

Determinación del grado de contaminación luminosa producto de las luces artificiales en el sector Oeste de la ciudad de Managua, Nicaragua. Periodo diciembre 2016 a enero 2017

Determination of the degree of luminous pollution resulting from artificial lights in the western sector of the city of Managua, Nicaragua. Period December 2016 to January 2017

Humberto A. Garcia Montano¹
hagrciamontano@gmail.com

Marcel Chow Martinez²
marcel.chow@igg.unan.edu.ni

Rosalba Silva Soza³
metcatarossylva@gmail.com

Recibido: 09 de enero de 2020, **Aceptado:** 19 de marzo de 2020

RESUMEN

En este estudio se pretende dar los primeros pasos para cuantificar la contaminación lumínica como consecuencia de la iluminación artificial en el occidente de la ciudad de Managua, Nicaragua. El grado de contaminación lumínica fue evaluado midiendo la dispersión de Rayleigh de la luz artificial sobre el cielo nocturno. Se realizaron mediciones in situ con el fotómetro Unihedron Sky Quality Meter (SQM-L) por las principales avenidas de la parte occidental de la ciudad Managua en noches de luna nueva y cielo despejado entre los meses de diciembre 2016 a enero 2017. Con estos datos se elaboró el primer mapa de la distribución espacial del brillo del cielo nocturno de la zona occidental de la ciudad de Managua y se obtuvo un brillo superficial de 16,45 mag/arcsec². Este valor clasifica el brillo del cielo de Managua como Clase 6: Resplandor de Cielo Urbano de acuerdo a la escala Unihedron y en nivel Color Rojo de acuerdo a la escala de Bortle. Además, se usaron imágenes satelitales del Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) para analizar el crecimiento de la iluminación artificial de Managua entre los años 1992 a 2013.

Palabras clave: contaminación luminosa; luminarias; dispersión de Rayleigh; brillo de cielo.

1 Observatorio Astronómico de la UNAN. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Departamento de Física. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Managua, Nicaragua. <https://orcid.org/0000-0001-9049-0274>

2 Instituto de Geología y Geofísica, IGG-CIGEO. Managua, Managua, Nicaragua. <https://orcid.org/0000-0001-6073-9956>

3 Dirección de Meteorología Sinóptica-Dirección aeronáutica y CCTR. Dirección General de Meteorología. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Managua, Managua, Nicaragua. <https://orcid.org/0000-0003-1212-6658>

© 2020 - Revista Científica de FAREM-Estelí.



Este trabajo está licenciado bajo una [Licencia Internacional Creative Commons 4.0 Atribución-NoComercial-CompartirIgual](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ABSTRACT

This study aims to take the first steps to quantify light pollution as a result of artificial lighting in the western area of the city of Managua, Nicaragua. The degree of light pollution was assessed by measuring Rayleigh's scattering of artificial light over the night sky. On-site measurements were performed with the Unihedron Sky Quality Meter (SQM-L) photometer along the main avenues of the western part of the Managua city on new moon and clear sky nights between December 2016 and January 2017. With this data, the first map of the spatial distribution of the night sky brightness in the western part of the city of Managua was developed and a surface brightness of 16.45 mag/arcsec² was obtained. This value classifies the brightness of the Managua sky as Class 6: Glow of Urban Sky according to the Unihedron scale and red level according to the Bortle scale. In addition, satellite images from the Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) were used to analyze the growth of Managua artificial lighting between 1992 and 2013.

Keywords: luminous pollution; luminaires; Rayleigh scattering; sky brightness.

INTRODUCCIÓN

La iluminación exterior es un elemento indispensable en nuestras sociedades modernas para fines de seguridad, recreación y decoración. Sin embargo, los sistemas de iluminación exterior mal diseñados y los niveles de iluminación excesivos pueden conducir a la contaminación lumínica (Smith, 2008). La dispersión de Rayleigh es la dispersión de la luz causada por las moléculas del aire, así como por partículas suspendidas en la atmósfera. Sus efectos se extienden a distancias más allá del origen de la fuente de iluminación, al grado de que puede iluminar todo el cielo nocturno (Benn y Ellison, 1998). La contaminación lumínica es, por tanto, una forma de degradación ambiental en la que la iluminación artificial excesiva del exterior afecta el entorno natural y el ecosistema. No solo representa un desperdicio de energía, dinero y recursos valiosos de la Tierra, sino que también contribuye indirectamente a los problemas ambientales globales. Por último, pero no menos importante, el brillo del cielo debido a estas fuentes de iluminación artificiales conduce a la degradación de la calidad del cielo nocturno.

