

Variabilidad del *Seeing* en el OAN: Análisis del período enero-septiembre 2024

Variabilidade da *Seeing* na OAN: Análise do período de janeiro a setembro de 2024

Seeing variability at OAN: Analysis of the january-september 2024 period

Jaidary Mejía ¹

Giuliat Navas ²

Universidad Nacional Abierta, Trujillo, Venezuela¹

Centro de Investigaciones de Astronomía y Tecnologías Aplicadas Francisco J. Duarte,
Mérida, Venezuela^{1,2}

jaidarymejia30@gmail.com¹

giuliatnavas@gmail.com²

Fecha de recepción: 22/10/2025

Fecha de aceptación: 05/05/2026

Pág: 2 – 24

DOI: [10.5281/zenodo.20448051](https://doi.org/10.5281/zenodo.20448051)

Resumen

Este estudio caracteriza la variabilidad del *seeing* atmosférico en el Observatorio Astronómico Nacional Llano del Hato (OAN), Mérida, durante el período enero–septiembre de 2024. Se utilizó el telescopio reflector de 1 metro, equipado con una cámara CCD FLI PL4240 y los filtros Bessel V, R y CLEAR. Se analizaron 107 imágenes FITS de estrellas de campo para cuantificar las variaciones del *seeing*, aplicando un método directo basado en la medición del FWHM estelar mediante el software Calculadora de *Seeing*, implementado con las bibliotecas Astropy y Photutils de Python. Los resultados evidencian una marcada tendencia estacional, con valores de *seeing* que aumentan progresivamente desde 2,03” en enero hasta 4,11” en septiembre, reflejando las mejores condiciones atmosféricas al inicio del año y las peores durante el comienzo de la temporada de lluvias. El filtro R (658 nm) mostró mayor estabilidad frente a condiciones atmosféricas adversas, mientras que una iluminación lunar superior al 35 % degradó significativamente el *seeing*, especialmente en la banda V.



Esta obra está bajo licencia [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

La comparación con observatorios de gran altitud, como Paranal y Mauna Kea, resalta la elevada variabilidad del OAN durante las estaciones de transición, asociada al microclima andino. El período enero-marzo de 2024 se identifica como la ventana óptima de observación. Este trabajo constituye la primera base de datos cuantitativa del *seeing* en el OAN durante 2024 y sienta las bases para una planificación observacional más eficiente. Estudios futuros deberán incluir mediciones simultáneas anuales del *seeing* y de variables meteorológicas locales.

Palabras clave: imágenes FITS, medición de FWHM, observación astronómica, *seeing* atmosférico, software científico en Python.

Resumo

Este estudo caracteriza a variabilidade da *seeing* atmosférica no Observatório Astronômico Nacional de Llano del Hato (OAN), em Mérida, durante o período de janeiro a setembro de 2024. Foi utilizado um telescópio refletor de 1 metro, equipado com uma câmera CCD FLI PL4240 e filtros Bessel V, R e CLEAR. Cento e sete imagens de estrelas de campo FITS foram analisadas para quantificar as variações de *seeing*, aplicando um método direto baseado na medição do comprimento de onda total à meia altura (FWHM) estelar utilizando o software Seeing Calculator, implementado com as bibliotecas Astropy e Photutils em Python. Os resultados mostram uma marcada tendência sazonal, com valores de *seeing* aumentando progressivamente de 2,03" em janeiro para 4,11" em setembro, refletindo as melhores condições atmosféricas no início do ano e as piores durante o início da estação chuvosa. O filtro R (658 nm) apresentou maior estabilidade em condições atmosféricas adversas, enquanto a iluminação lunar superior a 35% degradou significativamente a qualidade da imagem (*seeing*), especialmente na banda V. A comparação com observatórios de alta altitude, como Paranal e Mauna Kea, destaca a alta variabilidade do Observatório Astronômico Nacional Andino (OAN) durante as estações de transição, associada ao microclima andino. O período de janeiro a março de 2024 foi identificado como a janela de observação ideal. Este trabalho constitui o primeiro banco de dados quantitativo de *seeing* no OAN durante 2024 e estabelece as bases para um planejamento observacional mais eficiente. Estudos futuros devem incluir medições anuais simultâneas de *seeing* e variáveis meteorológicas locais.

Palavras-chave: imagens FITS, medição de FWHM, observação astronômica, *seeing* atmosférico, software científico em Python.

Abstract

This study characterizes the variability of atmospheric seeing at the Llano del Hato National Astronomical Observatory (OAN), located in Mérida, during the January–September 2024 period. Observations were conducted using the 1-meter reflector telescope, equipped with a FLI PL4240 CCD camera and Bessel V, R, and CLEAR filters. A total of 107 FITS images of field stars were analyzed to quantify seeing variations. A direct method based on stellar FWHM measurements was applied, using the Seeing Calculator software and implementing Python's Astropy and Photutils libraries. The results revealed a marked seasonal trend: seeing values increased progressively from 2.03" in January to 4.11" in September. This aligns with optimal sky conditions in January and the poorest in September, coinciding with the onset of the rainy season. The R filter (658 nm) exhibited superior stability, even under adverse atmospheric conditions. Additionally, lunar illumination above 35 % significantly degraded seeing, particularly in the V band. The comparative analysis with high-altitude observatories (Paranal, Mauna Kea) highlights the high variability of seeing at the OAN during transitional seasons, associated with the Andean micro-climate. The January–March 2024 period is identified as the optimal observation window. This study presents the first quantitative database of seeing conditions at the OAN for 2024, which could significantly contribute to more efficient observational planning in the future. Subsequent research should incorporate year-round simultaneous measurements of both seeing and the meteorological variables recorded by the station currently installed at the OAN.

Keywords: astronomical observation, astronomical seeing, FITS images, FWHM measurement, scientific software in Python.

Introducción

El Observatorio Astronómico Nacional (OAN) de Venezuela se encuentra en el sector Llano del Hato, estado Mérida, a 3600 metros sobre el nivel del mar (8°47'11"N, 70°52'18,8"O). Su ubicación cercana al ecuador permite observar ambos hemisferios celestes, con rango de declinación de $\pm 70^\circ$. Está situado en el páramo andino venezolano, una región con una atmósfera relativamente estable y baja contaminación lumínica (La Marca y Silva, 2015). Estas condiciones lo convierten en uno de los sitios de observación más estratégicos de la zona ecuatorial, con alto valor para estudios astronómicos en latitudes tropicales.

La infraestructura del OAN cuenta con cuatro telescopios principales, cada uno alojado en una cúpula independiente: una cámara Schmidt, un telescopio Reflector, un gran Refractor y un Astrógrafo Doble (Fundación Centro de Investigaciones de Astronomía y Tecnologías Aplicadas "Francisco J. Duarte", 2026). Para esta investigación se utilizó el telescopio Reflector

de 1 metro de apertura, equipado con una cámara CCD FLI PL4240 en configuración F/5.2. Este sistema ofrece una distancia focal de 5150 mm y un tamaño de píxel de 13,5 μm (micras), lo que proporciona un campo de visión de $19' \times 19'$ (minutos de arco). La combinación de estas capacidades instrumentales con las condiciones atmosféricas del sitio, posiciona al OAN como una instalación científica de referencia para estudios astronómicos en la región tropical.

No obstante, la observación astronómica desde la Tierra enfrenta limitaciones fundamentales debido a la turbulencia atmosférica. Este fenómeno, cuantificado mediante el parámetro de *seeing*, distorsiona la trayectoria de la luz al atravesar las diferentes capas de la atmósfera, afectando la resolución angular de las estrellas en las imágenes (Mejía y Navas, 2025). El *seeing*, medido en segundos de arco, depende de forma crítica de las variables meteorológicas como la temperatura, la presión y la velocidad del viento. Estas condiciones provocan variaciones atmosféricas tanto estacionales como intranocurnas.

Históricamente, la búsqueda de sitios con buen *seeing* ha sido un criterio clave en la selección de ubicaciones para nuevos observatorios. Estudios previos en otras latitudes, han mostrado que el *seeing* puede superar 1 segundo de arco ($1''$) en observatorios de baja altitud (por debajo de 2000 msnm). En contraste, en sitios de gran altitud (por encima de 4000 msnm), como Mauna Kea en Hawái o el Observatorio del Roque de los Muchachos en La Palma, puede alcanzar valores tan bajos como $0,4''$ (Mejía y Navas, 2025; Racine, 1996; Radu et al., 2011). Estas diferencias resaltan la importancia de caracterizar el *seeing* en cada sitio para optimizar la calidad de las observaciones astronómicas.

