



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ILUMINACIÓN Y POLUCIÓN LUMÍNICA QUE CAUSA EL
ALUMBRADO PÚBLICO DE PARQUES DE LA CIUDAD DE CUENCA MEDIANTE EL
PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: MAX ENRIQUE VÁSQUEZ TAPIA

CHRISTIAN ABEL ESPEJO QUEZADA

TUTOR: ING. FREDDY FERNANDO CAMPOVERDE ARMIJOS

Cuenca - Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Max Enrique Vásquez Tapia con documento de identificación N° 1104131949 y Christian Abel Espejo Quezada con documento de identificación N° 0104964184; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 27 de mayo del 2024

Atentamente,



Max Enrique Vásquez Tapia

1104131949



Christian Abel Espejo Quezada

0104964184

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Max Enrique Vásquez Tapia con documento de identificación N° 1104131949 y Christian Abel Espejo Quezada con documento de identificación N° 0104964184, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo académico: “Análisis de calidad de iluminación y polución lumínica que causa el alumbrado público de parques de la ciudad de Cuenca mediante el procesamiento digital de imágenes”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de mayo del 2024

Atentamente,



Max Enrique Vásquez Tapia

1104131949



Christian Abel Espejo Quezada

0104964184

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Freddy Fernando Campoverde Armijos con documento de identificación N° 0102339470, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE CALIDAD DE ILUMINACIÓN Y POLUCIÓN LUMÍNICA QUE CAUSA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE PARQUES DE LA CIUDAD DE CUENCA MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES, realizado por Max Enrique Vásquez Tapia con documento de identificación N° 1104131949 y por Christian Abel Espejo Quezada con documento de identificación N° 0104964184, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de mayo del 2024

Atentamente,



Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos, Msc.

0102339470

ANÁLISIS DE CALIDAD DE ILUMINACIÓN Y POLUCIÓN LUMÍNICA QUE CAUSA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE PARQUES DE LA CIUDAD DE CUENCA MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

ANALYSIS OF LIGHTING QUALITY AND LIGHT POLLUTION CAUSED BY PARKS PUBLIC LIGHTING IN CUENCA CITY PARKS BY DIGITAL IMAGE PROCESSING

Max Vásquez-Tapia 1¹, Christian Espejo-Quezada 2², Freddy Campoverde-Armijos3³

Resumen

La excesiva iluminación artificial causada por el alumbrado público, en las ciudades, genera un alto nivel de polución lumínica. Actualmente, en Ecuador, no se tiene una regulación para el control de la polución lumínica, al carecer de dicha regulación los proyectos de alumbrado público son diseñados y ejecutados sin tomar en cuenta el efecto medio ambiental de polución lumínica. Esta situación plantea la interrogante de si es posible evaluar la calidad de iluminación, de áreas específicas, mediante el procesamiento digital de fotografías aéreas y las mediciones de calidad de cielo. En esta investigación se realiza la caracterización de un cámara digital para obtener valores de luminancia de una fotografía, la cual permite procesar la imagen obteniendo los mapas de color de luminancia, posteriormente estos mapas de color sirven para analizar la calidad de iluminación en cada parque, además de analizar la calidad de cielo en cada zona. Los resultados indican que en algunos parques existe una sobre iluminación y esta puede ser reducida mediante una mejor distribución de luminarias sin afectar la calidad de iluminación en las áreas requeridas. Finalmente se proponen aspectos técnicos para reducir la polución lumínica en las áreas de estudio.

Palabras Clave: Polución lumínica, mapas de luminancia, Procesamiento digital de imágenes, caracterización de cámara.

Abstract

The excessive artificial lighting caused by. public lighting in cities generates a high level of light pollution. Currently, in Ecuador, there is no regulation for controlling light pollution, so public lighting projects are designed and executed without taking into account the environmental effect of light pollution. This situation raises the question of whether it is possible to evaluate the quality of lighting in specific areas through digital processing of aerial photographs and sky quality measurements. In this research, a digital camera is characterized to obtain luminance values from a photograph, which allows processing the image to obtain luminance color maps. These color maps are then used to analyze the lighting quality in each park, as well as to analyze the sky quality in each area. The results indicate that in some parks, there is over-illumination, which can be reduced by better distributing luminaires without affecting the required lighting quality in the areas. Finally, technical aspects are proposed to reduce light pollution in future projects.

Keywords: Light pollution, luminance maps, digital image processing, camera characterization.