Los niveles de iluminación natural están gobernados por fuentes celestes naturales, principalmente la Luna, la emisión atmosférica natural (resplandor del aire), las estrellas y la Vía Láctea y la luz zodiacal. Durante las noches sin luna, la luminosidad del fondo del cielo despejado por la lejanía de la Vía Láctea y la luz zodiacal es de aproximadamente 22 magnitudes por segundo de arco cuadrado (mag/arcsec²) en la banda V de Johnson-Cousins, equivalente a $1,7 \times 10^{-4}$ cd/m². La luz artificial dispersada en la atmósfera eleva

la luminosidad del cielo nocturno, creando el efecto negativo muy visible de la contaminación lumínica: el brillo artificial del cielo. Además de obstaculizar las observaciones astronómicas ópticas basadas en tierra, el brillo artificial del cielo nocturno representa una profunda alteración de una experiencia humana fundamental: la oportunidad para que cada persona vea y reflexione sobre el cielo nocturno. Incluso pequeños aumentos en el brillo del cielo degradan esta experiencia. Aunque los investigadores de diferentes campos ahora están interesados en la contaminación lumínica, su magnitud es poco conocida a escala global porque las mediciones se distribuyen esporádicamente en todo el mundo (Fabio et al., 2016).

El primer Atlas Mundial de contaminación lumínica publicado por Cinzano (et al. 2001) reporta un brillo superficial de 18,47 mag/arcsec² para Nicaragua, aunque no se hace referencia para un lugar específico. Además, en el Nuevo Atlas Mundial del Brillo Artificial de Cielo Nocturno Fabio et al. 2016; el índice de color reportados por ellos para el municipio de Managua es de 1,7 y transformándose a brillo superficial resulto ser de 16,90 mag/arcsec²; con estos parámetros obtenidos se clasifico con un nivel rojo según la escala de Bortle (<https://www.skyandtelescope.com/astronomy-resources/light-pollution-and-astronomy-the-bortle-dark-sky-scale/>). A este color le corresponde una clasificación de Nivel 7, que implica una transición entre cielo periurbano y urbano. Esto ocasiona, por ejemplo, que la Vía Láctea sea indetectable siendo las estrellas más débiles que se pueda observar de magnitud 5.

Una de las principales motivaciones de este estudio ha sido cuantificar el aumento del brillo del cielo nocturno como consecuencia de la iluminación artificial en la mitad oeste de la ciudad de Managua. Los resultados se convierten en los valores de referencia para comparar con estudios similares que se llevarán a cabo en el futuro y que se centrarán en la evolución de la contaminación lumínica en el área de Managua pudiéndose extender a toda Nicaragua. La calibración y los procedimientos podrían abarcar el estudio de áreas más amplias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mediciones con el SQM-L

Para la realización de este trabajo, se usaron los siguientes instrumentos: 1) un fotómetro Sky Quality Meter (SQM¹-L), 2) Luxómetro digital modelo YF.170, 3) un GPS marca Garmin, y 4) Estación meteorológica DAVIS Vantage Vue Wireless Weather Station (emplazada en la azotea del edificio gemelo 2 del POLISAL, UNAN-Managua). El fotómetro SQM-L tiene tamaño de bolsillo y está diseñado para proporcionar mediciones de la luminancia o brillo del cielo en unidades astronómicas de mag/arcsec². Las mediciones consistieron en mediciones in situ en la parte oeste de Managua. Se seleccionó esta área por tiempo y dinero, debido a que las mediciones se realizaron a pie en un tiempo y presupuesto limitados. Los datos fueron tomados cada 100 metros, exceptuando los casos en que las medidas quedaran debajo de alguna luminaria. En esos casos se movían 5 metros formando un ángulo de 40° con respecto a esta, como lo sugiere el manual del dispositivo.

