109	164	25	02.04.516	41	2658	393	60
05.11.393	35	1144	169	26	16.07.520	53	2711	401	61
28.02.397	41	1185	175	27	15.05.523	35	2746	406	62
11.06.401	53	1238	183	28	03.03.527	47	2793	413	63
13.09.406	65	1303	193	29	20.12.530	47	2840	420	64
28.01.408	17	1320	195	30	14.04.534	41	2881	426	65
01.05.413	65	1385	205	31	30.01.538	47	2928	433	66
04.09.415	29	1414	209	32	14.05.542	53	2981	441	67
28.12.418	41	1455	215	33	14.03.545	35	3016	446	68

Tabla 7 (Continuación)

Fecha calendario juliano					Fecha calendario juliano				
(2)	(3)	(4)	(5)	(2)	(3)	(4)	(5)		
20.12.549	59	3075	455	69	22.12.679	59	4683	693	105
18.10.552	35	3110	460	70	22.10.682	35	4718	698	106
11.02.556	41	3151	466	71	14.02.686	41	4759	704	107
25.05.560	53	3204	474	72	21.11.690	59	4818	713	108
17.09.563	41	3245	480	73	19.09.693	35	4853	718	109
10.01.567	41	3286	486	74	12.01.697	41	4894	724	110
05.05.570	41	3327	492	75	27.04.701	53	4947	732	111
18.08.574	53	3380	500	76	29.07.706	65	5012	742	112
10.12.577	41	3421	506	77	07.06.708	23	5035	745	113
04.04.581	41	3462	512	78	16.03.713	59	5094	754	114
21.01.585	47	3509	519	79	24.01.715	23	5117	757	115
16.05.588	41	3550	525	80	01.11.719	59	5176	766	116
03.03.592	47	3597	532	81	30.08.722	35	5211	771	117
16.04.599	88	3685	545	83	19.06.726	47	5258	778	118
22.01.604	59	3744	554	84	18.04.729	35	5293	783	119
20.11.606	35	3579	559	85	31.07.733	53	5346	791	120
15.03.610	41	3820	565	86	23.11.736	41	5387	797	121
27.06.614	53	3873	573	87	17.03.740	41	5428	803	122
19.10.617	41	3914	579	88	24.12.744	59	5487	812	123
11.02.621	41	3955	585	89	17.04.748	41	5528	818	124
19.11.625	59	4014	594	90	14.02.751	35	5563	823	125
18.09.628	35	4049	599	91	29.05.755	53	5616	831	126
13.01.632	41	4090	605	92	30.08.760	65	5681	841	127
31.10.635	47	4137	612	93	14.01.762	17	5698	843	128
19.08.639	47	4184	619	94	12.10.767	71	5769	854	129
11.12.642	41	4225	625	95	25.02.769	17	5786	856	130
26.03.647	53	4278	633	96	14.12.772	47	5833	863	131
27.06.652	65	4343	643	97	01.10.776	47	5880	870	132
07.05.654	23	4366	646	98	26.01.780	41	5921	876	133
12.02.659	59	4425	655	99	01.11.784	59	5980	885	134
22.12.660	23	4448	658	100	02.09.787	35	6015	890	135
15.04.664	41	4489	664	101	26.12.790	41	6056	896	136
28.07.668	53	4542	672	102	08.04.795	53	6109	904	137
21.11.671	41	4583	678	103	01.08.798	41	6150	910	138
17.03.675	41	4624	684	104	20.05.802	47	6197	917	139

En general los intervalos de 41 meses son los que suceden con mayor frecuencia seguidos por los intervalos de 47, 53, 35 y 59 meses (Tabla 8); en total, estos intervalos constituyen casi el 85 % de todos los intervalos observados entre el 301 y 802 d.C. También se nota una cierta evolución de estos intervalos. Los datos que abarcan los siglos IV, V y VI muestran varias secuencias continuas de los intervalos de 41 y 47 meses que sin duda facilitan conservar el ciclo de 88 meses (*tzolkinex*) del cual habla Justeson (2017). Puede observarse que la serie 35-59-41 aparece por primera vez ya entre 313 y 321 d.C., mientras que la secuencia 41-41-53 se nota entre 426 y 433 d.C. Ambas secuencias aparecen posteriormente en los siglos VI, VII y VIII. La secuencia 59-35-41, 53-41-41 y 59-35-41 aparece por primera vez entre 604 y 632 d.C. y se repite entre 664 y 693 d.C. (Tabla 7). Al trazar los intervalos entre las fechas en las páginas 53a-58b del manuscrito, los mayas bien pudieron usar las secuencias de meses correspondientes a la realidad astronómica.

Tabla 8: La distribución de frecuencia de varios grupos de meses por 1 intervalo de 5 meses en el período 301-802 d.C.

6n+5	301-401	401-502	502-604	604-701	701-802	301-802	%
17	1	2			2	5	3.6
23	1			2	2	5	3.6
29	1	2				3	2.2
35	4	1	3	4	4	16	11.5
41	6	10	11	10	6	43	30.9
47	8	4	5	2	4	23	16.5
53	5	5	5	4	3	22	15.8
59	2	1	2	4	4	13	9.4
65		3		1	2	6	4.3
71	1				1	2	1.4
88*			1			1	0.7
Total	28	28	27	27	28	138	99.9

Ahora bien, si aceptamos la propuesta de Justeson (2017), los mayas entraron al periodo Clásico conociendo el *tzolkinex*. Sin embargo, el diseño de la tabla representa más bien al tritos. Si los mayas pudieron conmensurar los ciclos de eclipses con el *tzolk'in* mediante la cuenta del *tzolkinex*, hicieron lo mismo manteniendo la cuenta del triple *tritos*. La transición de una cuenta a la otra es simple.

Los ciclos de 41 y 47 meses constan de los múltiplos de 6 meses junto con un grupo de 5 meses lo que determinan las fórmulas $41=6 \times 6 + 5$ y $47=6 \times 7 + 5$. La suma de ambos produce el ciclo de 88 meses que contiene ya dos intervalos de 5 meses: $88=13 \times 6 + 2 \times 5$. Ahora bien, sumando el ciclo de 47 meses ($=7 \times 6 + 5$) al *tzolkinex* (88 meses) se llega a *tritos* (135 meses) ya que $135=20 \times 6 + 3 \times 5$ (Britton, 1989: 8 Tabla 2). En otras palabras, la transición de *tzolkinex* a *tritos* sigue la lógica parecida a la de la secuencia de Fibonacci $41+47=88$, $88+47=135$, $135+88=223$ (*saros*), $223+135=358$ (*inex*), etc. (Britton, 1989: 8 tabla 2; McMinn, 2013). Es interesante que el intervalo de 47 meses no aparece en la Tabla de Eclipses. Finalmente quisiera hacer notar que ambos ciclos, el *tzolkinex* y el *tritos* son convenientes para predecir eclipses lunares pero bastante inútiles para prever eclipses solares (Hartner, 1969: 62-63; Querejeta, 2011: 16).

Los mayas no eran los únicos observadores de cielo quienes crearon un ciclo de 135 meses para predecir eclipses. El *tritos* se conoce de Babilonia (Aaboe, 1972: 108-111) y China (Aaboe, 1972: 113, Steele, 2000b: 172; Cullen, 2017: 165-169).

