

Observaciones con la Cámara Schmidt del Eclipse Lunar 2025 para la Creación del Conocimiento

Observations with the Schmidt Camera of the 2025 lunar eclipse for knowledge creation

José Sánchez  ¹

Giuliat Navas  ²

Gregore Rojas  ³

Luis Vivas  ⁴

Nomar Villa  ⁵

Centro de Investigaciones de Astronomía Francisco J. Duarte, Mérida, Venezuela^{1,2,3,4}

josiubaldo@gmail.com¹

giuliatnavas@gmail.com²

gregorerojas@gmail.com³

lvivas982@gmail.com⁴

nomarv.cida@gmail.com⁵

Fecha de recepción: 16/05/2025

Fecha de aceptación: 12/08/2025

Pág: 163 – 179

DOI: [10.5281/zenodo.17467683](https://doi.org/10.5281/zenodo.17467683)

Resumen

La astrofotografía, una fusión de ciencia y arte, se ha convertido en una herramienta esencial para el estudio detallado de fenómenos astronómicos, como los eclipses lunares. La evolución de los detectores CMOS, caracterizados por su alta eficiencia cuántica y versatilidad en la sensibilidad ISO, permiten capturar variaciones dinámicas de brillo y color inherentes a estos eventos. La presente investigación documenta el eclipse lunar total del 13-14 de marzo de 2025 desde el Observatorio Astronómico Nacional Llano del Hato en Venezuela, utilizando el Telescopio Cámara Schmidt. Se presenta, además, una estrategia de ajuste dinámico del ISO para optimizar la captura en cada fase. La metodología incluyó una observación detallada de las distintas etapas del eclipse, desde la sutil inmersión penumbral hasta la totalidad, con su característica coloración rojiza producto de la refracción atmosférica terrestre. Se emplearon técnicas de calibración fotométrica del color con *PixInsight* (PCC), basadas en datos astrométricos y fotométricos de catálogos estelares, para asegurar una representación cromática precisa.



Esta obra está bajo licencia CC BY-NC-SA 4.0.

El pre-procesamiento de las imágenes involucró la creación de imágenes maestras de bias, dark y flat con MaxIm DL, seguido del apilamiento con Sequator para la reducción de ruido y el aumento de la señal. Los resultados se presentan en secuencias temporales y visuales, detallando la cronología del eclipse en la hora local de Venezuela (HLV) y la progresión de sus fases. La calibración fotométrica, validada mediante el análisis de estrellas de campo, permitió obtener imágenes de la Luna con una representación de color astronómicamente consistente, fundamentales para un análisis científico riguroso de las variaciones lumínicas y cromáticas del eclipse contribuyendo significativamente al conocimiento de nuestro universo.

Palabras Clave: astrophotografía, calibración fotométrica, eclipse lunar total, sensor CMOS.

Abstract

Astrophotography, a fusion of science and art, has become an essential tool for the detailed study of astronomical phenomena such as lunar eclipses. The advancement of CMOS detectors, characterized by their high quantum efficiency and versatility in ISO sensitivity, allows for the precise capture of dynamic variations in brightness and color inherent to these events. This research documents the total lunar eclipse of March 13-14, 2025, from the National Astronomical Observatory Llano del Hato in Venezuela, using the Schmidt Camera Telescope. Additionally, a dynamic ISO adjustment strategy is presented to optimize image capture at each phase of the eclipse. The methodology included a detailed observation of the various eclipse stages, from the subtle penumbral immersion to totality, with its characteristic reddish coloration caused by Earth's atmospheric refraction. To ensure accurate color representation, photometric color calibration techniques were applied using PixInsight (PCC), based on astrometric and photometric data from stellar catalogs. The image pre-processing involved the creation of master bias, dark, and flat frames with MaxIm DL, followed by stacking with Sequator to reduce noise and enhance signal quality. The results are presented in temporal and visual sequences, detailing the eclipse's chronology in Venezuela's local time (HLV) and the progression of its phases. The photometric calibration, validated through field star analysis, provided lunar images with an astronomically consistent color representation, fundamental for rigorous scientific analysis of the eclipse's luminous and chromatic variations, contributing significantly to the understanding of our universe.

Key words: astrophotography, photometric calibration, total lunar eclipse, CMOS sensor.

Introducción

La fotografía, concebida como la ciencia y el arte de capturar imágenes mediante un medio sensible a la luz, encuentra en la astrofotografía una fascinante intersección con el rigor científico. Esta disciplina permite trascender la contemplación estética del cosmos, revelando estructuras, colores y fenómenos celestes invisibles al ojo humano, contribuyendo significativamente a la investigación astronómica y expandiendo nuestra comprensión de la belleza intrínseca del universo (Cardozo, 2023), siendo una herramienta poderosa para entender y expandir nuestro conocimiento sobre el universo y el espacio exterior. El cielo nocturno, con su inmenso manto de puntos luminosos, ha cautivado históricamente la atención humana, y la astrofotografía surge como la intersección entre la astronomía y la fotografía, empleando equipos especializados para inmortalizar los cuerpos celestes (Marx y Pfau, 1992) y expandir nuestra visión o conocimiento sobre ellos.

El campo de la astrofotografía ha experimentado un avance sustancial gracias a la evolución tecnológica y la microelectrónica (Duarte et al., 2011). Los detectores CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) y CCD (*Charge Coupled Device*), pilares de esta disciplina, se basan en el efecto fotoeléctrico. Su arquitectura integra numerosos fotodiodos por píxel, generando una corriente eléctrica proporcional a la luz incidente, optimizada mediante microlentes que concentran la luz en cada celda fotosensible.