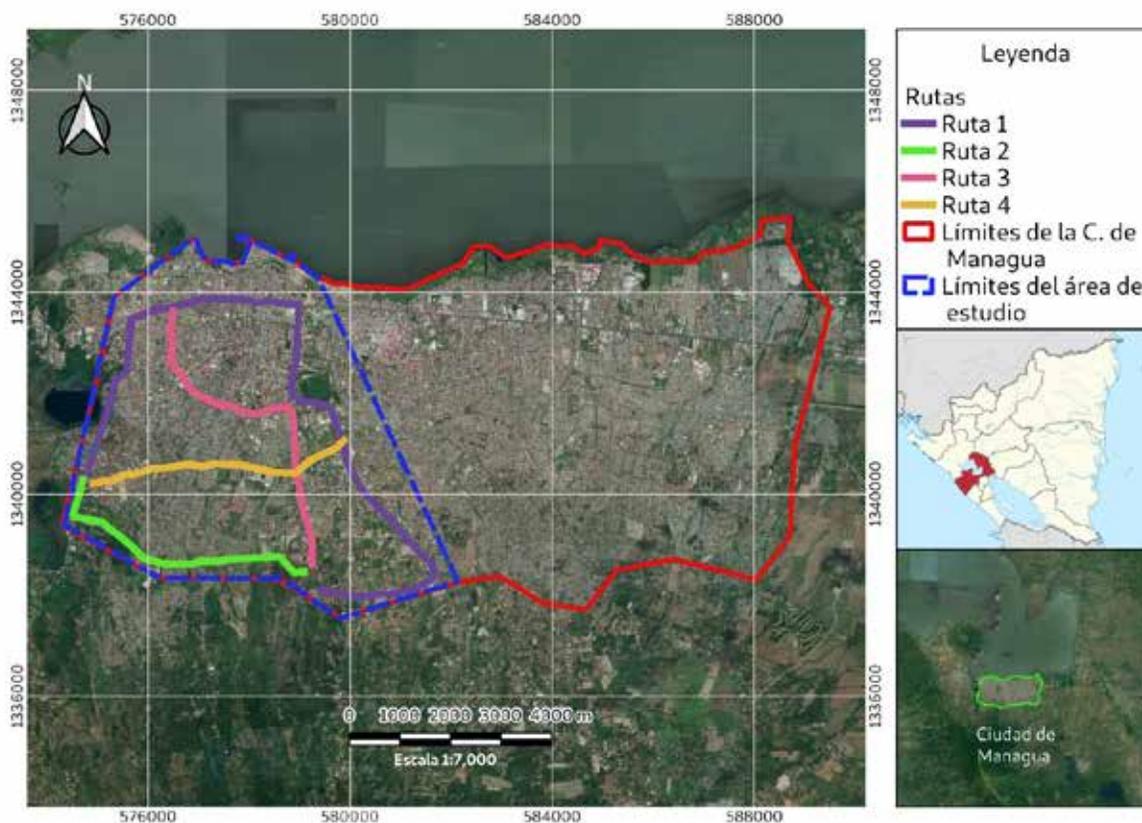
Mediciones del brillo del cielo nocturno de Managua con el satélite DMSP-OLS

Se obtuvieron imágenes nocturnas de Managua extraídas de los atlas anuales del Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa de la Fuerza Aérea de Estados Unidos (DMSP²), del Sistema Operacional Linescan (OLS). Estos atlas son el resultado de integrar la luz de las imágenes satelitales individuales que fueron tomadas por los satélites dedicados a observación de ciudades y bosques en periodos nocturnos. En su versión stable los atlas están libres de nubes y fueron solo consideradas imágenes tomadas en luna nueva, por lo que estos datos satelitales son de interés para una amplia gama de campos de estudio, por ejemplo: la dinámica de expansión urbana, consumo de energético, crecimiento económico de las poblaciones, incendios forestales, etc.

El DMSP-OLS ha liberado datos a disposición del público entre los años 1992 a 2013, usando 6 misiones que en ocasiones estuvieron simultáneamente trabajando. Debido a que fueron usados diferentes misiones con diferentes instrumentos y las observaciones se llevaron a cabo con diferentes parámetros orbitales, es necesario realizar calibraciones a los diferentes atlas para su comparación. En el presente trabajo se siguió la metodología explicada por Li & Zhou (2017) para dicho fin. Tanto para esta tarea, como para la extracción de los datos sobre la región de estudio, fue usado el software R version 3.5.3 (R Core Team, 2019).

