

Caracterización del brillo del cielo nocturno en la dirección céntit para la ciudad de Bogotá

Mariana Carolina Villamil Sastre

Departamento de Física. Universidad de los Andes.

(Dated: January 26, 2021)

Se tomaron medidas del brillo del cielo en la ciudad de Bogotá con el instrumento de medición Sky Quality Meter. A partir de estas medidas se estudió el comportamiento del brillo durante los meses de marzo y abril, cuándo se presenta una transición estacional en el altiplano cundiboyacense. Se correlacionaron los datos con la estación meteorológica de la aeronáutica civil, concluyendo que el mes de abril tuvo un mayor número de noches despejadas que el mes de marzo, el cual presentó una continua presencia de nubes. En promedio el tiempo de observación astronómica con cielo completamente despejado hacia el céntit es de 30 y 60 minutos para los meses de marzo y abril, respectivamente.

Palabras clave: Observación astronómica, Contaminación lumínica, Segundos de arco, Sky Quality Meter.

I. INTRODUCCIÓN

En Colombia la nubosidad es una constante sobre su territorio andino, por este motivo es necesario caracterizar el cielo nocturno en términos del brillo del cielo en la escala de semanas, de esta manera se analiza el cambio del brillo y se determina una época óptima para realizar las observaciones astronómicas. Esto se logró con el instrumento de medición Sky Quality Meter (SQM), usado frecuentemente en astronomía para medir la variación de los parámetros mencionados anteriormente, mediante el conteo de fotones que alcanzan el sensor. De esta forma, es posible estimar el tiempo de cielo despejado por noche durante los meses de marzo y abril con relación a los estudios meteorológicos desarrollados por el IDEAM.

Se tomaron datos todas las noches durante 8 semanas, la toma de datos durante una noche tuvo una cadencia de cada 5 minutos, mismo tiempo que se empleó para tomar fotografías en el céntit con una cámara programada con un tiempo de exposición suficiente para captar la luz reflejada en las nubes o por el contrario fotografiar el cielo cuya luz alcance a entrar en el fotograma, durante cielos despejados.

II. ESTADO DEL ARTE

La astronomía observacional es un área de investigación que depende de muchos factores técnicos y mecánicos; requiere de un instrumento óptico capaz de recibir la mayor cantidad de luz posible de un objeto puntual en el universo. Desde la invención del telescopio, se ha buscado optimizar la calidad de imagen que se genera a través de los lentes del artefacto, esto se logra al fabricar nuevos telescopios de diámetros cada vez mayores, lo que conlleva la necesidad de un ensamblaje más complejo y sofisticado. La logística que requiere un

observatorio profesional ubicado en Tierra es de grandes proporciones, de manera que únicamente agencias de investigación y algunas universidades pueden costear este tipo de proyectos.

Estudios meteorológicos han situado a los telescopios en Tierra más importantes del mundo en lugares como Chile, Islas Canarias, el desierto de Arizona y México; regiones dónde los factores atmosféricos, latitudinales y de contaminación lumínica son más favorables para este tipo de proyectos puesto que se requiere de un cielo con la menor densidad de nubes posible y con una altura sobre el nivel del mar lo suficientemente buena para evitar la turbulencia atmosférica, entre otros factores.

Colombia es un país que se sitúa en la zona de convergencia intertropical, una franja ubicada en la zona ecuatorial del planeta en la que fluyen los vientos alisios producidos por un gradiente de temperatura que permite la existencia de celdas de convección en la atmósfera. Estas celdas permiten el transporte de masas de aire que generan la nubosidad y precipitaciones, fenómenos característicos del territorio colombiano, por lo cual, las observaciones se ven afectadas por estas capas atmosféricas. Cuando la luz de un objeto celeste atraviesa dichas capas y se presentan cambios en el índice de refracción, este efecto se ve reflejado en la brillo detectada del objeto [2].

Aunque la capital se encuentra a una altura de 2600 msnm, la ciudad de Bogotá posee una variedad de microclimas que afectan este tipo de observaciones además de la alta contaminación lumínica generada por la gran cantidad de iluminación que tienen las vías públicas de la ciudad. Dicha contaminación, se refleja en las nubes que se encuentran sobre el cielo bogotano. Como ejemplo, en la figura 1, se muestra una fotografía tomada el 14 de Junio del 2018 desde el Embalse del Neusa, una zona que se encuentra aproximadamente a

70 km de la ciudad de Bogotá. Allí se evidencia la brillo en que las nubes logran reflejar las luz que proviene de lámparas de pueblos aledaños.



FIG. 1. Fotografía tomada desde el embalse del Neusa el 14 de Junio de 2018, hora: 2:33 am.

III. MARCO EXPERIMENTAL

Para la realización de este proyecto, se contó con la disposición del SQM en un espacio abierto las 24 horas del día (ver figura 2), para tomar los respectivos registros del brillo del cielo durante la noche. Dado que el SQM se encuentra todo el día tomando datos, se tienen los valores del brillo del cielo al atardecer y amanecer respectivamente. El instrumento opera a una temperatura máxima de 60°C y mínima de -5°C. Dado que la ciudad de Bogotá registra una temperatura máxima de hasta 24°C en días soleados, se asegura que el instrumento está bajo condiciones de seguridad adecuadas para la toma de datos durante los dos meses en estudio.



