

Artículo original

Un análisis de las primeras observaciones astronómicas realizadas en el Observatorio Astronómico de Santafé de Bogotá

An analysis of the first astronomical observations made at the Astronomical Observatory of Santafé de Bogotá

 J. Gregorio Portilla

Observatorio Astronómico Nacional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Bogotá, D.C., Colombia

Resumen

Este artículo contiene una descripción y un análisis de varias observaciones astronómicas realizadas en el observatorio astronómico de la Expedición Botánica en Santafé de Bogotá entre abril y septiembre de 1804. Consisten fundamentalmente en observaciones del Sol para efectos de determinar, presumiblemente, el grado de adelanto o atraso de un cronómetro y un reloj de péndulo. Otras fueron destinadas a la medición de la declinación magnética. También se observaron emersiones e inmersiones de los satélites de Júpiter con el objeto de refinar la longitud geográfica del lugar de la observación. Aunque todas estas observaciones se han atribuido al ingeniero militar Vicente Talledo, aquí se sugiere, con base en un escrito de Francisco José de Caldas, que fueron realizadas por Manuel Álvarez de Eulate.

Palabras clave: Observaciones del Sol, cronómetro; Reloj de péndulo; Vicente Talledo, Manuel Álvarez de Eulate.

Abstract

This article contains a description and analysis of several astronomical observations made at the astronomical observatory of the Botanical Expedition in Santafé de Bogotá between April and September 1804. They consisted primarily of solar observations, presumably to determine the time deviation of a chronometer and a pendulum clock. Others were intended for measuring magnetic declination. Additionally, emersions and immersions of Jupiter's satellites were observed to refine the geographic longitude of the observation site. Although all these observations have been attributed to the military engineer Vicente Talledo, it is suggested here, based on a text by Francisco José de Caldas, that they were carried out by Manuel Álvarez de Eulate.

Keywords: Sun observations, chronometer; Pendulum clock; Vicente Talledo, Manuel Álvarez de Eulate.

Introducción

Con numerosos años ya al frente de la Expedición Botánica del virreinato de la Nueva Granada, el gaditano José Celestino Mutis (1732-1808) aprovechó la efervescencia despertada por la visita a Santafé de Bogotá de los expedicionarios europeos Alexander von Humboldt (1769-1859) y Aimé Bonpland (1773-1858) en 1801, y decidió erigir, en el solar de la Casa de la Botánica, una edificación dedicada expreso a la observación astronómica. Tal decisión era de algún modo razonable para alguien que, como Mutis, ostentaba también el título de Astrónomo Real y que, además, ya contaba con el hombre joven idóneo para hacerse cargo de las observaciones: un miembro de la Expedición recién nombrado, quien se hallaba en la Presidencia de Quito por motivos personales, y cuya

Citación: Gregorio Portilla J. Un análisis de las primeras observaciones astronómicas realizadas en el Observatorio Astronómico de Santafé de Bogotá. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 49(192):471-485, julio-septiembre de 2025. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.3195>

Editor: Santiago Vargas Domínguez

***Correspondencia:**
autor de correspondencia;
correo@correo.edu.co

Recibido: 10 de abril de 2025

Aceptado: 22 de mayo de 2025

Publicado en línea: 19 de agosto de 2025



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

experticia astronómica había recibido cálidos elogios del mismo Humboldt: Francisco José de Caldas (1768-1816). Haber erigido el Observatorio poco después de la visita de los expedicionarios europeos lo convirtió en el primero en ser construido en el continente americano (y aún existe), siendo el más meridional y con mayor altura existente en el mundo por aquel entonces y, por extensión, la primera construcción pensada con el propósito de realizar una actividad científica en la zona geográfica que, con el correr del tiempo, llegó a bautizarse como Colombia. El tiempo de su construcción estuvo comprendido entre el 24 de mayo de 1802 y el 20 de agosto de 1803 (**Caballero**, 1946). Aspectos relacionados con la planeación del edificio y su diseño arquitectónico pueden encontrarse tanto en **Londoño & Morales** (2007) como en **González** (2003).

Por su prolongada estadía en la Presidencia de Quito, Caldas desarrolló aún más su pasión por el estudio de la botánica, aunque siguió realizando algunas observaciones astronómicas de distinta índole. Desde la distancia Caldas estaba informado de los avances de la construcción del Observatorio, pero supuso que quien se haría cargo de las observaciones sería Mutis apoyado por algunos de sus discípulos (**Caldas**, 2016). El payanés llegó a Santafé en diciembre de 1805, casi 30 meses después de concluida la construcción del observatorio, para enterarse que Mutis lo encargaba de la parte astronómica de la Expedición. Caldas emprendió la tarea, aunque en su correspondencia privada evidenció que tal decisión no fue de su agrado (**Caldas**, 2016).

Caldas no estrenó la edificación. El Archivo General de la Nación (AGN) contiene documentos que evidencian que entre abril y septiembre de 1804 se hicieron observaciones astronómicas en Santafé de Bogotá. En ellos no quedó consignado el nombre de quienes las realizaron, ni el sitio exacto donde se hicieron. Puesto que tales documentos están mezclados con otros relacionados con actividades astronómicas, así como con algunas cartas dirigidas a Caldas, es de suponer, por lógica, que tales observaciones se hayan realizado en el observatorio. **Arias de Greiff** (1993) se pregunta si la persona responsable de las observaciones fue el ingeniero militar español Vicente Talledo y Rivera (1758-1820), ya que éste fue comisionado por el Virrey Antonio José Amar y Borbón (1742-1819) para la elaboración de varios mapas en el territorio de la Nueva Granada. Para **Mejía** (2021), en su extensa investigación sobre Talledo, no hay duda: el ingeniero valenciano fue el responsable de las observaciones.

El registro de dichas observaciones astronómicas conservado en el AGN constituye una valiosa pieza documental que no ha sido suficientemente valorada y estudiada y cuyo examen hubiera permitido evidenciar cómo las personas encargadas de la realización de los mapas de la época realizaban las observaciones, ejecutaban los cálculos de astronomía de posición y recurrían a distintas estrategias para efectos de sincronizar los relojes, hallar declinaciones magnéticas y longitudes geográficas, todo para efectos del perfeccionamiento cartográfico de una región en específico.

En este contexto la presente comunicación tiene por objeto hacer un análisis de las observaciones astronómicas supuestamente realizadas por Talledo. Se comienza por hacer un comentario de los registros existentes de las coordenadas geográficas de Santafé; luego se desglosa el conjunto de observaciones según el orden en que se realizaron, y a continuación se explica la manera como se procedió en los cálculos para efecto de la calibración de los relojes y la determinación de la declinación magnética y de la longitud geográfica. Por último, se ofrece un argumento que cuestiona la autoría de tales observaciones por parte de Talledo.