Este estudio busca responder a la siguiente pregunta: ¿cuál es la variabilidad del *seeing* en el OAN durante el período enero-septiembre de 2024? La hipótesis plantea que el valor del *seeing* ha empeorado en comparación con mediciones históricas, posiblemente debido a factores como el cambio climático o el aumento de la contaminación lumínica en la región. De hecho, registros de hace 30 años indican que el valor del *seeing* en el OAN alcanzaba valores inferiores a $1''$ (Mejía y Navas, 2025).

El objetivo de este artículo es analizar y registrar las variaciones del *seeing* en el OAN durante el período enero-septiembre de 2024, utilizando la versión optimizada del software Calculadora de *Seeing*, desarrollado por Mejía y Navas (2025). Este programa se basa en técnicas fotométricas aplicadas a imágenes FITS (*Flexible Image Transport System*, sistema de formato de archivo para datos astronómicos por sus siglas en inglés). No fue posible extender el estudio a todo el año 2024 debido al cierre temporal del OAN por trabajos de remodelación en su infraestructura. Los resultados obtenidos contribuirán a optimizar el uso del telescopio en el futuro, mejorar la planificación de próximas observaciones astronómicas, consolidar los registros del *seeing* en el OAN al paso de los años y profundizar en la comprensión de su variabilidad en la región.

Definición del *seeing* astronómico

El *seeing* astronómico se define como la degradación de la calidad de imagen de los objetos celestes observados desde la superficie terrestre, causada principalmente por la turbulencia atmosférica. Esta turbulencia introduce fluctuaciones espaciales y temporales en el índice de refracción del aire, lo que provoca distorsiones en los frentes de onda originalmente planos que llegan desde fuentes astronómicas lejanas. Como consecuencia, la imagen de una fuente puntual, como una estrella, no se forma como un disco de difracción ideal, sino como una distribución extendida y variable de luz, cuya anchura angular se utiliza como una medida cuantitativa del *seeing* (Mejía y Navas, 2025). Este parámetro se expresa comúnmente en segundos de arco y constituye un indicador fundamental de la calidad observacional de un sitio astronómico.

Desde un punto de vista operativo, el *seeing* representa un límite impuesto por la atmósfera al poder de resolución de los telescopios terrestres, independientemente de su diámetro óptico. En condiciones reales de observación, el tamaño aparente de la imagen estelar está dominado por la atmósfera más que por la difracción instrumental, especialmente en telescopios de apertura media y grande. Por esta razón, el *seeing* se evalúa habitualmente mediante el ancho a mitad de altura (*Full Width at Half Maximum*, FWHM) del perfil de brillo de estrellas no saturadas registradas en imágenes astronómicas (Mejía y Navas, 2025; Tokovinin, 2002). La caracterización precisa del *seeing* es esencial tanto para la planificación de observaciones como para la evaluación del rendimiento de instrumentos astronómicos y la selección de emplazamientos óptimos para observatorios.

Medición del *seeing*: Enfoques instrumentales y fotométricos

En este contexto, se puede destacar que, a lo largo de los años, se han desarrollado diversos métodos para medir el *seeing*. Entre los más utilizados se encuentran el *Differential Image Motion Monitor* (DIMM), el *Multi-Aperture Scintillation Sensor* (MASS) y el *Site Testing Telescope* (STT). Estos instrumentos han sido implementados en observatorios líderes como el Very Large Telescope (VLT) del Observatorio Europeo Austral (ESO), donde se emplean para monitorear continuamente las condiciones atmosféricas (European Southern Observatory [ESO], 2025). El DIMM, por ejemplo, mide el movimiento diferencial de imágenes de estrellas a través de dos aperturas, proporcionando una estimación directa del *seeing*. Por otro lado, el MASS analiza la titilación de estrellas brillantes para inferir el perfil de turbulencia atmosférica en diferentes altitudes.

Además de estos métodos instrumentales, otra técnica utilizada en la medición del *seeing* es el método directo a través de software de procesamiento especializados. Este enfoque consiste en analizar las imágenes estelares registradas en cámaras CCD (*Charge-Coupled Device*), permitiendo obtener el *seeing* a partir del perfil de brillo de las estrellas (Massey y Davis, 1992).

La presente investigación emplea el método directo al utilizar la segunda versión del software Calculadora de *Seeing* desarrollado por Mejía y Navas (2025). La ventaja de este método es que permite realizar mediciones del *seeing* utilizando imágenes FITS obtenidas con telescopios científicos, sin necesidad de equipos especializados adicionales.

Lenguajes de programación como Python ofrecen herramientas eficientes para el análisis de datos astronómicos. Bibliotecas como Astropy, Photutils, SciPy, Matplotlib y NumPy han sido utilizadas para el procesamiento de las imágenes FITS, facilitando la extracción y análisis de información fotométrica (Astropy Collaboration, 2018).

Respuesta espectral de detectores CCD y su influencia en las mediciones del *seeing*

Los detectores CCD en la astronomía observacional se destacan por su alta eficiencia cuántica, es decir, su capacidad de detección de fotones individuales y amplio rango dinámico. Estos dispositivos convierten la luz en señales eléctricas mediante la absorción de fotones en una matriz de píxeles sensibles. Cada píxel del sensor CCD acumula carga en función de la cantidad de luz recibida, permitiendo obtener imágenes con una resolución y sensibilidad superiores a las de las placas fotográficas tradicionales (Howell, 2006).

Los CCDs utilizados en astronomía poseen típicamente píxeles con tamaños en el rango de 4 a 15 μm (micras), es decir, 4000 a 15000 nm (nanómetros, unidad de medida de longitudes de onda), lo que permite alcanzar una resolución espacial adecuada para estudios detallados de estructuras celestes. Sin embargo, su respuesta cuántica (la fracción de fotones incidentes que generan una señal eléctrica) varía significativamente con la longitud de onda. Esto implica que no todos los fotones incidentes se convierten en una señal útil de manera uniforme en todo el espectro visible e infrarrojo (Howell, 2006).

Los filtros astronómicos están diseñados para seleccionar rangos específicos de longitudes de onda, permitiendo la observación de fenómenos astronómicos en distintas bandas espectrales. Cuando se emplean con detectores CCD, cumplen varias funciones esenciales como el aislamiento espectral, corrección de sensibilidad del CCD y minimización de efectos ocasionados por la interferencia atmosférica. El rango visible del espectro electromagnético (380-780 nm) constituye la principal ventana de estudio para observaciones ópticas desde la Tierra (European Southern Observatory [ESO], s.f). Los sistemas fotométricos estándar emplean filtros con bandas diferentes, por ejemplo, el filtro ultravioleta cercano (U), centrado en 365 nm con 60 nm de ancho de banda, revela estrellas jóvenes y extremadamente calientes, aunque su uso se complica por la intensa absorción atmosférica y la creciente contaminación lumínica en estas longitudes de ondas. Continuando hacia el azul, el filtro B (440 nm, 100 nm de ancho) mantiene compatibilidad con los sistemas fotográficos históricos mientras destaca

poblaciones estelares jóvenes y regiones de formación estelar, alcanzando un notable 88 % de transmisión máxima. (Andover Corporation, 2026; Bessell, 1990).

El filtro visual (V), centrado en 520 nm con 90 nm de ancho, coincide con la máxima sensibilidad del ojo humano y constituye la base del sistema de magnitudes astronómicas, aunque su perfil asimétrico exige correcciones meticulosas en mediciones de precisión. Avanzando hacia longitudes de onda mayores, el filtro rojo (R) del sistema Cousins (760 nm, 250 nm de ancho) penetra eficazmente las nubes de polvo interestelar, siendo ideal para estudiar estrellas frías y galaxias con redshift (efecto astronómico donde la luz de un objeto se desplaza hacia el extremo rojo del espectro electromagnético cuando se aleja del observador) moderado, además de mostrar menor sensibilidad a la turbulencia atmosférica. Finalmente, el filtro infrarrojo cercano (I), centrado en 800 nm con 150 nm de ancho, permite observar objetos fuertemente enrojecidos, aunque requiere detectores especializados y correcciones atmosféricas complejas debido a la absorción por vapor de agua en esta región espectral (Andover Corporation, 2026; Bessell, 1990).