1 <http://unihedron.com/projects/darksky/>

2 <https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>



Mapa 1. Mapa de Ubicación y Rutas de medición. El polígono rojo denota los límites de la ciudad de Managua mientras que el polígono azul con líneas quebradas denota el área de estudio. Las rutas se muestran en diversos colores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se siguieron 4 rutas en el área de estudio. Las rutas son presentadas en la Tabla 1, mientras que el Mapa 1 presenta las posiciones de los recorridos. Estas rutas fueron elegidas por recorrer las principales avenidas del área de estudio, las cuales son las más iluminadas también. En la columna 1 de la Tabla 1 se indica el

número de la ruta mostrada en el Mapa 1; las columnas 2 y 3 corresponden a los lugares de referencia del inicio y final de los recorridos, respectivamente; la columna 4 se presentan las mediciones promedio por ruta obtenida con el fotómetro SQM-L; en la columna 5 se presentan el número de luminarias contabilizadas; y en la columna 6 se presenta la densidad de luminarias (en unidades de luminaria cada cantidad de kilómetros).

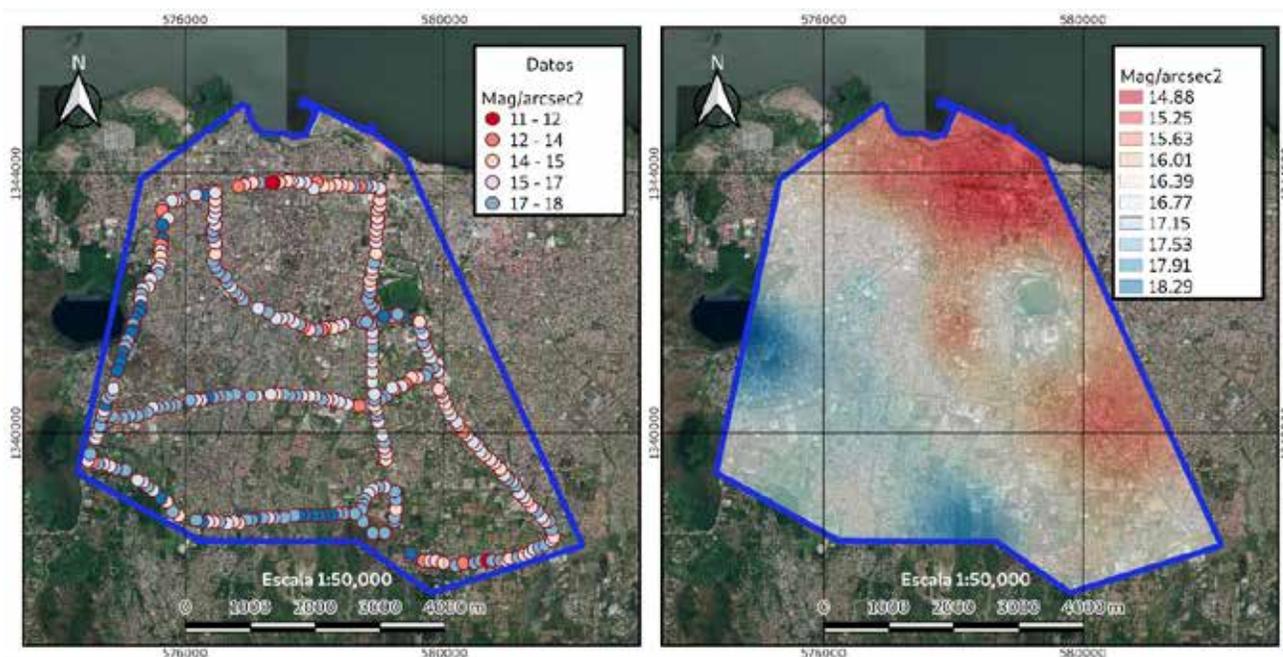
Tabla 1. Rutas recorridas durante el proceso de medición con el fotómetro SQM-L

Rutas	Inicio de la ruta	Final de la ruta	Longitud de la ruta (km)	SQM-L (mag arcsec-2)	Nº de luminarias	Densidad luminarias
1	Desde el Portón # 5 de la UNAN-Managua (en dirección Este)	Intersección las Piedrecitas	16	16,06 ± 2,14	465	34,4
2	Desde el Portón # 5 de la UNAN-Managua (en dirección Oeste)	Frente al antiguo hospital Vélez País (pista Suburbana)	6,7	17,12 ± 1,21	128	52,3
3	Desde la Rotonda Universitaria (frente a gasolinera Puma)	Hasta los semáforos de Linda Vista	6,6	16,41 ± 2,31	220	30
4	Desde la Rotonda Rubén Darío (Metrocentro)	Hasta los semáforos del 7 Sur	6,1	16,74 ± 1,31	77	79,2

Con los datos obtenidos, se elaboró el Mapa 2 del brillo de la parte occidental de Managua. En la parte izquierda se presenta las mediciones con el fotómetro SQM-L obtenidos en los cuatro recorridos realizados por las principales avenidas de Managua.