El conocimiento de las coordenadas geográficas

Antes de describir las observaciones objeto de este trabajo, conviene hacer un comentario con relación a los valores de las coordenadas geográficas que el observador adoptó para hacer los cálculos pertinentes. La latitud de Santafé de Bogotá fue pobremente estimada en los dos primeros siglos de su fundación. En el influyente texto de astronomía *Cronología y repertorio de la razón de los tiempos*, (**Zamorano**, 1594) le asigna a “Bogotá” un valor

de latitud de 2° N. Casi un siglo después, en 1696, Sánchez de Cozar (1634-?), sacerdote de origen indígena nacido en la actual población de San Gil (departamento de Santander), redactó un tratado de astronomía siguiendo una estructura parecida a la de Zamorano, pero en él le asignó un valor de latitud de 3° N a Bogotá (**Portilla & Moreno**, 2019); se desconoce, sin embargo, el procedimiento o la forma en que llegó a ese valor y el de otras poblaciones de la actual Colombia, en particular si se tiene en cuenta la muy escasa actividad cartográfica que se adelantó en esos años (**Rozo**, 1952). Ya para finales del siglo XVIII se tuvo una mejor aproximación. De acuerdo con **Humboldt & Oltmanns** (1810), geógrafos de la talla de Rigobert Bonne (1727-1794), Jean Baptiste Bourguignon d'Anville (1697-1782) y Joseph Vaissète (1685-1785) estimaron el valor de la latitud (norte) de Santafé en 4°18', 4°8' y 4°10', respectivamente. Los mismos autores señalan que José Celestino Mutis (1732-1808), quien no era estrictamente astrónomo, aunque ostentaba el título de Astrónomo Real, obtuvo un valor más próximo al verdadero, igual a 4°30'0" N. Este mismo valor (al minuto) fue el que asignó para la ciudad Manuel del Socorro Rodríguez (1758-1819) en el número 256 del *Papel periódico de Santafé de Bogotá* (PPSB) correspondiente al 12 de agosto de 1796 (**Rodríguez**, 1796); sin embargo, cinco años antes, en ese mismo periódico, un calculista presuntamente identificado como Joseph García de la Guardia (1770-1815), asignó en sus cálculos de las “*afecciones astronómicas*” un valor de latitud de 4°35' N (**Portilla**, 2023). Al parecer, tales valores no fueron extensamente divulgados, de manera que el *Connaissance des Temps* (CdT) en sus emisiones anuales de la época incluye en la tabla de coordenadas geográficas a Cartagena de Indias, Caracas, Panamá, Portobello, Guaira, Guayaquil y Quito, poblaciones pertenecientes al Virreinato de la Nueva Granada, pero, sorprendentemente, omite la capital. En su conocida expedición al continente americano, Alexander von Humboldt realizó en Santafé observaciones del paso por el meridiano de varias estrellas entre el 9 de julio y el 9 de agosto de 1801, llegando a un valor para la latitud de 4°35'48" N. Es posible que el sitio escogido para tal labor haya sido el jardín de la Casa de la Botánica, por su espacio amplio y protegido de curiosos, pues anotó que el sitio estaba “*peu éloigné*” (no muy lejos) de la Plaza Mayor (**Humboldt & Oltmanns**, 1810). Como veremos más adelante, tres años después el observador redactor de las observaciones que nos ocupan, adoptó como latitud del sitio de sus observaciones la correspondiente a 4°35'38" N, pero se ignora si ese valor lo determinó él mismo a partir de observaciones astronómicas o lo redujo basado en el valor de Humboldt. Finalmente, y solo como punto de referencia, en 1807 Caldas reportó una latitud para el observatorio de 4°36'06" N basado en “*numerosas alturas meridianas del Sol y las estrellas*” (**Caldas**, 1966).

En relación con la longitud, la incertidumbre en el valor fue todavía mayor. **Zamorano** (1598) asigna un valor en tiempo igual a 4^h52^m (73°0' al oeste) con respecto al meridiano de Sevilla. Sánchez de Cozar adoptó este mismo valor (**Portilla & Moreno**, 2019). Los ya comentados Bonne, d'Anville y Vaissète asignaron los valores de 75°55', 76°03' y 72°02', respectivamente, al oeste con respecto al meridiano del observatorio de París (**Humboldt & Oltmanns**, 1810). Mediante la observación de un eclipse de un satélite joviano, Mutis, comparando una medida realizada por Jorge Juan (1713-1773) desde Cádiz, determinó un valor de 75°43' también con relación al observatorio de París (**Humboldt & Oltmanns**, 1810); sin embargo, esta información no deja de despertar suspicacias, pues implica que tanto Mutis (en Santafé) como Juan (en Cádiz) observaron el mismo fenómeno astronómico. Además, eso solo pudo haber ocurrido a partir de febrero de 1761, cuando Mutis arribó a Santafé (**Schumacher**, 1984), y tampoco hay registros de que Juan, por sus múltiples ocupaciones y constantes cambios de radicación, haya realizado observaciones astronómicas en Cádiz entre esa fecha y 1773, año de su deceso (**Lafuente & Sellés**, 1988; **Sanz**, 1774). En el ya mencionado No. 256 del PPSB, **Rodríguez** (1796) anotó 303°35' al este del meridiano de Tenerife (es decir, 56°25' al oeste), lo que, si se tiene en cuenta la longitud de esta isla con relación al observatorio de París (19°0' oeste, dato del CdT), significa un valor de longitud igual a 75°25' oeste con respecto al meridiano de este último observatorio, pero como ninguna de las fuentes especifica un sitio en Tenerife, cuyo ancho

alcanza a cubrir unos 50', dicha medida dice poco. Humboldt, a partir de la lectura de su cronómetro y de medidas de distancias lunares, obtuvo un valor de longitud para Santafé de 76°34'8" al oeste del meridiano del observatorio de París. El valor que se adoptó como longitud del sitio para las observaciones que aquí examinamos es igual a 68°3'10" al oeste del meridiano del observatorio de San Fernando. Si se tiene en cuenta que este se encuentra al oeste del observatorio de París en 8°37'30" (dato del CdT), se tendrá que el valor es de 76°40'40" con respecto a París. Como referencia, Caldas obtuvo 4^h32^m14^s=68°3'10" (oeste de San Fernando), o sea, 76°41'0" (oeste de París) (Caldas, 1966).

Los documentos

Hoy los documentos que aquí se estudian y que contienen el registro de observaciones astronómicas realizadas en Santafé de Bogotá entre abril y septiembre de 1804, se encuentran bajo custodia del AGN con el título "Autógrafos Don José de Caldas", código de referencia ASUNTOS-IMPORTANTES: SAA-I.2,3,D.9. Como ya se dijo, están en desorden y mezclados con diversos documentos de distinta índole, muy posiblemente originados en la misma época, y entre ellos es posible distinguir correspondencia dirigida a Francisco José de Caldas y asuntos propios de la Casa de la Expedición Botánica. Son hojas libres (escritas tanto en el recto como en el verso) de un tamaño aproximado de 30 cm de altura por 20,5 de ancho. La **Tabla 1** contiene los distintos tipos de observaciones (y su utilización) en función de los días en que se realizaron.