Un parámetro crítico para los detectores CMOS y CCD en la astrofotografía es la eficiencia cuántica (EC), que cuantifica la capacidad del sensor para convertir fotones incidentes en una señal electrónica detectable. La EC representa la fracción de fotones que libera un electrón al impactar la superficie fotosensible; por ejemplo, una EC del 50 % implica la generación de 50 electrones por cada 100 fotones incidentes. El sensor CMOS de la Fujifilm GFX 50R, utilizado en esta investigación, alcanza una EC de 50 % (Della, 2024). Este nivel de rendimiento subraya la necesidad de emplear telescopios de gran apertura y tiempos de exposición prolongados para capturar la tenue luz de objetos astronómicos distantes (débiles). En este proceso, el telescopio, la montura y los sistemas de guía juegan un papel fundamental, ya que garantizan la estabilidad y precisión necesaria para obtener imágenes de alta calidad (Neira, 2023). Los sensores CMOS contemporáneos ofrecen ventajas adicionales, como un ruido de lectura inferior y una mayor velocidad de lectura en comparación con los CCD, necesarios para la detección de detalles tenues y la captura de eventos dinámicos como los eclipses lunares.

La inherente versatilidad de los sensores CMOS modernos, particularmente en la precisa configuración de su sensibilidad ISO en el telescopio Cámara Schmidt, demostró ser un factor determinante en la documentación del eclipse lunar, observado desde el Observatorio Astronómico Nacional Llano del Hato (OAN) en Venezuela. La estrategia de ajustar dinámicamente la sensibilidad ISO del sensor CMOS, propuesta en esta investigación como una metodología efectiva para la documentación fotográfica de eventos astronómicos con un

amplio rango de luminosidad, permitió al equipo de observación adaptarse a las significativas variaciones lumínicas experimentadas durante las distintas fases del eclipse, optimizando así la calidad de las imágenes obtenidas.

Mediante la captura de fotografías individuales con valores ISO optimizados para cada nivel de brillo lunar, se previno la saturación en las fases parciales y se logró registrar la tenue coloración rojiza y los detalles sutiles durante la totalidad, compensando la incapacidad del ojo humano para acumular luz (Neira, 2023). La capacidad intrínseca del sensor CMOS para modular la sensibilidad en cada exposición individual resultó fundamental para obtener una crónica visual exhaustiva de la progresión del eclipse lunar sobre el cielo venezolano. La capacidad inherente de los sensores CMOS para capturar secuencias rápidas de imágenes (aunque en este caso se optimizaron fotografías individuales por ISO), también ofrece la posibilidad de documentar con detalle el avance gradual de la sombra terrestre sobre el disco lunar. Es importante destacar que la astrofotografía de objetos celestes está amparada por tratados internacionales, permitiendo su captura sin restricciones legales (Navas y Rojas, 2024) facilitando su observación y estudio con fines pacíficos, promoviendo el acceso libre al conocimiento astronómico y el avance de la investigación científica.

Observación del eclipse lunar

La observación detallada del eclipse lunar del 13-14 de marzo de 2025 se realizó desde el Observatorio Astronómico Nacional (OAN), situado en el sector Llano del Hato, municipio Rangel, estado Mérida, Venezuela (latitud N $8^{\circ} 47' 11''$, longitud O $70^{\circ} 52' 18,8''$, altitud 3600 msnm). Esta ubicación privilegiada ofrece condiciones atmosféricas favorables para la astronomía, con cielos generalmente oscuros y menor turbulencia atmosférica que en altitudes inferiores. Un eclipse lunar, evento astronómico de gran interés, ocurre cuando la Tierra se interpone directamente entre el Sol y la Luna, proyectando su sombra sobre la superficie lunar y oscureciéndola temporalmente (NASA Science, 2025). Las diversas fases de este eclipse fueron registradas detalladamente mediante el Telescopio Cámara Schmidt del OAN.

La latitud del observatorio influye significativamente en la trayectoria aparente de la Luna en la bóveda celeste nocturna, determinando su altura máxima sobre el horizonte local y la duración de su visibilidad durante la observación. En este contexto, y con el fin de optimizar la observación y la captura de imágenes del eclipse lunar total de marzo de 2025, se llevó a cabo una planificación exhaustiva, basada en predicciones astronómicas precisas del evento y las coordenadas geográficas del OAN. De acuerdo al patrón de visibilidad mostrado en la Figura 1, los habitantes del continente americano, en especial los venezolanos, tuvieron la oportunidad de observar el eclipse lunar. En contraste, los residentes de Europa, Asia y África no pudieron experimentar el fenómeno. Este mapa detalla la visibilidad del eclipse lunar (13-14 de marzo de 2025), mostrando las regiones de contacto desde su centro sub-lunar ($102^{\circ}13'W$).

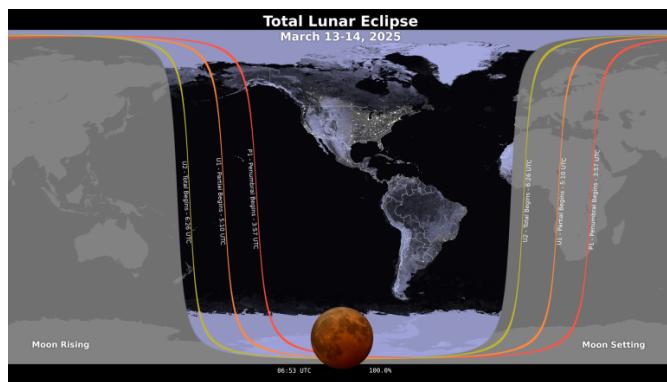


Figura 1: Mapa de la Tierra.

Fuente: NASA Science (2025).