Cuando se combinan con detectores CCD, estos filtros no solo aíslan bandas espectrales específicas, sino que también compensan las variaciones en la respuesta espectral del sensor y mitigan los efectos de la atmósfera terrestre. La selección adecuada del filtro, considerando tanto las propiedades del objeto observado como las condiciones atmosféricas, es una decisión importante en cualquier programa de observación astronómica profesional.

Metodología para el estudio de variabilidad del *seeing*

En la presente investigación se analizaron imágenes astronómicas en formato FITS, obtenidas con la cámara CCD acoplada al telescopio Reflector del OAN. Las imágenes corresponden a observaciones de estrellas de campo realizadas entre el 30 de enero y el 30 de septiembre de 2024, abarcando una amplia variedad de condiciones atmosféricas. No fue posible extender el estudio a todo el año debido al cierre temporal del observatorio por trabajos de remodelación en su infraestructura, lo que impidió la adquisición de nuevos datos astronómicos. Durante las sesiones de observación se emplearon los filtros Bessel V, R y CLEAR. El filtro B no pudo utilizarse debido a su deterioro. Sin embargo, fue posible estudiar la influencia espectral en las mediciones del *seeing* con los filtros disponibles. La muestra final incluyó 107 imágenes FITS, obtenidas estratégicamente en tres momentos de cada noche: al inicio, en la mitad y al final de la sesión. Esta estrategia permitió analizar la evolución temporal del *seeing* nocturno. Todas las imágenes fueron proporcionadas por el Comité de Asignación de Tiempo de Observación (CATO), respetando los protocolos de propiedad intelectual (Navas, 2022). Las imágenes se conservaron en su estado original, sin preprocesamiento, es decir, sin aplicar calibraciones de bias, dark ni flats, con el fin de preservar las condiciones observacionales reales del momento.

Siguiendo la metodología propuesta por Mejía y Navas (2025), el software identifica y

selecciona las estrellas en la imagen dentro del campo de visión ($19' \times 19'$, campo del Reflector). El proceso de medición del *seeing* comienza con el análisis de imágenes, a las cuales se le aplican técnicas fotométricas mediante las bibliotecas Astropy y Photutils en Python que extrae parámetros clave como el FWHM (Full Width at Half Maximum, anchura a media altura por sus siglas en inglés) y genera métricas de calidad atmosférica.

La segunda versión del software “Calculadora de *Seeing*” se descarga en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1ywv2E5O1C4tewE_pk_2wPUWDNJ20sG9S

Antes de la ejecución, se recomienda verificar que las imágenes astronómicas en formato FITS sean accesibles en un directorio específico. El proceso comienza al ingresar en la carpeta “dist” y ejecutar el archivo “Calculadora_de_Seeing.exe”, lo cual desplegará la interfaz gráfica. Desde allí, el usuario debe seleccionar la opción “Cargar imagen” para importar el archivo FITS. El sistema procesará la información, calculando y mostrando en la interfaz el parámetro de *seeing* promedio de todas las estrellas identificadas. Finalmente, los datos obtenidos se guardan automáticamente, y el usuario puede elegir el formato de almacenamiento entre .csv o .txt.

Este procedimiento permite una evaluación sistemática del *seeing* en el OAN durante el período enero-septiembre de 2024, proporcionando una base de datos para estudios posteriores y optimización de las observaciones astronómicas en el sitio. Esta herramienta presenta un enfoque de usabilidad que permite su operación por parte de investigadores o estudiantes sin requerir conocimientos especializados en programación.

Análisis de los resultados

A continuación, se presenta el análisis de las observaciones astronómicas realizadas mes a mes entre enero y septiembre de 2024. Las tablas de datos correspondientes a cada mes se encuentran incluidas en sus respectivas secciones, desde el apartado análisis de los datos de enero 2024 hasta septiembre 2024. Cada tabla contiene los registros individuales de las imágenes FITS analizadas, detallando la fecha de captura, el número de estrellas detectadas, el valor de *seeing*, la fase lunar y el filtro utilizado. Cuando fue posible, se incorporaron observaciones realizadas con distintos filtros y en diversas fases lunares, con el objetivo de evaluar su posible influencia en los valores del *seeing*.

Análisis de los datos de enero 2024

La Tabla 1 presenta los registros de *seeing* obtenidos durante las noches del 30 y 31 de enero de 2024. Los valores muestran una tendencia estable, con mediciones cercanas a $2,02''$. El promedio fue de $2,017''$, lo que indica condiciones atmosféricas moderadas para la resolución espacial. Aunque el análisis se limita a dos fechas, los datos ofrecen una referencia útil sobre

la calidad de las imágenes astronómicas al final del mes. Las observaciones se realizaron exclusivamente con el filtro R, centradas en el espectro rojo, una práctica común en estudios que requieren estabilidad para fotometría precisa. Durante ambas noches, la Luna estaba en fase menguante, con iluminaciones del 83,3 % y 75,7 %. Si bien esta iluminación puede afectar el brillo de fondo, no influye directamente en el *seeing*, que se mantuvo estable. El número de estrellas detectadas por imagen varió entre 21 y 79 estrellas, lo que puede estar relacionado con la calidad del cielo, el campo observado y las condiciones locales. Estos datos permiten establecer una referencia sobre la calidad de las imágenes astronómicas obtenidas al final del mes de enero, aunque no permiten evaluar la variabilidad mensual completa debido a la limitación en el rango de fechas. Las imágenes analizadas fueron tomadas exclusivamente con el filtro R. Por esta razón, no fue posible comparar el efecto de otros filtros ni evaluar la influencia de las fases lunares a lo largo de todo el mes de enero de 2024.

Tabla 1: Datos observacionales de enero 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	Seeing	Fase lunar	Filtro
30-01-24	1130_R_120s_f4780f001_A	68	2,03	Menguante, 83.3 % de iluminación	R
30-01-24	1130_R_120s_f4780f014_A	67	2,00	Menguante, 83.3 % de iluminación	R
30-01-24	1130_R_120s_f4780f029_A	63	2,01	Menguante, 83.3 % de iluminación	R
30-01-24	6748_R_120s_f4740f001_A	79	1,99	Menguante, 83.3 % de iluminación	R
30-01-24	6748_R_120s_f4740f002_A	75	2,00	Menguante, 83.3 % de iluminación	R
30-01-24	6748_R_120s_f4740f003_A	75	2,03	Menguante, 83.3 % de iluminación	R
31-01-24	1130_R_120s_002_A	68	2,02	Menguante, 75.7 % de iluminación	R
31-01-24	1130_R_120s_009_A	74	2,00	Menguante, 75.7 % de iluminación	R
31-01-24	1130_R_120s_019_A	63	2,07	Menguante, 75.7 % de iluminación	R
31-01-24	20740_R_120s_004_A	21	2,00	Menguante, 75.7 % de iluminación	R
31-01-24	20740_R_120s_011_A	27	2,05	Menguante, 75.7 % de iluminación	R
31-01-24	20740_R_120s_024_A	27	2,05	Menguante, 75.7 % de iluminación	R

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de los datos de febrero 2024

La Tabla 2 presenta los registros observacionales correspondientes al mes de febrero de 2024. El promedio de *seeing* fue de 1,98", ligeramente inferior al valor registrado en enero, lo que indica una mejora en la estabilidad atmosférica y en la calidad de imagen obtenida. La noche del 1 de febrero destaca por sus condiciones excepcionalmente estables, con valores mínimos de *seeing* de hasta 1,86". En contraste, las noches del 15 y 20 de febrero muestran una regresión hacia valores cercanos o superiores a 2,07", lo que refleja una mayor turbulencia atmosférica local en esas fechas. A lo largo del mes, la dispersión del *seeing* fue de aproximadamente 0,1", lo que, aunque indica variabilidad, sigue siendo aceptable para trabajos fotométricos. Las imágenes fueron tomadas exclusivamente con el filtro R, lo que limita el análisis comparativo entre bandas espectrales. No se observó una correlación clara entre el *seeing* y la fase lunar, que

varió desde el 1 % hasta el 83,3 % de iluminación. Tampoco se identificó una relación directa con los diferentes campos estelares observados, como lo evidencia la variación en el número de estrellas detectadas por imagen (entre 19 y 90). Esto sugiere que la turbulencia atmosférica local fue el factor principal que afectó la calidad de las observaciones durante este mes.