FIG. 2. Montaje experimental vista lateral.

El instrumento se ubicó estratégicamente buscando que el alumbrado público no interfiera en la toma de

datos y evitar que se generen errores sistemáticos en los mismos. El brillo asociado con el alumbrado público puede registrar datos de 10-16 $mag/arcseg^2$ que pueden confundirse con el brillo del cielo, que es precisamente lo que se está midiendo. Por tal razón, se ubicó el montaje adyacente a una edificación que bloquea toda la luz proveniente de la calle como se observa en la figura 2.

El SQM es un dispositivo portátil compuesto de un foto-diodo de silicio como detector (ams-TAOS TSL237S) parcialmente cubierto por un filtro de rechazo de infrarrojo cercano. El dispositivo también tiene un convertidor de luz a frecuencia con una respuesta significativa hasta el infrarrojo cercano. La sensibilidadpectral del fotodiódoo combinado con la transmisión del filtro de corte casi infrarroja, proporciona una respuestapectral final que se superpone a las bandas B y V utilizadas en astronomía. Los fotómetros SQM tienen una incertidumbre de 0.1 $mag/arcseg^2$. En la figura 3 se muestra el instrumento de medición:



FIG. 3. Instrumento de medición SQM.

IV. RESULTADOS

Se inició la toma de datos el día 1 de marzo de 2019, dado que era necesario calibrar el instrumento inicialmente, se tomaron datos durante dos días para verificar que la ubicación del instrumento fuese adecuada, es decir que la contaminación lumínica de los postes de luz sobre la avenida más cercana no afectaran directamente al instrumento. Así mismo, se calibró la temperatura promedio en las noches, parámetro de entrada necesario para manejar el software del SQM.

Luego de definir los parámetros de entrada del software del SQM y las respectivas calibraciones con las que se configurara el mismo, se inició la toma de datos formalmente el día 3 de marzo. Se configuró el trigger de tal forma que se tomaran cada 5 minutos, con este intervalo se asegura que el instrumento no superará el valor de saturación. Teniendo en cuenta que en astronomía observational, la escala de brillo está dada con valores negativos para cuerpos muy luminosos, a medida que se registra un cuerpo más luminoso aumenta la medida de

su brillo. Por ejemplo, el Sol posee una brillo de $-26,74 \text{ mag/arcseg}^2$, mientras que la Luna llena tiene una brillo de -13 mag/arcseg^2 . Para objetos más tenues se obtienen valores positivos, como se muestra en la figura 4.



FIG. 4. Escala de brillo aparente para objetos celestes en el SQM. Alumbrado público y Luna llena logran registrar valores de quince y dieciochomag/arcseg², cielos completamente despejados registran valores de veinte y veintitres mag/arcseg².

El fabricante reporta una saturación del instrumento de 5 mag/arcseg^2 , para valores menores a este, el SQM registra un valor de 0, indicando una distribución de brillo superficial alta. La Figura 5 muestra la gráfica de brillo vs. tiempo, correspondiente a la noche del 13 de marzo. Allí se evidencia que el atardecer comenzó a registrarse a las 17:57:05 p.m y oscureció completamente a las 18:32:05 p.m. Aproximadamente se obtienen 144 datos cada noche, esto puede variar dependiendo el momento en que el instrumento comience la toma de datos automáticamente. Teniendo en cuenta que la temporada de lluvias en la zona andina, en especial en el altiplano cundiboyancense tiene su pico máximo en el período comprendido entre la mitad del mes de marzo y el mes de abril (IGAC, 2018). Para algunos días se registra el comienzo de la toma de datos a las 16:23:05 p.m, indicando un atardecer con el cielo cubierto.

Es necesario recordar que en la Figura 5, el eje y se encuentra invertido, debido a cómo se mide el brillo en astronomía observational (valores negativos de brillo corresponden a una mayor luminosidad). En el eje x se observa el tiempo de muestreo.

A. Clasificación cualitativa de datos

Después de la toma de datos, se procedió con la clasificación de los mismos de manera cualitativa. De esta forma, las gráficas de brillo vs tiempo se clasificaron bajo los siguientes criterios:

Siguiendo esta clasificación, se tomaron 3 noches características de cada clase y se superpusieron las gráficas de brillo vs tiempo. Dicha superposición se

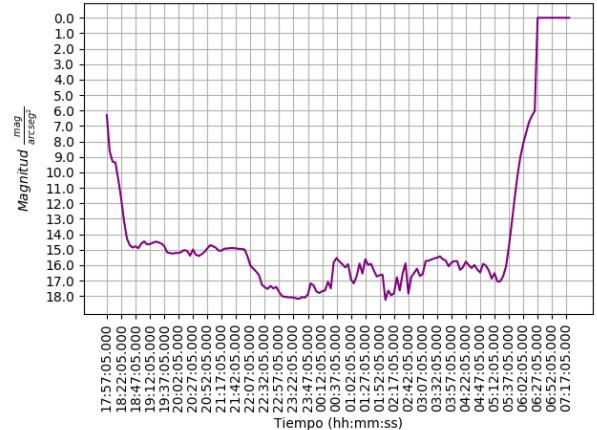


FIG. 5. Gráfica de Brillo vs. Tiempo de la noche del 13 de marzo de 2019

Clase	Especificación
1	Pocos cambios, comportamiento constante por tramos.
2	Máximos y mínimos apreciables, cota máxima 18mag.
3	Estructura bastante dentada y variable, supera 18mag.