Eclipses lunares

Los eclipses lunares son fenómenos astronómicos notables que ofrecen la ventaja de ser observables desde una extensa área terrestre, llegando a cubrir la Luna por completo durante la totalidad por más de una hora (Aupí, 1999). Su ocurrencia está intrínsecamente ligada a la fase de Luna Llena, cuando nuestro satélite natural se alinea en el lado opuesto de la Tierra respecto al Sol. Esta precisa configuración geométrica, con la Tierra interpuesta entre ambos cuerpos celestes, es esencial para que la sombra terrestre se proyecte sobre la superficie lunar, dando lugar a este evento. La exacta alineación de estos tres cuerpos celestes (Figura 2), determina el tipo de eclipse resultante: total, parcial o penumbral, así como la magnitud del oscurecimiento visible desde la Tierra.

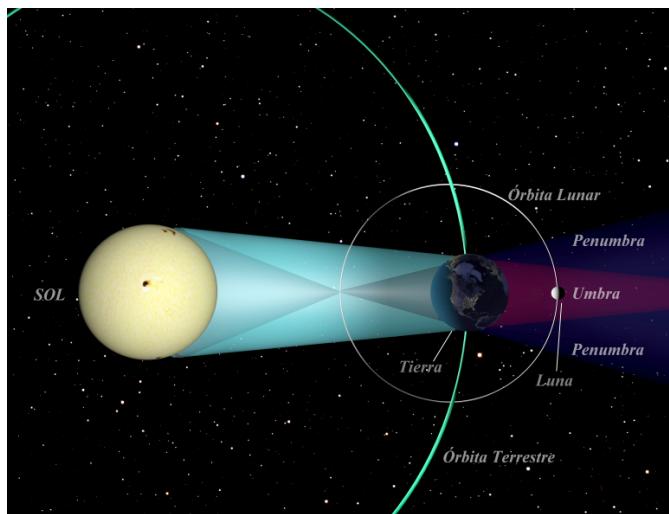


Figura 2: Geometría de un eclipse lunar (ilustración artística).

Fuente: Elaboración propia (2025).

Se observan los conos de la umbra y penumbra generados por la Tierra y la alineación perfecta entre el Sol, la Tierra y la Luna, para la ocurrencia de un eclipse lunar.

El eclipse lunar (Figura 3) comienza cuando la Luna llena ingresa en la penumbra, que es la parte mas clara de la sombra, donde la luz del Sol es parcialmente bloqueada por la Tierra. En esta fase inicial, la luminancia del disco lunar disminuye de manera gradual, aunque es apenas perceptible para un observador casual ubicado dentro del patrón de visibilidad en la Tierra. Este cambio marca el inicio de la fase parcial del eclipse. Durante este periodo, se observa un oscurecimiento progresivo y definido, con un contorno curvo que va ocultando paulatinamente los detalles topográficos de la Luna. A medida que la Luna avanza en su órbita, una porción cada vez mayor de su disco ingresa en la umbra, la zona mas oscura de la sombra, donde la luz del Sol queda completamente bloqueada por la Tierra.

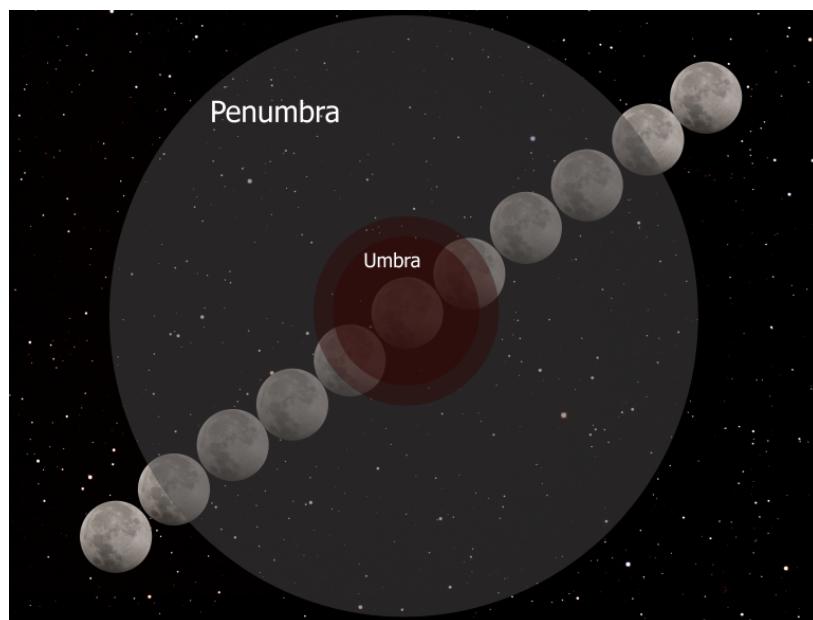


Figura 3: Representación de las fases de un eclipse lunar total. Muestra el recorrido de la Luna a través de la penumbra y la umbra durante la noche del 13 al 14 de marzo 2025.

Fuente: Elaboración propia (2025).

El máximo eclipse lunar (fase de totalidad) ocurre cuando el disco lunar se sumerge por completo en la umbra. Lejos de desaparecer, nuestro satélite natural adquiere tonalidades rojizas o cobrizas. Este efecto se debe a la refracción de la luz solar al atravesar la atmósfera terrestre, que desvía las longitudes de onda más largas (rojas) hacia la umbra, iluminando tenuemente la Luna. Tras la totalidad, el eclipse se invierte gradualmente. La Luna comienza a salir de la umbra, y su superficie iluminada por el Sol reaparece progresivamente al atravesar nuevamente la penumbra. La sombra oscura se retira metódicamente hasta desaparecer completamente del disco lunar. El eclipse concluye cuando la Luna emerge totalmente de la penumbra y recibe la

luz directa del Sol, recuperando su característico brillo de Luna Llena. La duración e intensidad de cada fase dependen de la alineación específica de estos tres cuerpos celestes: Sol, Tierra y Luna.