¹ Grupo de investigación en Energías (GIE), Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
Autor para correspondencia: mvasquezt@est.ups.edu.ec

1. Introducción

La contaminación lumínica se refiere a la modificación del ambiente nocturno en el cielo y sus alrededores debido a la emisión excesiva y desorientada de la luz artificial, que no cumple con su función de iluminar únicamente las áreas designadas [1-3]. La contaminación lumínica causa problemas de salud en las personas, desequilibra los ciclos de vida de muchas especies y hace difícil ver el cielo para observaciones astronómicas. Además, el uso ineficiente de la iluminación consume más energía de la necesaria, lo que puede generar dióxido de carbono y empeorar los problemas ambientales [7-8], debido a esto ha llamado la atención de científicos y organismos reguladores en todo el mundo, sin embargo, en Ecuador el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”, incluye una minúscula sección dedicada a la polución lumínica [42]. En Sudamérica, Chile y Colombia son de los pocos países en aprobar leyes y reglamentos al respecto [8]. Con este proyecto investigativo se busca establecer si existe contaminación en espacios específicos de la urbe. Se considera importante analizar la situación de los parques, en especial de los construidos los últimos años, ya que se han implementado luminarias tipo led. Este tipo de luminarias que, pese a consumir menos energía tienen, como efecto negativo, una mayor contribución a la polución lumínica que las luminarias convencionales de vapor de sodio [9-11]. A de más se estudiará si es posible evaluar la calidad de iluminación, de áreas específicas, mediante el procesamiento digital de fotografías aéreas con un Dron.

2. Materiales y Métodos

Se eligió el dispositivo “Sky Quality Meter (SQM-LU-DL)” de Unihedron, que se muestra en la Figura 1; para medir la luminosidad del cielo nocturno en una banda espectral similar a la sensibilidad del ojo humano. Este fotómetro utiliza $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ como unidad de medida [12], [13], [29].

Para obtener mediciones precisas, se recomienda realizar las mediciones con una visibilidad lunar de

hasta el 86%. [30,35] Además, para evitar la influencia de otras fuentes de luz en los valores evaluados, se debe validar los valores a partir de dos horas después del anochecer y dos horas antes del amanecer. De esta manera, se eliminan los efectos de la contaminación lumínica en los datos medidos [10-13]. Ver figura 1



Figura 1. Sky Quality Meter (SQM-LU-DL). [13]

Se escogieron diferentes puntos de medición en varios sectores de la ciudad para cubrir, en su mayoría, el área urbana. En la Figura 2 se muestra la ubicación de los parques en el mapa.

Los parques en los cuales se realizaron las mediciones fueron:

- Los conquistadores
- Bilbao
- La Paz
- Abdón Calderón
- La libertad



Figura 2. Parques donde se realizaron mediciones.

Se colocó el SQM por encima de las luminarias de cada parque, como muestra la Figura 3. La razón de colocar el SQM por encima de la luminaria se debe a que se evitará que, la luz directa de las luminarias, afecten a la medición y el dispositivo entregue valores no reales [14-16].



Figura 3. SQM en poste de luminarias.

Para la medición de iluminancia en los parques, se realizó visitas in-situ, y se utilizó el método de la cuadrícula para los puntos de muestreo [28], [32]. Para medición de iluminancia se utilizó un luxómetro marca “Amprobe”, modelo “LM-120” [21]. Los datos obtenidos con el luxómetro fueron procesados en ArcGis para realizar el mapa de colores falsos de iluminancia [43]

Para el análisis de calidad de iluminación mediante el procesamiento Digital de imágenes se tuvo que caracterizar la cámara de un Dron Dji Phantom 4 mostrado en la Figura 4.



Figura 4. Dron Dji Phantom 4. [5]

El dron Dji Phantom 4 tiene una cámara con sensor 1/2.3” CMOS, con 12.4 megapíxeles, FOV 94° 20 mm (35 mm formato equivalente), apertura f/2.8 hacia el ∞ , ISO 100-1600 (fotografía), velocidad de obturación electrónica

de: 8 - 1/8000 s. El tamaño de sus imágenes es de 4000×3000, los formatos de foto son: JPEG, DNG (RAW). [5]

Para poder medir luminancia y cumplir este objetivo es necesario el uso del Luminancímetro (Mavo-Spot 2-USB) y una Esfera Integradora que se indican en la Figura 5 y Figura 6, respectivamente.



Figura 5. Luminancímetro (Mavo-Spot 2-USB) [22].

El luminancímetro es un equipo que nos ayudara a medir la luminancia de áreas con alumbrado artificial. La luminancia es un parámetro muy importante dentro del diseño de iluminación de vías y parques ya que nos ayuda a saber, realmente, cuan iluminada esta un área. Elegimos este equipo de la marca Gossen ya que es el mismo que utiliza la Empresa Eléctrica Centro-SUR para mediciones y fiscalización de iluminación. Es sin duda un equipo de gran ayuda para investigaciones relacionadas con iluminación y eficiencia energética [36,38].



Figura 6. Esfera Integradora (0.5m HoopoColor).

Una esfera integradora es un dispositivo óptico utilizado para medir la luz emitida o reflejada por una superficie o un objeto. Consiste en una esfera hueca y esférica recubierta en su interior con un material altamente reflectante, que se utiliza para

distribuir uniformemente la luz en su interior. [4], [17].

La muestra por medir se coloca en el centro de la esfera, y la luz se introduce a través de una abertura. La luz se refleja en las paredes de la esfera y se distribuye uniformemente, de modo que cualquier punto en la superficie de la muestra recibe la misma cantidad de luz [18-20].