TABLE I. Parámetros de clasificación en gráficas de brillo Vs Tiempo.

muestra en la figura 6 con los datos correspondientes a las noches del 15, 21 y 23 de marzo respectivamente.

Siendo la gráfica azul correspondiente al 15-03-2019 y representando noches nubladas, la gráfica roja del 23-03-2019 representa noches nubladas con lapsos cortos de cielo despejado y por último, la gráfica amarilla a la noche del 21-03-2019 representando noches con períodos de tiempo con cielo despejado.

Estas 3 clases de noches, permitieron formar grupos de datos recolectados que fueron sometidos a un análisis es-

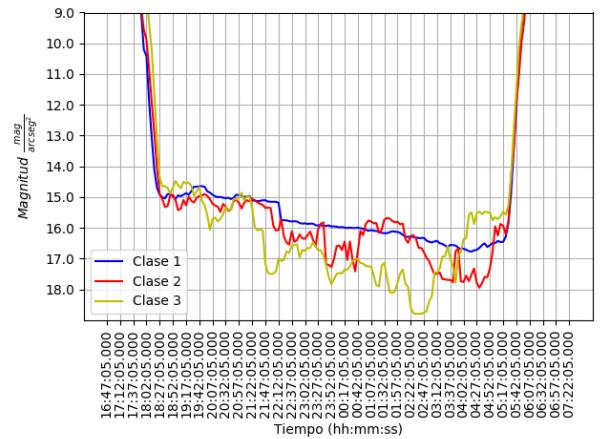


FIG. 6. Gráfica de brillo vs tiempo para las noches del 15, 21 y 23 de marzo de 2019.

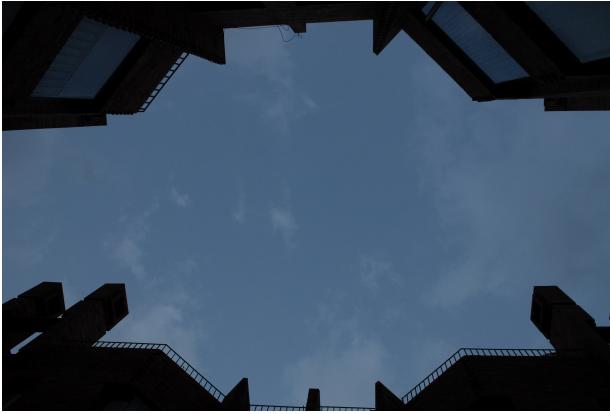


FIG. 7. Vista al punto zenith que se tiene a disposición en el montaje experimental.

tadístico; para ello se realizó una tabla de “logs” con la información obtenida del instrumento y las características atmosféricas que se registraron cada noche con la ayuda de la estación meteorológica SKBO de la Aerocivil colombiana presente en el aeropuerto El Dorado, en el sector de Fontibón de la ciudad de Bogotá. La tabla se compone de las siguientes características: mediana de la brillo registrada, hora de inicio de la toma de datos, hora de finalización de la toma de datos, mediana de la humedad relativa presente, mediana de la velocidad del viento, porcentaje de iluminación lunar, hora a la que salió la Luna, hora a la que se ocultó la luna, mediana de la temperatura.

En este orden de ideas, se tuvo en cuenta la presencia de la Luna, pues su paso por el punto céntit afectaría la toma de datos, además de la fase en la cual se encontrara cada noche. Pues como se mencionó anteriormente, la Luna puede alcanzar hasta $-13 \text{ mag}/\text{arcseg}^2$. En una noche despejada puede ocurrir el tránsito de la Luna en una fase distinta de Luna llena y registrar valores muy brillantes en el SQM y podría ser interpretado como nubes reflejando la luz proveniente de la ciudad. Por esto, es de vital importancia tener un registro diario de este tipo de sucesos para evitar errores en las mediciones.

