



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN LA ZONA COMERCIAL  
DE LA AV. NACIONES UNIDAS EN LA CIUDAD DE QUITO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y  
Remediación.

Profesor Guía  
M.Sc. Marco Vinicio Briceño León

Autora  
Andrea Mishell González Martínez

Año  
2019

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

"Declaro haber dirigido el trabajo, Evaluación de la contaminación lumínica en la zona comercial de la Av. Naciones Unidas en la ciudad de Quito, a través de reuniones periódicas con la estudiante Andrea Mishell González Martínez, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Marco Vinicio Briceño León

Master en Energías Renovables

CC:1715967319

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

"Declaro haber revisado este trabajo, Evaluación de la contaminación lumínica en la zona comercial de la Av. Naciones Unidas en la ciudad de Quito, de la estudiante Andrea Mishell González Martínez en el semestre 201920 dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Santiago Daniel Piedra Burgos

Master of Science in Hydro Science and Engineering

CC:1715384150

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

"Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes".

---

Andrea Mishell González Martínez

CC:1720742269

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, por las experiencias a lo largo de mi carrera, a mis padres por inculcarme valores, constancia y disciplina para alcanzar metas. A mis hermanos Pamela y Mateo por ser mi apoyo incondicional.

Al laboratorio de luminotecnia del (IIGE), en especial a los ingenieros Carlos Velásquez y Francisco Espín, por brindarme la información necesaria para la realización de mi tesis y a mis docentes Marco Briceño y Santiago Piedra, por guiarme en el desarrollo del estudio

## DEDICATORIA

A toda mi familia y en especial a mi madre Yolanda Martínez y a mi padre William González por todo el esfuerzo, amor y apoyo que me han dado durante toda mi vida, quienes han sido mi ejemplo y guía, para ser quien soy ahora. De igual manera para mis hermanos y mis amigos, quienes con sus consejos, cariño y motivación me han ayudado a alcanzar todas mis metas.

## RESUMEN

La contaminación lumínica es la alteración de niveles de iluminación nocturna causada por fuentes de luz artificial. El crecimiento urbanístico ha ocasionado el uso de iluminación artificial de manera excesiva e innecesaria en zonas de alto tránsito y comercialización de la ciudad. Produciendo efectos perjudiciales en la salud de los seres humano y alterando el equilibrio ecológico de una variedad de plantas, animales nocturnos y microorganismos, además del evidente desperdicio energético y económico.

El objetivo del estudio se basa en la evaluación de la contaminación lumínica de la Av. Naciones Unidas. Se realizó mediciones de contaminación por brillo del cielo nocturno con el medidor (SQM-LU-DL), para determinar los niveles de contaminación lumínica en el zona y mediciones en Carapungo para su comparación. Se midió iluminancia con el equipo (MAVOLUX 5032 C/B), en dos grillas seleccionadas (parque La Carolina y Quicentro Shopping), para determinar las zonas de mayor a menor valor de iluminancia. Se utilizó el software DIALux, para realizar simulaciones del nivel de iluminancia de la avenida medidos, iniciales y depreciados y con la información levantada, se comparó con los niveles de normativas nacionales e internacionales. Además, se propuso medidas de mejora para el sistema de alumbrado público de la zona.

Se determinó niveles de contaminación lumínica por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$  en la avenida y se calculó sobredimensionamiento de 50,7 veces más en el vano del parque La Carolina y 50,2 veces más en el vano del Quicentro Shopping, con respecto a los niveles de iluminancia normados. Se concluyó que, en base a las mediciones realizadas de calidad de cielo e iluminancia, el sector presenta valores elevados de contaminación lumínica debido al uso de iluminación artificial. Se propone el uso de lámparas LED, para lograr un sobredimensionamiento que cumplan con los valores establecidos en la norma, aumentando la eficiencia

energética, vida útil, menores costos de mantenimiento y disminuyendo los efectos perjudiciales a la salud de los seres humanos, la fauna y el medio ambiente por la contaminación lumínica.



## ABSTRACT

Light pollution is the alteration of night lighting levels caused by artificial light sources. Urban growth has caused the use of artificial lighting unnecessarily and excessively in areas of high traffic and commercialization of the city. Producing harmful effects on health of human beings and altering the ecological balance of a variety of plants, nocturnal animals and microorganisms, in addition to the evident energy and economic waste.