Telescopio y cámara usada

La Cámara Schmidt persiste como un diseño de telescopio específicamente concebido para la astrofotografía, destacando por su habilidad para capturar imágenes de alta calidad de objetos de cielo profundo, a pesar de no ser óptimo para la observación visual o la fotografía planetaria (Aupí, 1999). El Telescopio Cámara Schmidt de 1 metro del OAN, constituye el instrumento fundamental para las observaciones de la presente investigación. Su configuración óptica, basada en un espejo primario esférico de 1.5 metros y una lente correctora frontal de 1 metro, se encuentra específicamente optimizada para la adquisición de imágenes de extensas regiones celestes con elevada fidelidad. La robusta estructura mecánica del telescopio, fundamentada en una montura ecuatorial de doble horquilla diseñada para astrofotografía de larga exposición y análisis detallado, facilita un seguimiento sideral preciso, compensando la rotación terrestre mediante un sistema motorizado calibrado a 23 horas y 56 minutos por rotación.

Este conjunto de equipos integra una cámara FUJIFILM GFX 50R, dotada de un sensor CMOS de formato medio de 51.4 megapíxeles (8256 x 6192 píxeles) con matriz de Bayer RGB de 14 bits por canal y el procesador X-Processor Pro (FUJIFILM, 2024). Esta sinergia permitió la adquisición de imágenes de alta resolución y notable fidelidad cromática del eclipse lunar. La luz incidente en el sensor de $5.3 \mu\text{m}$, tras la distancia focal de 2948.9 mm del telescopio, cubrió un campo de visión de $52' \times 39'$ (minutos de arco) (Della, 2024). Gracias a esta configuración óptica y del sensor, el Telescopio Cámara Schmidt, con su amplio campo visual, logró registrar el disco lunar con un tamaño aparente de $29.70'$ durante la noche del 13 al 14 de marzo de 2025. En esa fecha, la Luna llena se encontraba a una distancia aproximada de 402,051 km de la Tierra, cerca de su apogeo 405,500 km.

Metodología de observación y adquisición de datos

La observación detallada del eclipse se planificó meticulosamente considerando las predicciones astronómicas del evento y la ubicación estratégica del OAN. El máximo del eclipse ocurrió a las 6:38 horas UT (Tiempo Universal), equivalentes a 2:38 HLV (Hora Local Venezuela), momento en el que la Luna presentó una Ascensión Recta (RA) de 11h 38m 23.0s y un ángulo horario de 1.75 h. En esa posición, se encontraba al oeste del meridiano de observación, cerca de las constelaciones de Leo y Virgo. La declinación (Dec) de la Luna en su máximo eclipse fue de $+2^\circ 40' 52.8''$, ubicándose ligeramente al norte del ecuador celeste. Desde la latitud del OAN ($8^\circ 47' 11''$ Norte), esta declinación implicó que la Luna pasó a unos 6.1° al sur del cenit de un observador ecuatorial, situándose relativamente cerca del cenit

del observatorio durante su paso. Aprovechando estas condiciones de visibilidad óptimas, se procedió a la adquisición de datos fotográficos del eclipse lunar implementando una estrategia de ajuste de la sensibilidad ISO de la cámara según las diferentes fases del evento, tal como se detalla en la Tabla 1. Para la estimación de la escala de Danjon ($L=2$ a $L=3$, indicativo de un eclipse moderadamente brillante con coloración rojo-marrón a rojizo-anaranjada) se siguió la descripción presentada en *Fotografiar el cielo* (Aupí, 1999), según la guía de Fred Espenak/NASA.

Tabla 1: Parámetros de Observación para GFX 50R (Telescopio Cámara Schmidt)

GFX 50R (Telescopio Cámara Schmidt)							
FASE	ISO	Tiempo de Exposición	Coloración General	Variaciones de Color	Visibilidad de Detalles Superficiales	Escala Danjon	HLV
Llena	320	1/8000s	-	-	-	-	22:39:00
Primer contacto	320	1/8000s	-	-	-	-	01:06:37
25 % de sombra	320	1/8000s	-	-	-	-	01:29:12
50 % de sombra	400	1/8000s	-	-	-	-	02:02:52
75 % de sombra	1600	1/6400s	-	-	-	-	02:12:09
Totalidad 100 %	12800	1/160s	Rojo-marrón oscuro con tonos violáceos/grisáceos	Sí, notables a lo largo del disco	Contornos de los mares lunares vagamente discernibles, cráteres no prominentes	$L = 2$	02:18:19
Totalidad 100 %	12800	1/160s	Rojo-anaranjado intenso	Sí, con un limbo más claro y rosado/violáceo	Mares lunares claramente visibles, algunos cráteres grandes discernibles	$L = 3$	03:55:38

Fuente: Elaboración propia (2025).

Parámetros fotográficos (ISO y tiempo de exposición) empleados durante las fases del eclipse lunar total (13-14 de Marzo de 2025), observado desde Mérida, Venezuela.

La coloración rojizo-marrón a rojizo-anaranjada observada en la Luna durante la totalidad del eclipse se debe al fenómeno de refracción de la luz solar a través de la atmósfera terrestre, tal como se describe en *Fotografiar el cielo*, Aupí (1999): “Si la Tierra fuese un planeta sin atmósfera la Luna no enrojecería; pero la capa de aire que rodea al globo refracta una pequeña parte de los rayos solares que llegan a la Luna y la colorean” (p. 138).