La luz que se emite o refleja desde la muestra se recoge a través de una abertura diferente, y se mide la cantidad total de luz que se recibe. Esto permite determinar la cantidad de luz que la muestra emite o refleja en todas las direcciones [40,41].

Las esferas integradoras se utilizan en diversas aplicaciones, como en la medición de la radiación de fuentes de luz, en la caracterización de materiales reflectantes y en la calibración de instrumentos ópticos [26], [23], [27].

2.1. Caracterización de la cámara para medición de luminancia

Para el proceso de caracterización de la cámara se utilizó la metodología mostrada en la Figura 7.

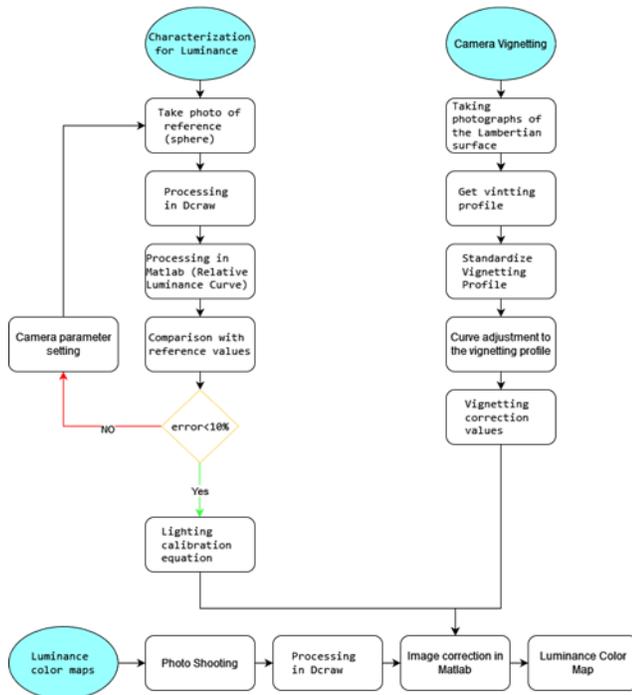


Figura 7. Método para la calibración de la cámara y el procesamiento de imágenes necesarios para la obtención de datos de luminancia.

La metodología para la caracterización de la cámara del dron se divide en dos partes: calibración de luminancia del sensor, calibración de viñeteo del sistema de la cámara [6], [24], [33].

En la calibración de la cámara del dron se utilizó las siguientes configuraciones: apertura de f/2.8 y para obtener una relación señal/ruido óptimo, se eligió el valor de sensibilidad ISO de 100 y tiempo de exposición de 1/2.5 s, dándonos fotografías en formato DNG (Raw) de 16 bits. Para el procesamiento de imágenes para calibración de luminancia se necesita que las imágenes no pierdan su calidad, por lo tanto, se utilizó el programa de decodificación dcraw (DCRaw, 2017) convirtiéndolas en imágenes TIF de 16 bits lineales [34], [37], [31].

Con la ayuda del luminancímetro, se realizó una comprobación de la luminancia en la rejilla de medición de la esfera. Para minimizar los errores en la caracterización de la cámara se coloca, a la misma altura, el luminancímetro, la rejilla de la esfera y la cámara del dron como se ve en la Figura 8.



Figura 8. Ubicación de equipos para Caracterización.

Los valores de pixeles de una imagen están directamente relacionados con luminancia conocida (cd/m^2) [34], [39].

En la ecuación (1) muestra una correlación para estimar la luminancia de un valor de píxel digital [6], [24].

$$K = \frac{N_d f_s^2}{L_s t_{ISO}} \quad (1)$$

Donde L_s indica la luminancia, N_d indica el valor del píxel digital en formato raw obtenido de la

ecuación 2 f_s es la apertura, k es la constante de calibración de la cámara, t es el tiempo de exposición de la cámara y el S_{ISO} es el valor del ISO de la cámara.

Se utilizó la fórmula del estándar IEC, mostrado en la ecuación (2).

$$N_d = 0.2162R + 0.7152G + 0.0722B \quad (2)$$

Donde R, G y B son los valores digitales de los canales individuales rojo, verde y azul capturados por la cámara [37].

Se procesó las imágenes mediante software (Matlab). En el procesamiento primero se obtienen las matrices características de los canales RGB, luego se procede a convertir la imagen a escala de grises para poder trabajar con las intensidades de los canales [37], [34].

Con las variaciones de los valores de cada píxel (de 0 a 65535), con respecto a la luminancia de la esfera [24].

Como se mencionó antes, para este proyecto se propuso usar fotografías tomadas con un dron, desde un plano cenital, para medir luminancia.

Los valores de luminancia medidos con la cámara se compararán con los medidos por el luminancímetro.

Una vez llegado a tener mediciones correctas se procederá a realizar las visitas a los parques y hacer las fotos necesarias para procesarlas y obtener los mapas de luminancia.

2.2. Corrección de Viñeteo.

Las cámaras digitales presentan un fenómeno llamado viñeteo que hace que los pixeles de las esquinas del sensor captan menos luz que los pixeles centrales; el procedimiento usado para la corrección del viñeteo se detalla a continuación: [37], [25].