Tabla 2: Datos observacionales de febrero 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	Seeing	Fase lunar	Filtro
01-02-24	1130_R_120s_f4850f002	79	1,86	Menguante, 67.1 % de iluminación	R
01-02-24	1130_R_120s_f4850f010	79	1,93	Menguante, 67.1 % de iluminación	R
01-02-24	1130_R_120s_f4850f021	74	1,93	Menguante, 67.1 % de iluminación	R
01-02-24	6748_R_120s_002	84	1,99	Menguante, 67.1 % de iluminación	R
01-02-24	6748_R_120s_004	90	1,93	Menguante, 67.1 % de iluminación	R
01-02-24	6748_R_120s_007	89	1,74	Menguante, 67.1 % de iluminación	R
01-02-24	20740_R_120s_f5050f003	22	1,75	Menguante, 67.1 % de iluminación	R
01-02-24	20740_R_120s_f5050f012	23	1,76	Menguante, 67.1 % de iluminación	R
09-02-24	1130_R_120s_02092024011624003_A	77	1,98	Menguante 1 % de iluminación	R
09-02-24	1130_R_120s_02092024011624023_A	70	1,97	Menguante 1 % de iluminación	R
09-02-24	1130_R_120s_02092024011624033_A	64	1,98	Menguante 1 % de iluminación	R
15-02-24	8851_R_120s_02152024014_B	42	1,95	Creciente 34.2 % de iluminación	R
15-02-24	8851_R_120s_02152024009_B	41	2,07	Creciente 34.2 % de iluminación	R
15-02-24	8851_R_120s_02152024002_B	41	2,07	Creciente 34.2 % de iluminación	R
15-02-24	112_R_120s_002_B	40	1,98	Creciente 34.2 % de iluminación	R
15-02-24	112_R_120s_010_B	35	1,94	Creciente 34.2 % de iluminación	R
15-02-24	112_R_120s_020_B	35	1,99	Creciente 34.2 % de iluminación	R
15-02-24	653_R_120s_02152024001_B	35	2,06	Creciente 34.2 % de iluminación	R
15-02-24	653_R_120s_02152024005_B	46	2,03	Creciente 34.2 % de iluminación	R
15-02-24	653_R_120s_02152024009_B	47	1,93	Creciente 34.2 % de iluminación	R
20-02-24	8851_R_120s_003_A	19	2,07	Creciente 83.3 % de iluminación	R
20-02-24	8851_R_120s_010_A	20	2,07	Creciente 83.3 % de iluminación	R
20-02-24	8851_R_120s_019_A	21	2,02	Creciente 83.3 % de iluminación	R
20-02-24	112_R_120s_002_A	21	2,08	Creciente 83.3 % de iluminación	R
20-02-24	112_R_120s_012_A	21	2,07	Creciente 83.3 % de iluminación	R
20-02-24	112_R_120s_018_A	20	2,07	Creciente 83.3 % de iluminación	R
20-02-24	653_R_120s_003_A	31	2,02	Creciente 83.3 % de iluminación	R
20-02-24	653_R_120s_013_A	25	2,04	Creciente 83.3 % de iluminación	R
20-02-24	653_R_120s_023_A	23	2,08	Creciente 83.3 % de iluminación	R

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de los datos de marzo 2024

Las observaciones fotométricas correspondientes al mes de marzo de 2024, resumidas en la Tabla 3, muestran una tendencia de *seeing* altamente consistente. El promedio mensual fue de 2,03" ligeramente superior al registrado en febrero, pero con una variabilidad mínima. La mayoría de los valores se mantuvieron entre 1,95" y 2,04", lo que indica condiciones atmosféricas notablemente estables durante las noches de observación. Este comportamiento sugiere una baja turbulencia en capas superiores y una calma sostenida en la capa límite,

lo que permitió mantener el FWHM prácticamente constante. Esta estabilidad es ideal para proyectos que requieren una calibración fotométrica uniforme a lo largo del tiempo.

La Tabla 3 presenta los registros individuales de cada imagen FITS analizada, incluyendo la fecha de captura, el número de estrellas detectadas, el valor de *seeing*, la fase lunar y el filtro utilizado. Todas las observaciones se realizaron con el filtro R, centradas en el espectro rojo, lo que garantiza coherencia en la medición pero limita el análisis comparativo entre bandas espectrales. Los datos abarcan un amplio rango de fases lunares, desde el 11,2 % creciente hasta el 70,2 % menguante. No se observó una correlación significativa entre la calidad de imagen y la iluminación lunar, lo que refuerza la conclusión de que el *seeing* estuvo dominado por factores atmosféricos locales más que por condiciones de brillo de fondo. El número de estrellas detectadas por imagen varió entre 11 y 70, dependiendo del campo observado y las condiciones específicas de cada noche. Esta variación no afectó la consistencia del *seeing*, lo que confirma la estabilidad general del mes.

Tabla 3: Datos observacionales de marzo 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	Seeing	Fase lunar	Filtro
05-03-2024	653_R_120s_001_A	63	2,06	Menguante 33.9 % de iluminación	R
05-03-2024	653_R_120s_006_A	70	2,04	Menguante 33.9 % de iluminación	R
05-03-2024	653_R_120s_039_A	65	2,03	Menguante 33.9 % de iluminación	R
05-03-2024	653_R_120s_068_A	55	2,03	Menguante 33.9 % de iluminación	R
13-03-2024	25869_R_120s_001	56	2,07	Creciente 11.2 % de iluminación	R
13-03-2024	25869_R_120s_007	57	2,06	Creciente 11.2 % de iluminación	R
13-03-2024	25869_R_120s_012	48	2,03	Creciente 11.2 % de iluminación	R
18-03-2024	112_R_120s_001_A	25	2,05	Creciente 60 % de iluminación	R
18-03-2024	112_R_120s_007_A	17	2,07	Creciente 60 % de iluminación	R
18-03-2024	112_R_120s_012_A	16	1,95	Creciente 60 % de iluminación	R
19-03-2024	8851_R_120s_001_A	11	2,06	Creciente 69.5 % de iluminación	R
19-03-2024	8851_R_120s_003_A	11	2,06	Creciente 69.5 % de iluminación	R
19-03-2024	8851_R_120s_004_A	11	1,94	Creciente 69.5 % de iluminación	R
31-03-2024	8851_R_120s_001_B	13	1,98	Menguante 70.2 % de iluminación	R
31-03-2024	8851_R_120s_010_B	23	2,01	Menguante 70.2 % de iluminación	R
31-03-2024	8851_R_120s_020_B	21	2,04	Menguante 70.2 % de iluminación	R

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de los datos de abril 2024

Las observaciones fotométricas correspondientes al mes de abril de 2024, resumidas en la Tabla 4, evidencian una marcada dualidad en la tendencia del *seeing*. El promedio mensual fue de 2,38", el más alto registrado hasta el momento, reflejando una significativa variabilidad en las condiciones atmosféricas. Esta variabilidad se explica por dos grupos de observaciones.

Por un lado, las realizadas con el filtro R los días 6, 7, 13 y 15 de abril, que muestran valores estables y favorables, cercanos a 2,00", similares a los meses anteriores. Por otro lado, las observaciones del 12 de abril con el filtro V presentan valores extremos de *seeing*, superiores a 4,14". Este pico afecta de forma dominante el promedio mensual y podría deberse no solo a condiciones atmosféricas adversas, sino también a factores instrumentales, como errores de calibración o ajustes específicos para la detección de objetos débiles.

La Tabla 4 detalla cada imagen FITS analizada, incluyendo la fecha, el número de estrellas detectadas, el valor de *seeing*, la fase lunar y el filtro utilizado. La mayoría de las observaciones se realizaron con el filtro R, mientras que las del 12 de abril emplearon el filtro V, en el contexto de observaciones del cometa C/2023 A3, lo que sugiere una prioridad científica distinta, centrada en objetos de bajo brillo más que en la calidad fotométrica estelar. No se observó correlación entre el *seeing* y la fase lunar, que varió entre el 3,8 % y el 43,6 % de iluminación. Esto refuerza la conclusión de que la turbulencia atmosférica local y las decisiones instrumentales fueron los principales factores que afectaron la calidad de imagen durante este mes.