Este proceso de refracción hace que las longitudes de onda más largas del espectro visible, principalmente el rojo, se curven con mayor eficacia hacia la Luna. La Figura 4 evidencia una clara predominancia de los canales rojos, lo que confirma este efecto óptico. Por otro lado, las longitudes de onda más cortas, como el azul y el violeta, se dispersan en mayor medida dentro de la atmósfera terrestre, lo que da lugar a la característica coloración rojiza que adquiere la Luna durante la fase total de un eclipse lunar. Esta tonalidad queda respaldada por la distribución de color observada en nuestro histograma.

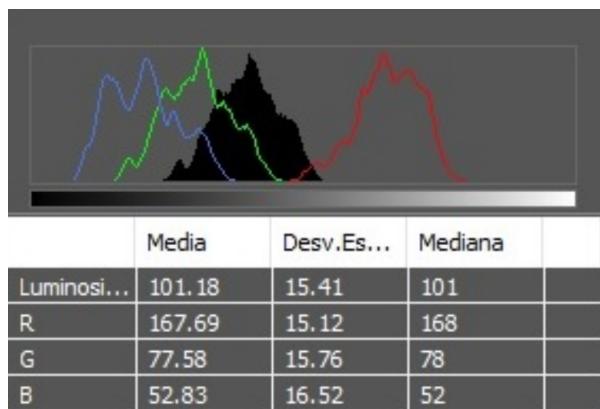


Figura 4: Histograma de la imagen de la Luna. Eclipse lunar del 14 de marzo de 2025 a 2:38 horas HLV, analizado con HyperUtility.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Tratamiento de los datos

Boukhayma (2018) en su investigación la idea central es que, al buscar disminuir el ruido en los sistemas de lectura de los sensores de imagen CMOS (CIS), se ha determinado que el ruido electrónico inherente a la lectura es la causa más significativa. La necesidad de imágenes de calibración como bias, darks y flats debe evaluarse en función de la duración de las exposiciones y los objetivos de calidad de imagen.

Con el fin de corregir el ruido electrónico inherente al proceso de lectura del sensor, se capturó una serie de cuadros de bias utilizando el tiempo de exposición más breve posible con el obturador cerrado (1/16000s). Siguiendo las mejores prácticas recomendadas, estos cuadros sirvieron como base para la calibración de los cuadros de luz, dark y flat, asegurando una correcta sustracción del offset electrónico presente en todas las imágenes.

La corrección del ruido térmico en imágenes CMOS con tiempos de exposición cortos requiere un tratamiento cuidadoso, especialmente en lo que respecta a la corriente oscura y los píxeles defectuosos. Aunque el ruido térmico se acumula principalmente en exposiciones prolongadas, incluso tomas de varios segundos pueden verse afectadas si el sensor no cuenta con un sistema de enfriamiento activo eficiente. En este estudio, se capturaron series de cuadros dark con la misma duración y temperatura ambiente que las imágenes de luz correspondientes a cada fase del eclipse, ya que la cámara no dispone de enfriamiento activo. El propósito de este proceso fue mitigar cualquier impacto del ruido térmico y de los píxeles calientes, evitando que afectaran la calidad de las imágenes apiladas, conforme a las recomendaciones generales para la astrofotografía de precisión.

La corrección de las no uniformidades en la sensibilidad del sensor y el viñeteado inherente

al sistema óptico, conjuntamente con la mitigación de artefactos producidos por partículas de polvo, se efectuó mediante la adquisición de imágenes flats de pantalla. La obtención de estos patrones de calibración resulta fundamental, con independencia de la tipología del sensor o la duración de la exposición de las imágenes, para asegurar una respuesta lumínica homogénea a través del campo de visión. Los flats de pantalla en este trabajo, fueron capturados a través de una fuente de iluminación uniforme dispuesta frontalmente a la apertura del telescopio Cámara Schmidt, empleando tiempos de exposición calibrados para proporcionar un nivel de brillo óptimo en las cuentas ADU (*Analog-to-Digital Units*) del sensor.

Las cuentas ADU de una imagen representan los valores numéricos de luminancia registrados por cada elemento sensible del sensor de la cámara bajo una iluminación, constituyendo la medida de la intensidad lumínica capturada por el detector. En este trabajo, se adquirieron series independientes de flats para cada uno de los valores ISO empleados durante las distintas fases de la observación del eclipse. Siguiendo la metodología de (Craig y Chambers, 2023; Mejía y Navas, 2024) el pre-procesamiento de las imágenes del eclipse lunar comenzó con la creación de imágenes maestras de calibración para cada tipo de cuadro (bias, dark y flat), se promediaron diez fotogramas individuales para reducir el ruido aleatorio y se le aplicaron a cada una de las imágenes del eclipse.

$$\text{Imagen astronómica cal}(x, y) = \frac{(\text{LightFrame}(x, y) - \text{MasterBias}(x, y) - \text{MasterDark}(x, y))}{((\text{MasterFlat}(x, y) - \text{MasterBias}(x, y))/\text{Mediana}(\text{MasterFlat}(x, y) - \text{MasterBias}(x, y)))} \quad (1)$$

La ecuación (1) se empleó para obtener las imágenes calibradas del eclipse. Es pertinente destacar el uso de MaxIm DL (*Cyanogen Imaging MaxIm DL*), como herramienta fundamental en la fase inicial de pre-procesamiento de las imágenes. Este software integra funciones optimizadas para aplicaciones astronómicas, demostrando su eficacia en la creación de las imágenes maestras de calibración (bias, dark y flat) que garantizan la precisión de este estudio (*MaxIm DL User Manual*). MaxIm DL, es un producto comercial para Windows, diseñado para aficionados y profesionales, el cual ofrece documentación exhaustiva y soporte técnico, facilitando su uso.