En ninguna de las hojas se consigna el propósito de fondo de las observaciones, ni el nombre de su redactor. Tampoco hay una descripción de los instrumentos astronómicos utilizados (presumiblemente un sextante u octante para las observaciones del Sol y un telescopio, posiblemente un refractor, para la observación de los satélites de Júpiter). Tampoco hay ningún indicio del tipo y la casa constructora de los tres relojes con que se contaba más allá de las palabras "cronómetro", "péndulo" y "solar". La **Figura 1** muestra ejemplos de esos instrumentos, pero muy probablemente no corresponden a los relojes que efectivamente el observador utilizó, dada la amplia variedad de modelos que existían en la época.

El conjunto de datos existente se puede dividir en dos fases. La primera, comprendida entre el 17 de abril y el 29 de junio, constituye más de las tres cuartas partes de las observaciones y se distingue por conservar en cada reporte del día una estructura ordenada y sistemática de los datos de inicio, los cálculos y los resultados. Se trata del registro de la altura del Sol para un instante de tiempo tomado con un cronómetro. En casi la totalidad de este conjunto se observa la siguiente distribución (**Figura 2**): en el lado superior derecho se aprecia la corrección instrumental por semidiámetro y por refracción como también la interpolación para obtener la declinación solar en ese instante a partir de datos tomados del *Almanaque Náutico y Efemérides Astronómicas* (ANEA) del observatorio de la isla de León (Cádiz). A la izquierda se aprecia la resolución del triángulo esférico a través de logaritmos para la obtención del ángulo horario del Sol en el instante en cuestión y el valor de la ecuación del tiempo (ET) para el instante de la observación (ver la siguiente sección para una explicación más completa), con el fin de hallar el tiempo solar medio, comparar con una lectura previa del cronómetro y determinar el adelanto de este instrumento y su grado de movimiento diario. Se aprecia también, en la parte central, el cálculo de la hora aparente en el meridiano de referencia (la "isla de León") para efectos de poder realizar las interpolaciones. En la **Figura 3** se presenta una descripción más completa de algunos de los cálculos. La parte inferior de las hojas se reserva para los datos del registro del reloj de péndulo y, en pocas ocasiones, la determinación del error asociado al reloj solar y datos de la determinación del azimut del Sol para calcular la declinación magnética y la observación de los satélites de Júpiter a efectos de determinar la longitud.

Algo debió ocurrir después del 29 de junio, pues pasado más de mes y medio se inicia una segunda fase en la que hay sistematicidad, pero no al nivel observado en la primera fase, la cual se inicia el 17 de agosto y va hasta el 5 de septiembre. En esta segunda fase no parece seguirse una estructura rigurosa (no hay indicación de que se haya corregido

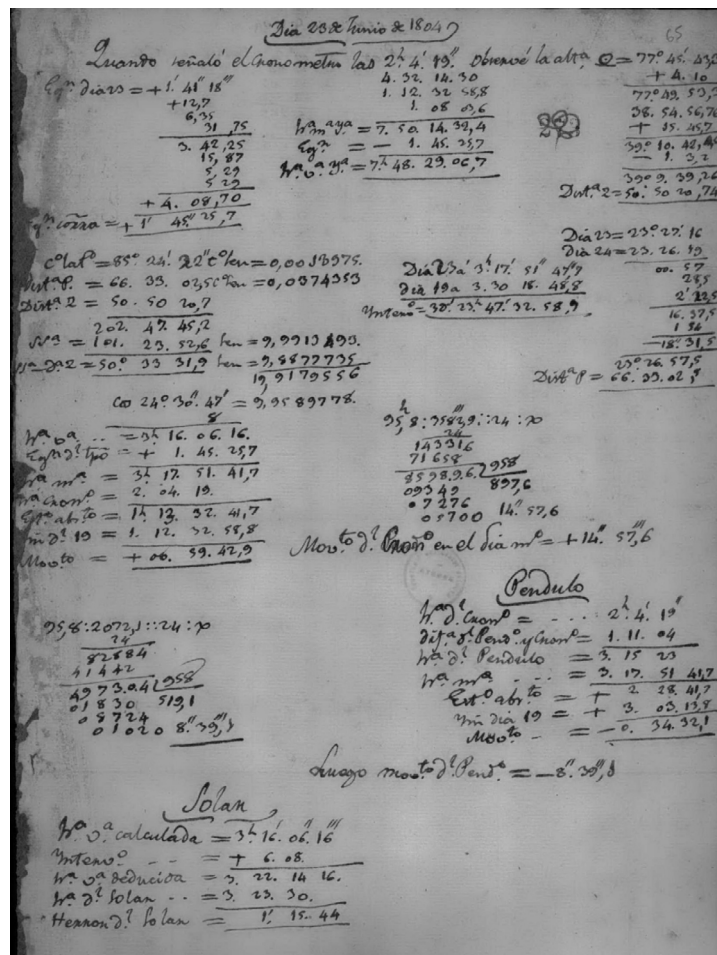
Tabla 1. Observaciones astronómicas comprendidas entre el 17 de abril y el 5 de septiembre de 1804 en Santafé de Bogotá. Las observaciones del Sol se realizaron para determinar el adelanto o atraso de tres relojes (cronómetro, péndulo y de sol), así como para determinar la declinación magnética del lugar. La observación de las inmersiones y emersiones de los satélites de Júpiter se realizaron para refinar el valor de la longitud del lugar. No se incluye la observación del eclipse de Sol del 4 de agosto.

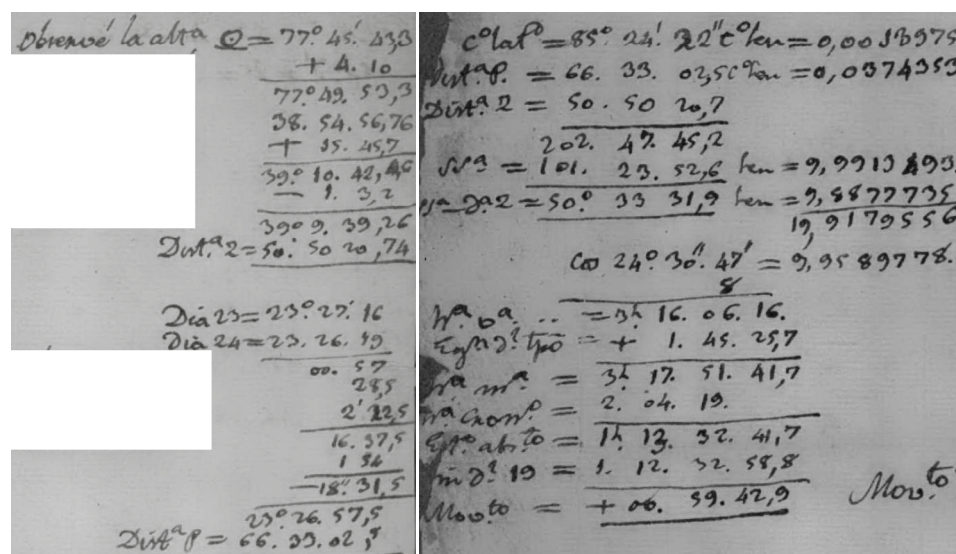
Mes	Día	Observación del Sol				Inmersión y emersión de los satélites de Júpiter
		Cronómetro	Péndulo	Solar	Declinación magnética	
Abril	17	X				
Abril	27	X	X			
Abril	29	X	X			
Mayo	01	X	X			
Mayo	08	X	X			
Mayo	13	X	X			
Mayo	16	X	X			
Mayo	18	X	X			
Mayo	20	X	X			
Mayo	22	X	X		X	
Mayo	26	X	X		X	
Mayo	28	X	X			
Mayo	29	X	X		X	X
Junio	01	X	X			
Junio	05	X	X		X	
Junio	10	X	X			
Junio	12	X	X			X
Junio	13	X	X			
Junio	15	X	X	X		
Junio	19	X	X	X		
Junio	23	X	X	X		
Junio	25	X	X			
Junio	28	X	X			X
Junio	29	X	X			
Julio	05	X				
Julio	14					X
Julio	21					X
Agosto	06					X
Agosto	16	X	X			X
Agosto	17	X	X			
Agosto	18	X	X			
Agosto	19	X				
Agosto	29	X	X			
Septiembre	03			X†		
Septiembre	04	X	X			
Septiembre	05	X	X	X†		

† El reloj de sol se utilizó como instrumento para aplicar el método de alturas iguales.