Tabla 4: Datos observacionales de abril 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	Seeing	Fase lunar	Filtro
06-04-2024	62P_R_120s_001	34	2,02	Menguante 9.9 % de iluminación	R
06-04-2024	62P_R_120s_007	34	1,98	Menguante 9.9 % de iluminación	R
06-04-2024	62P_R_120s_014	33	2,01	Menguante 9.9 % de iluminación	R
07-04-2024	25869_R_120s_006_A	78	1,95	Menguante 3.8 % de iluminación	R
07-04-2024	25869_R_120s_011_A	64	1,94	Menguante 3.8 % de iluminación	R
12-04-2024	C2023A3_2X2_V_30s_003	13	4,15	Creciente 8.1 % de iluminación	V
12-04-2024	C2023A3_2X2_V_30s_024	13	4,12	Creciente 8.1 % de iluminación	V
12-04-2024	C2023A3_2X2_V_30s_043	13	4,15	Creciente 8.1 % de iluminación	V
13-04-2024	25869_R_120s_011_B1	40	2,05	Creciente 24.1 % de iluminación	R
13-04-2024	25869_R_120s_011_B3	54	2,03	Creciente 24.1 % de iluminación	R
15-04-2024	25869_R_120s_002_C	53	2,04	Creciente 43.6 % de iluminación	R
15-04-2024	25869_R_120s_006_C	50	2,06	Creciente 43.6 % de iluminación	R
15-04-2024	25869_R_120s_010_C	42	1,98	Creciente 43.6 % de iluminación	R

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de los datos de mayo 2024

Las observaciones fotométricas correspondientes al mes de mayo de 2024, resumidas en la Tabla 5, revelan una marcada tendencia bimodal en la calidad del *seeing*, replicando el patrón observado en abril. El promedio mensual general fue de 2,68", un valor significativamente alto que refleja la coexistencia de condiciones óptimas y desfavorables durante el mes. Esta dualidad está determinada principalmente por el filtro utilizado. Las observaciones realizadas con el filtro R muestran una calidad de imagen excelente, con un promedio de *seeing* de 1,96"

y una dispersión muy baja (entre 1,82" y 2,06"). En contraste, las imágenes obtenidas con el filtro V presentan valores notablemente más altos, con un promedio de 3,86", lo que deteriora el promedio mensual general. Esta diferencia sugiere la persistencia de una configuración instrumental subóptima para el filtro V o condiciones atmosféricas particularmente adversas en esas longitudes de onda.

La Tabla 5 detalla cada imagen FITS analizada, incluyendo la fecha, el número de estrellas detectadas, el valor de *seeing*, la fase lunar y el filtro utilizado. Las observaciones con el filtro V se asociaron a campañas específicas, como el seguimiento del cometa C/2021 S3 y C/2023 A3, lo que podría haber priorizado la detección de objetos de bajo brillo sobre la calidad fotométrica estelar. La fase lunar varió entre el 1,3 % y el 77,4 % de iluminación, sin mostrar una correlación significativa con la nitidez del *seeing* en ninguna de las bandas. Esto refuerza la conclusión de que las condiciones atmosféricas locales y las decisiones instrumentales fueron los factores predominantes que afectaron la calidad de imagen durante este mes.

Tabla 5: Datos observacionales de mayo 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	Seeing	Fase lunar	Filtro
06-05-2024	1021_R_120s_010	12	1,82	Menguante 5.5 % de iluminación	R
06-05-2024	1021_R_120s_002	27	1,95	Menguante 5.5 % de iluminación	R
07-05-2024	62P_R_120s_	16	1,97	Menguante 1.3 % de iluminación	R
07-05-2024	62P_R_120s_006	14	1,98	Menguante 1.3 % de iluminación	R
15-05-2024	C2021S3_2X2_V_30s_073	6	4,08	Creciente 46.8 % de iluminación	V
15-05-2024	C2021S3_2X2_V_30s_025	5	4,00	Creciente 46.8 % de iluminación	V
15-05-2024	C2021S3_2X2_V_30s_002	6	3,78	Creciente 46.8 % de iluminación	V
18-05-2024	8851_R_120s_024	19	1,96	Creciente 74.3 % de iluminación	R
18-05-2024	8851_R_120s_008	17	2,00	Creciente 74.3 % de iluminación	R
18-05-2024	8851_R_120s_001	15	2,06	Creciente 74.3 % de iluminación	R
28-05-2024	C2023A3_30s_V_049	5	4,11	Menguante 77.4 % de iluminación	V
28-05-2024	C2023A3_30s_V_022	5	3,58	Menguante 77.4 % de iluminación	V
28-05-2024	C2023A3_30s_V_001	6	3,62	Menguante 77.4 % de iluminación	V

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de los datos de junio 2024

El análisis fotométrico correspondiente al mes de junio de 2024, resumido en la Tabla 6, muestra un deterioro significativo y generalizado en la calidad del *seeing*. Con un promedio mensual de 3,54", junio registra la peor media del trimestre, reflejando condiciones atmosféricas notablemente desfavorables. A diferencia de los meses anteriores, donde los valores elevados se asociaban principalmente al uso del filtro V, en junio el deterioro se extiende también al filtro R. El *seeing* promedio con el filtro R alcanzó los 3,59", muy por encima de los valores típicos cercanos a 2,00" registrados en meses previos. Por su parte, el filtro V mostró un promedio de

3,46". Esta convergencia de valores altos en ambos filtros sugiere un empeoramiento sistémico de las condiciones atmosféricas del sitio, posiblemente asociado al inicio de una estación con mayor turbulencia o a la persistencia de fenómenos meteorológicos que afectaron la estabilidad atmosférica.

La Tabla 6 presenta los registros individuales de cada imagen FITS analizada, incluyendo la fecha, el número de estrellas detectadas, el valor de *seeing*, la fase lunar y el filtro utilizado. Las observaciones fueron escasas, ya que las condiciones climáticas redujeron considerablemente el número de noches efectivas con datos útiles, lo que explica la limitada cantidad de fechas registradas. Como en meses anteriores, no se observó correlación entre la fase lunar (que varió entre el 8,1 % y el 47,1 % de iluminación) y los valores de *seeing*. Esto refuerza la conclusión de que las condiciones atmosféricas locales fueron el principal factor limitante de la calidad de imagen durante este mes.

Tabla 6: Datos observacionales de junio 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	Seeing	Fase lunar	Filtro
09-06-2024	355_2x2_R_120s_016	8	3,54	Creciente 8.1 % de iluminación	R
09-06-2024	355_2x2_R_120s_008	6	3,46	Creciente 8.1 % de iluminación	R
09-06-2024	355_2x2_R_120s_001	7	3,77	Creciente 8.1 % de iluminación	R
29-06-2024	C2021S3_2X2_V_30s_007	9	2,76	Menguante 47.1 % de iluminación	V
29-06-2024	C2021S3_2X2_V_30s_002	11	4,15	Menguante 47.1 % de iluminación	V

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de los datos de julio 2024

La comparativa de observaciones fotométricas correspondientes al mes de julio de 2024, resumida en la Tabla 7, confirma la tendencia de deterioro atmosférico sistémico iniciada en junio. El promedio general de *seeing* alcanzó los 3,87", el valor más alto y desfavorable registrado hasta la fecha. La calidad de imagen fue consistentemente baja en todas las bandas observadas. El filtro R promedió 3,60", evidenciando la persistencia de una turbulencia severa que afecta incluso el canal rojo, históricamente más estable. Las mediciones con el filtro V mostraron un promedio de 3,89", manteniéndose en niveles inaceptables para trabajos fotométricos de precisión. Además, la introducción del filtro CLEAR arrojó los peores resultados, con un promedio de 4,11", lo que sugiere que la turbulencia atmosférica afectó de forma transversal a todas las longitudes de onda ópticas.

La Tabla 7 detalla cada imagen FITS analizada, incluyendo la fecha, el número de estrellas detectadas, el valor de *seeing*, la fase lunar y el filtro utilizado. La baja cantidad de estrellas por imagen, en algunos casos tan solo cinco, también refleja la degradación de las condiciones de observación. El principal factor detrás de este deterioro parece ser la turbulencia atmosférica

estacional, que elevó de forma sostenida el valor del FWHM de las estrellas, independientemente del filtro o la fase lunar. Esta situación sugiere un impacto climático persistente sobre la estabilidad del sitio de observación durante este mes.