- Con el dron se realizó una fotografía a una pantalla de computadora con un fondo completamente blanco; la pantalla tiene una superficie de luminancia casi uniforme, asemejándose a una superficie lambertiana. La

Figura 9(a) muestra la fotografía tomada en escala de grises.

- La Figura 9 (b) muestra la gráfica de la matriz con los valores de la diagonal principal que representan el perfil de viñeteo en valores de píxel.

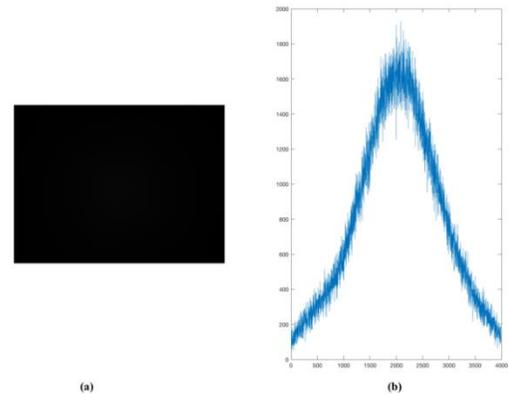


Figura 9. (a) Fotografía de superficie en escala de grises. (b) Perfil de viñeteo en términos de pixeles.

- Estandarización y ajuste de curva del perfil de viñeteo. Se Procedió a ajustar una función gaussiana ya que es la más aproximada a la distribución de los datos. La Figura 10 muestra la gráfica de los datos y la curva ajustada.

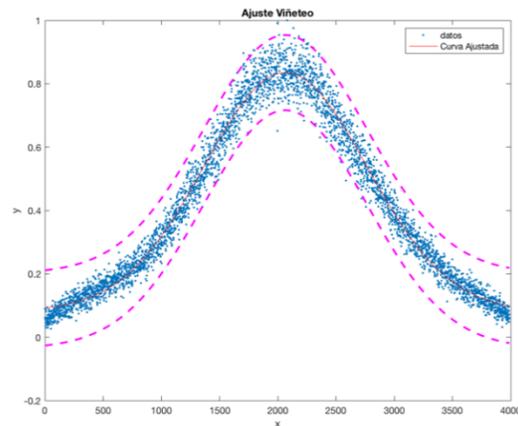


Figura 10. Curva de viñeteo ajustada.

3. Resultados y Discusión

En esta sección se detallan los resultados obtenidos de las mediciones de calidad de cielo, mediciones

de iluminancia y del procesamiento de las fotografías aéreas para la obtención de los mapas de luminancia en falso color; además se del análisis de cada uno de los parámetros antes mencionados y su relación con la polución lumínica.

3.1. Mediciones de calidad de cielo

Para analizar la calidad de cielo se tiene como referencia la Tabla 1, donde se muestra las escalas de mediciones del SQM y su respectivo significado.

En la Figura 11 se observa la muestra de calidad de cielo del parque Bilbao, en este caso se realizó el muestreo durante tres días, luego obtuvo valores estadísticos mostrados en la Tabla 2, para lo cual se tomó en cuenta los valores comprendidos entre las 20:00 a las 04:30; este proceso fue realizado para cada uno de los seis parques. En este rango horario se evita mediciones erróneas debido al atardecer y amanecer de cada día [2]

Tabla 1: Escala del SQM para centros urbanos [2].

MPSAS	Significado
MPSAS <15.4	Muy contaminado
15.4<MPSAS<16.6	Contaminado
16.6<MPSAS<17.8	Medianamente contaminado
17.8<MPSAS<18.8	Ligeramente contaminado
18.8<MPSAS<21.6	Aceptable



Figura 11. Mediciones de calidad de cielo del parque Bilbao.

Tabla 2: Estadística Descriptiva de Calidad de cielo del Parque Bilbao.

Parámetro	Mediana [MPSAS]
Media	17.72
Mediana	17.95
Mínimo	14.77
Máximo	18.23
Desviación estándar	0.76

Los resultados de la media y mediana de cada parque se muestran en la Tabla 3; estos valores son usados para el análisis final de polución en cada parque.

TABLA 3: Resumen de Mediciones de Polución Lumínica

Parque	Mediana [MPSAS]	Media [MPSAS]
Conquistadores	18.31	17.96
San Sebastián	17.95	17.72
La Libertad	17.53	17.55
Bilbao	16.58	16.6
Calderón	15.25	15.28
La Paz	15.11	15.19

3.2. Mapas de Iluminancia en Falso Color

A continuación, se muestran las imágenes obtenidas del procesamiento de las mediciones de iluminancia de cada parque. Se tabularon los datos y se ingresaron en ArcGis, luego se realizó un mapa de falso color, estimando los valores, en áreas que no tienen medición, por una interpolación por el vecino más cercano.

En la Figura 12 se observa el mapa de iluminancia del parque La Libertad, se aprecia que los puntos de mayor nivel de luxes se encuentran dónde está emplazada la edificación de oficinas, esto debido al gran número de luminarias instaladas en el perímetro de esta edificación.