Reducción de ruido y aumento de la señal

La astrofotografía de un eclipse lunar requiere una alineación precisa de las múltiples imágenes tomadas para visualizar la dinámica en su variación de brillo y color. El software Sequator, mediante su funcionalidad de Región del Cielo Parcial, permite seleccionar cualquier área discernible dentro del campo de observación (píxel (x, y)) como referencia para la alineación. En este caso, se alineó respecto al punto central (x,y) de la Luna para lograr una superposición precisa de los fotogramas, compensando los efectos de movimientos y distorsión atmosférica. Posteriormente, se apilaron las imágenes alineadas para mejorar significativamente la relación señal-ruido (SNR), permitiendo resaltar las delicadas variaciones lumínicas y cromáticas inherentes al eclipse. Al combinar la señal de cada fotograma, se potencia la información real del objeto, mientras que el ruido aleatorio tiende a promediarse, optimizando

así la calidad de las imágenes finales y proporcionando datos más fiables para el análisis astrofotográfico detallado de este evento.

Calibración del color mediante astrometría y fotometría

Para lograr una calibración de color fotométrica precisa en las imágenes del eclipse lunar total, se recurrió a la herramienta *Photometric Color Calibration* (PCC) integrada en el software PixInsight. PCC opera resolviendo astrométricamente la imagen al identificar estrellas y vincular sus posiciones a catálogos de alta precisión como Gaia DR3 o Tycho-2. Posteriormente, realiza una fotometría de apertura para medir el flujo de luz de estas estrellas, permitiendo la calibración precisa del color basándose en el brillo y color de referencia de los astros (Pleiades Astrophoto S.L., 2024). Estos catálogos proporcionan las coordenadas celestes exactas (ascensión recta y declinación) necesarias para determinar la orientación y la escala de la imagen, como se muestra en la ecuación (2).

$$(\alpha, \delta)_{cielo} = F((x, y)_{imagen}, P_{modelo}, C_{catálogo}) \quad (2)$$

Donde F es la función de transformación astrométrica. P_{modelo} , es el parámetro del modelo de proyección. $C_{catálogo}$, el catálogo estelar de referencia (RA, Dec).

Una vez establecida la solución astrométrica, PCC emplea la información fotométrica de estos mismos catálogos o de catálogos complementarios como APASS o SDSS (Pleiades Astrophoto S.L., 2024). Estos proporcionan las magnitudes de las estrellas en diversas bandas de color (por ejemplo, B, V, R, I o g', r', i'). Al comparar las mediciones de brillo instrumental de las estrellas identificadas en la imagen con sus magnitudes de catálogo en diferentes filtros, PCC calcula los coeficientes de transformación necesarios para calibrar los colores de la imagen a un sistema fotométrico estándar (Ecuación 3). Este proceso asegura que la representación cromática de la Luna, y potencialmente de las estrellas presentes en el campo de visión, sea consistente con los estándares astronómicos, lo que permite un análisis colorimétrico con mayor rigor científico.

$$m = -2.5 * \log_{10}(F/F_0) \quad (3)$$

Donde m es la magnitud aparente, F el flujo luminoso del objeto y F_0 el flujo luminoso de referencia.

La aplicación de la Calibración de Color Fotométrica (PCC) generó una transformación cromática, cuya representación gráfica se presenta en la Figura 5. Este diagrama establece una correlación cuantitativa entre nuestro índice de color instrumental R-G y el índice de referencia Sloan r' - V, revelando parámetros de ajuste lineal con una pendiente de -0.058 y una ordenada al origen de 0.33 para nuestro índice instrumental. La dispersión de los datos alrededor de esta relación lineal, cuantificada mediante una desviación estándar de

0.27, proporciona una métrica de la precisión alcanzada en la calibración cromática. Esta transformación, rigurosamente derivada del análisis fotométrico de las estrellas de campo empleadas por PCC, se aplicó subsecuentemente al conjunto de imágenes del eclipse lunar, con el objetivo de obtener una representación cromática calibrada del evento astronómico, posibilitando así un análisis espectrofotométrico más preciso y detallado de las variaciones cromáticas observadas durante las distintas fases del eclipse.

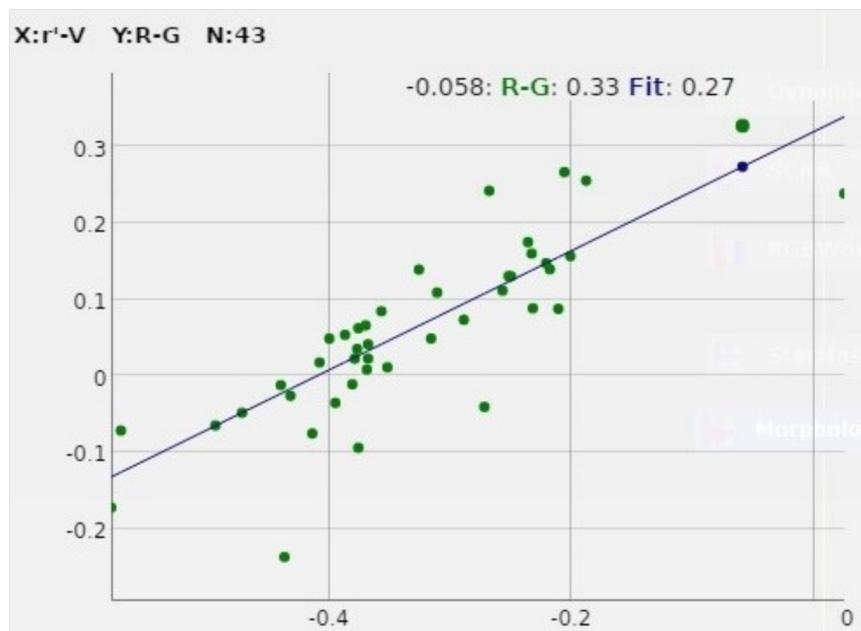


Figura 5: Relación entre el índice de color instrumental. R-G y el índice de referencia Sloan r' - V, obtenida mediante PCC. Se muestran la pendiente (-0.058), el punto cero (0.33) y la desviación estándar del ajuste (0.27).