Tabla 7: Datos observacionales de julio 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	<i>Seeing</i>	Fase lunar	Filtro
03-07-2024	457175_CLR_180s_002	5	4,18	Menguante 8.9 % de iluminación	CLEAR
03-07-2024	457175_CLR_180s_006	5	4,03	Menguante 8.9 % de iluminación	CLEAR
14-07-2024	4143_R_120s_003	5	3,85	Creciente 52.2 % de iluminación	R
15-07-2024	355_R_120s_017	5	3,35	Creciente 61.7 % de iluminación	R
15-07-2024	C2021S3_V_30s_007	19	3,84	Creciente 61.7 % de iluminación	V
15-07-2024	C2021S3_V_30s_023	8	3,75	Creciente 61.7 % de iluminación	V
15-07-2024	C2021S3_V_30s_040	23	4,08	Creciente 61.7 % de iluminación	V

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de los datos de agosto 2024

Las observaciones astronómicas correspondientes al mes de agosto de 2024, presentadas en la Tabla 8, confirman la tendencia de *seeing* crecientemente pobre iniciada en junio y julio. El promedio mensual fue de 3,94", el más alto registrado hasta la fecha, lo que refleja condiciones atmosféricas severamente desfavorables para la obtención de imágenes astronómicas de alta resolución. Durante este mes, todas las observaciones se realizaron exclusivamente con el filtro V. Los valores de *seeing* oscilaron entre 3,67" y 4,08", sin excepción, lo que indica una uniformidad en la degradación de la calidad de imagen. Esta consistencia en los valores elevados sugiere que la turbulencia atmosférica estacional fue el principal factor limitante, afectando de forma sostenida la estabilidad del sitio de observación.

La Tabla 8 detalla cada imagen FITS analizada, incluyendo la fecha, el número de estrellas detectadas, el valor de *seeing*, la fase lunar y el filtro utilizado. La ausencia de datos con el filtro R impide evaluar si la banda roja ha mostrado alguna mejora respecto a los valores pobres de julio (3,60"), aunque la tendencia general apunta a que el sitio atraviesa su peor ventana de calidad de imagen en lo que va de año. Como en meses anteriores, no se observó correlación entre la fase lunar (que varió entre el 22,1 % y el 74,6 % de iluminación) y los valores de *seeing*. Esto refuerza la conclusión de que las condiciones atmosféricas locales, más que los factores astronómicos, continúan siendo el principal aspecto que condiciona la calidad fotométrica de las imágenes.

Tabla 8: Datos observacionales de agosto 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	Seeing	Fase lunar	Filtro
15-08-2024	11196_V_180s_2x2_002_A	12	4,08	Creciente 74.6 % de iluminación	V
15-08-2024	11196_V_180s_2x2_008_A	14	3,93	Creciente 74.6 % de iluminación	V
28-08-2024	355_2X2_V_120_001	19	4,07	Menguante 31.3 % de iluminación	V
29-08-2024	11196_2X2_180s_V_024	5	3,67	Menguante 22.1 % de iluminación	V

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de los datos de septiembre 2024

Las observaciones fotométricas correspondientes al mes de septiembre de 2024, presentadas en la Tabla 9, confirman la persistencia de condiciones atmosféricas desfavorables para la obtención de imágenes astronómicas de alta resolución. El promedio mensual de *seeing* fue de 3,83", ligeramente inferior al valor registrado en agosto (3,94"), pero aún muy por encima del umbral aceptable para estudios de alta precisión. Todas las imágenes fueron obtenidas con el filtro V, y los valores de *seeing* oscilaron entre 3,54" y 4,11". Esta distribución estrecha indica baja dispersión, lo que sugiere que la atmósfera sobre el sitio de observación se mantuvo en un estado de turbulencia constante durante todo el mes. La ausencia de observaciones con el filtro R impide evaluar si la banda roja ha mostrado alguna mejora respecto a los meses anteriores, aunque la tendencia general apunta a una continuidad en las condiciones adversas.

La Tabla 9 detalla cada imagen FITS analizada, incluyendo la fecha, el número de estrellas detectadas, el valor de *seeing*, la fase lunar y el filtro utilizado. La fase lunar varió entre el 21,6 % y el 59,5 % de iluminación, sin mostrar correlación alguna con la calidad del *seeing*, lo que refuerza la conclusión de que la turbulencia atmosférica estacional sigue siendo el principal factor limitante. Aunque el leve descenso en el promedio mensual podría sugerir el inicio de una transición hacia condiciones más favorables, los valores siguen estando lejos del óptimo de aproximadamente 2,0" observado en los primeros meses del año. Por tanto, septiembre continúa dentro del período de menor calidad de imagen del año, afectando la viabilidad de estudios fotométricos exigentes.

Tabla 9: Datos observacionales de septiembre 2024 con imágenes FITS, número de estrellas y valores de *seeing*

Fecha	Imagen FITS	N.º estrellas	Seeing	Fase lunar	Filtro
08-09-2024	11196_2X2_V_180s_002_A	7	3,54	Creciente 21.6 % de iluminación	V
08-09-2024	11196_2X2_V_180s_009_A	8	4,06	Creciente 21.6 % de iluminación	V
08-09-2024	11196_2X2_V_180s_018_A	5	3,55	Creciente 21.6 % de iluminación	V
09-09-2024	11196_2X2_V_180s_004_B	17	3,99	Creciente 30.1 % de iluminación	V
09-09-2024	11196_2X2_V_180s_013_B	14	3,99	Creciente 30.1 % de iluminación	V
09-09-2024	11196_2X2_V_180s_037_B	7	4,11	Creciente 30.1 % de iluminación	V
12-09-2024	11196_V_2X2_180s_013	5	3,60	Creciente 59.5 % de iluminación	V

Fuente: Elaboración propia (2025).

La Tabla 10 presenta un resumen mensual del valor promedio del *seeing* registrado en el Observatorio Astronómico Nacional (OAN) durante el período enero–septiembre de 2024. Para cada mes, se indica el valor promedio en segundos de arco y una interpretación cualitativa de las condiciones atmosféricas asociadas. Este resumen permite identificar tendencias generales en la estabilidad del *seeing* a lo largo del mes. En los primeros cinco meses del año (enero a mayo), los valores se mantuvieron relativamente bajos y estables, lo que sugiere condiciones favorables para la observación astronómica. A partir de junio, se observa un aumento significativo en los valores promedio, alcanzando máximos en agosto y septiembre, lo que indica una degradación en la calidad del *seeing* y, por tanto, condiciones menos propicias para la obtención de imágenes astronómicas de alta resolución. La tabla sirve como una herramienta comparativa para evaluar la evolución mensual del *seeing* y orientar la planificación de futuras campañas de observación, priorizando los períodos con mejores condiciones atmosféricas.

Tabla 10: Valor promedio del *seeing* por mes

Mes	Valor promedio del <i>seeing</i>	Tendencia general
Enero	2,017	<i>Seeing</i> estable, condiciones favorables.
Febrero	1,98	<i>Seeing</i> estable, condiciones favorables.
Marzo	2,03	<i>Seeing</i> estable, condiciones favorables.
Abril	2,00	<i>Seeing</i> comienza a aumentar ligeramente, pero aún favorable en el filtro R.
Mayo	1,96	<i>Seeing</i> estable en el filtro R, pero alto en el filtro V
Junio	3,59	<i>Seeing</i> elevado, condiciones menos favorables
Julio	3,60	<i>Seeing</i> elevado, condiciones menos favorables
Agosto	3,94	<i>Seeing</i> alto, condiciones desfavorables.
Septiembre	3,83	<i>Seeing</i> alto, pero con ligera mejora en algunas observaciones.

Fuente: Elaboración propia (2025).

La Tabla 10 resume los valores promedio de *seeing* obtenidos para cada mes, indicando una descripción cualitativa de las condiciones observacionales. Entre enero y septiembre se observa un deterioro estacional progresivo de la calidad atmosférica en el OAN. El período se divide nítidamente en dos fases. Inicialmente, de enero a marzo, el *seeing* fue óptimo y estable,

promediando consistentemente alrededor de 2,0" (alcanzando su pico de nitidez en febrero con 1,98"). Este valor de *seeing* es ideal para la fotometría de alta precisión. Esta calidad inicial se mantuvo para el filtro R incluso hasta mayo. Sin embargo, el factor más anómalo fue el filtro V (abril y mayo), que introdujo valores de *seeing* pésimos (cerca de 4,11"), lo que sugiere un posible problema instrumental o de configuración exclusivo para esa banda al inicio del ciclo.