Figura 1. Instrumentos de medida del tiempo de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX. Izquierda: cronómetro de la casa John Arnold & Sons; centro: reloj de péndulo de Graham; derecha: reloj de sol universal de Dollond.





por el error instrumental, y en lo que respecta al valor del avance diario del cronómetro, hay pocos valores referidos), lo que sugiere que el observador estaría en una tónica más de ensayo y de ejercicio. En la documentación existente se distinguen cuatro páginas que no obedecen a la estructura que exhiben las demás y que contienen datos distribuidos en desorden, pero que indican que entre las dos fases se efectuaron varias observaciones astronómicas en los días 5, 14 y 21 de julio y 6 y 16 de agosto, principalmente de los satélites de Júpiter.

Las observaciones del Sol

477

del Sol se destinaron a la medición de la declinación magnética del lugar. El observador realizó las medidas siempre después de transcurrido el mediodía. Llamamos d al día de la observación que nos ocupa. Al tomar el valor de la distancia cenital (o de su complemento, la altura) registró el tiempo que mostraba el cronómetro, dato que llamaremos t .

El ángulo horario del sol verdadero, $H_{\odot}$, lo determinó a través de la relación entre las coordenadas horizontales y las coordenadas ecuatoriales horarias:

$$\cos H_{\odot} = \frac{\cos z_c - \cos \delta_c \cos \varphi_c}{\sin \delta_c \sin \varphi_c}, \quad (1)$$

donde z_c representa la distancia cenital del Sol ($z_c = 90 - h_c$, siendo h_c la altura corregida; ver más adelante), φ_c la colatitud ($\varphi_c = 90 - \varphi$, donde φ es la latitud del lugar de la observación) y δ_c la codeclinación ($\delta_c = 90 - \delta_{\odot}$, donde $\delta_{\odot}$ es la declinación del Sol en el momento de la observación). Dada la dificultad que entrañaba para los calculistas hacer multiplicaciones y divisiones, el cálculo de $H_{\odot}$ se hizo mediante el uso de logaritmos, como es evidente en la secuencia de los cálculos que el observador ejecutó empleando la siguiente expresión:

$$\log \cos \left(\frac{H_{\odot}}{2} \right) = \frac{1}{2} [\log \sin p + \log \sin(p - z_c) - \log \sin \delta_c - \log \sin \varphi_c], \quad (2)$$

donde

$$p = \frac{z_c + \delta_c + \varphi_c}{2}, \quad (3)$$

ecuación ésta a la que es fácil llegar a partir de la (1) a través del uso de varias identidades trigonométricas y aplicando el logaritmo a ambos lados (ver por ejemplo **Portilla**, 2020) para la deducción de la ecuación en términos de $\sin(H/2)$.

En cuanto a la ecuación (2), que es la que permite conocer el valor del tiempo astronómico para contrastarlo con el tiempo de la lectura t del cronómetro (ver a la derecha de la **Figura 3**), varias consideraciones se desprenden para los tres ángulos involucrados: la altura, la declinación y la latitud, las cuales se describen a continuación.

La altura. El valor que el observador anotó para la altura del Sol, que llamaremos h' , es primeramente corregido por el error instrumental (I), para lo cual tomó a lo largo del tiempo los siguientes valores: +4'20", +3'50" y +4'10" hasta el 29 de junio; a partir de esa fecha no parece explícitamente que haya utilizado alguna cifra para la realización de tal corrección. En los documentos existentes no hay una alusión clara al procedimiento utilizado para llegar a esos valores. El valor de la altura, ya corregido instrumentalmente, lo dividió por dos, hecho que sugiere que, para la medición de este ángulo, recurrió al uso de un horizonte artificial, el cual se lograba armar, por ejemplo, disponiendo de una cubeta que contuviera azogue, y utilizando como instrumento de observación muy probablemente un octante o sextante (**Portilla**, 2020). El valor de la altura, ya dividido por dos, fue luego sometido a dos correcciones sucesivas para obtener un valor corregido de la distancia cenital (z_c) que luego se utilizaron en la ecuación (1) o la (2): semidiámetro solar (SD) y refracción atmosférica (R) (ver a la izquierda de la **Figura 3**). En cuanto al semidiámetro, se desprende por la notación empleada y por la adición del valor, que la observación del Sol se hizo con respecto al limbo inferior, de manera que fue necesario adicionar el valor del radio solar aparente para especificar el centro del astro rey. El valor del semidiámetro fue tomado del *Almanaque Náutico y Efemérides Astronómicas* (ANEA) elaborado por el Observatorio Real de la isla de León (Cádiz), el cual casi siempre se debió interpolar, pues en dicho almanaque se encuentran esos valores a intervalos de seis días. Por último, el observador corrigió por refracción atmosférica. Todo parece indicar que utilizó los valores de la tabla de refracción existente en el ANEA. Si bien es cierto que los valores que anotó para corregir el dato de la altura del Sol (previamente corregido por semidiámetro) no coinciden con los de dicha tabla (teniendo en cuenta las interpolaciones), curiosamente el valor que anotó, comparado con el que se infiere de la tabla, es casi siempre inferior, alrededor de los 7", con independencia del valor de la altura. Al parecer, el observador era consciente de que a medida que la altura del sitio de observación aumenta con respecto al nivel del mar, el efecto de la refracción disminuye, pero no es claro el criterio mediante el cual adoptó ese valor constante. Pese a esto, es evidente, por la magnitud del valor que

adoptó, que, o bien no disponía de una tabla de refracciones para la “zona tórrida”, como la reportada por Bouguer (ver, por ejemplo, **Juan & De Ulloa**, 1748), o sencillamente ignoraba que a altitudes tan elevadas como las de Santafé o Quito, el efecto de la refracción se reduce significativamente.

La declinación. Los valores de la declinación del Sol fueron tomados del ANEA y en ellos se aprecia que el observador realizó la interpolación para hallar el valor de ese ángulo en el tiempo de la observación (ver a la izquierda de la **Figura 3**); para ello calculó el tiempo solar verdadero en el observatorio de San Fernando en Cádiz (t_{SF}) a partir de la diferencia en longitud entre los dos meridianos, que tomó, como anotamos atrás, en $68^{\circ}3'10''$. Es importante comentar que en la determinación de t_{SF} el observador utilizó los datos de Δ_{t-1} y N_{t-1} (ver más adelante el significado de estos valores) hallados en un día anterior (que designaremos $d-1$) a la observación que nos ocupa.