Fuente: Elaboración propia (2025).

La Figura 6 exhibe la imagen de la Luna Llena capturada previamente al inicio del eclipse, obtenida a través de un proceso que incluyó la alineación precisa de múltiples exposiciones para minimizar el desenfoque atmosférico, el apilamiento coherente de los fotogramas para una significativa reducción del ruido inherente al detector y un consecuente aumento de la relación señal-ruido, y la aplicación rigurosa de la calibración fotométrica del color detallada en la metodología.

El objetivo fundamental de este procesamiento, que involucró técnicas avanzadas de reducción de ruido y calibración espectral, fue generar una imagen de referencia con una elevada relación señal-ruido y una representación cromática intrínsecamente fiel a los estándares fotométricos astronómicos. Esta imagen de referencia serviría como una base de comparación objetiva y cuantitativa para el análisis de las sutiles variaciones cromáticas observadas en las imágenes tomadas durante las diferentes fases del eclipse.



Figura 6: Imagen de la Luna Llena del 13 de marzo del 2025. Tomada con la Cámara Schmidt de OAN. Procesada mediante alineación, apilamiento y calibración fotométrica del color.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Resultados

Las Figuras 7 y 8 ilustran el paso de la Luna llena a través de la penumbra y la umbra, mediante una secuencia de imágenes tomadas en distintos momentos durante el eclipse, según la hora local de Venezuela (HLV). Esta documentación visual nos permite asociar los instantes observados con las características distintivas de cada fase del eclipse. Se puede notar que durante la totalidad (zona de la umbra) la Luna exhibe sus característicos tonos rojizos, ofreciendo una visión directa de las condiciones lumínicas y atmosféricas para ese momento.

Se evidencia la progresión cromática lunar desde una tonalidad tenue y rojiza oscura ($L=2$) hasta un color rojo ladrillo ($L=3$), demostrando la aplicación de la Escala de Danjon para cuantificar el incremento en luminosidad y la mejora en la nitidez de los detalles lunares. Las fases documentadas comprenden el inicio y el fin de la penumbra, la parcialidad, la totalidad y la salida de la umbra, además de la correlación directa entre la representación visual en ambas figuras y su precisa cronología temporal venezolana facilita un análisis exhaustivo de la evolución del fenómeno celeste.

El registro detallado de los parámetros temporales y los aspectos morfológicos inherentes a cada fase, tal como se presenta en estas figuras, resulta fundamental para la validación y el ajuste de modelos astronómicos que describen la dinámica celeste, contribuyendo significativamente

al perfeccionamiento de las predicciones de futuros eventos astronómicos.

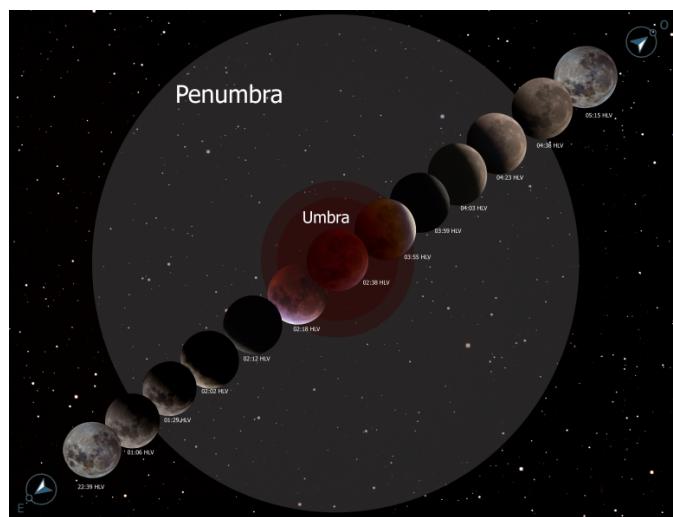


Figura 7: Ilustración. La Luna a través de la penumbra y la umbra, durante el eclipse del 13-14 de marzo de 2025, con indicación horaria en HLV.

Fuente: Elaboración propia (2025).



Figura 8: Fases del eclipse lunar. El paso de la Luna por la penumbra y la umbra, con indicación horaria en HLV.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Conclusiones

La documentación exhaustiva del eclipse lunar total del 13-14 de marzo de 2025, registrada desde el Observatorio Astronómico Nacional Llano del Hato, Mérida-Venezuela, mediante

una estrategia de ajuste dinámico de la sensibilidad ISO en un sensor CMOS, demostró ser una metodología efectiva para capturar la amplia gama de luminosidades y las sutiles variaciones de color inherentes a este fenómeno astronómico. La capacidad del sensor CMOS para adaptarse a las cambiantes condiciones lumínicas, optimizada para cada fase del eclipse, permitió obtener una rica colección de bellas imágenes que detallan la progresión del evento astronómico, desde la Luna Llena hasta su máximo eclipse y su posterior salida de la sombra terrestre, este registro visual constituye un hito inédito, trabajado con el propósito de divulgar las ciencias astronómicas desde el CIDA. En el marco de este proyecto de astrophotografía, se busca fomentar el conocimiento sobre nuestro universo y acercar la belleza de estos eventos celestes a un público más amplio.