Es importante considerar que la distribución del tamaño de muestra no es homogénea a lo largo del período analizado, debido principalmente a las condiciones meteorológicas adversas que limitaron la adquisición de datos en ciertos meses. En particular, durante los meses de mayor nubosidad y precipitación, como junio y julio, el número de imágenes disponibles es significativamente menor en comparación con meses como enero o febrero. Esta asimetría en el tamaño de muestra implica que los valores promedio de *seeing* estimados para dichos períodos presentan una menor robustez estadística y son más sensibles a variaciones individuales. En consecuencia, las tendencias observadas en estos meses deben interpretarse con cautela, ya que pueden no ser plenamente representativas de las condiciones atmosféricas promedio. En contraste, los meses con mayor número de observaciones ofrecen estimaciones más estables y confiables del comportamiento del *seeing*.

Discusión

El análisis de los datos reveló una tendencia clara de incremento del *seeing* a medida que avanzaban los meses. Este patrón puede explicarse por variaciones estacionales en las condiciones atmosféricas, como el inicio de la temporada de lluvias, fluctuaciones en la temperatura y cambios en la estabilidad atmosférica. Además, se observó que el filtro utilizado en las observaciones tuvo un impacto significativo en la estabilidad del *seeing*. En particular, el filtro R produjo valores más estables y consistentes, incluso en períodos con condiciones meteorológicas adversas, mientras que el filtro V mostró una mayor sensibilidad a las fluctuaciones del *seeing*, reflejando un impacto más pronunciado en los meses de mayor inestabilidad, especialmente entre abril y septiembre. Estos resultados sugieren que el filtro R es una mejor opción para observaciones en condiciones atmosféricas desafiantes, mientras que el filtro V puede ser más útil en épocas de mayor estabilidad. Debido a la operatividad intermitente del Observatorio en períodos previos, no se dispone de una serie histórica de datos para realizar comparaciones interanuales. Asimismo, ante la ausencia de estudios publicados sobre la variabilidad del *seeing* en el OAN, esta investigación adquiere una relevancia fundamental al establecer una línea base y documentar las condiciones atmosféricas del sitio durante el período estudiado.

Las fases lunares también influyeron en la calidad del *seeing*. Las noches con alta iluminación lunar, comprendidas entre el 35 % y el 81 %, presentaron una mayor dispersión lumínica, lo que afectó especialmente las observaciones realizadas con el filtro V. En contraste, el filtro R demostró ser menos susceptible a estos efectos, lo que lo hace más adecuado para

observaciones en condiciones de brillo lunar elevado. Este hallazgo resalta la importancia de elegir cuidadosamente los filtros en función de la iluminación ambiental, especialmente en observaciones que requieren alta precisión.

El estudio permitió identificar períodos más y menos favorables para la observación astronómica en el OAN. Los meses de enero a marzo se caracterizaron por valores de *seeing* más bajos y una mayor estabilidad atmosférica, mientras que los meses de junio a septiembre presentaron condiciones menos favorables, con un *seeing* elevado debido a la mayor inestabilidad meteorológica. Estas tendencias se visualizan en la Figura 1, donde un gráfico de líneas ilustra la evolución mensual del *seeing* promedio, proporcionando información valiosa para la planificación de observaciones en el OAN.

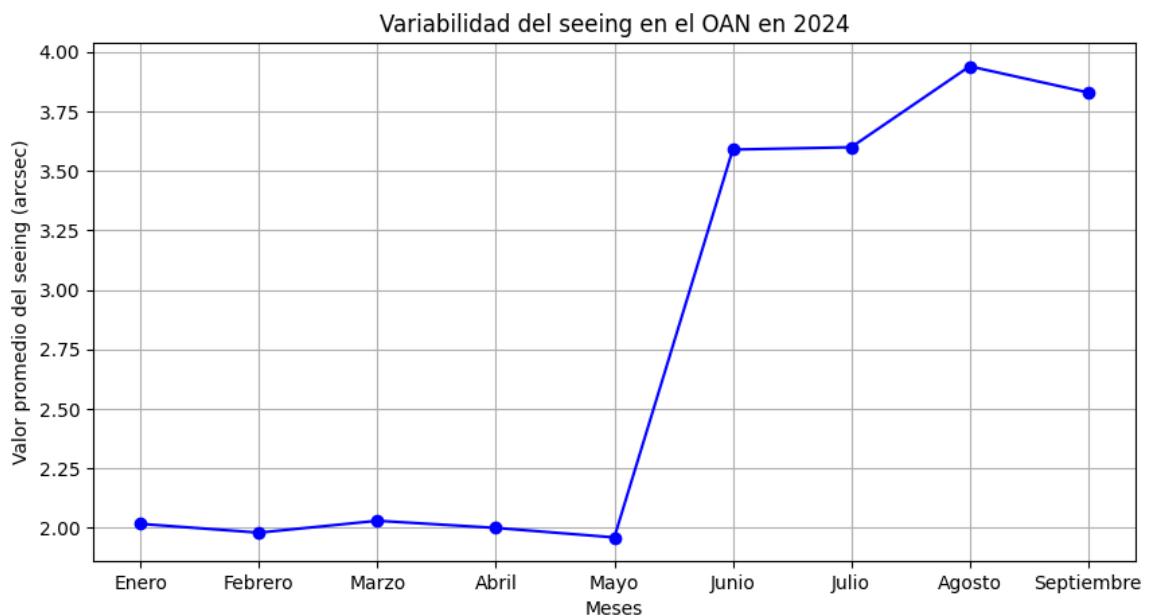


Figura 1: Evolución mensual del *seeing* promedio.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Al comparar estos resultados con otros observatorios de altura, como en el Observatorio Paranal en Chile (2635 msnm) (European Southern Observatory [ESO], [s.f](#)) y el Observatorio Mauna Kea en Hawái (4205 msnm) (Institute for Astronomy, [s.f](#)), se observa que existe una fuerte correlación entre la estabilidad atmosférica y los valores de *seeing*. Por ejemplo, en Mauna Kea, el *seeing* tiende a ser más bajo durante los meses de verano, cuando las condiciones meteorológicas son más estables, mientras que, en invierno, el aumento de la humedad y la actividad de vientos genera valores de *seeing* más altos (Dyck y Howell, 1983; Lyman et al., 2020). Sin embargo, a diferencia de estos observatorios, el OAN presentó una

mayor variabilidad en el *seeing* durante los meses de transición entre estaciones, especialmente en abril y mayo. Este comportamiento podría explicarse por su ubicación en la Cordillera de los Andes, una región donde las condiciones meteorológicas pueden cambiar abruptamente en cortos períodos de tiempo (Rodríguez y Defives, 1996).

Es importante reconocer las limitaciones del presente estudio, entre las que destacan el período de muestreo relativamente corto (9 meses), la ausencia de datos meteorológicos simultáneos y la cobertura espacial restringida al área inmediata del domo principal. Además, el análisis no consideró variaciones horarias dentro de cada noche, posibles efectos de fenómenos meteorológicos extremos y se limitó principalmente a dos filtros (R y V), dejando sin explorar otras regiones espectrales que podrían proporcionar información adicional valiosa.

La ausencia de datos meteorológicos simultáneos durante la adquisición de las imágenes limita la posibilidad de establecer correlaciones cuantitativas entre el *seeing* y las condiciones atmosféricas locales. En este sentido, los resultados obtenidos poseen un alto valor descriptivo al caracterizar la variabilidad temporal del *seeing*; sin embargo, su capacidad predictiva es aún restringida. La incorporación de mediciones meteorológicas concurrentes en futuras campañas permitirá el desarrollo de modelos más robustos, capaces de explicar y predecir el comportamiento del *seeing* en función de parámetros físicos específicos del entorno.