La latitud. Tal y como se anotó arriba, el valor que el observador adoptó para la latitud del lugar de la observación fue $\varphi = 4^{\circ}35'38''$ N. Habiendo determinado el valor del ángulo horario del Sol ($H_{\odot}$), esto es, del tiempo solar verdadero, el observador procedió a transformarlo a tiempo solar medio ($\bar{H}_{\odot}$) a través de:

$$\bar{H}_{\odot} = H_{\odot} \pm ET, \quad (4)$$

donde ET es, como ya anotamos, la ecuación del tiempo, para lo cual hay que tener en cuenta si la corrección es positiva o negativa (dato que se encuentra en la penúltima columna de los datos del Sol para cada mes del ANEA) y proceder a la interpolación; para ello hay que hallar el tiempo que debe existir en el meridiano de referencia. De nuevo, el dato requerido de t_{SF} para realizar la interpolación depende de los datos obtenidos en el día $d-1$.

El valor de $\bar{H}_{\odot}$ es, entonces, la hora solar media del lugar de la observación, a la cual denominaremos t_a , es decir que $\bar{H}_{\odot} = t_a$, donde el subíndice a enfatiza el hecho de que es la hora local solar media obtenida astronómicamente. Recordemos que t es el tiempo que registra el cronómetro; por lo tanto, de contar con un cronómetro ideal (sin atrasos o adelantos y debidamente sincronizado), que marque la hora solar media del lugar, se tendría $t_a = t$. Infortunadamente ese no era el caso. Los cronómetros, y más los de la época que nos atañe, se desfasaban de lo que teóricamente deberían arrojar debido a factores tales como al funcionamiento irregular de la mecánica interna, las condiciones climáticas imperantes, el movimiento externo del soporte, etc., de manera que el usuario se veía abocado a determinar, en un momento conveniente, no solo qué tan desfasado estaba el reloj, sino cuál era la tasa de desfase en el día de la observación, pues esta última no es constante. Si se conocen estos dos valores, es posible corregir la lectura del cronómetro e inferir cuál es el valor que debe arrojar si se tratara de un cronómetro perfecto (**Figura 4**).

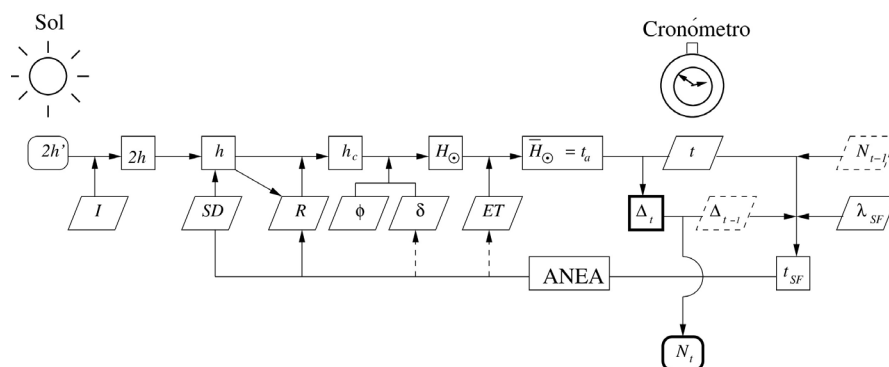


Figura 4. Descripción del procedimiento realizado por el observador para determinar el desfase del cronómetro. Los datos fundamentales de entrada son el valor de la lectura aparente del Sol ($2h'$) registrado por el instrumento de observación y el correspondiente instante de tiempo registrado por el cronómetro (t). Los datos fundamentales de salida son el estado absoluto del cronómetro (Δt) y el movimiento diario del mismo (N_t). Los datos en líneas segmentadas refieren a los mismos datos, pero hallados en un día anterior. Los símbolos que se muestran se explican en el texto principal.

A la diferencia entre el tiempo calculado a partir de la observación solar y la lectura del cronómetro, esto es, $t_a - t = \Delta t$, se le llama “estado absoluto del cronómetro” correspondiente al día d en que se realiza la observación. Tal valor indica, en tiempo medio, el estado de atraso o adelanto del tiempo que arroja el cronómetro con respecto a la hora “real” en el instante preciso de la observación, lo cual, por supuesto, solo es válido en el momento en que se ha observado el Sol, digamos que a media tarde; pero, como la idea es observar varias horas después otro fenómeno celeste, como, por ejemplo, un eclipse de Luna o las inmersiones o emersiones de los satélites de Júpiter, se hace necesario conocer qué tanto se está desfasando el cronómetro por cada día transcurrido, de manera que sea posible calcular cuántos segundos de desfase pueden existir en unas pocas horas de diferencia. Para ello se recurre al conocimiento del estado absoluto del cronómetro la última vez que se realizó una observación del Sol anterior al día pertinente ($d-1$), valor que llamaremos Δ_{t-1} . La diferencia entre estos dos valores, esto es, $\Delta_t - \Delta_{t-1}$, permite calcular a través de una simple regla de tres la tasa en segundos en que se va desfasando el cronómetro por cada día transcurrido (el “movimiento del cronómetro”), valor que llamaremos N_t . Para efectos de contar con un valor lo más exacto posible de $t_a = \bar{H}_\odot$ para el día d que nos ocupa, el observador utilizó el valor de la observación previa del estado absoluto (Δ_{t-1}) junto con el valor de la tasa diaria de desfase de ese día, que llamaremos N_{t-1} (los cuales son datos independientes de la observación del día d y se derivan de la observación realizada en el día $d-1$, aunque pocas veces el observador derivó el valor con observaciones de N_{t+1} , esto es, con datos de la observación solar del día siguiente), para calcular la hora solar verdadera en el meridiano de referencia, en este caso en el observatorio de San Fernando, t_{SF} , a través de la longitud entre ambos lugares (λ_{SF}). El valor de t_{SF} permitió, entonces, interpolar en el ANEA para obtener los valores de EE y $\delta_\odot$ correspondientes al día d , tal y como se señaló atrás.

En su conjunto, las observaciones del Sol permitieron determinar que el principal instrumento utilizado para medir el tiempo, es decir el cronómetro, se atrasaba en promedio unos 34 segundos por día, aunque en algunos días llegó a ser de 15 segundos y en otros de 63 segundos, de manera que el estado absoluto de dicho instrumento pasó de $0^h24^m41^s$ en el 10 de abril a $1^h49^m24^s$ el 5 de septiembre. Con relación al péndulo, el observador procedió también a registrar la lectura que arrojaba este instrumento en el momento de la observación del Sol; unos instantes antes comparaba las lecturas del cronómetro y el péndulo para registrar la diferencia entre ambos instrumentos, diferencia necesaria para determinar el tiempo marcado por el péndulo en el momento de la observación solar. De ese modo, era posible determinar el desfase diario por día de ese instrumento conociendo el tiempo solar medio t_a inferido de la observación del Sol. Así, el observador pudo establecer que el péndulo en ocasiones se atrasaba y en otras se adelantaba unos pocos segundos, sin exceder nunca el valor de 22.