Si uno acepta que 9.16.4.10.8 12 Lamat [1 Muan] ocurre cerca del novilunio, es entonces posible explicar la segunda fecha, 9.16.4.11.3 1 Akbal [16 Muan] como la que indica el plenilunio. Una vez hecha esta observación volvamos a la Tabla 7 en donde encontramos que la fecha de la luna llena acaeció en 29.05.755. Sumando 6 lunaciones a esta fecha obtenemos 23.11.755 que es una fecha del plenilunio calculado por Goldstine (1973: 147). Al mismo momento esta fecha denota la posibilidad del eclipse el cual no se vio en la región maya. Estos datos parecen apoyar la idea de que la Tabla de Eclipses se basó en eclipses lunares observables en la región maya. Por otro lado, dichos datos confirman la propuesta de Bricker y Bricker (2011: 255) de que las tres fechas de la página 52a pueden determinar la temporada de eclipses (la tercera fecha se aproximaría a al novilunio en 9.16.4.10[11].18 3 Edznab [11 Pax] ocurrido en 7.12.755).

6 Conclusiones

El objetivo del presente trabajo consistió en demostrar que los intervalos de los meses lunares incorporados entre las imágenes que aluden a los eclipses en las páginas 53a-58b del Códice de Dresde están relacionadas con las fechas de eclipses lunares observables en la región maya. Los intervalos registrados entre las imágenes son el resultado de las observaciones de eclipses lunares. Sin duda, los mayas comprendieron de que un eclipse puede suceder solo 5 o 6 meses después de un eclipse anterior. Registraron las secuencias de las posibilidades de eclipse separadas por 6 meses añadiendo un intervalo de 5 meses al final de la serie y una imagen con la representación de un eclipse. La estructura de la Tabla demuestra el conocimiento del *tritos* mientras que la búsqueda por la conmensuración del ciclo de eclipses con el *tzolk'in* condujo a los mayas a reconocer el ciclo del triple *tritos*.

7 Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado dentro del proyecto 31549 “La teoría lunar en astronomía maya” del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

8 Referencias

- Aaboe, A. (1972). Remarks on the theoretical treatment of eclipses in antiquity. *Journal for the History of Astronomy*, 3(2):105–118.
- Aveni, A. (1980). *Skywatchers of Ancient Mexico*. Austin: University of Texas Press.
- Brack-Bernsen, L. y Steele, J. M. (2005). Eclipse Prediction and the Length of the Saros in Babylonian Astronomy. *Centaurus*, 47(3):181–206.
- Bricker, H. M. y Bricker, V. R. (2011). Astronomy in the Maya Codices. *Memoirs of the American Philosophical Society*, 265. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Britton, J. P. (1989). An early function for eclipse magnitudes in babylonian astronomy. *Centaurus*, 32(1):1–52.

- Britton, J. P. (2007). Studies in babylonian lunar theory: Part i. empirical elements for modeling lunar and solar anomalies. *Archive for History of Exact Sciences*, 61(2):83–145.
- Cullen, C. (2017). *Heavenly Numbers. Astronomy Authority in Early Imperial China*. Oxford: Oxford University Press.
- Espenak, F. y Meeus, J. (2007). Five Millenium Canon of Lunar Eclipses: -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE). Technical report, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center. Disponible en: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCSE/5MCSEcatalog.txt>.
- Goldstine, H. H. (1973). *New and Full Moons 1001 B.C. to A.D. 1651. (Memoirs of the American Philosophical Society)*, volumen 94. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Guthe, C. E. (1921). A Possible Solution of the Number Series on Pages 51 to 58 of the Dresden Codex. *Papers of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology, Harvard University*, 6(2). Cambridge, Mass: The Peabody Museum.
- Hartner, W. (1969). Eclipse Periods and Thales' Prediction of a Solar Eclipse: Historic Truth and Modern Myth. *Centaurus*, 14(1):60–71.
- Huber, P. J. y De Meis, S. (2004). *Babylonian Eclipse Observations from 750 BC to 1 BC*. Milano: Associazione Culturelle Mimesis.
- Iwaniszewski, S. (2022). La teoría lunar maya. En Lizano, S. y Rodriguez Jorge, L. F., (Eds.), *La astronomía en México antes y después de la conquista*, pp. 57–83. México: El Colegio Nacional.
- Justeson, J. (1989). Ancient Maya ethnoastronomy: an overview of hieroglyphic sources. En Aveni, A., (Ed.), *World Archaeoastronomy*. (pp.76-129). Cambridge: Cambridge University Press.
- Justeson, J. (2017). A Cyclic-Time Model for Eclipse Prediction in Mesoamerica and the Structure of the Eclipse Table in the Dresden Codex. *Ancient Mesoamerica*, 28(2):507–541.
- Lounsbury, F. G. (1978). Maya Numeration, Computation and Calendrical Astronomy. En Gillispie, C., (Ed.), *Dictionary of Scientific Bibliography*. volume 15, Supplement 1, pp.759-818. New York: Charles Scribner's Sons.
- McMinn, D. (2013). Fibonacci - Lucas numbers, moon sun cycles and financial timing. *Market Technician - Journal of the Society of Technical Analysis*, 75:9–13.
- Meeus, J. (2004). *Mathematical Astronomical Morsels*. Richmond: Willmann-Bell.
- Neugebauer, O. (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. New York - Heidelberg - Berlin: Springer-Verlag.
- Paxton, M. (2022). El Códice de Dresde como documento del Posclásico Tardío: análisis visual en el desarrollo del concepto. *Estudios de Cultura Maya*, 59:117–148.
- Querejeta, M. (2011). On the Eclipse of Thales, Cycles and Probabilities. *Culture and Cosmos*, 15(1):5–16.
- Steele, J. M. (2000a). Eclipse Prediction in Mesopotamia. *Archive for History of Exact Sciences*, 54(5):421–454.
- Steele, J. M. (2000b). *Observations and Predictions of Eclipse Times by Early Astronomers*. Dordrecht: Kluwer.

Steele, J. M. (2002). Eclipse Prediction and the Length of the Saros in Babylonian Astronomy. En Steele, J. M. e Imhausen, A., (Eds.), *Under One Sky: Astronomy and Mathematics in the Ancient Near East*, pp. 405–420. Münster: Ugarit Verlag.

Teepie, J. E. (1931). Maya astronomy. *Contributions to American Archaeology*, (2):29–115. Publication 403. Washington: Canegie Institution of Washington.

Thompson, J. E. S. (1988). *Un comentario al Códice de Dresde. Libro de jeroglifos mayas*. Traducción de Jorge Ferreiro Santana (revisión de Lauro José Zavala). México: Fondo de Cultura Económica.

Velásquez García, E. (2016). Códice de Dresde. Parte 1. *Arqueología Mexicana*. Edición especial 67.

Willson, R. W. (1924). Astronomical Notes on the Maya Codices. *Peabody Museum Papers Volume 6, no. 3*, p. 74.

CIENCIAS AERONÁUTICAS

VEROSIMILITUD DE LA EDUCACIÓN POR COMPETENCIAS DE LA INGENIERÍA AERONÁUTICA EN MÉXICO

M.E. Roberto Sanchez Escobar^{1,*}

¹Profesor invitado del Departamento de Ciencias Aeronáuticas
Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 22/Marzo/2023

Aceptado: 12/septiembre/2023

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.17088>

RESUMEN

La educación moderna demanda el desarrollo de competencias genéricas, específicas y ciertas habilidades de su matrícula para que al egresar de una carrera profesional puedan incorporarse al sector productivo de una forma expedita y orientada a los requerimientos propios de la industria; sin embargo, al profundizar en los modelos educativos basados en competencias de las organizaciones educativas que ofertan la ingeniería aeronáutica en México, se aprecia que los docentes que imparten asignaturas en su mayoría provienen de otras especialidades del nivel superior, además se deja de lado la competencia laboral y expertise de su personal docente, particularmente de las ciencias aplicadas que debieran ser *ad hoc* al ingeniero en aeronáutica.