The objective of the study is based on the evaluation of light pollution caused in "Naciones Unidas Avenue". It was made pollution measurements by brightness of the night sky with the meter (SQM-LU-DL), to determine the levels of light pollution in the area and measurements in Carapungo for comparison. Illuminance was measured with the equipment (MAVOLUX 5032 C / B), in two selected grids (La Carolina park and Quicentro Shopping), to determine the areas of highest to lowest illuminance value. The DIALux software, to perform simulations of the measured, initial and depreciated levels of illuminance of the avenue, and with the information gathered, those simulations were compared with the levels of national and international regulations. In addition, improvement measures were proposed for the public lighting system in the area.

Light contamination levels below 17.95 mag / arcsec<sup>2</sup> were determined in the avenue and an over dimensioning of 50.7 times more was calculated in the La Carolina park and 50.2 times more in the space of the Quicentro Shopping, with respect to at normed levels of illuminance. It was concluded that based on the measurements made of sky quality and illuminance, the sector presents high values of light pollution due to the use of artificial lighting. The use of LED lamps was proposed, in order to achieve an oversizing that complies with the values established

in the standard, increasing energy efficiency, useful life, lower maintenance costs and reducing the harmful effects on human health, fauna and the environment by light pollution.

# ÍNDICE

1. Capítulo I. Introducción .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Marco Referencial .....	2
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Alcance .....	3
1.5. Justificación.....	4
2. Capítulo II Marco Teórico .....	5
2.1. Contaminación Lumínica .....	5
2.2. Tipos de Contaminación Lumínica .....	6
2.3. Efectos de la Contaminación Lumínica .....	7
2.4. Flujo Luminoso.....	8
2.5. Intensidad Luminosa.....	8
2.6. Iluminancia .....	9
2.7. Brillo del cielo nocturno .....	10
2.8. Equipos de medición.....	10
2.9. Niveles de contaminación de calidad de cielo.....	14
2.10 Normativas .....	15
2.11 Contaminación Lumínica en el Ecuador.....	16

2.12 Tipos de lámparas y luminarias empleadas en el alumbrado público .....	17
2.12.1 Lámparas .....	17
2.12.2. Luminarias .....	21
2.12.3. Lámpara Schreder Ámbar 2 y 3 (Vapor de Sodio de Alta Presión) .....	22
2.13. Curvas Fotométricas .....	23
2.13.1. Diagrama Polar.....	23
2.13.2. Clasificación de luminarias según la fotometría.....	24
2.14. Alternativas de uso para el alumbrado público .....	25
2.14.1. Lámparas LED .....	25
3. Capítulo III Metodología.....	26
3.1. Flujograma de trabajo .....	26
3.2. Descripción del área de estudio .....	26
3.3. Selección de equipos de medición .....	27
3.4 Instalación y medición del brillo del cielo nocturno. ....	28
3.4.1. Prueba de transmisión de luz.....	28
3.4.2. Instalación del medidor (SQM-LU-DL).....	29
3.4.3. Cálculo de los niveles de contaminación (SQM). ....	30
3.5. Medición de iluminancia en la Av. Naciones Unidas.....	32
3.5.1. Identificación y cálculo de la grilla de iluminancia.....	32
3.5.2. Medición de iluminancia en las grillas seleccionadas.....	35
3.6. Simulación del mapa de contaminación lumínica mediante el programa (DIALux) .....	36
4. Capítulo IV Resultados y Discusión .....	37