A partir de la información obtenida en la figura 6, el paso de nubes sobre el céntit, pues para altos valores de brillo entre $10-17 \text{ mag}/\text{arcseg}^2$ hay nubes reflejando las luces de la ciudad. Por el contrario, para valores de brillo mayores a $17 \text{ mag}/\text{arcseg}^2$ se esperaría encontrar un cielo despejado sobre la ubicación del instrumento. Sin embargo, esta información no se puede corroborar mientras no se tenga un registro fotográfico que lo sustente. De tal forma, que se optó por tomar una serie de fotografías al punto céntit durante una noche para comparar si la información que arrojó el SQM, corresponde efectivamente a las nubes o a la Luna, entre otras. Inicialmente, el campo visual de medición que tiene el instrumento se muestra a continuación:

Dentro de este set de datos recolectados en la Tabla 2 para las noches del mes de marzo, se buscó relacionar más variables de medición cualitativa y cuantitativamente. De esta forma, se analizó otro tipo de clasificación similar a la que se hizo previamente en la tabla 1 para la temperatura y el tiempo. Para este caso, los parámetros de agrupación para cada clase se muestran en la siguiente Tabla:

Clase	Especificación
1	Cambios escalonados para ciertos períodos.
2	Tendencia casi constante a lo largo de la noche.
3	Caídas abruptas de temperatura.

TABLE II. Parámetros de clasificación en gráficas de Temperatura vs. Tiempo.

Para estas nuevas clases se escogieron noches representativas. Siendo la clase 1 representada a la noche del 27-03-2019, la clase 2 por 5-03-2019 y la clase 3 por 10-03-2019 respectivamente. Los datos obtenidos por el SQM fueron corroborados por el informe diario y registrado cada hora para la estación meteorológica mencionada anteriormente. Así como el informe meteorológico mensual que provee el IDEAM, con información sobre mm de lluvia caídos en la zona andina, específicamente en la estación de Usaquén, que es la estación más cercana a la ubicación que se le dio al instrumento de medición. A continuación se muestra la superposición de las tres clases de noches según temperatura:

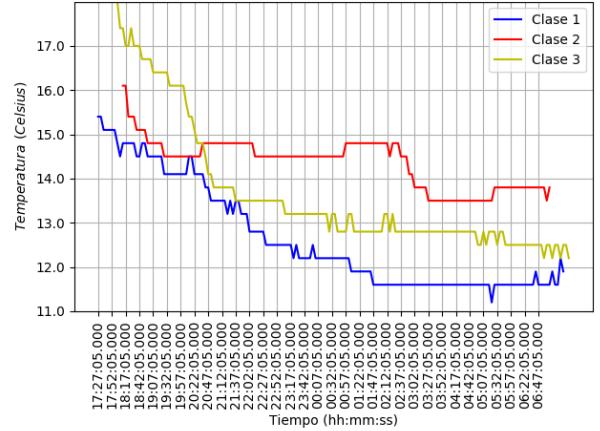


FIG. 8. Gráfica de Temperatura Vs Tiempo para las noches del 5, 10 y 27 de marzo de 2019.

En los tres casos se observa una disminución de temperatura en la noche entre las 17:23:05 p.m y las 21:37:05 p.m, para posteriormente tener un comportamiento “constante” hasta el amanecer. Los datos evidencian que la temperatura vuelve a subir en horas

de la mañana, pero para ese momento el SQM, se satura y registra valor 0. Es importante recalcar la estructura escalonada que se tiene en las primeras horas de la noche en todas las clases. Este tipo de estructuras en la gráfica permiten pensar que el cambio de temperatura ΔT es proporcional al “timestep” o tiempo de muestreo Δt .

Con la ayuda de una cámara Nikon D200 y un lente de 77mm de diámetro, se procedió a realizar un fotograma para la noche del 6 de abril de 2019. Dicho fotograma tuvo una duración de 4 horas y todas las fotografías se tomaron con un tiempo de exposición de 5 segundos y un ISO de 1600, la sensibilidad ISO es la capacidad que tiene el sensor de la cámara para captar luz, a valores altos de la sensibilidad ISO, el sensor es más sensible a la luz. Estas imágenes fueron corroboradas con los datos del SQM, obteniendo un rango de brillo entre 14,5 y $16 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$. La correlación se muestra en la figura 9.

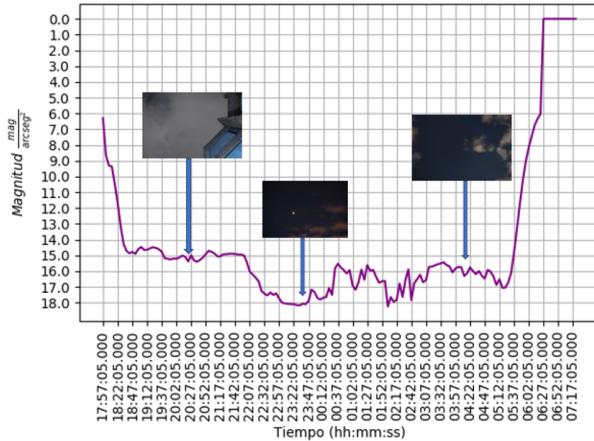


FIG. 9. Correlación del registro fotográfico con los datos del SQM.

V. ANÁLISIS CUANTITATIVO

A. Mes de marzo

Se tomaron los datos correspondientes al brillo registrada cada noche desde el 3 al 31 de marzo. A partir de cada set de datos, se sacó la mediana del brillo de cada noche y se graficó en el histograma en la figura 10.