Es a través de los métodos de investigación científica cuantitativa y cualitativa que se consigue poner a la vista la restricción que los docentes mantienen en la praxis de la profesión mediante los datos obtenidos de universidades en México ofertando la ingeniería aeronáutica en su nivel superior y dejan en claro la incongruencia de una educación por competencias al detectar un 60% de los docentes bajo análisis sin la debida experiencia laboral dentro de la industria de la aviación civil, aeronáutica o aeroespacial. Adicional, el perfil profesional de estos resalta como área de oportunidad para la adquisición de posgrados especiales de la aeronáutica y/o aquellos que permiten adquirir teorías, fundamentos y áreas de especialización propios de la docencia para mejorar la enseñanza y poder mostrar y demostrar con fundamentos sólidos en sus asignaturas; de hecho, solo un 12.59% de estos docentes han cursado programas de posgrado en materia aeronáutica y de aviación, teniendo la mayor crisis en la parte educativa en la que simplemente el 2.96% de los docentes se encuentran formados, por ello la propuesta para las organizaciones educativas de establecer estrategias y mecanismos adecuadas entre los diversos actores del sistema educativo para atender esta problemática y caminar rumbo al desarrollo de la competencia laboral y formativa de los profesores de la ingeniería aeronáutica en México y alcanzar una verdadera educación de calidad bajo el modelo de competencias.

Palabras clave: Ciencias espaciales, Ciencias aeronáuticas, Educación superior, Educación por competencias, Modelo educativo basado en competencias, Ingeniería aeronáutica, Ingeniería aeroespacial, FACES, UNAH.

*sanchezescobarroberto@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-6059-0338>

ABSTRACT

Modern education demands the development of generic and specific competencies and certain skills of their enrollment so that upon graduating from a professional career they can join the productive sector in an expeditious manner and oriented to the requirements of the industry; However, when delving into the educational models based on competencies of the educational organizations that offer aeronautical engineering in Mexico, it is appreciated that the teachers who teach subjects mostly come from other higher-level specialties, in addition to leaving aside labor and expertise of its teaching staff, particularly in applied sciences that should be *ad hoc* to the aeronautical engineer.

It is through the methods of quantitative and qualitative scientific research that it is possible to expose the restriction that teachers maintain in the praxis of the profession through the data obtained from universities in Mexico offering aeronautical engineering at its higher level and make clear the incongruity of a competency-based education by detecting 60% of teachers under analysis without due work experience within the civil aviation, aeronautics, or aerospace industry. Additionally, the professional profile of these stands out as an area of opportunity for the acquisition of special postgraduate courses in aeronautics and / or those that allow acquiring theories, fundamentals and areas of specialization of teaching to improve teaching and be able to show and demonstrate with solid foundations in their subjects, given that only and exclusively 12.59% of these teachers have completed postgraduate programs in aeronautics and aviation, having the greatest crisis in the educational part in which simply 2.96% of teachers are trained, therefore the proposal for educational organizations to establish strategies and appropriate mechanisms among the various actors of the educational system to address this problem and walk towards the development of labor and training competence of teachers of aeronautical engineering in Mexico and achieve a true quality education under the model of competences.

Keywords: : Space sciences, Aeronautical sciences, Higher education, Competency-based education, Competency-based educational model, Aeronautical engineering, Aerospace engineering, FACES, UNAH.

1 Introducción

Las universidades que ofertan la carrera de ingeniería aeronáutica en México defienden la postura de brindar una educación de calidad en la que sus estudiantes obtengan una serie de conocimientos específicos que les permita desarrollar habilidades y competencias para el óptimo desempeño académico, de investigación y aplicación directa al campo laboral, por lo que en análisis de esta pertinencia se aborda la verosimilitud presente en la aparente educación por competencias frente a una carencia de experiencia dentro del campo laboral por parte de un sector de docentes que imparten la ingeniería aeronáutica en México

Cada institución educativa se enfrenta constantemente a los retos que supone preparar de forma adecuada a los estudiantes para una sociedad basada en el conocimiento y en la proyección laboral (Amor y Rodríguez, 2018) sin embargo, un sinnúmero de estudios e investigaciones vigentes dentro de la educación moderna se encuentran encauzados en su mayoría a estas competencias y habilidades que los estudiantes deben desarrollar durante su formación y, en menor escala, en aquellas que el profesorado debe mostrar (particularmente en las tecnologías de la información y en las competencias lingüísticas del idioma inglés), olvidando por momentos lo relevante de aquellas competencias laborales propias que el docente con respecto a la industria a la cual debe estar vinculado, por experiencia laboral o por pasantías e intercambios que lo hayan confrontado con ambientes laborales. Para esta investigación exploraremos aquellas competencias particulares de la ingeniería aeronáutica y su campo de desarrollo en todo su contexto: investigación, diseño, manufactura, operaciones, mantenimiento, campo jurídico y, por supuesto la académica, lo que concede veracidad a la verosimilitud latente del aparente modelo por competencias.

En los estudios revisados podemos destacar el que universidades europeas, en su afán de tomar acciones relacionadas con la Declaración de Bolonia y el Comunicado de Praga, hayan creado el Proyecto “Tuning Educational Structures in Europe I” (Gonzalez y Wagenaar, 2003), en donde clasificaron 30 competencias genéricas y han sido catalogadas en tres clases: instrumentales, interpersonales y sistémicas.

Desde otro punto de vista, la “Reforma educativa” en México toma como modelo los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la UNESCO para encaminar una educación de calidad hacia un mejor desempeño académico en investigación y aplicación al campo laboral, catalogando dos campos principales: competencias genéricas y competencias específicas (Sánchez, 2021). El encuadre de las competencias más buscadas en la actualidad por los sectores productivos se orienta hacia las denominadas competencias blandas o soft skills dando mayor peso incluso que las adquiridas en el campo académico o profesional.

En sí, el término competencia engloba el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes que describen la capacidad para responder a las exigencias de un puesto de trabajo (Bartual-Figueras y Garuz, 2016); en la investigación expuesta en “Repensando la educación superior: prospectiva de la ingeniería aeronáutica en México” (Sánchez, 2021) respecto de las competencias de los docentes que imparten la educación superior en aeronáutica, se nos ofrecen claves sobre cómo obtener las competencias y habilidades con las que el estudiante debe egresar aprovechando su pasión por la enseñanza y, en muchas ocasiones, su vasta experiencia teórica; pero, tomando en cuenta, como sucede en la mayoría de casos, su carencia de práctica en el propio sector productivo.

2 Metodología

En México existen diversas universidades, institutos y tecnológicos de carácter privado, público y mixto que imparten la ingeniería aeronáutica dentro de su oferta académica, las cuales están ubicadas al centro, norte y occidente de la República mexicana exclusivamente (Sánchez, 2021), quedando desprotegida en su totalidad las regiones sur y sureste del país al no existir ninguna organización educativa que tenga dentro de su oferta académica esta carrera en su nivel superior y/o posgrado.

El universo en estudio se centra exclusivamente en la matrícula de docentes que imparten la carrera de licenciatura en ingeniería aeronáutica y que son ingenieros en aeronáutica titulados, quienes a su vez posean experiencia en el sector productivo de la aeronáutica y/o aviación civil. De la misma forma, se tomó en cuenta si poseen formación de posgrados, tanto en la materia como en alguna otra área de conocimiento del proceso educativo, ya sea desde la psicología y/o hasta la pedagogía, por lo que la investigación aborda características del docente y organizaciones educativas en lo cuantitativo y cualitativo que nos permitirán discernir respecto al planteamiento de hipótesis de un modelo por competencias en el docente o la verosimilitud de estas en la educación por competencias de la ingeniería aeronáutica en México con base en los datos obtenidos a través de la plataforma nacional de transparencia de México de su sitio web <https://www.plataformadetransparencia.org.mx/>, portal de información pública con datos abiertos por tratarse de instituciones registradas en el sistema educativo mexicano recopilados para el periodo 2013 a 2018 y utilizados en la investigación.