Durante el período de observación de este estudio (enero-septiembre de 2024), el observatorio carecía de una estación meteorológica operativa. Sin embargo, recientemente se ha instalado una en el sitio, lo que permitirá, en futuros estudios, evaluar la influencia de variables ambientales (temperatura, humedad, velocidad del viento) en las mediciones del *seeing*. Además, se ha realizado mantenimiento preventivo, incluyendo la limpieza de los filtros ópticos, cuyos efectos en el rendimiento instrumental deberán ser cuantificados en investigaciones posteriores.

Otro aspecto relevante es la decisión de analizar las imágenes FITS sin aplicar calibraciones fotométricas estándar (*bias*, *dark* y *flat*), con el fin de preservar las condiciones observacionales reales. Esta elección puede introducir efectos secundarios asociados al ruido electrónico (*bias*) y al ruido térmico (*dark*), los cuales podrían afectar ligeramente la estimación del FWHM estelar debido a la presencia de ruido de fondo. Sin embargo, dado que el método empleado se basa en la detección de múltiples estrellas y en la estimación promedio del *seeing*, estos efectos tienden a promediarse y reducir su impacto sistemático. Además, el FWHM está dominado principalmente por la estructura del núcleo del perfil estelar, que presenta una relación señal-ruido elevada en la mayoría de los casos analizados. Por tanto, se espera que la ausencia de preprocesamiento introduzca, en el peor de los casos, un sesgo sistemático menor en las mediciones, sin afectar significativamente las tendencias globales observadas. Estudios futuros podrían evaluar cuantitativamente este efecto mediante la comparación directa entre datos calibrados y no calibrados.

Se recomienda ampliar el estudio incluyendo observaciones simultáneas con la cámara Schmidt, ya que los demás telescopios del observatorio (el gran Refractor y el Astrógrafo Doble) no están habilitados para uso científico. Esta comparación permitiría identificar posibles errores sistemáticos asociados a diferencias instrumentales (óptica, alineación, sensibilidad del detector) o a variaciones espaciales en la turbulencia atmosférica local.

A largo plazo, sería valioso extender el monitoreo del *seeing* para abarcar varios ciclos anuales completos, lo que facilitaría: evaluar la variabilidad interanual, detectar posibles tendencias climáticas que afecten la calidad astronómica del sitio, y establecer correlaciones más precisas entre condiciones meteorológicas y *seeing*.

La implementación de protocolos estandarizados de observación, junto con la inclusión de mediciones en múltiples bandas espectrales, mejoraría significativamente el análisis sistemático de las condiciones del sitio. Estos avances contribuirían no solo a optimizar las observaciones en el OAN, sino también a enriquecer los estudios comparativos de calidad astronómica en regiones tropicales.

Conclusiones

Este estudio ha caracterizado sistemáticamente la variabilidad del *seeing* en el Observatorio Astronómico Nacional (OAN) de Venezuela durante el primer semestre de 2024, revelando patrones clave asociados a factores estacionales, condiciones atmosféricas y selección de filtros. Los resultados demostraron un incremento progresivo del *seeing* desde enero ($1.97''$) hasta septiembre ($4.02''$), correlacionado con cambios atmosféricos durante la transición a la temporada de lluvias. Además, se identificó que el filtro R (658 nm) proporcionó mediciones más estables que el filtro V (551 nm), especialmente en condiciones adversas, debido a su menor susceptibilidad a la dispersión y efectos de turbulencia.

Estos resultados refuerzan la importancia de la selección de sitios adecuados para la instalación de telescopios ópticos terrestres. La combinación de un *seeing* natural bajo y una contaminación lumínica mínima es clave para garantizar observaciones de alta calidad, como lo demuestran los casos paradigmáticos de Mauna Kea en Hawái (Racine, 1996), el Observatorio del Roque de los Muchachos en La Palma (Radu et al., 2011) y el Observatorio Paranal en Chile (Lombardi et al., 2009). El presente estudio contribuye a esta línea de investigación al proporcionar datos cuantitativos sobre las condiciones del OAN, que aunque presenta mayor variabilidad que estos sitios de referencia, sigue siendo un valioso recurso para la astronomía tropical.

La investigación aporta evidencia empírica sobre las particularidades del OAN como sitio astronómico, destacando su mayor variabilidad estacional en comparación con los

principales observatorios internacionales. Este hallazgo subraya la influencia única de la dinámica atmosférica andina en la calidad observacional, proporcionando un marco de referencia para futuros estudios en latitudes tropicales. Asimismo, la identificación de períodos óptimos (enero-marzo) y filtros preferenciales (R) ofrece herramientas concretas para optimizar la planificación de observaciones en el OAN.

Referencias

- Andover Corporation. (2026). *Astronomy Filters: Defining Boundaries in Light Control*. Andovercorp. <https://andovercorp.com/optical-filters/astronomy-filters/>
- Astropy Collaboration. (2018). The Astropy Project: Building an open-science project and status of the v2.0 core package. *The Astronomical Journal*, 156(3), 123. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aabc4f>
- Bessell, M. (1990). UBVRI passbands. *The Astronomical Society of the Pacific*, 102, 1181-1199. <https://doi.org/10.1086/132749>
- Dyck, H., y Howell, R. (1983). Seeing measurements at Mauna Kea from infrared speckle interferometry. *The Astronomical Society of the Pacific*, 95(786). <https://doi.org/10.1086/131255>
- European Southern Observatory [ESO]. (2025). *Astronomical Site Monitor (ASM) instruments*. <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/astroclimate/asm-instruments.html>
- European Southern Observatory [ESO]. (s.f). *Observatorio Paranal*. <https://www.eso.org/public/chile/teles-instr/paranal-observatory/?lang>
- Fundación Centro de Investigaciones de Astronomía y Tecnologías Aplicadas “Francisco J. Duarte”. (2026). *Observatorio Astronómico Nacional (OAN) - Llano del Hato*. <https://cidata.gob.ve/oan/>
- Howell, S. (2006). *Handbook of CCD Astronomy*. Cambridge University Press. https://www.researchgate.net/publication/332392902_Handbook_of_CCD_Astronomy
- Institute for Astronomy. (s.f). *Mauna Kea Observatories*. <https://about.ifa.hawaii.edu/facility/mauna-kea-observatories/>
- La Marca, F., y Silva, F. (2015). El Paisaje Cultural Andina en el Estado Merida (Venezuela): Una Contribución Geográfica. *Geografía Ensino & Pesquisa*, 19, 69-79. <https://doi.org/10.5902/22364994/19372>
- Lombardi, G., Zitelli, V., y Ortolani, S. (2009). The astroclimatological comparison of the Paranal Observatory and El Roque de Los Muchachos Observatory. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399(2), 783-793. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2009.15309.x>
- Lyman, R., Cherubini, T., y Businger, S. (2020). Forecasting seeing for the Maunakea Observatories. *Royal Astronomical Society*, 496(4), 4734-4748. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa1787>

- Massey, P., y Davis, L. (1992). A user's guide to stellar CCD photometry with IRAF. *NOAO Newsletter*, 30, 10-12. <https://www.mn.uio.no/astro/english/services/it/help/visualization/iraf/daophot2.pdf>
- Mejía, J., y Navas, G. (2025). Python e interfaz gráfica para calcular el Seeing en el Observatorio Astronómico Nacional. *Conocimiento Libre Y Licenciamiento (CLIC)*, (31), 37-59. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18163310>
- Navas, G. (2022). Implicaciones de la propiedad intelectual en la investigación astronómica venezolana, la ética y el reconocimiento de derechos morales en los descubrimientos. *Propiedad Intelectual*, 102, 59-84. <https://doi.org/10.53766/PI/2022.23.03>
- Racine, R. (1996). Temporal Fluctuations of Atmospheric Seeing. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 108(722), 372-374. <http://www.jstor.org/stable/40680729>
- Radu, A., Angelescu, T., Curtef, V., Felea, D., Hasegan, D., Lucaschi, B., Manea, A., Popa, V., y Ralita, I. (2011). An astroclimatological study of candidate sites to host an imaging atmospheric Cherenkov Telescope in Romania. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 422(3), 2262-2273. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.20771.x>
- Rodriguez, N., y Defives, G. (1996). Zonas y patrones climáticos en la Región Andina. *Economía*, 21(11), 165-179. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/economia/article/view/10900>
- Tokovinin, A. (2002). From Differential Image Motion to Seeing. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 114(800), 1156-1166. <https://doi.org/10.1086/342683>