4.1. Resultados SQM calidad del cielo .....	37
4.2. Resultados de Iluminancia en la Av. Naciones Unidas .....	45
4.2.1. Vano de medición parque La Carolina.....	45
4.2.2. Vano de medición Quicentro Shopping .....	47
4.3. Matriz de intensidad luminosa y curvas polares.....	48
4.4. Resultado de la simulación en DIALux de la Av. Naciones Unidas .....	53
4.4.1. Simulación de iluminancia inicial .....	53
4.4.2. Simulación de depreciación luminosa. ....	54
4.5 Mapa de zonificación de puntos críticos de contaminación lumínica.....	59
4.6. Discusión.....	65
4.6.1. Comparación con normativas nacionales e internacionales .....	65
4.6.2. Calidad de cielo Av. Naciones Unidas y Carapungo .....	69
4.6.3. Mediciones contaminación lumínica.....	70
4.6.4. Uso de lámparas LED en el alumbrado público. ....	71
5. Conclusiones y Recomendaciones .....	74
5.1. Conclusiones.....	74
5.2. Recomendaciones .....	76
REFERENCIAS.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Rango de medición SQM-LU-DL.....	11
<i>Figura 2.</i> Medidor de calidad de cielo nocturno (SQM-LU-DL).....	11
<i>Figura 3.</i> Luxómetro MAVOLUX 5032 C/B .....	12
<i>Figura 4.</i> Lámparas LED .....	25
<i>Figura 5.</i> Flujograma de trabajo .....	26
<i>Figura 6.</i> Av. Naciones Unidas en la ciudad de Quito .....	27
<i>Figura 7.</i> Carcasa cilíndrica (SQM-LU-DL).....	28
<i>Figura 8.</i> Transmisión del vidrio de prueba. ....	29
<i>Figura 9.</i> Instalación del medidor (SQM-LU-DL) .....	30
<i>Figura 10.</i> Grilla de medición de iluminancia.....	33
<i>Figura 11.</i> Vano de medición parque La Carolina y Quicentro Shopping.....	34
<i>Figura 12.</i> Mediciones nocturnas de iluminancia.....	35
<i>Figura 13.</i> Diseño para la simulación Av. Naciones Unidas. ....	36
<i>Figura 14.</i> Diseño para la simulación parque La Carolina.....	37
<i>Figura 15.</i> Diseño para la simulación Quicentro Shopping.....	37
<i>Figura 16.</i> Datos SQM Av. Naciones Unidas.....	38
<i>Figura 17.</i> Datos diarios SQM Av. Naciones Unidas. ....	39
<i>Figura 18.</i> Datos reporte mensual de radiación solar. Secretaría del Ambiente....	40
<i>Figura 19.</i> Promedio de los datos SQM Av. Naciones Unidas. ....	40
<i>Figura 20.</i> Promedio de los datos SQM (Lunes- Viernes) en la Av. Naciones Unidas. ....	41
<i>Figura 21.</i> Promedio de los datos SQM (Sábado-Domingo) en la Av. Naciones Unidas. ....	42
<i>Figura 22.</i> Histograma de datos SQM Av. Naciones Unidas.....	43
<i>Figura 23.</i> Datos SQM de Carapungo. ....	44
<i>Figura 24.</i> Promedio de datos SQM (Lunes- Viernes) en Carapungo.....	44
<i>Figura 25.</i> Promedio de datos SQM (Sábado-Domingo) en Carapungo. ....	45

<i>Figura 26.</i> Diagrama polar SCHREDER AMBAR 2. SON-T+150W.....	49
<i>Figura 27.</i> Diagrama polar 3D SCHREDER AMBAR 2. SON-T+150W.....	49
<i>Figura 28.</i> Diagrama polar SCHREDER AMBAR 3. SON-T+400W.....	50
<i>Figura 29.</i> Diagrama polar 3D SCHREDER AMBAR 3. SON-T+400W.....	51
<i>Figura 30.</i> Diagrama polar SCHREDER AMBAR 3 SON-T+250W.....	52
<i>Figura 31.</i> Diagrama polar 3D SCHREDER AMBAR 3 SON-T+250W.....	52
<i>Figura 32.</i> Resultados de la simulación de iluminancia inicial.....	53
<i>Figura 33.</i> Resultados de la simulación de iluminancia inicial.....	54
<i>Figura 34.</i> Resultado de la simulación por depreciación luminosa.....	58
<i>Figura 35.</i> Resultado de la simulación por depreciación luminosa.....	59
<i>Figura 36.</i> Mapa de contaminación lumínica Av. Naciones Unidas(SQM). .....	60
<i>Figura 37.</i> Mapa de contaminación lumínica Carapungo (SQM). .....	60
<i>Figura 38.</i> Mapa Av. Naciones Unidas. Grillas de medición.....	61
<i>Figura 39.</i> Mapa de puntos críticos. Grilla parque La Carolina.....	62
<i>Figura 40.</i> Mapa puntos críticos. Grilla Quicentro Shopping. ....	63
<i>Figura 41.</i> Representación por colores de iluminancia parque La Carolina. (DIALux). .....	64
<i>Figura 42.</i> Representación por colores de iluminancia Quicentro Shopping. (DIALux) .....	64
<i>Figura 43.</i> Promedio de datos SQM (Av. Naciones Unidas- Carapungo).....	70
<i>Figura 44.</i> Simulación de lámparas Ampere mini LED parque La Carolina.....	73
<i>Figura 45.</i> Simulación de lámparas Ampere mini LED Quicentro Shopping.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Parámetros para la selección de la clase de iluminación (P)</i> .....	12
Tabla 2. <i>Parámetros fotométricos para áreas peatonales</i> .....	14
Tabla 3 <i>Niveles de contaminación por brillo del cielo nocturno</i> .....	14
Tabla 4. <i>Tipos de lámparas</i> .....	17
Tabla 5. <i>Características de lámparas Schreder Ámbar 2 y 3</i> .....	22
Tabla 6. <i>Tipos de luminarias según la fotometría</i> .....	24
Tabla 7. <i>Valores obtenidos (mag/arcsec<sup>2</sup>)</i> .....	31
Tabla 8. <i>Escala de contaminación propuesta por brillo del cielo nocturno</i> .....	31
Tabla 9. <i>Valores de iluminancia parque L a Carolina</i> .....	46
Tabla 10. <i>Valores de iluminancia Quicentro Shopping</i> .....	47
Tabla 11. <i>Valores de ponderación seleccionados</i> .....	65
Tabla 12. <i>Clases de iluminación para zonas peatonales</i> .....	66
Tabla 13. <i>Clase de alumbrado para viales tipo C, D y E</i> .....	67
Tabla 14. <i>Valores de iluminancia para vías peatonales</i> .....	67
Tabla 15. <i>Valores de iluminancia y sobredimensionamiento</i> .....	68