El parque de la Paz es el parque que tiene una mejor distribución de luminarias ya que han sido iluminadas las diferentes áreas con diferentes niveles de iluminación dependiendo de su uso, ver Figura 13.

En el parque Los Conquistadores mostrado en la Figura 14, muestra una iluminación muy aceptable, la zona de juegos tiene muy buena iluminación y el área verde cuenta con la iluminación necesaria.

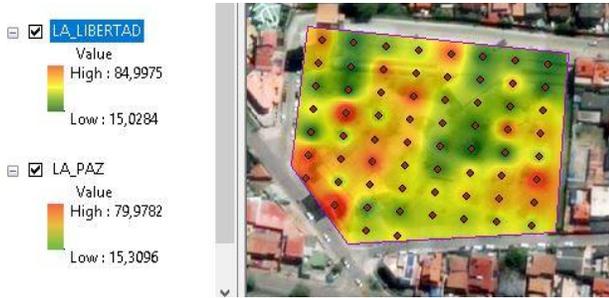


Figura 12. Mapa de iluminancia en falso color del parque La libertad.

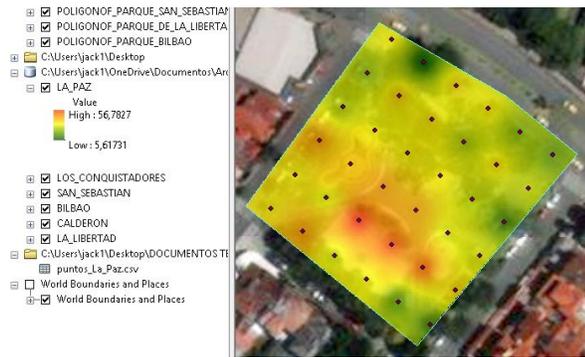


Figura 13. Mapa de iluminancia en falso color del parque La Paz.

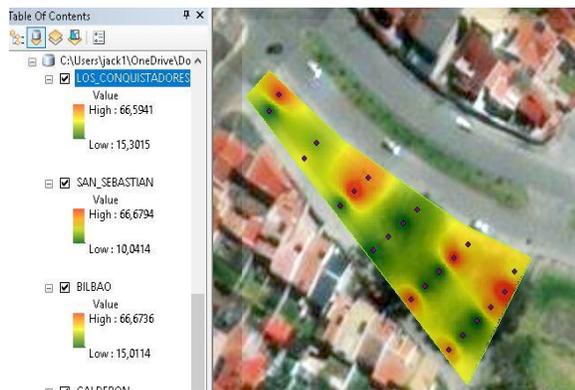


Figura 14. Mapa de iluminancia en falso color del parque Los Conquistadores.

3.2. Mapas de Luminancia en Falso Color

Mediante la metodología indica en la Figura 7 se obtuvo los mapas de falso color de luminancia.

Los mapas de luminancia sirven para tener una visión global de como esta iluminada cada parque y las zonas que pueden contribuir al aumento de la contaminación lumínica.

En el parque de la Libertad, mostrado en la Figura 15, se aprecia que existen zonas con valores mayores a 10 cd/m^2 especialmente donde se encuentra el edificio de oficinas, esto se debe a que se encuentra una gran cantidad de luminarias instaladas a un ángulo mayor a 20 grados, superando lo dispuesto en la norma INEN RTE 069.

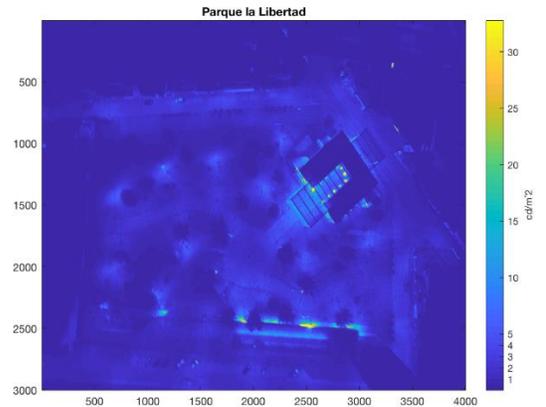


Figura 15. Mapa de luminancia en falso color del parque La Libertad.

Como se aprecia en la Figura 16 las diferentes áreas del parque la Paz han sido iluminadas correctamente cumpliendo los niveles propuestos en la norma CONELEC 008-11. Solamente se encontró dos luminarias mal localizadas ya que están instaladas por encima de la copa de dos árboles, esto hace que no se ilumine una parte de la cancha y de esta manera contribuyendo a que exista una mayor reflexión de luz hacia el cielo.

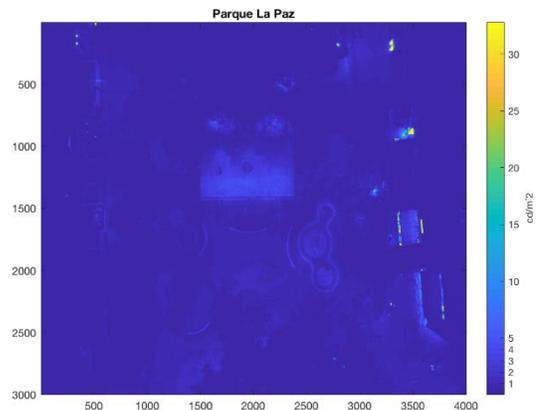


Figura 16. Mapa de luminancia en falso color del parque La Paz.