3 Resultados

Se analizaron los datos obtenidos de nueve organizaciones educativas dentro del territorio nacional que ofertan la licenciatura en ingeniería aeronáutica para contar con información fidedigna y verás que permita distinguir las condiciones internas de su profesorado en lo relacionado con las competencias creadas

por el expertise en la materia, así como el grado de profesionalización en el quehacer educativo para la formación superior. Las organizaciones educativas de nivel superior que han otorgado información para la presente investigación son las siguientes:

1. Instituto Politécnico Nacional (IPN ESIME Ticomán), <https://www.esimetic.ipn.mx/>
2. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería (IPN UPIIG Campus Guanajuato), <https://www.upiig.ipn.mx/>
3. Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), <http://www.tese.edu.mx/tese2010/>
4. Universidad Aeronáutica en Querétaro (UNAQ), <https://www.unaq.edu.mx/>
5. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), <https://www.uacj.mx/>
6. Universidad Politécnica de Apodaca (UPA), <https://www.nl.gob.mx/upa>
7. Universidad Politécnica de Chihuahua (UPCH), <https://www.upchihuahua.edu.mx/>
8. Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo (UPMH), <https://www.upmetropolitana.edu.mx/>
9. Universidad Tecnológica de Guaymas (UT Guaymas), <https://www.utguaymas.edu.mx/utg/es/>

Con base en la información obtenida de estas organizaciones educativas listadas se contó para el periodo de análisis con un total de 388 profesores que impartieron asignaturas correspondientes a los planes de estudio de la carrera de licenciatura en ingeniería aeronáutica, independientemente de su formación académica previa o área de expertise y que se encuentran distribuidos de acuerdo con lo señalado en 1.

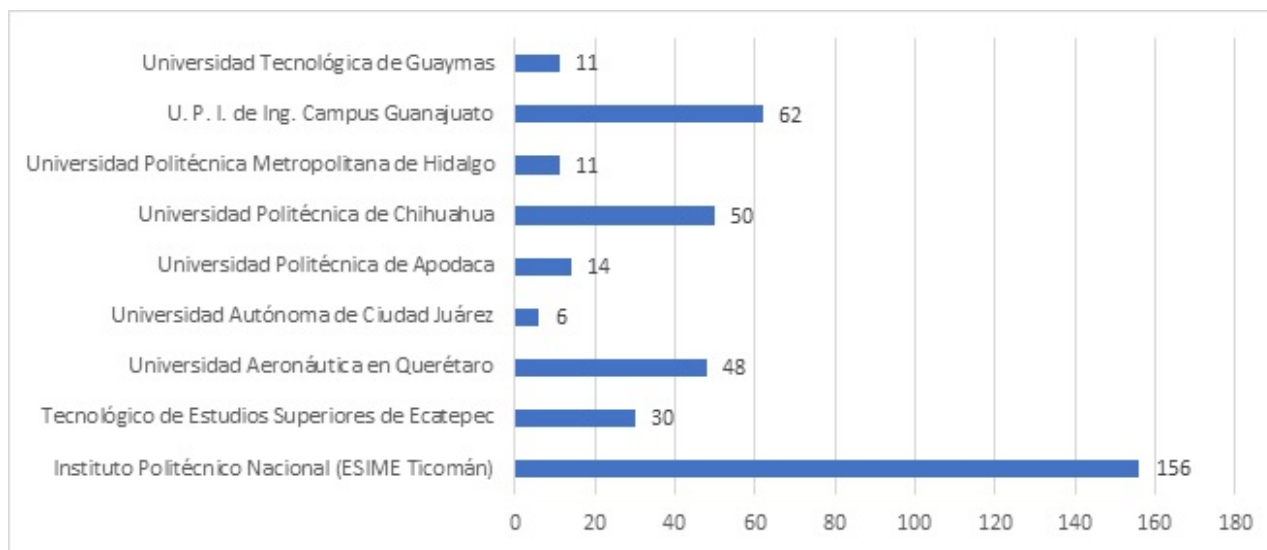


Figura 1: Docentes por organización educativa que imparten la carrera de ingeniería aeronáutica Sánchez (2021).

Este análisis cuantitativo representa única y exclusivamente a los profesores que imparten el total de las asignaturas que integran el currículo de la carrera, acrecentándose la problemática al analizar de fondo este universo y al cuestionar cuántos de ellos son ingenieros en aeronáutica titulados, teniendo como resultado que estos representan un 34.79 % del universo de profesores en esta ingeniería y que se encuentran distribuidos por organización educativa en análisis en la siguiente forma.

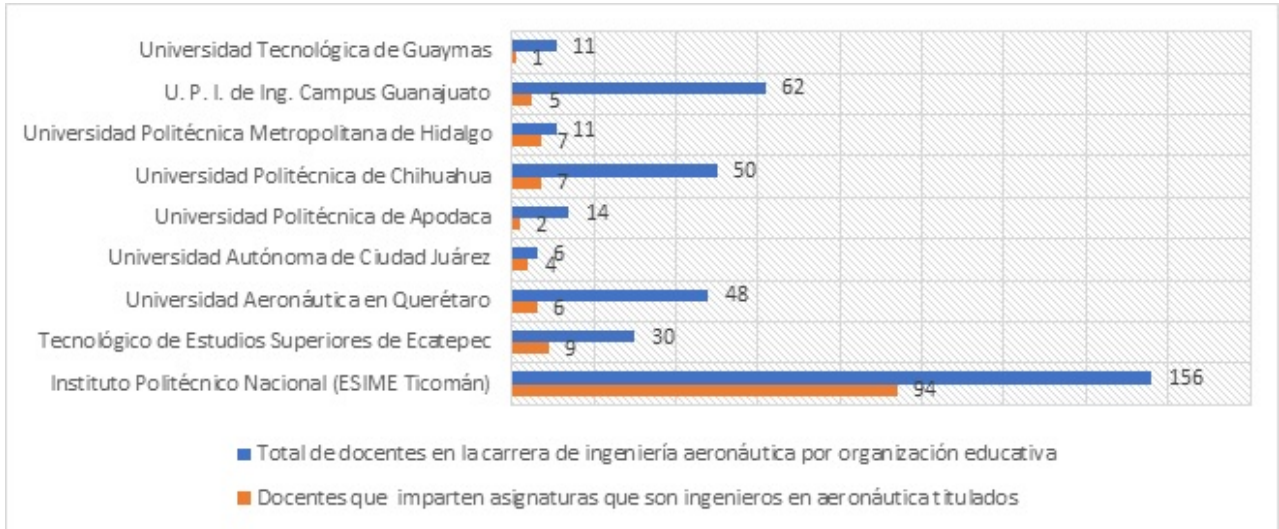


Figura 2: Docentes por organización educativa con grado académico de ingeniería aeronáutica con relación al total de docentes que imparten la carrera (Sánchez, 2021).

De estas condiciones cuantitativas se destaca un franco desequilibrio entre los docentes que imparten asignaturas dentro de la licenciatura en ingeniería aeronáutica de entre quienes provienen de otro tipo de formación académica.

Al delimitar el universo a exclusivamente docentes que son ingenieros en aeronáutica (135 de los 388 docentes) y al acotar los perfiles a la profesionalización en la impartición de la ingeniería en aeronáutica, el panorama es más desalentador dado que única y exclusivamente 17 de ellos cuentan con algún posgrado en aeronáutica (12.59%) y solamente cuatro del total de estos cuentan con un posgrado en educación (2.96%), lo que necesariamente incide en la calidad y eficiencia de la impartición de cátedra bajo una formación académica específica en desarrollo de competencias, incidiendo directamente en lo cualitativo de la investigación.