## **1.Capítulo I. Introducción**

### **1.1. Antecedentes**

La luz se considera la mayor fuente de energía y su importancia radica en la necesidad para el desarrollo de la vida sobre el planeta. Funciones biológicas de animales y plantas, regulación climatológica, producción de alimentos, son ejemplos de su existencia fundamental sobre el planeta. Desde un punto de vista físico, la luz tiene la particularidad de ser dual, se caracteriza por ser una onda electromagnética y su estructura se encuentra conformada por pequeños fotones que tienen la capacidad de desplazarse a 300 mil km/s. (García, San Martín y Solano, 2012)

La aparición de la civilización inicia en función a la luz, en la antigüedad mediante el fuego y en la actualidad por la electricidad, la cual ha permitido la expansión hacia la tecnología. Es a partir de entonces, que el mundo se ha ido iluminando con luz eléctrica. La utilización de lámparas hoy en día, es indispensable en calles, anuncios, parques, estacionamientos, etc. Es por tanto, que la luz artificial se ha convertido en un punto beneficioso en la sociedad. Sin embargo, cuando esta luz se vuelve ineficiente, innecesaria, comienza a causar grandes molestias a la salud humana y ocasiona efectos negativos en el medio ambiente, se la conoce como contaminación lumínica. Se considera a la contaminación lumínica como una contaminación más generalizada y que ha ido creciendo rápido en el transcurso del tiempo. (Chepesiuk,2010).

La contaminación lumínica puede causar daños en la salud del ser humano y a la flora y fauna a nivel mundial, de acuerdo a Richard Stevens, profesor y epidemiológico de cáncer de la Universidad de Connecticut en Farmington. Indica que los fotones de luz, deben ingresar a la retina para que cause un efecto biológico. Sin embargo, la acumulación de luz artificial en la noche en algunos lugares de la

ciudad, se ha convertido en excesivas e innecesarias, llegando a causar enfermedades en los seres humanos, no solo afectando la retina directamente sino también causando alteración del ritmo circadiano a causa de los fotones de la luz. (Chepesiuk,2010).

En 1972, se realizó la Conferencia de Estocolmo dictado por las Naciones Unidas acerca del Medio Ambiente, siendo su principal objetivo la concientización de los gobiernos sobre la destrucción y daño ambiental. Mediante una declaración, se destacó la protección y mejora del medio ambiente humano, debido a que la contaminación afecta directamente al bienestar de los seres humanos, al desarrollo económico y al medio ambiente.(Antero y Ramírez, 2014). La protección del medio ambiente se ve asociada a la contaminación atmosférica, de suelo, agua, niveles de ruido y de residuos. Sin embargo, la protección del cielo nocturno es un tema que se debe considerar en la actualidad. La iluminación artificial de calles, edificios, carreteras, parques, etc. Causan degradación del firmamento y por consecuencia afecta a especies animales y vegetales de ciclos de vida nocturnos. La contaminación lumínica y la eficiencia energética son dos parámetros que siempre se deben considerar para la colocación y diseño del alumbrado público, con el fin de concientizar a la sociedad hacia la protección ambiental y el ahorro energético, evolucionando hacia una sociedad cada vez más sostenible. (Cinzano, Elvidge, Falchi, Haim y Keith, 2011).