A partir de este resultado, es posible evidenciar que la mayor cantidad de noches se concentra en brilloes quince y dieciseis $\text{mag}/\text{arcsec}^2$. Como ya se mostró en el análisis fotográfico, esto corresponde a noches nubladas en las cuales se reflejó una gran cantidad de luz proveniente de la ciudad. Asimismo, se hizo el análisis con la mediana de la temperatura registrada por el sensor en unidades de $^{\circ}\text{C}$, como se muestra en la figura 11:

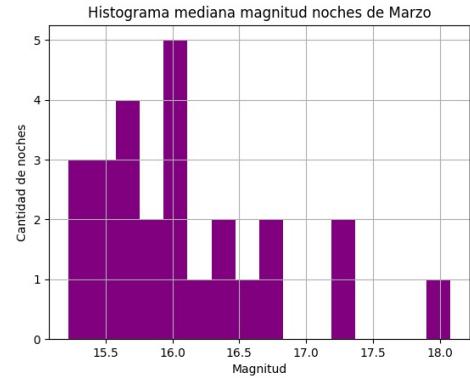


FIG. 10. Histograma de brilloes registradas para el mes de marzo

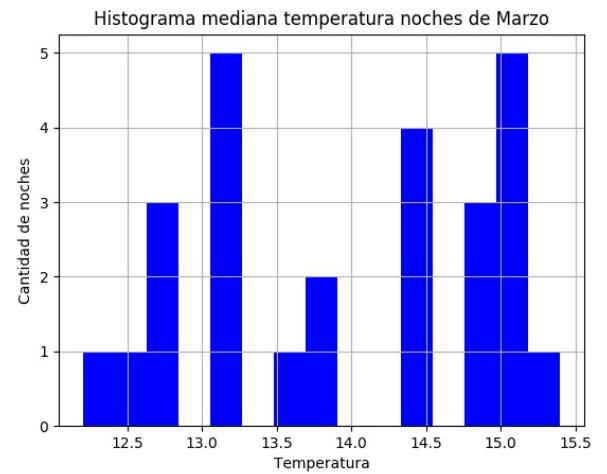


FIG. 11. Histograma de temperaturas registradas para el mes de marzo

Donde se aprecian dos picos entre $14,7$ y $15,12$ $^{\circ}\text{C}$. Es decir para la noches medianamente despejadas hay un aumento en la temperatura y consecuentemente en la mediana de la misma registrada por el SQM. Ahora, se procede a realizar un ajuste lineal a los datos de la mediana del brillo para ver su comportamiento en el intervalo de un mes como se muestra en la figura 12.

Donde es posible evidenciar una tendencia lineal y ascendente, es decir que las noches estuvieron menos nubladas para el final de mes que cuando se empezó la recolección de datos la noche del 3 de marzo. Logrando registrar hasta valores de $18 \frac{\text{mag}}{\text{arcsec}^2}$. Posteriormente, al estudiar la tendencia de la temperatura se observa un ajuste polinómico de grado 5.

Posteriormente, se hace un análisis de las noches despejadas con respecto a las noches nubladas. En la figura 14 se separaron cada tipo de clase de la siguiente forma: Noches con valores de brillo mayores a $18 \frac{\text{mag}}{\text{arcsec}^2}$ se con-

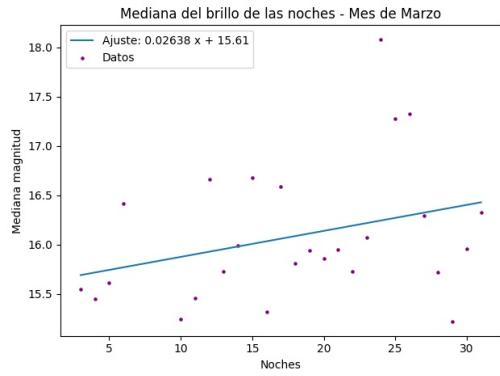


FIG. 12. Gráfico de la mediana de la brillo registrada por noche para el mes de marzo

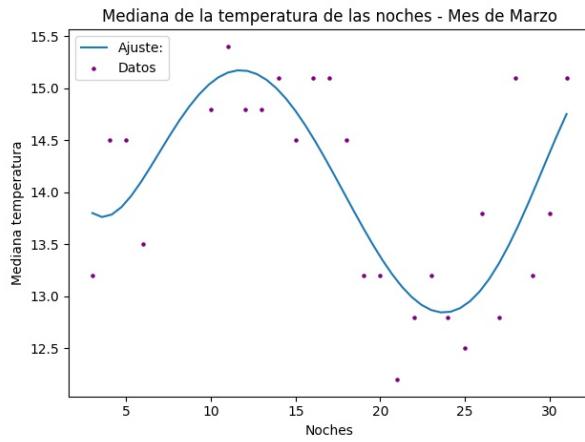


FIG. 13. Gráfico de la mediana de la temperatura registrada por noche para el mes de marzo

sideran despejadas y noches con valores menores a ese se identifican como noches con presencia de nubes.