La parte derecha del Mapa 2 presenta un modelo de interpolación de la densidad de brillo obtenida mediante un Kriging simple, calculado con el software estadístico R (R Core Team 2019). La densidad del brillo, en magnitud, es mayor hacia el suroeste de

Managua, lo que es normal al alejarnos de centro de la ciudad. En esa dirección disminuye la densidad de población y la cantidad de luminarias. En sentido inverso se observa que el brillo superficial disminuye hacia el centro y norte de la ciudad, coincidiendo con los lugares muy iluminados en la avenida Bolívar y la rotonda Hugo Chávez, donde presenta el máximo de iluminación. Es importante notar el mapa presenta un agujero en la parte media, donde coincide la ubicación de la laguna de Tiscapa.



Mapa 2. Izquierda: Ubicación de los datos medidos en las diferentes rutas usadas. Derecha: Mapa de iluminación del cielo debido a dispersión de Rayleigh por iluminación artificial del cielo.

Respecto a las mediciones satelitales, se extrajeron los valores sobre aquellos pixeles dentro de: 1) el área total de la ciudad de Managua (Mapa 1, línea roja continua) y 2) el área correspondiente a la zona donde se realizaron las mediciones (Mapa 1, línea azul quebrada).

Los valores en unidades de Digital Number (DN) fueron apropiadamente convertidos en magnitudes y posteriormente integrados. Cuando había existencia

de atlas que se traslapaban en el tiempo, dichos atlas fueron promediados. Con estos datos se realizaron dos series temporales, que pueden ser vistos en la Figura 1. La característica más prominente en estos gráficos es que ambos coinciden en un máximo en 2001 posteriormente a la que sigue una caída con un mínimo en 2007, tras lo cual el crecimiento del brillo vuelve a despuntar hasta el 2013, momento en el cual ya no se cuentan con nuevos datos.

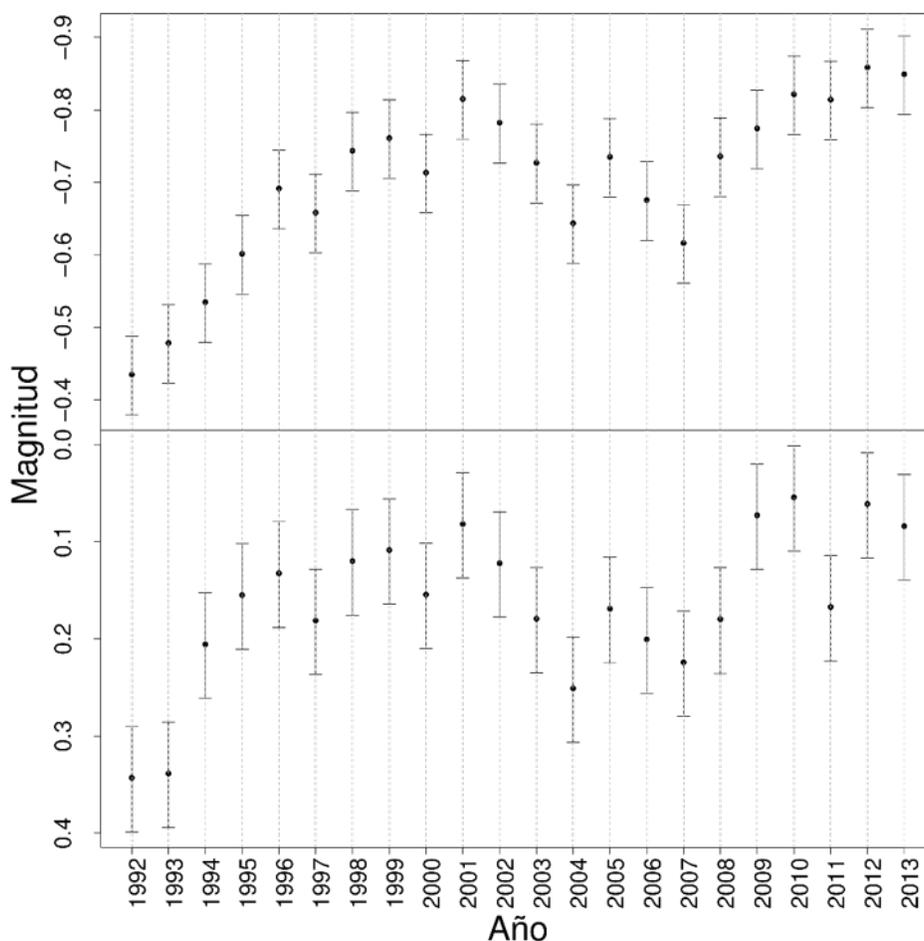


Figura 1. Series temporales de luminosidad en unidades de magnitud astronómica usando los datos DMPS/OIL. Arriba: Datos integrados para toda Managua. Abajo: Datos integrados solo para el área de estudio considerada en este trabajo.