El parque Los Conquistadores cumple con los niveles de iluminación establecidos en la norma CONELEC 008-11 en la mayor parte de su área, solamente existe una zona de espacio verde que cuenta con un nivel bajo de iluminación. Ver Figura 17

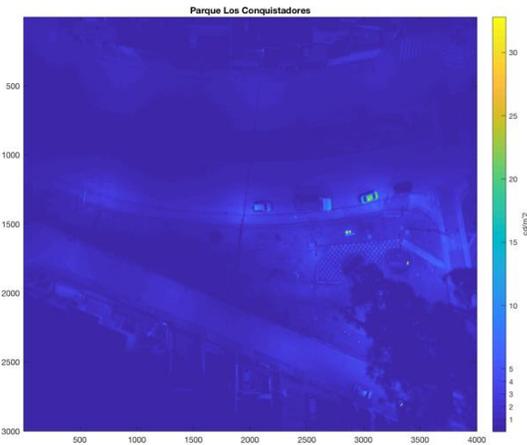


Figura 17. Mapa de luminancia en falso color del parque Los Conquistadores.

A pesar de que el parque La Paz es el parque mejor iluminado, según la norma, también es el parque en donde se registró un mayor nivel de contaminación lumínica. Las razones para que esto se dé es debido a la gran cantidad de comercios y letreros publicitarios (pantallas led) cercanas a la zona del parque.

El SQM mide la contaminación de una zona amplia y no se puede establecer que la medición es solamente en el área del parque. Por esta razón las mediciones de calidad de cielo nos dan un panorama global de cuán contaminada está la zona y mediante los mapas de luminancia se analiza, de manera específica, la contribución de los parques a la contaminación, comparando los niveles de luminancia con la norma establecida e identificando los puntos donde existen niveles de iluminación que no cumplan los niveles indicados.

4. Conclusiones

La facilidad de operación que ofrecen los drones es de gran ayuda en diversas áreas de la ingeniería.

Los drones ofrecen gran flexibilidad para la fotogrametría, permitiendo montar diferentes

equipos de medición y reduciendo, significativamente, los tiempos de adquisición de datos; este fue el caso de la adquisición de datos para la medición de luminancia, la cual solo requiere de una fotografía.

Las mediciones con el SQM brindan información de cuán contaminado se encuentra la zona de medición y fue usada como punto de partida para el análisis posterior de los mapas en falso color de luminancia e iluminación.

La investigación propone usar la fotogrametría (dron como medidor de luminancia) como complemento para el análisis de contaminación lumínica; pero también puede ser usado para medir la luminancia de vías, canchas o cualquier área con iluminación artificial donde se requiera obtener información de niveles de luminancia y uniformidad de iluminación ya que el procesamiento de imágenes desarrollado presenta un error relativamente bajo (3%) comparado con mediciones de un luminancímetro en distancias grandes, mayores a 40 metros.

Las mediciones de iluminación y su análisis mostraron que los parques en su mayoría no cumplen con las normas de uniformidad de iluminación (CONELEC 008-11 y INEN RTE 069).

Se observa en algunos casos que la uniformidad no es la adecuada debido a que los parques cuentan con diferentes áreas que deben ser iluminadas con niveles diferentes de iluminación y en el diseño e implementación del alumbrado no se han tomado en cuenta estos niveles de iluminación que indica la norma.

Se observa también que en parques cercanos al centro histórico y cercanos a áreas con vías altamente iluminadas y letreros publicitarios tipo led son los parques que presentan un mayor nivel de contaminación lumínica. También la contaminación lumínica presenta un aumento en parques donde se han identificado comercios con una gran cantidad de luminarias decorativas que no cumplen con las normas de mitigación de contaminación lumínica.

Existen puntos críticos de iluminación en los parques. Estos se observan mediante el mapa de color de luminancia. Estos puntos contribuyen al aumento de contaminación ya que emiten luz hacia el

cielo y no completamente al área que debe ser iluminada.

Se propone mejorar la iluminación de parques con luminarias antiguas que no cuentan con un apantallamiento para disminuir la emisión de luz hacia la parte superior de la luminaria.

También se propone considerar un análisis más detallado al momento del diseño luminotécnico, tomando en cuenta no sobrepasar los ángulos máximos permitidos para la colocación de luminarias, alturas y nivel de iluminación necesaria por cada tipo de área en las zonas recreativas.