Lo cual permite evidenciar que de las 27 noches registradas solo el 29% de las noches de muestreo tuvieron lapsos significativos de cielos despejados. Este trabajo busca encontrar un tiempo óptimo de observación astronómica por noche. Por lo tanto, de ese porcentaje de noches despejadas se hizo un análisis cuantitativo del dicho intervalo temporal encontrando los valores mostrados en la Tabla 4.

El valor medio de tiempo despejado es de 30 minutos para el mes de marzo, es decir, que solo se dispone de media hora por noche con un cielo despejado hacia el céntit. Teniendo en cuenta, la correlación que tiene el mes de marzo con la temporada de lluvias en el altiplano cundiboyacense, esto es consistente con la información de la temporada de lluvias reportada por el IDEAM.

Finalmente, se corrobora que el mes de marzo cuenta con un cambio estacional, el cual viene acompañado de noches nubladas, con lluvia y bajas temperaturas, lo cual dificulta una buena observación. Además el tiempo promedio que se tiene para la misma es demasiado corto

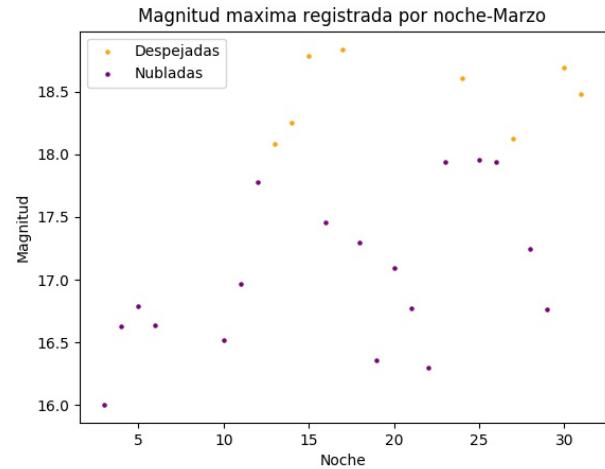


FIG. 14. Gráfico de noches despejadas y nubladas registradas durante el mes de marzo

Noche mes de marzo	Tiempo despejado (minutos)
13	30
14	25
15	20
17	120
24	490
27	150
30	30
31	25

TABLE III. Tabla de tiempo de cielo despejado por noche para el mes de marzo.

teniendo en cuenta la rigurosidad y el protocolo que requiere una buena toma de datos.

B. Mes de abril

De la misma forma, se hizo el análisis respectivo al mes de abril tal y como se desarrolló en la sección anterior para el mes de marzo. En la figura 16 se muestra el histograma obtenido para las 30 noches del mes de abril:

Es posible evidenciar una mayor concentración de noches en brillo es entre $15.25 \text{ y } 16.6 \frac{\text{mag}}{\text{arcsec}^2}$. Es decir, se observa una tendencia similar al mes de marzo pero el rango de brillo es mayor. Lo que indica que el sensor captó una menor cantidad de luz reflejada en las nubes, que presenta correlación con el análisis estadístico que se desarrollará a continuación. Para la temperatura, se muestra una mayor cantidad de noches con temperaturas mayores a comparación del mes de marzo. Es posible decir, que la temperatura aumentó durante la transición estacional como se muestra en la Figura 17.

Asimismo, se analizó la tendencia en la mediana de la brillo de cada noche, observando un comportamiento lineal y ascendente es decir, a comparación del mes de marzo

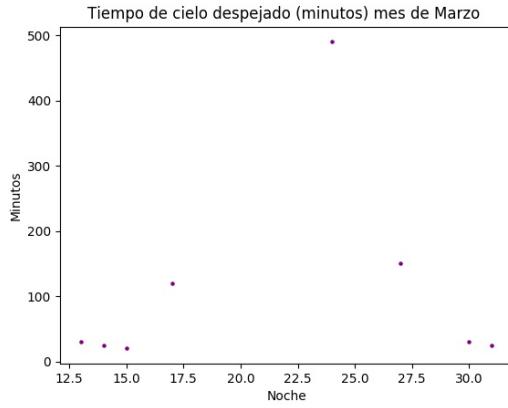


FIG. 15. Gráfico de noches vs. tiempo máximo de cielo despejado para el mes de marzo.