También es notable que los datos para a región de estudio tienen una mayor dispersión que los datos que consideran a toda la ciudad. Esto es debido al tamaño considerable de un pixel de DMPS/OIL, de más de 1 km de longitud, lo que implica que dentro de este segundo grafico solo participan 44 pixeles, por lo que está sujeto a una mayor incertidumbre estadística. El mínimo de 2011 en dicho grafico es probablemente debido a esta fluctuación estadística y debe tomarse como un valor anómalo sin implicaciones para la tendencia. Los datos para toda la ciudad cuentan con 106 pixeles por lo que es menos sensible a fluctuaciones estadísticas.

Los gráficos de la Figura 1 se evidencian como la luminosidad se ha ido incrementando dentro del área de estudio. En este sentido, los datos deben ser tomados con cautela como limites inferiores. Esto es

debido a que los sensores de DMPS/OIL tienen un nivel de saturación muy bajo, alrededor de 64 Digital Numbers (DN, las unidades de medida que usa DMPS/OIL).

Efectivamente, cuando un pixel sobrepasa este límite, el sensor es incapaz de registrar luminosidades superiores en el área correspondiente. Por lo tanto, la lectura de la luminosidad dejara de ser confiable cuando todos los pixeles pasen ese nivel de saturación. Esta situación es bastante común en los datos dentro del área de Managua. Para ejemplificarlos, podemos tomar imágenes en diferentes momentos de tiempo. Se han elegido cuatro momentos de acuerdo a lo observado en la Figura 1: 1992, 2001, 2007 y 2013, por corresponder al inicio, máximo, mínimo y final del programa de observación de DMPS/OIL. Estas imágenes se pueden ver en los mapas de la Figura 2.

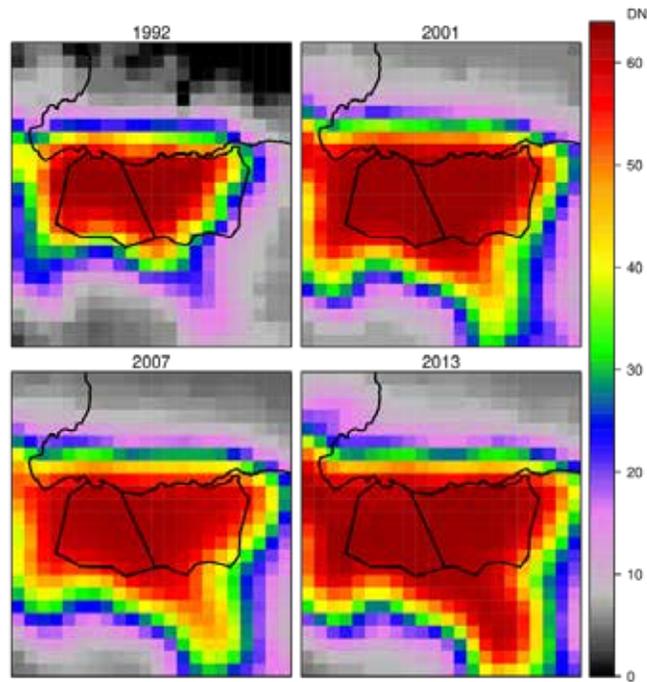


Figura 2. Evolución de la iluminación artificial en los años 1992, 2001, 2007 y 2013. Las unidades están en Digital Number (DN).

Las cuatro imágenes incluyen no solo las medidas de los sensores dentro de las regiones de interés, sino que también se puede observar la expansión que ha tenido la ciudad en términos lumínicos. La imagen de 2007 muestra que, si bien el límite lumínico de la ciudad no se contrajo en ese período, los valores

de brillo dentro de la ciudad, incluyendo el área de estudio, disminuyeron.