Referencias

- [1] F. Falchi, P. Cinzano, K. Elvidge, A. Haim, "Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility". *Journal of Environmental Management*, 2011.
- [2] R. Quito, M. Guanquiza, Espinoza A, S. Pulla, "Metodología para evaluar la polución lumínica causada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca," 2014.
- [3] H. Brady "Las Luces Led incrementan la contaminación Lumínica" *National Geographic* 28-11-2017[Online].Available: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/11/las-luces-led-incrementan-la-contaminacion-luminica>
- [4] J. Romero, P. Jesús, M. Quintero, "Caracterización de una cámara digital para la medición de luminancia en vías," *Universidad Nacional de Colombia* 2018.
- [5] SZ DJI Technology Co, DJI Sciences and Technologies Ltd. "Phantom4 Specs camara" 2023.[Online].Available: <https://www.dji.com/phantom-4/info>
- [6] M. Kurkela, "Camera preparation and performance for 3D luminance mapping of road environments," *The Photogrammetric Journal of Finland*, 4-12-2017.
- [7] R. Díaz, A Salamanca, R. Martín "La Contaminación Lumínica. Efectos, retos y soluciones," *Vida Científica*, July. 2017.
- [8] M. Vinicio, G. León, R. Martín, Q. Arias, J. Leonardo, and E. Abad, "Análisis y metodología de evaluación de la contaminación lumínica causada por el alumbrado público en la Ciudad de Cuenca," *Cuenca*, May 2014.
- [9] C. Baddiley, "Light pollution modelling, and measurements at Malvern hills AONB, of county conversion to blue rich LEDs.," *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, vol. 219, pp. 142–173, Nov. 2018.
- [10] A.-G. Santiago, P. Galindo -Carlos, A. Flores, V.-D. Orlando, and I. Álvarez, "Determinación de la contaminación lumínica en el cantón Cuenca-Ecuador," *Cuenca*, Oct. 2019.
- [11] S. Pulla Galindo, D. Icaza, and C. Flores-Vásquez, "Energy Savings in Public Lighting, Reduction of Light and Atmospheric Pollution in the City of Cuenca-Ecuador," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2021.
- [12] S. P. Galindo, D. Borge-Diez, and D. Icaza, "Novel control system applied in the modernization of public lighting systems in heritage cities: Case study of the City of Cuenca," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 10478–10491, Nov. 2022.
- [13] J. Du, X. Zhang, and D. King, "An investigation into the risk of night light pollution in a glazed office building: The effect of shading solutions," *Build Environ*, vol. 145, pp. 243–259, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.09.029, Nov. 2018.
- [14] H. Netzel and P. Netzel, "High-resolution map of light pollution," *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, vol. 221, pp. 300–308, Dec. 2018.
- [15] A. S. de Miguel, M. Aubé, J. Zamorano, M. Kocifaj, J. Roby, and C. Tapia, "Sky quality meter measurements in a colour-changing world," *Mon Not R Astron Soc*, vol. 467, no. 3, pp. 2966–2979, Jun. 2017
- [16] Y. Katz and N. Levin, "Quantifying urban light pollution - A comparison between field measurements and EROS-B imagery," *Remote Sens Environ*, vol. 177, pp. 65–77,

- May 2016.
- [17] A. Hänel et al., “Measuring night sky brightness: methods and challenges,” *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 205. Elsevier Ltd, pp. 278–290, Jan 2018.
- [18] M. S. Faid, N. N. M. Shariff, Z. S. Hamidi, S. N. U Sabri, Nurulhazwani Husien, and N. H. Zainol, “Monitoring the level of Light Pollution and its Impact on Astronomical Bodies Naked-Eye Visibility Range in Selected Areas in Malaysia using the Sky Quality Meter”. IEEE, 2016.
- [19] D. Ziou and F. Kerouh, “Estimation of light source colours for light pollution assessment,” *Environmental Pollution*, vol. 236, pp. 844–849, May 2018.
- [20] P. Cinzano and F. Falchi, “Quantifying light pollution,” *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, vol. 139, pp. 13–20, 2014.
- [21] Amprobe, “LM-100 LM-120 Light Meters Manual de uso”, 2008. [Online]. Available: www.amprobe.com
- [22] GOSSEN, “MAVO-SPOT 2 Digital Luminance Meter with 1° Measuring Angle,” 2023.
- [23] M. Redzuan Tahar et al., “Spatial Model of Sky Brightness Magnitude in Langkawi Island, Malaysia,” *Res Astron Astrophys*, vol. 17, no. 4, Mar. 2017.
- [24] L. Pipia et al., “Generación de mapas de luminancia urbana a partir de un sensor hiperespectral VNIR y una cámara fotogramétrica digital,” *Revista de Teledeteccion*, vol. 2016, no. 47, pp. 85–97, 2016.
- [25] C. Kanan and G. W. Cottrell, “Color-to-grayscale: Does the method matter in image recognition?,” *PLoS One*, vol. 7, no. 1, doi: 10.1371/journal.pone.0029740, Jan. 2012.
- [26] P. Hansen and M. Andersen, “Hdr images for glare evaluation: comparison between Dslr cameras, an absolute calibrated luminance camera and a spot luminance meter,” 2017.
- [27] M. Pravettoni, D. Strepparava, N. Cereghetti, S. Klett, M. Andretta, and M. Steiger, “Indoor calibration of Sky Quality Meters: Linearity, spectral responsivity and uncertainty analysis,” *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, vol. 181, pp. 74–86, doi: 10.1016/j.jqsrt.2016.03.015, Sep. 2016
- [28] J. Mora, “optimización de iluminación de parques conforme a la norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométricas,” Quito, Jun. 2018.
- [29] A. S. de Miguel, M. Aubé, J. Zamorano, M. Kocifaj, J. Roby, and C. Tapia, “Sky quality meter measurements in a colour-changing world,” *Mon Not R Astron Soc*, vol. 467, no. 3, pp. 2966–2979, doi: 10.1093/mnras/stx145, Jun. 2017
- [30] C. A. Bouroussis and F. v. Topalis, “Assessment of outdoor lighting installations and their impact on light pollution using unmanned aircraft systems - The concept of the drone-gonio-photometer,” *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, vol. 253, doi: 10.1016/j.jqsrt.2020.107155, Sep. 2020
- [31] R. Sumner, “Processing RAW Images in MATLAB,” 2014.
- [32] J. Armando, R. Loaiza, “Diseño de iluminación eficiente de parques aplicando nuevas tecnologías. caso práctico parque recreacional Jipiro,” Loja, 2015.
- [33] O. U. Preciado, A. Décima, J. B. Barraza, “Photometric characterization of a commercial dslr camera for the implementation of an imaging luminance meter,” *Anales de la Asociacion Fisica Argentina*, vol. 31, no. 4, pp. 143–149, doi: 10.31527/analesafa.2020.31.4.143, Jan. 2020
- [34] P. Fiorentin, P. Iacomussi, A. Martignon, and G. Rossi, “Characterization and calibration of a CCD detector for light engineering,” in *Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2003.
- [35] D. Ziou and F. Kerouh, “Estimation of light source colours for light pollution assessment,” *Environmental Pollution*, vol. 236, pp. 844–849, May 2018.
- [36] H. Netzel and P. Netzel, “High-resolution map of light pollution,” *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, vol. 221, pp. 300–308, Dec.