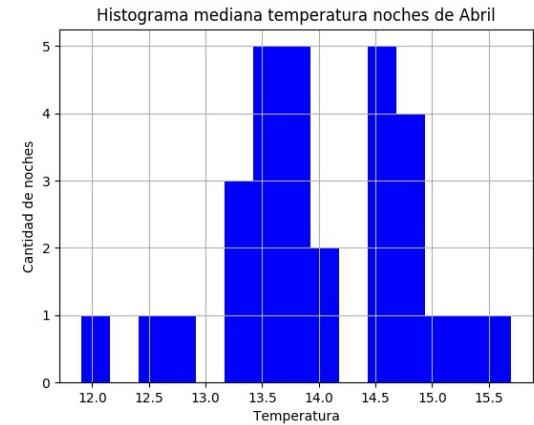


FIG. 17. Histograma de temperaturas registradas para el mes de abril

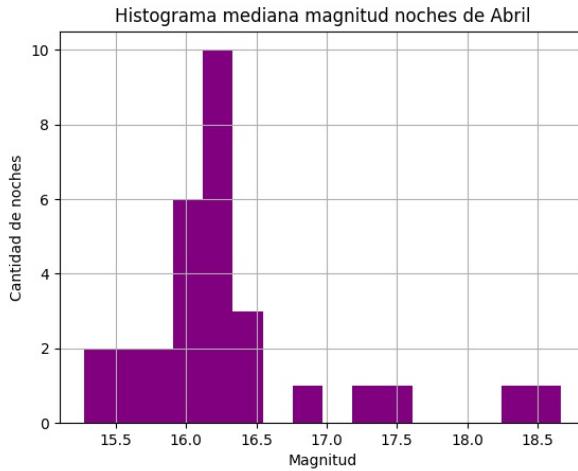


FIG. 16. Histograma de brillos registradas para el mes de abril

se registraron noches con valores de brillo por encima de los $19 \frac{mag}{arcsec^2}$. Indicando noches despejadas. En la figura 18 se muestra la gráfica de la mediana de la brillo vs. las noches registradas.

Para la mediana de la temperatura, se encontró una tendencia lineal. Mostrando las mayores temperaturas a finales del mes.

Al separar las noches nubladas de las despejadas, se obtiene que de un total de 30 noches registradas, 21 noches(70%), pertenecen a noches con cielo despejado superando en muchos casos valores de $19,5 \frac{mag}{arcsec^2}$, como se muestra en la figura 20.

De igual forma, para cada noche despejada se realizó un análisis del tiempo óptimo por noche de cielo despejado como se muestra en la figura 21.

De aquí es posible evidenciar un aumento de número de

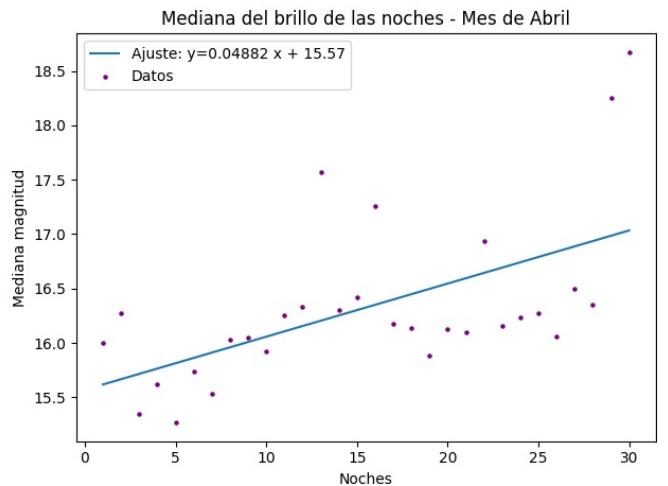


FIG. 18. Gráfico de la mediana de la brillo registrada por noche para el mes de abril

noches de observación en comparación al mes de marzo. En este caso, hubo noches de hasta 400 minutos (6.6 hr) disponibles de cielo oscuro. Este tiempo se encuentra disponible en un rango entre las 22:00 y las 04:30 a.m, para los valores registrados de la gráfica. Lo que indica, que las condiciones tanto climáticas como de observación mejoraron notablemente para el mes de abril. La mediana de estos datos fue tabulada, encontrando que el tiempo óptimo de cielo despejado para la toma de datos astronómicos fue de 60 minutos para el mes de abril.

VI. CONCLUSIONES

La toma de datos se realizó de forma exitosa. Se identificaron las posibles fuentes de error que pudieran intervenir en las mediciones, con el fin de calibrar el instrumento. Por ejemplo, la interferencia de fuentes lumínicas

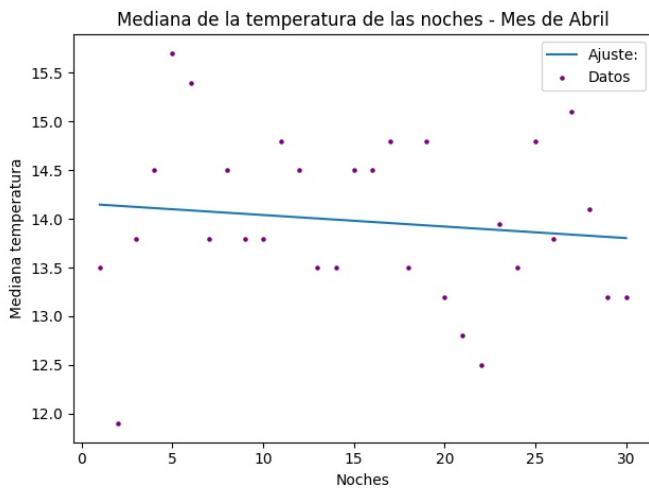


FIG. 19. Gráfico de la mediana de la temperatura registrada por noche para el mes de abril.