En la Figura 3, se muestran las diferencias de los valores de DN entre los periodos 1992 a 2001 (transición al máximo); 2001 a 2007 (transición al mínimo); 2007 a 2013; y el global de 1992 a 2013.

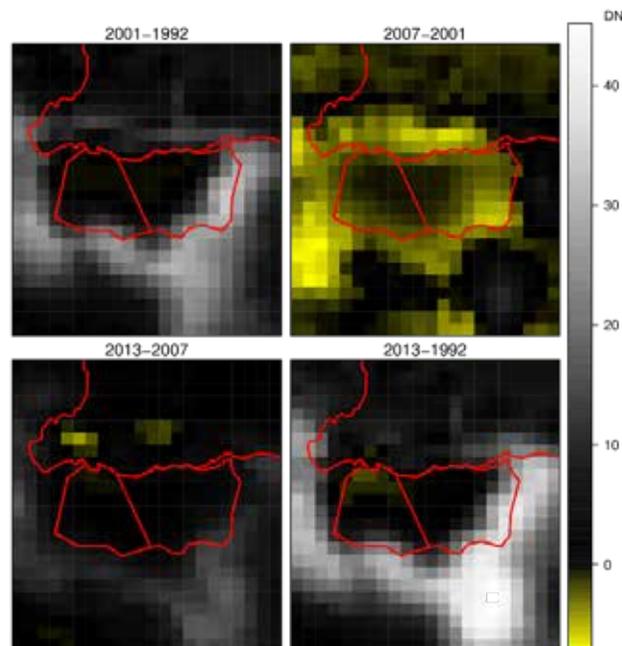


Figura 3. Diferencias en las luminosidades alcanzadas en diferentes rangos de tiempo. Unidades en DN.

Del Mapa 2, observa que los puntos azules (brillo superficial entre 17 y 18 mag/arcsec²) se concentran más hacia el lado Oeste de Managua coincidiendo que entre más nos alejamos del centro de la ciudad son valores más alto y por ende un cielo más oscuro. En cambio, los puntos claros –blancos- (brillo superficial entre 15 y 17 mag/arcsec²) se concentran mayormente en el centro de la ciudad, con algunos puntos rojos, que comprende medidas hechas muy cerca de las luminarias.

Se puede observar de la Figura 1 el mínimo de 2007 es real y tiene su origen en la agresiva política energética implementada por el gobierno de turno entre 2001 y 2007. Esta política implementó un severo racionamiento energético para combatir el alza de precios de hidrocarburos. El racionamiento energético implicó apagones escalonados que quedaron registrados en los datos de DMPS/OIL como un menor registro en el sensor entre esos años. Los apagones terminaron con el cambio de gobierno, momento desde el cual la ciudad se fue recuperando lumínicamente hablando.

De la Figura 2 y 3, se deduce que la luminosidad entre 1992 y 2001 se incrementó en su gran mayoría hacia los bordes de la ciudad. Entre 2001 y 2007 se observa una diferencia negativa que es general en todo el área, incluyendo los alrededores de la ciudad. La ciudad se recupera entre el periodo 2013 y 2007 mientras el avance lumínico de la ciudad también se extiende. Finalmente, la imagen del total entre 1992 a 2013 muestra cómo ha crecido la ciudad hacia los bordes. De este último mapa se puede observar que a pesar de las fases de decrecimiento lumínico la tendencia ha sido hacia el aumento de la luminosidad sobre todo en los bordes de Managua. Esto es coherente con el desarrollo urbanístico que la ciudad ha tenido hacia su periferia.

CONCLUSIONES

El brillo superficial promedio obtenido con el fotómetro SQM-L para la parte Oeste de Managua fue de $(16,45 \pm 1,53)$ mag/arcsec², con este dato clasificamos el cielo esa región como Resplandor de cielo urbano según la escala Unihedron y de Nivel Color Rojo según la escala

Bortle. Además, dicho valor coincide con lo reportado por Fabio et al. (2016) en el Nuevo Atlas Mundial del Brillo Artificial de Cielo Nocturno, que, para Managua registra un brillo superficial de 16,90 mag/arcsec².

Con los datos obtenidos de imágenes satélites de los satélites DMSP/OLS para 19 años de observación, se registra un incremento del brillo del cielo para la parte central de Managua y mayormente hacia la parte Sur coincidiendo con desarrollo urbanístico y crecimiento poblacional a lo largo de la carretera a Masaya. Además, de la Figura 1 se observa un aumento de brillo del cielo nocturno de Managua como parte del repunte económico que ha sufrido el país, con excepción de la caída de este registrado en el año 2006.