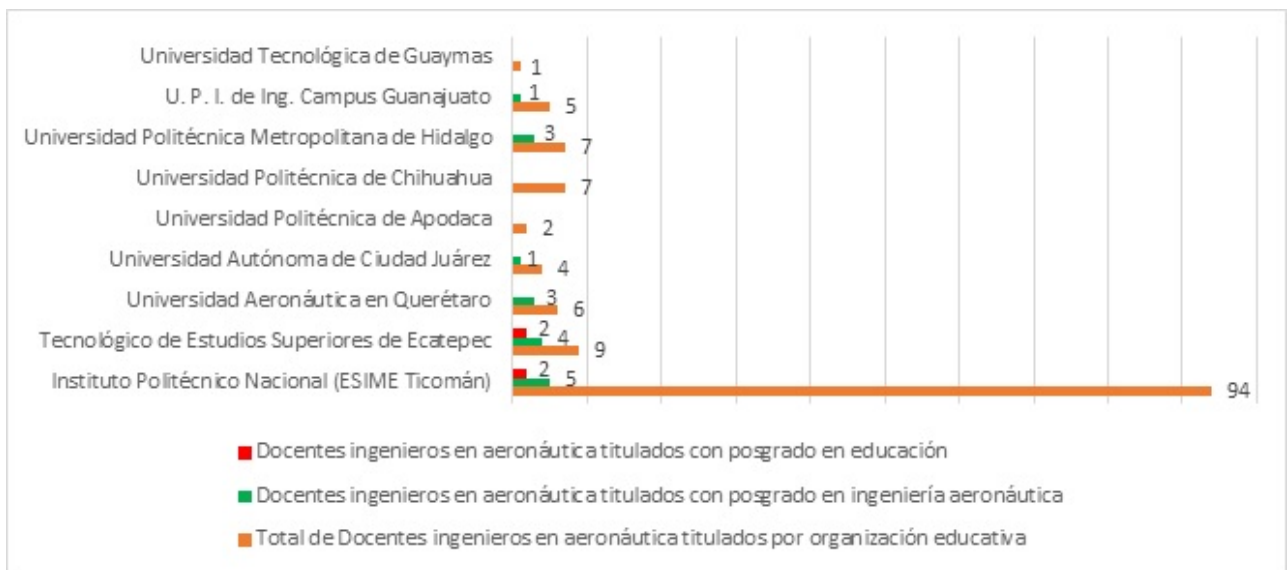


Figura 3: Total de docentes por organización educativa con grado académico de ingeniería aeronáutica que ostentan posgrados en educación y/o ingeniería aeronáutica (Sánchez, 2021).

Con los datos obtenidos se sustenta la interrelación que debe prevalecer entre los diversos actores del sistema educativo en México, teniendo como resultado la propuesta de un modelo por *compartencias*¹ en el que se alcance la profesionalización docente en lo cualitativo mediante mecanismos de intercambio y pasantías en las áreas de especialidad de cada una de las organizaciones educativas para fortalecer los perfiles docentes en pro de una educación de calidad en beneficio de los estudiantes del nivel superior que conduce al progreso y desarrollo del estado-nación.

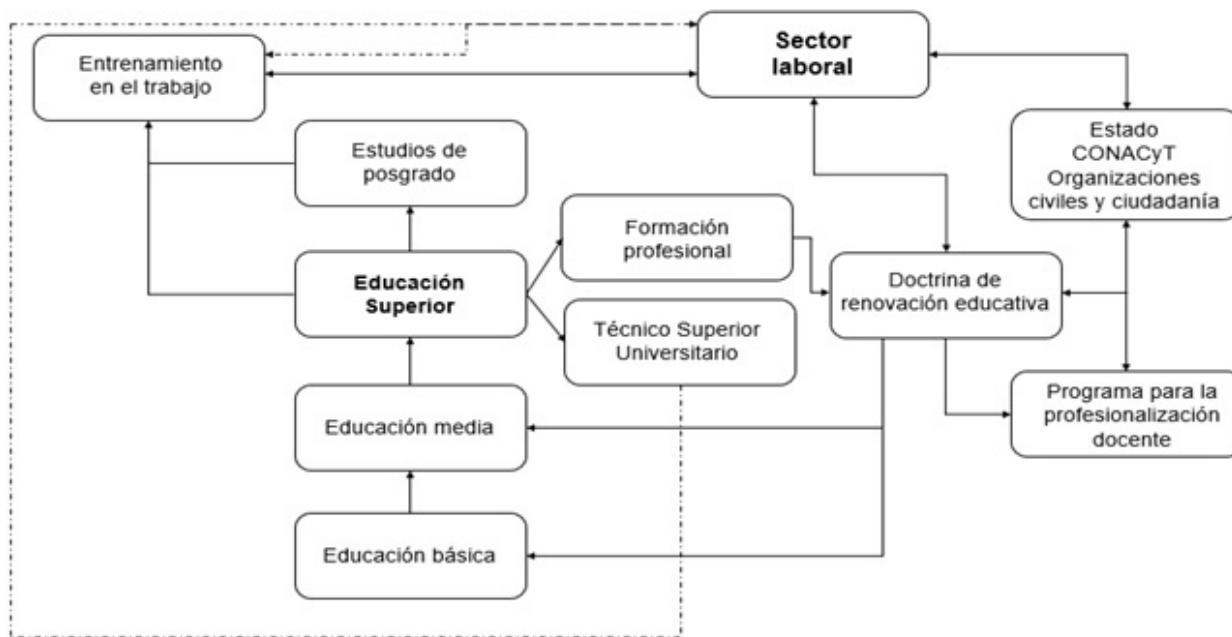


Figura 4: : Propuesta de “Doctrina de renovación educativa” para alcanzar el modelo por Compartencias que involucra los varios actores del Sistema educativo. Imagen adaptada de Sánchez (2021)

4 Discusión

Dentro del contexto cualitativo se analiza que los docentes que son ingenieros en aeronáutica en las organizaciones educativas en estudio posean experiencia en la industria aeronáutica o aviación en sus modalidades de aviación general, comercial, gubernamental o militar, cualesquiera de los ámbitos que involucren las aeronaves, manufactura, diseño, operaciones o en la propia administración y construcción o mantenimiento de instalaciones aeroportuarias bajo los preceptos de la OACI dictados en sus Anexos, así como en la legislación aplicable en la materia de origen doméstico e internacional.

Para delimitar los años de experiencia en el sector productivo por parte del personal docente que es ingeniero en aeronáutica titulado se seleccionan tres marcos de secciones por periodos de expertise, concentrándolos de uno a tres años, de tres a cinco años y de cinco años en adelante

Se aísla del análisis cualitativo a los docentes de la Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo al señalar esta al total de sus docentes con experiencia laboral pero solamente a siete de ellos como ingenieros

¹El término “Compartencias” trata de una propuesta que contrasta el autor hacia un nuevo concepto de educación como puente hacia el progreso y desarrollo del Estado nación, mismo que infiere sobre los retos y oportunidades frente a la consideración de la inclusión de la educación superior como cimiento de su seguridad nacional.

en aeronáutica titulados y sin precisar si estos años de experiencia son dentro de la industria en estudio. Esta condición deja que de los 135 ingenieros en aeronáutica que imparten cátedra solamente 54 de ellos cuentan con experiencia laboral dentro de la industria, lo que representa un 40 % del total de ingenieros en aeronáutica titulados con las competencias propias que la industria ofrece dentro de un trabajo en la aeronáutica y/o aviación civil.