Por último, unas palabras para las lecturas del “solar”. Ignoramos el tipo de reloj solar que el observador utilizó, de manera que solo podemos especular sobre su naturaleza. Es posible que se tratara de un reloj solar de tipo universal, bastante utilizado en esta época por viajeros, marinos y científicos, pues, además de su portabilidad, la inclinación del gnomon podía ajustarse según la latitud del lugar. El observador utilizó el reloj en cinco ocasiones: tres en junio y dos en septiembre. En junio lo utilizó para determinar el error asociado a ese reloj solar. Para ello, al cabo de unos pocos minutos de realizar la observación de la altura del Sol, anotó la hora dada simultáneamente por el reloj solar y por el cronómetro (este dato solo aparece explícitamente en la hoja del 15 de junio, en el extremo superior derecho); con ello supo la diferencia de tiempo entre las dos lecturas del cronómetro, lo que el observador llamó “intervalo”. Puesto que conocía la hora solar verdadera ($H_\odot$) en el momento de la primera observación, adicionó el “intervalo” para obtener dicha hora en el momento de la lectura del reloj solar y comparó estos valores para inferir el error asociado al reloj solar. En las observaciones de septiembre, el observador utilizó el reloj de sol como instrumento de referencia para aplicar el método de alturas iguales y así obtener un valor

alternativo del estado absoluto del cronómetro. Para ello registró en el cronómetro los dos tiempos correspondientes a las alturas iguales (antes y después de la culminación del Sol), cuyo promedio debía corresponder al valor de la culminación del Sol ($12^{\text{h}}0^{\text{m}}0^{\text{s}}$) en la hora solar verdadera; al tener en cuenta la ecuación del tiempo de ese día, pudo convertir a hora solar media e inferir el estado absoluto del cronómetro para el instante en cuestión comparando con la lectura del instrumento.

La determinación de la declinación magnética

El observador también aprovechó varias observaciones del Sol para determinar la declinación magnética de Santafé con cuatro observaciones realizadas a finales de mayo e inicios de junio de 1804 (**Tabla 2**). Para ello debió contar con una brújula, de manera que, en algunas de sus observaciones, a los pocos minutos de haber realizado la observación solar para verificar el estado del cronómetro, realizó otra en donde tomó la altura del Sol y leyó con la brújula simultáneamente el ángulo de azimut ($A_{\odot}^m$) existente entre el norte magnético y la vertical del Sol. Con ello, al determinar la altura del Sol (y corregir por el error instrumental, por semidiámetro y por refracción), procedió a calcular su azimut a través de la ecuación:

$$\cos A_{\odot} = \frac{\cos \delta_c - \cos \varphi_c \cos z_c}{\sin \varphi_c \sin z_c} \quad (5).$$

Como antes, el observador realizó el cálculo con la versión de la anterior expresión en términos de logaritmos:

$$\log \cos \left(\frac{A_{\odot}}{2} \right) = \frac{1}{2} [\log \sin p + \log \sin(p - \delta_c) - \log \sin z_c - \log \sin \varphi_c],$$

donde p está dada por la ecuación (3). El dato de azimut del Sol inferido con la brújula fue contrastado con el valor obtenido astronómicamente, de manera que la diferencia de estos azimuts ($A_{\odot}^m - A_{\odot}$) correspondiera a la diferencia angular entre el norte magnético y el norte astronómico, esto es, la declinación magnética.

Curiosamente, en la primera medición y cálculo de la declinación magnética, realizada el 22 de mayo, se encuentra el único dibujo que el observador tuvo a bien realizar. En él se aprecia un círculo en el que describe los puntos cardinales (N, E, S, O) y señala con una flecha la dirección que arroja la brújula, marcada en los extremos con las letras n y s, y desplazada ligeramente a la derecha de la línea NS.

El procedimiento realizado para la determinación de la declinación magnética es virtualmente idéntico al que utilizaban los marinos de la época siguiendo los manuales de navegación; el término utilizado por la marinería era “variación de la aguja” o “variación magnética” (Juan, 1757).

Las observaciones de los satélites jovianos

La segunda clase de observaciones que incluye el documento bajo estudio consiste en las emersiones o inmersiones de los satélites de Júpiter para efectos de la refinación del valor de la longitud del lugar. En la **Tabla 3** se muestra el conjunto de observaciones dedicadas al registro de los tiempos de inmersión o emersión de los satélites jovianos junto con los correspondientes valores de longitud del lugar de la observación con respecto al meridiano

Tabla 2. Valores de la declinación magnética obtenidos a partir de la diferencia de azimuts solares

Mes	Día	Declinación magnética (E)
Mayo	22	07°47'50"
Mayo	26	06°47'50"†
Mayo	29	06°48'44"
Junio	05	06°58'36"

† El dato no viene acompañado por los cálculos.

Tabla 3. Emersiones e inmersiones de los satélites de Júpiter observados en Santafé de Bogotá. Los valores de longitud están respecto al oeste del observatorio de la isla de San Fernando.

Mes	Día	Satélite	Tipo	Longitud geográfica calculada (de Santafé)
Mayo	29	1 (Ío)	Emersión	67°53'19.94"
Junio	12	1 (Ío)	Emersión	67°56'26.18"
Junio	28	1 (Ío)	Emersión	67°53'40.30"
Julio	14	1 (Ío)	Emersión	67°10'15.00"†
Julio	21	1 (Ío)	Emersión	66°27'54.75"†
Agosto	6	1 (Ío)	Emersión	65°49'40.25"†
Agosto	16	3 (Ganímedes)	Inmersión	67°32'07.05"†
Agosto	16	3 (Ganímedes)	Emersión	67°37'13.65"†

† El dato está expresado en el documento en unidades de tiempo.

de la isla de San Fernando. En todos los casos el observador utilizó el cronómetro para registrar el tiempo del fenómeno, el que, por supuesto, debió ser corregido por el estado absoluto y la tasa diaria de desfase del cronómetro para ese día, lo que implicaba hacer el cálculo del desfase existente entre el tiempo de la última observación del Sol (o la próxima) y el tiempo de la observación del fenómeno. Este valor de tiempo se pasó luego a tiempo solar verdadero utilizando el valor de la ecuación del tiempo, dato que el observador calculó por interpolación a partir de los datos consignados en el ANEA, obteniendo así el tiempo solar verdadero de la aparición del fenómeno para alguien situado en Santafé de Bogotá (t_{SB}). Luego, con el valor consignado en el ANEA del tiempo solar verdadero del fenómeno en la isla de San Fernando (t_{SF}), infirió inmediatamente el valor de la longitud entre los dos meridianos (λ_{SB}):

$$\lambda_{SB} = t_{SF} - t_{SB}$$

Por último, el observador registró la fase final de un eclipse total de Sol que se vio como parcial desde Santafé. En una de las hojas que se comentan, con datos consignados en desorden correspondientes a fechas entre julio y agosto, el observador anotó que el 4 de agosto a las 21^h37^m0^s sucedió el fin del eclipse. Ese instante corresponde a 09^h37^m0^s del día 5 (al medir el tiempo desde medianoche). Suponemos, como es lo más obvio, que dicho tiempo lo tomó del cronómetro; si adoptamos como estado absoluto el de ese instrumento para el día 6 de agosto a 1^h38^m0^s, inferimos que la hora solar media para Santafé era 11^h15^m0^s, lo que apenas representa una diferencia en exceso de 6^m27^s con relación al tiempo calculado por la página www.eclipsewise.com para Bogotá.