El pre-procesamiento riguroso de los datos, incluyendo la calibración con bias, darks y flats utilizando MaxIm DL, y el apilamiento con *Sequator*, fue fundamental para minimizar el ruido y realzar la señal, revelando detalles finos en la superficie lunar y las delicadas tonalidades cromáticas que caracterizaron la totalidad del eclipse. La aplicación de la Calibración Fotométrica del Color (PCC) en *PixInsight*, basada en catálogos estelares de referencia, aseguró que la representación de los colores en las imágenes finales se ajustara a los estándares astronómicos, proporcionando una base sólida para el análisis científico. La presentación de los resultados en secuencias temporales y visuales ofrece una visión clara y detallada de la cronología y la evolución estética del eclipse visto desde Venezuela. La asociación de las fases de la Luna observada, con la Hora Local de Venezuela, facilitó la contextualización temporal del evento para los observadores locales y la comunidad científica en general.

La coloración rojizo-marrón a rojizo-anaranjada observada durante la totalidad, y corroborada por el análisis del histograma se alinea con la explicación teórica de la refracción de la luz solar a través de la atmósfera terrestre (Aupí, 1999). La variación en la intensidad y tonalidad del rojo durante la totalidad (Escala de Danjon L=2 a L=3) sugiere la influencia de las condiciones atmosféricas terrestres en el momento del eclipse. Finalmente la combinación de una planificación observacional meticulosa, el uso estratégico de la sensibilidad ISO de un sensor CMOS, y un procesamiento de datos riguroso con software especializado como Sequator y PixInsight, permitió documentar de manera exhaustiva y precisa el eclipse lunar total de marzo de 2025.

Los resultados obtenidos en esta investigación proporcionan una valiosa crónica visual y un conjunto de datos fotométricamente calibrados, los cuales pueden significativamente contribuir a una mejor comprensión de la compleja dinámica inherente a estos eventos astronómicos y la intrincada interacción entre la luz solar, la atmósfera terrestre y la superficie lunar. Esta documentación detallada, obtenida desde una ubicación geográfica privilegiada en Venezuela, permite un análisis comparativo con observaciones realizadas en otros puntos del planeta, enriqueciendo así la comprensión global de los eclipses lunares y de nuestro universo.

En el futuro, investigaciones posteriores podrían enfocarse en el análisis cuantitativo exhaustivo de las sutiles variaciones de color observadas a lo largo de las distintas fases del eclipse, utilizando los datos espectrales calibrados obtenidos desde Venezuela para extraer información detallada sobre los procesos físicos y ópticos involucrados. Además, se podría explorar la correlación entre las condiciones atmosféricas locales en Mérida durante el evento y las particularidades cromáticas registradas, aportando nuevas perspectivas sobre la influencia atmosférica terrestre en la apariencia del eclipse.

La observación de este eclipse lunar representa un avance fundamental en la divulgación de la astronomía en Venezuela, al contribuir significativamente a la generación de conocimiento. La recopilación de un valioso conjunto de datos cronológicos y visuales de la Luna, obtenidos en el país, permite validar con precisión las predicciones del fenómeno, incluyendo su duración y visibilidad desde nuestro territorio. Este tipo de estudios no solo sirve como base para un análisis más profundo de la frecuencia y ocurrencia de los eclipses, sino que también abre nuevas líneas de investigación y motiva a futuras generaciones de científicos venezolanos a explorar el cosmos con mayor rigor.

Referencias

- Aupí, V. (1999). *Fotografiar el cielo*. Editorial Planeta.
- Boukhayma, A. (2018). Low-Noise CMOS Image Sensors: An Overview. *Sensors*, 18(9), 2963. <https://doi.org/10.3390/s18092963>
- Cardozo, L. (2023). *Astrofotografía una ventana al universo desde la enseñanza de la óptica* [Tesis de grado]. Universidad Pedagógica Nacional, Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/18594>
- Craig, M., y Chambers, L. (2023). *CCD Data Reduction Guide*. Astropy. <https://www.astropy.org/ccd-reduction-and-photometry-guide/v/dev/notebooks/01-01-astronomical-CCD-image-components.html>
- Della, F. (2024). Astronomical test of a medium format digital camera on a large Schmidt telescope. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 60, 121-124. <https://doi.org/10.22201/ia.01851101p.2024.60.01.09>
- Duarte, J., Gargiulo, C., y Moreno, M. (2011). Infraestructura escolar y aprendizajes en la educación básica latinoamericana: Un análisis a partir del SERCE. *Banco Interamericano de Desarrollo*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18235/0010286>
- FUJIFILM. (2024). *Especificaciones de la GFX 50R*. FUJIFILM. <http://www.fujifilm-x.com/global/products/cameras/gfx-50r/specifications/>
- Marx, S., y Pfau, W. (1992). *Astronomía. Fundamentos y métodos*. Reverté.
- Mejía, J., y Navas, G. (2024). Python como herramienta para el análisis de las imágenes astronómicas del Telescopio Reflector. *Conocimiento Libre y Licenciamiento (CLIC)*, (29). <https://convite.cenditel.gob.ve/publicaciones/revistaclic/article/view/1260>

- NASA Science. (2025). *What You Need To Know About the March 2025 Total Lunar Eclipse*.
NASA Science. <https://science.nasa.gov/solar-system/moon/what-you-need-to-know-about-the-march-2025-total-lunar-eclipse/>
- Navas, G., y Rojas, A. (2024). El espacio ultraterrestre y la experiencia de Venezuela: Revisión de tópicos legales. *Conocimiento Libre y Licenciamiento (CLIC)*, (29). <https://convite.cenditel.gob.ve/publicaciones/revistaclic/article/view/1259>
- Neira, F. (2023). *Cómo elegir cámara para astrofotografía*. Más allá del azul pálido. <https://www.fernandoneirapaz.com/como-elegir-camara-para-astrofotografia/>
- Pleiades Astrophoto S.L. (2024). *PixInsight (Version 1.8) [Software]*. Pleiades Astrophoto S.L. <https://pixinsight.com/>