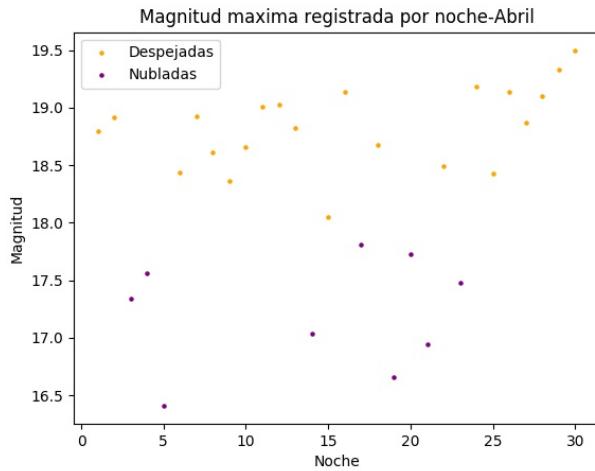


FIG. 20. Gráfico de noches despejadas y nubladas registradas durante el mes de abril

cercanas provenientes del alumbrado público, el paso de la Luna por el punto céntit y su respectiva fase, el paso de aviones como puntos anómalos en la toma de datos de una sola noche entre otros.

Los datos efectivamente fueron sustentados con un fotograma que permite identificar las nubes en un rango de brillo específico y las respectivas noches despejadas. A partir de ahí, se realizó una clasificación cualitativa a partir de la estructura de las gráficas, permitiendo diferenciar 3 tipos de noches y realizar un análisis estadístico en cada grupo de datos.

El análisis cualitativo realizado con la mediana de los datos registrados por el instrumento, permitió eviden-

ciar el comportamiento y la tendencia de cada uno de los parámetros que se esperaba estudiar. En este caso, el brillo del cielo para el mes de marzo, registró valores

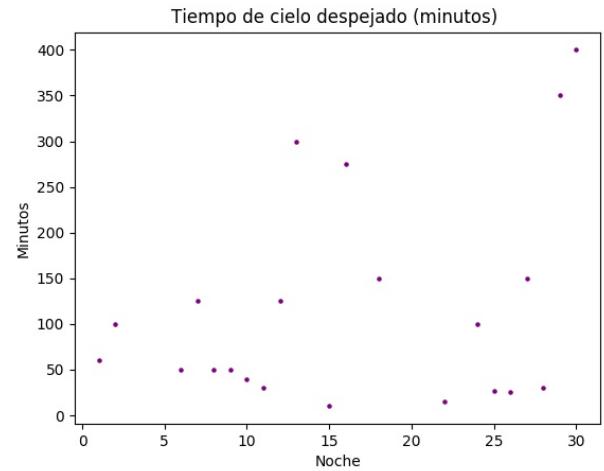


FIG. 21. Gráfico de noches vs tiempo máximo de cielo despejado para el mes de abril

pequeños a causa del paso de nubes durante las semanas en que se registraron datos y se tuvo un cambio hacia finales del mes. La temperatura registró valores similarmente bajos, en relación a la presencia de lluvias y vientos. Se encontró, que para este mes solo el 29% de noches estuvieron despejadas hacia el céntit en el transcurso de cada noche. De manera que, al tabular los tiempos de cielo despejado por noche se obtuvo una mediana de 30 minutos disponibles de cielo oscuro.

De manera similar, se hizo para el mes de abril, encontrando una tendencia lineal y ascendente en el brillo del cielo. Registrando valores superiores a $19.7 \frac{\text{mag}}{\text{arcsec}^2}$ para finales del mes, lo que indica noches despejadas para el promedio en la ciudad de Bogotá. De 30 noches registradas, 21 (70%) se clasificaron como despejadas. Posteriormente, se calculó el tiempo óptimo por noche disponible para la observación astronómica, encontrando que para el mes de abril este tiempo fue de 60 minutos. Este valor es el doble del valor calculado para el mes de marzo.

VII. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al profesor Alejandro García, por colaborarme en el proceso de investigación sobre este tema, darme las herramientas y artefactos que hicieron este proyecto posible y a Cristian Borja por ayudarme en la corrección final de este artículo científico.

-
- [1] Sánchez de Miguel, Alejandro; Aubé, Martin; Zamorano, Jaime; Kocifaj, Miroslav; Roby, Johanne; Tapia, Carlos (3 March 2017). "Sky Quality Meter measurements in a colour-changing world". Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 467 (3): 2966
 - [2] H. Karttunen, Krogue Pekka, H. Oja, M. Poutanen, and K. J. Donner, Fundamental astronomy (Springer, Heidelberg; New York ; Dordrecht ; London, 2017)
 - [3] B. W. Carroll and D. A. Ostlie, An introduction to modern astrophysics (Pearson Addison-Wesley, San Francisco, 2007)
 - [4] IDEAM, La atmósfera, el tiempo y el clima
 - [5] Gómez, R. V. Los lugares de Colombia donde se ven mejor las estrellas. (2017, August 18).
 - [6] Melendez D, Silva A. Medición de brillo en el cielo nocturno de Bogotá como parámetro para establecer la calidad del cielo y el mejor rango horario para toma de datos astronómicos. Proyecto final Laboratorio intermedio. (2018)