En este universo observamos que el 8.88 % poseen experiencia de uno a tres años; 1.48 % de los tres a cinco años y un 29.62 % con más de cinco años de expertise, siendo el Instituto Politécnico Nacional en su unidad profesional ESIME Ticomán quien lidera en el mayor número de docentes con experiencia laboral con base en la información proporcionada y, que no es de extrañar, toda vez que es la primera organización educativa en México que integró en su oferta académica la licenciatura en ingeniería aeronáutica en nivel superior en el año 1936, resaltando en lo opuesto de la ecuación el que ninguno de los siete ingenieros en aeronáutica de la Universidad Politécnica de Chihuahua poseen experiencia laboral dentro del sector.

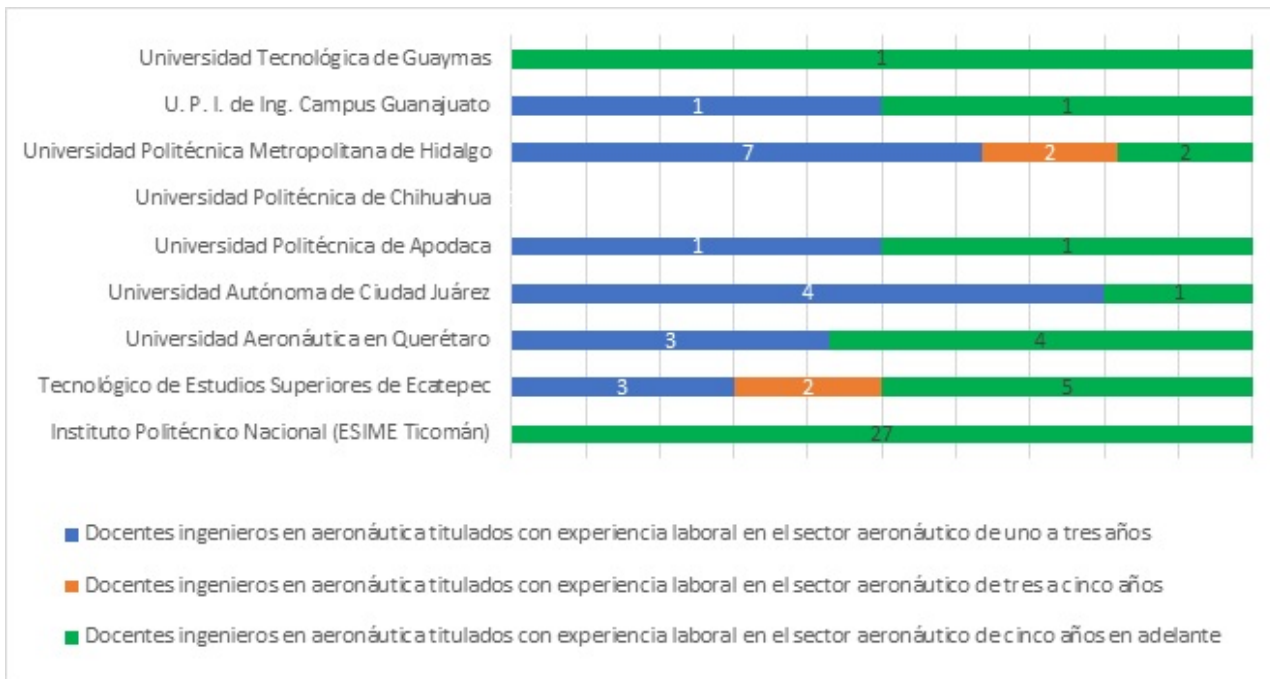


Figura 5: Experiencia laboral de docentes ingenieros en aeronáutica por organización educativa (Sánchez, 2021).

5 Conclusiones

Las competencias requeridas en la actualidad por el sector productivo nos llevan a reflexionar sobre la aplicación práctica del conocimiento adquirido en la universidad. En el caso específico de los profesores de ingeniería aeronáutica en algunas instituciones educativas de México, su experiencia se limita en gran medida al ámbito teórico y de los casos prácticos descritos en los libros de texto, careciendo de una participación en la industria. Esto impide que puedan llevar esas experiencias al ámbito académico y aplicarlas de manera efectiva en los desafíos que exigen la intervención inmediata y el análisis minucioso de los diversos actores del sistema, particularmente en la educación por competencias. Un ejemplo destacado de vinculación academia industria aeronáutica es la Universidad Aeronáutica de Querétaro (UNAQ), que ha logrado establecer una estrecha relación con la industria y cuenta con el respaldo estatal en materia de

educación pública. Es reconocida por su excelencia en la formación técnica y técnico superior universitaria (TSU).

Por su parte, Universidad TecMilenio hace lo propio al contar dentro de su profesorado con docentes vigentes en el sector productivo, otorgando única y exclusivamente materias por impartir en lugar de contar con profesorado de tiempo completo llevando a otro nivel las competencias laborales con que cuentan sus docentes para alcanzar con ello el reconocimiento en calidad académica por su innovador modelo educativo basado en la certificación de competencias profesionales y la vinculación con el mercado laboral.

Otro mal que afecta gravemente el progreso y desarrollo de la profesión es el promedio salarial que se puede alcanzar dentro de la industria aeronáutica, el cual es, por demás, superior comparado con el promedio salarial recibido por un docente universitario, incluso de tiempo completo o dedicado en parte a la investigación y desarrollo. Igual sucede con los docentes en posgrados, por lo que en la mayoría de los casos, desmotiva a los profesionales de la aviación civil con gran experiencia laboral a impartir cátedra en organizaciones educativas de nivel superior bajo el limitante esquema de horas frente a un grupo. Estos ingenieros que están siendo bien pagados en la industria aeronáutica y que son parte de una designación sénior por su vasta experiencia, trayectoria en la praxis, sería motivante el que continuaran siendo productivos ahora en la academia, en ambientes que no suponen riesgos operacionales con mayor cantidad de horas de carga académica; pero también con asesorías, tutorías y/o desarrollo e investigación.

Ello vulnera por igual la oportunidad de un desarrollo de investigación en aeronáutica y/o aviación civil dejando abierta la puerta a las organizaciones educativas para apostar por la contratación de profesores que se encuentren laborando actualmente en la aeronáutica o aviación civil, jubilados y/o pensionados que posean esta experiencia con las competencias pertinentes para impartir cátedra mejorando así las competencias y perfil docente pero que habrá que fortalecer otras que permitan su profesionalización como se ha expuesto y, con salarios dignos ya que en 2023 varían entre los \$60.00 a \$100.00 pesos mexicanos por hora clase impartida.

Es necesaria la intervención del Estado para regular y fiscalizar la educación superior con pleno respeto de la autonomía que ostentan las organizaciones educativas, reconsiderando la mejora salarial docente a quienes posean experiencia laboral en el sector productivo en todos sus aspectos y niveles, abriendo con ello nuevas posibilidades de empleabilidad al sector sénior cuya experiencia es invaluable (Sánchez, 2021).

En el lado opuesto encontramos intentos de contar con una educación con calidad dentro del contexto de análisis y que únicamente versan en el discurso para la educación superior por lo que es necesario apoyarse con la industria y organizaciones civiles, como lo pueden ser Colegios y Asociaciones de Ingenieros en Aeronáutica, entre otros, para fortalecer al Sistema educativo, incluyendo a la misma sociedad.