En general, la contaminación luminosa de Managua es ocasionada por tres factores: Primero, por las luminarias de vapor de sodio y mercurio debido a la mala ubicación y no presentan aditamento protector. Segundo, las luminarias LED las cuales tienen una mala disposición y no presentan un flujo constante. Tercero, las luminarias decorativas y las luminarias utilizadas en anuncios publicitarios es la principal fuente de contaminación lumínica, debido a su mala disposición y excesivos flujos.

Como recomendación, es necesario conformar una comisión que involucre diputados, universidades, técnicos municipales y los técnicos ENEL; a efectos de promover la creación de una ley en materia de contaminación luminosa, o como mínimo la promulgación de normas reguladora en el uso de luminarias y anuncios publicitarios.

Los instrumentos para realizar esta investigación fueron financiados por Fondos de Proyectos de Investigación (FPI), Vicerrectoría de Investigación, Dirección de Investigación de Postgrado, UNAN-Managua.

BIBLIOGRAFÍA

B Espey PhD and J McCauley M.Sc. Initial Irish light pollution measurements and a new Sky Quality Meter-based data logger. Lighting Res. Technol, 2014; Vol 45: 67-77. 2014.

- Benn, C.R., Ellison, S.L., 1998. La Palma Technical Note, p. 115.
- Birriel Jennifer, Wheatley, McMichael Christine (2010). Documenting Local Night Sky Brightness Using Sky Quality Meters: An Interdisciplinary College Capstone Project and a First
- Cinzano Pierantonio (2005). Night Sky Photometry with Sky Quality Meter. ISTIL Internal Report n. 9, v.1.4.
- Cinzano Pierantonio, Falchi F, Elvidge C. D. and Baugh E (28 May 2000). The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. arXiv:1307.2038v2 [astro-ph.IM].
- Cinzano, P., F. Falchi, and C. D. Elvidge (2001). The first world atlas of the artificial night Sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 328: 689–707
- Den Outer Peter, Lolkema Dorien, Haaima Marty, Van der Hoff Rene, Spoelstra Henk, and Schmidt Wim (2011). Intercomparisons of Nine Sky Brightness Detectors. *Sensors* ISSN 1424-8220.
- Falchi Fabio (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Sci. Adv.* 2016, 2: doi: 10.1126/sciadv. 1600377.
- Falchi Fabio (2011). Campaign of sky brightness and extinction measurements using a portable CCD camera. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 412, 33–48.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C. D., Keith, D. M. y Haim, A. (2011). Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2714-2722. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>.
- Jason Pun Chun Shing, So Chu Wing, Leung Wai Yan, Wong Chung Fai (2014). Contributions of artificial lighting sources on light pollution in Hong Kong measured through a night sky brightness monitoring network. arXiv:1307.2038v2 [astro-ph.IM].
- Kyba Christopher C. M. et al (2015). Worldwide variations in artificial skyglow. *Scientific Reports Nature* 5: 8409. DOI: 10.1038/srep0809.
- Li, Xuecao & Zhou, Yuyu (2017). A Stepwise Calibration of Global DMSP/OLS Stable Nighttime Light Data (1992–2013). *Remote Sensing*, 9(6), 637. DOI: 10.3390/rs9060637
- Nievas Miguel & Zamorano Jaime (2014). PySQM the UCM open source software to read, plot and store data from SQM photometers. LICA PySQW, V2.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Smith, M. G., Warner, M., Orellana, D., Munizaga, D., Sanhueza, P., Bogglio, H., and Cartier, R. 2008, in *Preparing for the 2009 International Year of Astronomy*, eds. M. G. Gibbs, J. Barnes, J. G. Manning, and B. Partridge, ASP Conf. Ser., 400, Astron. Soc. Pacific, San Francisco, 152.
- Soler Enric Marco, Morales Ángulo Morales. La contaminación lumínica generada por leds blancos. Informe promovido por el Grupo de Trabajo sobre contaminación lumínica. 2017.
- Zamorano Jaime, Sánchez de Miguel Alejandro, Nieve Miguel & Tapia Carlos (2014). NixNox procedure to build Night Sky Brightness maps from SQM photometers observations. LICA report October 2014 version 1.1.
- Zamorano Jaime (2011). Proyecto NIXNOX Disfrutando de los cielos estrellas de España. *Revista ASTRONOMÍA* 36-42- 142-NIXNOX NR-Abril11.