2018.

- [37] P. Fiorentin and A. Scroccaro, “Comparison of luminance measurement based on illuminance and luminance detectors,” in 2009 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2009.
- [38] T. Posch, F. Binder, and J. Puschnig, “Systematic measurements of the night sky brightness at 26 locations in Eastern Austria,” *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, vol. 211, pp. 144–165, May 2018.
- [39] D. A. Rowlands, “Color conversion matrices in digital cameras: a tutorial,” *Optical Engineering*, vol. 59, no. 11, Nov. 2020.
- [40] M. Garba Abdullahi, M. Khairul Amri Kamarudin, R. Umar, A. Endut, S. Iskandar Khalit, and H. Juahir, “Night Sky Brightness Assessment in Nigeria Using Environmetric and GIS Technique,” vol. 7, no. 1, 2017.
- [41] M. S. Ahluwalia et al., “Eficacia de la reglamentación para la prevención y disminución de la contaminación lumínica en Colombia, en el periodo 2010-2016,” *IOSR Journal of Economics and Finance*, vol. 3, no. 1, p. 56, 2016.
- [42] Instituto ecuatoriano de normalización (INEN), *Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) 069*, Quito, Pichincha: INEN, 2011.
- [43] Consejo nacional de electricidad (CONELEC), *Regulación No. CONELEC 008/11*, Quito, Pichincha: CONELEC, 2011, pp. 10-11

RESUMEN:

La excesiva iluminación artificial causada por el alumbrado público, en las ciudades, genera un alto nivel de polución lumínica. Actualmente, en Ecuador, no se tiene una regulación para el control de la polución lumínica, al carecer de dicha regulación los proyectos de alumbrado público son diseñados y ejecutados sin tomar en cuenta el efecto medio ambiental de polución lumínica. Surge la interrogante, es posible evaluar la calidad de iluminación, de áreas específicas, mediante el procesamiento digital de fotografías aéreas y las mediciones de calidad de cielo. Este proceso facilita la generación de mapas de color de luminancia, que son determinantes para evaluar la calidad de iluminación en diversos parques, así como para analizar la calidad del cielo en distintas zonas. Los resultados indican que en algunos parques existe una sobre iluminación y esta puede ser reducida mediante una mejor distribución de luminarias sin afectar la calidad de iluminación en las áreas requeridas.

Palabras claves:

Polución lumínica

Mapas de luminancia

Procesamiento digital de imágenes

ABSTRACT:

Excessive artificial lighting caused by public lighting in cities generates a high level of light pollution. Currently, in Ecuador, there is no regulation to control light pollution; lacking such regulation, public lighting projects are designed and executed without considering the environmental effect of light pollution. The question arises, is it possible to evaluate the lighting quality of specific areas through digital processing of aerial photographs and sky quality measurements. This process facilitates the generation of luminance color maps, which are decisive for evaluating the quality of lighting in various parks, as well as for analyzing the quality of the sky in different areas. The results indicate that in some parks there is over-lighting, and this can be reduced through a better distribution of luminaires without affecting the quality of lighting in the required areas.

Key words:

Light pollution

Luminance maps

Digital image processing