Las competencias y habilidades que conlleva la formación académica de un ingeniero en aeronáutica no debe limitarse a la cátedra particular, sino que se debe transitar desde la cultura de seguridad que la aviación civil mundial requiere para fortalecer los objetivos estratégicos de la OACI en el entendido de contar con una aviación mundial eficaz, regular y segura hasta la investigación de accidentes de aviación para que a través de la investigación técnica y científica se evite la recurrencia de accidentes de aviación o atenué sus impactos, tal como sugiere Reyes (2021) al integrar las certificaciones de seguridad y los perfiles del personal de seguridad como parte de un sistema de gestión de seguridad integral y las especialidades que conforman el currículo de la ingeniería aeronáutica; como indica De Santis (2021) se debe adoptar un rumbo de crecimiento metodológico a través de un modelo de investigación organizacional dejando de

lado el factor humano tradicional como causal de un accidente de aviación para formalizar y profesionalizar el desarrollo de las competencias y habilidades propias que requiere el experto de la aeronáutica en la dictaminación de las causales correspondientes, incluyendo en el análisis, la ética e integridad en el ejercicio de la profesión, fortaleciendo con ello en lo laboral los perfiles de quienes impartan estas cátedras a nivel superior, su profesionalización docente y mejora salarial.

La vinculación con el sector productivo promueve el quehacer educativo y la adquisición de competencias laborales del profesorado, lo que a su vez fortalece la investigación y desarrollo.

Se debe agregar la participación de la sociedad y organizaciones civiles para incorporar conocimientos, experiencia, capacitación y entrenamiento en el trabajo y, con ello, determinar la profesionalización docente a través del establecimiento de rúbricas y seguimiento por indicadores propios, incluidos programas de posgrado de la aeronáutica y de formación educativa lo que nos conduce al sistema de competencias pertinente de los profesionales de la educación, sea cual fuere el área profesional, transitando con ello del modelo de competencias al modelo por Compartencias propuesto en la investigación expuesta en “Repensando la educación superior: prospectiva de la ingeniería aeronáutica en México” (Sánchez, 2021).

La armonización por parte del Estado de una política de formación para el campo aeronáutico, debe permitir el asumir responsabilidades en el quehacer educativo y cumplimentar las exigencias en las competencias laborales requeridas para el profesorado, más allá de aquellas competencias genéricas y específicas presentes, estrategia que, aunada al reforzamiento de los perfiles docentes en competencias laborales, incremento de grados académicos, expectativas salariales y las políticas internas de las organizaciones educativas conducirían a la mejora curricular del docente de la ingeniería aeronáutica de México y coadyuvarían a su profesionalización.

Con acciones como las propuestas y otras más se reduce la brecha de verosimilitud al contar con una educación basada en competencias, particularmente en el caso de los docentes que imparten cátedra a nivel superior sin la praxis correspondiente del sector productivo en sus vertientes de operaciones, mantenimiento, diseño, manufactura e investigación para el desarrollo de sistemas, innovación de procesos, pruebas y ensayos de partes y componentes, entre otros que distinguen la aplicación de la ingeniería aeronáutica dentro de la aviación civil, una de las industrias más reguladas globalmente.

6 Referencias

- Amor, M. y Rodríguez, R. S. (2018). Análisis y evaluación de las competencias genéricas en la formación inicial del profesorado. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 44:9–19.
- Bartual-Figueras, T. y Garuz, J. T. (2016). Educación superior y competencias para el empleo. El punto de vista de los empresarios. *Revista Complutense de Educación*, 27.
- De Santis, A. J. (2021). *Mano a Mano: accidentes de aviación en primera persona, 1914-2019*. Fundación CIC-CUS.
- Gonzalez, J. y Wagenaar, R. (2003). *Tuning Educational Structures in Europe I. Informe Final*. Universidad de Deusto Bilbao.
- Reyes, E. (2021). *Seguridad Integral de Empresas– Sistema de Gestión de Seguridad Integral*. Alfaomega.
- Sánchez, R. E. (2021). *Repensando la educación superior: prospectiva de la ingeniería aeronáutica en México*. Monterrey: Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey.

NOTAS INFORMATIVAS

NOTAS INFORMATIVAS

1 POLÍTICA EDITORIAL

La Revista Ciencias Espaciales es una publicación semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Cada año calendario se publica un Volumen que consta de dos Números. El primer número es llamado de primavera (que se publica a más tardar el 15 de junio de cada año) y el segundo de otoño (que se publica a más tardar el 15 de diciembre de cada año); ambos números incluyen artículos de los campos de Astronomía y Astrofísica, Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Arqueoastronomía y Astronomía Cultural y Ciencias Aeronáuticas. El color de fondo de la carátula de la Revista cambia anualmente según el departamento responsable de la coordinación de la publicación.

La Revista Ciencias Espaciales tiene un Consejo Editorial integrado por: un director, un editor en jefe, editores por campo del conocimiento y académicos externos invitados. Ellos son los encargados de recibir los documentos y gestionar el proceso de selección de los artículos, edición y publicación de la Revista. La Revista Ciencias Espaciales cuenta además con un Consejo Científico Internacional responsable de velar por la calidad del contenido de la Revista. En el interior de la Portada se publican los nombres del Director, Editor en jefe, Miembros del Consejo Editorial y del Consejo Científico.

La Revista Ciencias Espaciales edita trabajos originales de investigación cumpliendo estándares éticos y buenas prácticas propios de publicaciones del ámbito científico y académico. Por ello, se rige en el Código de Conducta y Mejores Prácticas Directrices para Editores de Revistas, basado en el Committee on Publication Ethics (COPE) (<https://publicationethics.org/become-member>) y en el Manual de ética de la investigación en la UNAH (<https://diciht.unah.edu.hn/dmsdocument/973-serie-4>). Los artículos publicados pueden estar referidos a investigaciones científicas en los campos científicos de la Facultad de Ciencias Espaciales. El contenido de cada artículo es responsabilidad de sus autores. Los artículos son evaluados por pares doble ciego.

El consejo editorial no permitirá la publicación de obras copiadas o traducidas presentadas como propias, tampoco en los casos en los que el autor haya copiado de alguno de los trabajos de su autoría, ya publicados; se utilizará un software especializado para la detección de plagio como garantía de la originalidad de los trabajos recibidos.

El consejo editorial se reserva el derecho de rechazar o devolver para su revisión, cualquier artículo que no se considere completo o apropiado. Antes de que un artículo sea publicado, sus autores deben mostrar evidencias de contar con los permisos para usar figuras y datos en caso de ser necesario. Si un artículo tiene varios autores, debe presentarse evidencia que todos los coautores desean publicarlo.

La Revista Ciencias Espaciales se encuentra indexada en la base de datos de Central American Journal Online (CAMJOL).

2 INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

2.1 Para los editores

Los manuscritos son evaluados por el consejo editorial en consulta con pares doble ciego. Los autores pueden sugerir revisores externos, pero la revista no asegura la aceptación del revisor recomendado. El Consejo Editor garantiza el anonimato de los revisores y de los autores y tienen la decisión final sobre la publicación de los manuscritos. Los autores son informados de la aceptación o no aceptación de su manuscrito.

El proceso de revisión y publicación de cada artículo es el siguiente: 1) recepción del artículo de el o la autora por el editor encargado de cada departamento de la Facultad; 2) Remisión de manuscrito y formato de revisión a pares ciegos con el compromiso de mantener el carácter confidencial de toda la información de los trabajos, aun cuando no sean publicados; 3) Informar al autor/a las observaciones realizadas para corregir e incorporar los cambios sugeridos por los revisores; 4) Resolución y notificación de aceptación o no aceptación del artículo por parte del consejo editorial; 5) Publicación del artículo en el volumen y número correspondiente.

2.2 Para los autores

Los autores son responsables de los contenidos de sus artículos, y de garantizar que sus documentos se presenten en la forma adecuada, incluyendo los permisos necesarios para agregar figuras, tablas, u otro material protegido.

La Revista Ciencias Espaciales está bajo una licencia de Creative Commons: Reconocimiento - No Comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND).