Análisis

Una inspección atenta de algunas de las hojas permite inferir que es muy posible que hayan existido varias hojas adicionales que hoy están perdidas. En la página en que se describe la observación solar del 17 de abril (la fecha más temprana de la que tenemos información completa) sabemos que el observador también hizo una observación solar el día 15 de abril (dato necesario, como hemos visto, para hallar tanto Δ_t como N_t); además, en una de las páginas en la que mencionó (de forma un tanto desordenada) las observaciones de los satélites de Júpiter en los días 14 y 21 de julio y 6 de agosto, se encuentra un valor para el 10 de abril que parece ser el estado absoluto del cronómetro en aquel momento, lo que implica que también realizó una observación solar ese día. Curiosamente, en ningún lado se encuentra que se hayan realizado medidas para la determinación de la latitud, así como de la altura con respecto al nivel del mar, aun

cuando se supone que el observatorio de Mutis contaba con el instrumental para ello, lo que probablemente no se juzgó necesario y sugiere que el interés era fundamentalmente determinar el estado de funcionamiento de los relojes.

En cuanto al valor que se obtuvo de la declinación magnética en Santafé, cuyo promedio fue de $6^{\circ}51'43''$ E, exceptuando el dato del 22 de mayo (por apartarse notablemente de los restantes), este es consistente con el que obtuvo Humboldt tres años antes: $7^{\circ}35'$ E (**Humboldt & Oltmanns**, 1810). No está de más añadir que el valor de la declinación magnética continuó disminuyendo lentamente a lo largo de los siglos XIX y la primera mitad del XX y pasó ya a una dirección hacia el oeste a finales de la década de los años 70 del siglo XX (**Garavito**, 1988). En el presente es de $8^{\circ}31'$ oeste.

Con relación a la longitud, el valor promedio de los datos que se obtuvo (no teniendo en cuenta los valores del 21 de julio y del 6 de agosto, por apartarse de forma notoria de los restantes) fue de $67^{\circ}40'30.35''$ oeste, esto es, unos $22^{\circ}40''$ más bajo comparado con el valor que el observador tenía como referencia para sus cálculos de interpolación a partir de los datos del ANEA. Hay una nota en la hoja de observaciones del 12 de junio en el que comenta el valor de la longitud que debió asignar Humboldt para Santafé en el mapa del río Magdalena que entregó al Virrey en 1801.

Para finalizar, examinaremos específicamente el registro de la emersión del primer satélite de Júpiter registrada el 28 de junio. El observador anotó la hora solar verdadera en Santafé en el momento de la emersión después de todo el proceso de calibración del cronómetro; el valor fue de $9^{\text{h}}2^{\text{m}}6^{\text{s}}19,87^{\text{t}} = 9^{\text{h}}2^{\text{m}}6,33^{\text{s}}$ (la t se refiere a los tercetos). Lo interesante del asunto es que a mediados de 1810, a manera de ejemplo Caldas refiere en la Memoria 7 de la continuación del Semanario del Nuevo Reino de Granada (que fungió como preliminares del Almanaque de 1811) que él observó una emersión del primer satélite el 28 de junio de 1804 desde Quito, el cual midió en $8^{\text{h}}44^{\text{m}}39,06^{\text{s}}$, al explicar cómo se puede determinar la latitud entre dos observadores por medio de la observación simultánea de los satélites de Júpiter. Comenta, además, que en Santafé se realizó la misma observación por parte de “Mutis asociado a D. Manuel Álvarez” (**Caldas**, 1966; **Portilla**, 2020), quienes obtuvieron como tiempo de emersión las $9^{\text{h}}17^{\text{m}}6,30^{\text{s}}$. Sin embargo, cuando se establece la diferencia de ambos tiempos para determinar la longitud, se obtiene $0^{\text{h}}17^{\text{m}}27,24^{\text{s}}$ en lugar de $0^{\text{h}}32^{\text{m}}27,24^{\text{s}}$, lo que podría interpretarse como un error de naturaleza tipográfica. Sin embargo, el primer dato debe ser el correcto, porque Caldas lo escribe dos veces, de lo que se infiere que alguno de los dos tiempos que dan origen a la diferencia es el que está mal escrito. Si suponemos que en realidad el tiempo de Mutis y su asociado fue $9^{\text{h}}2^{\text{m}}6,30^{\text{s}}$, entonces sí se obtiene la diferencia que Caldas calculó. Como se ve, este valor de tiempo es prácticamente idéntico al que obtuvo el observador, lo que difícilmente puede interpretarse como una simple coincidencia y apunta a que el valor que refiere Caldas como tiempo de emersión de lo medido en Santafé es el que aparece registrado para el 28 de junio en el documento que nos ocupa.

Es entendible que Caldas mencione primero a Mutis, dando a entender que era éste quien estaba al frente de la observación, pero es dudoso que haya sido el responsable de esta y todas las demás (así como de su registro), no solo por lo avanzado de su edad sino porque la letra con que fueron redactadas no parece corresponder a la del gaditano. Es razonable suponer que Caldas colocó a Mutis en esa situación de preeminencia en razón de que el observatorio era, al fin y al cabo, de su propiedad y había que resaltar ante los santafereños la figura del ilustre botánico que, como se dijo, también ostentaba el cargo de Astrónomo Real. Por una carta de José Ignacio de Pombo (1761-1815) dirigida a Mutis con fecha del 20 de junio de 1804 sabemos que el primero, quien residía en Cartagena de Indias, estaba al tanto de las labores que “hacen Talledo y Álvarez sobre el plano de Humboldt” (**Hernández de Alba**, 1983). Pero lo curioso es que Caldas, en la memoria referida, ignore por completo el nombre de Talledo, pues mediando apenas seis años entre las observaciones referidas y la redacción de la Memoria 7, debió saber quiénes estuvieron tras esas primeras observaciones y quiénes no.

Ahora bien, es casi seguro que el nombre de “Manuel Álvarez” corresponda a Manuel Álvarez de Eulate, piloto español del cual, lamentablemente, existe escaso registro documental. **Mejía** (2021) lo menciona en varias ocasiones describiéndolo como un amigo íntimo de Talledo; su condición de piloto de la Armada del Rey lo sitúa como alguien lo suficientemente curtido en materia de observación astronómica como para haber sido nombrado profesor de la Escuela Náutica y Matemáticas de Cartagena de Indias en 1810 por iniciativa de José Ignacio de Pombo (**Martínez**, 2023; **Lucena**, 1990).