Declaración de privacidad: Los nombres y direcciones de correo-electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

Cada artículo que se remita para ser publicado en la Revista Ciencias Espaciales debe organizarse en secciones. Todas las secciones deben escribirse a espacio sencillo de acuerdo a la plantilla disponible en <http://faces.unah.edu.hn/revistace/> y <https://www.camjol.info/index.php/CE/index>. El orden de las secciones es el siguiente:

- Título
- Resumen en idioma español
- Resumen en idioma inglés
- Introducción
- Metodología
- Resultados

- Discusión
- Conclusiones
- Agradecimientos si se considera necesario
- Referencias bibliográficas

2.2.1 Título

- Escrito en mayúsculas, centrado y colocado en la parte superior de la página. El título debe ser conciso, pero informativo. Su objetivo es dar a conocer al lector lo esencial del artículo. No debe exceder las 15 palabras.
- Nombre del autor o los autores. Escribir el nombre completo del autor o autores, indicando su grado académico, su filiación, su dirección de correo electrónico y de preferencia el identificador ORCID.

2.2.2 Resumen en idioma español

Debe incluirse un resumen en idioma español, con las siguientes características:

- Debe tener un máximo de 250 palabras.
- La estructura debe contener el objetivo del estudio; metodología, técnicas o procedimientos básicos utilizados; los resultados más destacados y las principales conclusiones. Hará hincapié en aquellos aspectos del estudio o de las observaciones que resulten más novedosas o de mayor importancia.
- El resumen no debe incluir citas bibliográficas, ni siglas ni abreviaturas, a menos que sean las convencionales conocidas.
- Con el encabezado de palabras clave, inmediatamente después del resumen, se deben incluir de 3 a 5 palabras clave las cuales facilitaran el indizado del artículo.

2.2.3 Resumen en idioma inglés

Un resumen y palabras clave también deben ser presentados escritos en idioma inglés.

2.2.4 Cuerpo del artículo

Al inicio de cada sección, los títulos de primer nivel deben escribirse en letras mayúsculas y minúsculas cursivas negritas. Los títulos de segundo nivel deben escribirse en mayúsculas y minúsculas, en negritas. Los títulos de tercer nivel deben escribirse en mayúsculas y minúsculas, y en letra cursiva. La enumeración de los distintos niveles se hará de acuerdo a la plantilla utilizada por la Revista Ciencias Espaciales y que está disponible en <http://faces.unah.edu.hn/revistace/> y <https://www.camjol.info/index.php/CE/index>.

Se recomienda que el cuerpo del artículo se estructure en las siguientes secciones: Introducción, Metodología, Resultados, Discusión y Conclusiones.

Introducción. La finalidad de esta sección es ubicar al lector en el contexto en que se realizó la investigación, por lo que debe mencionar claramente el propósito de la investigación, por tanto, es importante que se presenten de forma clara los objetivos, la fundamentación teórica, el problema abordado y, cuando corresponda, la hipótesis. Se debe enunciar de forma resumida la justificación del estudio.

Metodología. En términos generales, es la manera estructurada por medio de la cual se ha logrado obtener conocimiento o información producto de la investigación. En términos prácticos, es la manera seleccionada para solucionar el problema estudiado garantizando rigor científico. Puede incluir aspectos como el escenario en el cual se desarrolló la investigación, el o los objetos de estudio, el tamaño de la muestra, condiciones de trabajo, métodos de recolección y análisis de datos.

Resultados. Presente los resultados auxiliándose de tablas y figuras, siguiendo una secuencia lógica. No repita en el texto los datos de las tablas y figuras, destaque los aspectos más relevantes de las mismas. Recuerde que las tablas y figuras deben tener una numeración correlativa y siempre deben estar referidas en el texto. Los resultados deben ser enunciados claros, concretos y comprensibles para el lector; y por supuesto, se deben desprender del proceso investigativo enmarcado en el artículo.

Discusión. Debe centrarse en los resultados de la investigación y hacer hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio. No debe repetir, de forma detallada, los datos u otras informaciones ya incluidas en los apartados anteriores. Se deben reportar las limitaciones del estudio, así como sus implicaciones en futuras investigaciones. Si es posible, se comparan las observaciones realizadas con las de otros estudios pertinentes.

Conclusiones. Son proposiciones o ideas producto o resultado de la investigación realizada, de modo que se deben relacionar con los objetivos del estudio. Asegúrese de fundamentar sus conclusiones en datos sólidos y suficientes.

Agradecimientos. Los agradecimientos se incluyen al final del texto. Este debe ser un apartado muy breve, en donde se agradece a las personas que han colaborado con la investigación, o a las instituciones que apoyaron el desarrollo del trabajo. También se debe incluir en los agradecimientos a los entes que brindaron el apoyo financiero y otros recursos.

2.2.5 Referencias citadas

La lista de las referencias citadas y las citas deben concordar y ser precisas. Todas las referencias que aparecen citadas en el texto deben de aparecer también en la lista de referencias; y todas las referencias listadas deben de aparecer mencionadas en el texto.

Las referencias deben ser utilizadas en el texto incluyendo el apellido del autor y el año de la publicación. Para construir la lista de referencias se recomienda utilizar las Normas Internacionales APA, distinguiendo si la cita se refiere a un solo autor o a varios autores de un artículo, al autor de un libro, sección o capítulo de un libro, una publicación periódica u otra obtenida en Internet. En tal sentido, es necesario incluir todas las fuentes que sustentan la investigación realizada y que se usaron directamente en el trabajo.

2.2.6 Figuras y tablas

Las figuras y tablas se deben entregar por separado en formato PDF, JPG, PNG, TIFF o GIF (con una resolución mínima de 300 dpi). Los créditos de las imágenes deben estar incluidas en la leyenda de las mismas. Es preferible utilizar imágenes elaboradas por el o los autores del artículo. Aquellas imágenes cuyo autor no sea el mismo del artículo deberán contar con la debida autorización. En caso de importarse tablas de datos desde otro software en formato de figura, se tratarán igual que las figuras de imágenes, o alternativamente se pueden crear dentro del texto usando la función de diseño de tabla de Word o \LaTeX , según el formato establecido en la plantilla correspondiente.

2.2.7 Abreviaturas y símbolos

En las siglas, abreviaturas y símbolos, use únicamente las de uso común (ejemplo: ONU, UNESCO, OACI, entre otros). Evite las abreviaturas en el título y en el resumen. Cuando en el texto se emplee por primera vez una abreviatura o sigla, esta debe ir precedida del término completo, salvo si se trata de una unidad de medida común.

2.2.8 Recomendaciones generales para presentar el manuscrito

Para presentar el manuscrito, se recomienda al autor o autores tener en cuenta:

- Todo el manuscrito debe presentarse en un solo documento, escrito con letra Palatino, tamaño 11.
- Las páginas se numeran consecutivamente comenzando por la página del título hasta terminar con la última referencia citada.
- Incluya las autorizaciones para la reproducción de material anteriormente publicado, para la utilización de figuras o ilustraciones que puedan identificar a personas o para imágenes que tengan derechos de autor. Adjunte la cesión de los derechos de autor y formularios pertinentes.
- Los autores externos a la Facultad de Ciencias Espaciales deben entregar el manuscrito vía email al correo electrónico: revista.cespaciales@unah.edu.hn.

Fecha de última actualización: 14 de abril de 2023.

Fecha de aprobación: 14 de abril de 2023.



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS



Facultad de Ciencias Espaciales
Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Ciudad Universitaria, Edificio K-2
Bulevar Suyapa, Tegucigalpa MDC, Honduras
Teléfono: (504) 2216-3034
Correo electrónico: revista.cespaciales@unah.edu.hn
<http://faces.unah.edu.hn/revistace/> y
<https://www.camjol.info/index.php/CE/index>