Un dato adicional. En su diario personal Humboldt se refirió a la reacción de las autoridades virreinales ante el mapa que él elaboró del río Magdalena y de la decisión de proceder a levantar un mapa semejante por parte de ingenieros españoles para verificar su exactitud. Escribió que “se encargó (enero de 1804) a un ingeniero (catalán) Talledo, muy ignorante y hablador, se dice, para que examinara mi mapa y el río, acompañado de un piloto de la expedición del señor Fidalgo (quien debía encargarse de las observaciones astronómicas.)” (**Humboldt**, 1982). Infortunadamente, Humboldt ignoraba, al parecer, el nombre del “piloto”, pero de tales palabras se infiere que éste (y no Talledo) era el encargado de las observaciones astronómicas. Todo lo anterior sugiere que las observaciones que han sido objeto del presente estudio bien pudieron haber sido realizadas por Manuel Álvarez de Eulate y no por Vicente Talledo, considerado hasta ahora responsable de las mismas.

Conclusiones

El propósito de esta comunicación fue examinar el contenido de una documentación que contiene el registro de observaciones astronómicas que constituyen, hasta donde sabemos, las primeras que se llevaron a cabo en el Observatorio Astronómico Nacional, sede Histórica. En su gran mayoría son observaciones del Sol realizadas en horas de la tarde para efectos de conocer el estado absoluto de dos relojes: un cronómetro y un reloj de péndulo. El cronómetro evidenció un atraso diario de 34 segundos en promedio, si bien en algunos días fue de 15 y en otros de 63 segundos. Así mismo, el reloj de péndulo mostró un error de pocos segundos en adelanto o en atraso con respecto al cronómetro, que no excedió los 22 segundos.

También se estableció la presencia de un reloj solar que fue utilizado, en dos ocasiones, como herramienta en la técnica de alturas iguales. Otras observaciones del Sol se dedicaron a la determinación de la declinación magnética del lugar, obteniendo un valor promedio de 6°51'43" E. También se realizaron mediciones para determinar la hora solar verdadera de algunas inmersiones y emersiones de los satélites de Júpiter con el objeto de refinar el valor de la longitud de Santafé de Bogotá, obteniéndose un valor promedio igual a 67°40'30,35" oeste con relación al meridiano de San Fernando en Cádiz. Es probable que esas determinaciones del estado de los instrumentos para medición del tiempo hayan sido útiles en la elaboración del mapa del río Magdalena que adelantaban Vicente Talledo y Manuel Álvarez de Eulate. Sin embargo, un comentario de Caldas realizado en el año de 1810 sobre el instante del registro de la emersión de un satélite de Júpiter en Santafé y sobre quienes lo realizaron, ignora el nombre de Talledo, lo que sugiere que quien realizó las observaciones astronómicas fue Álvarez de Eulate.

Agradecimientos

El autor desea expresar su más sincero agradecimiento al profesor José Antonio Amaya, quien hizo llamar la atención, a través de una comunicación escrita, sobre la existencia y contenido de la documentación aquí analizada. Igualmente agradece las sugerencias provenientes de los árbitros anónimos que permitieron mejorar la versión original de este escrito.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Arias de Greiff, J.** (1993). *La astronomía en Colombia*. Colección Pérez-Arbeláez No. 8, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Caballero, J. M.** (1946). *Particularidades de Santafé*. Prensas de la Biblioteca Nacional.
- Caldas, F. J.** (1966). *Obras completas de Francisco José de Caldas*, Universidad Nacional de Colombia.
- Caldas, F. J.** (2016). *Cartas de Caldas Ilustradas*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas/ Asociación de amigos de la Casa Museo Caldas/Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Garavito, C.** (1988). Variación del campo magnético terrestre en Bogotá, desde 1801 hasta 1988. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia*, 39, 1-7.
- Humboldt, A. & Oltmanns, J.** (1810). *Voyage de Humboldt et Bonpland, quatrième partie. Astronomie. Deuxième Volume*. J. H. Stone.
- Juan, J. & De Ulloa, A.** (1748). *Observaciones astronómicas y físicas hechas de orden de S. Mag. en los reynos del Perú*. Madrid, Juan de Zúñiga.
- González, D. M.** (2003). *El Observatorio Astronómico de Santa Fe de Bogotá*. Universidad Sergio Arboleda.
- Hernández de Alba, G.** (1983). *Archivo epistolar del sabio naturalista Don José Celestino Mutis*. Editorial Presencia, Ltda.
- Humboldt, A.** (1982). *Alexander von Humboldt en Colombia, extractos de sus diarios*. Publicismo y Ediciones.
- Juan, J.** (1757). *Compendio de Navegación para el uso de los cavalleros guardias-marinas*, Edición del 2021, Editorial Maxtor.
- Lafuente, A. & Sellés, M.** (1988). *El observatorio de Cádiz*. Instituto de Historia y Cultura Naval, Madrid.
- Londoño, R. J. & Morales, A.** (2007). *Observatorio Astronómico de Bogotá, Pedes in Terra ad Sidera Visum*, Ediciones Uniandes.
- Lucena, M.** (1990). Ciencia y crisis política: la doble creación de la Escuela Náutica de Cartagena de Indias (1810-1822), *Revista de Historia Naval*, No. 30, 31-38.
- Martínez, A.** (2023). *La batalla decisiva; la gesta del gran almirante José Padilla que condujo a la libertad de América del Sur; 200 años de la Batalla Naval del lago de Maracaibo*. Armada Nacional de la República de Colombia.
- Mejía, S.** (2021). *Cartografía e Ingeniería en la era de las Revoluciones-Mapas y obras de Vicente Taliedo y Rivera en España y el Nuevo Reino de Granada (1758-1820)*. Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica.
- Portilla, J. G. & Moreno, F.** (2019). Un manuscrito de finales del siglo XVII: primera manifestación de un estudio astronómico y cronológico autóctono en territorio neogranadino. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43, 255-272. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.884>
- Portilla, J. G.** (2020). *Firmamento y atlas terrestre: la astronomía que practicó Francisco José de Caldas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Portilla, J. G.** (2023). Información astronómica en la primera publicación periódica del Nuevo Reino de Granada. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 47, 822-836. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.2016>
- Rodríguez, M.** (1796). *Papel Periódico de la Ciudad de Santafé de Bogotá*. https://catalogoenlinea.bibliotecanacional.gov.co/client/es_ES/search/asset/118304/ y <https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll26/id/596>
- Rozo, D.** (1952). Historia de la cartografía de Colombia. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia*, 4, 1-13.
- Sanz, M.** (1774). *Breve noticia de la vida del Excmo. Sr. D. Jorge Juan y Santacilia, reducida a los hechos de sus Comisiones, Obras y Virtudes, que a instancia de sus Apasionados, presenta al Público su Secretario D. Miguel Sanz, Oficial segundo de la Contaduría principal de Marina*. Madrid, Imprenta Real de la Gazeta, 1774, Alicante, Universidad de Alicante (2013).
- Schumacher, H. A.** (1984). *Mutis, un forjador de la cultura*. Empresa Colombiana de Petróleos, Bogotá.
- Zamorano, R.** (1594). *Cronología y repertorio de la razón de los tiempos*. Imprenta de Rodrigo Cabrera, Sevilla.