## **1.2. Marco Referencial**

La utilización de luz artificial para iluminar calles, edificios, anuncios publicitarios, etc. Ocasiona la contaminación lumínica, una alteración de niveles de luz natural por el uso de luz artificial, que causa afectaciones no solo en la salud de las personas sino también al medio ambiente (calidad de cielo, plantas, animales nocturnos, microorganismos, etc.). Sin embargo, el desarrollo de la sociedad hace que se utilice mayor cantidad de luz artificial haciendo que la noche cada vez se vuelva más luminosa.

Entre los principales efectos que produce la contaminación lumínica, se encuentra el gasto de energía al utilizar cantidades excesivas de luz artificial. Daños en la salud de las personas ocasionando alteraciones en el ritmo circadiano incluyendo insomnio, enfermedades cardiovasculares y cáncer. Impactos ambientales. Siendo el mayor daño que se produce en la fauna y flora como aves, insectos y plantas, alterando los ciclos de migración, apareamiento y polinización en lugares más iluminados. (Chepesiuk,2010).

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar la contaminación lumínica en la zona comercial de Av. Naciones Unidas en la ciudad de Quito.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la contaminación de cielo nocturno (SQM).
- Analizar el cumplimiento de la normativa al uso de iluminación artificial.
- Desarrollar un mapa de zonificación de puntos críticos de contaminación lumínica.

### **1.4. Alcance**

Este estudio pretende realizar una evaluación de la contaminación lumínica en la Av. Naciones Unidas. Para esto, se analizó el cumplimiento de la normativa al uso de iluminación artificial en comparación con normativas nacionales e internacionales y se desarrolló un mapa de zonificación determinando los puntos críticos presentes en la zona para proponer medidas de mejora al uso de iluminación artificial.

## 1.5. Justificación

La actividad humana ha ocasionado alteraciones en el medio que lo rodea con el paso del tiempo, los cielos nocturnos no son la excepción, debido al crecimiento urbanístico, se vuelven más brillantes cada vez por el uso de iluminación artificial, el fenómeno se conoce como contaminación lumínica y es la emisión del flujo luminoso en direcciones, intensidades, rangos espectrales y uso en horarios innecesarios de una fuente artificial. El resultado de la contaminación lumínica no solo afecta en la astronomía, sino que afecta a los ecosistemas terrestres y acuáticos, además de la salud de los seres humanos. (Pastrana,2012).

El presente proyecto de investigación pretende evaluar la contaminación lumínica como problemática actual existente en una zona de alto tránsito y comercialización como es la Av. Naciones Unidas en la ciudad de Quito, donde se evidencia la presencia de este tipo de contaminación, por lo cual debe ser investigado.

El objetivo trascendental de la investigación se basa en la evaluación de la contaminación lumínica, para dar un nuevo enfoque hacia la importancia del abuso de luz artificial por parte de centros comerciales, locales comerciales además del alumbrado público y anuncios publicitarios presentes en el sector. Debido al escaso tratamiento e investigación que se le ha dado al tema se propone su análisis y medidas de mejora y control al uso de iluminación artificial para beneficio directo en la salud de las personas y el medio ambiente.

Se debe considerar los efectos que produce la contaminación lumínica en la ciudad, siendo la causa de muchas afectaciones en la salud de las personas al exponerse a la luz artificial capaz de excitar la foto sensores humanos ocasionando alteración de ritmo circadiano, problemas de sueño y cáncer. El exceso de luz artificial hacia el medio ambiente afecta directamente a la flora y fauna de zona, en las ciudades afectando a los animales como aves, insectos y a las plantas y alterando significativamente los ciclos biológicos de los mismos. Además del evidente gasto

energético que se produce al utilizar la luz artificial de manera innecesaria. (Baugh et al., 2016).

## **2. Capítulo II Marco Teórico**

### **2.1. Contaminación Lumínica**

La contaminación lumínica es la alteración de los niveles de iluminación natural nocturna causados por fuentes de luz artificial. Una de las formas más representativas de contaminación lumínica es el resplandor del cielo, que es el resultado de la luz que se proyecta hacia arriba y se dispersa a la superficie de la Tierra, parte de esta luz que es emitida por fuentes de luz artificial se dirige hacia arriba y otra contribuye al resplandor del cielo. (Narisada y Schreuder, 2004).

La contaminación lumínica es uno de los tipos de degradación ambiental que va aumentando más rápidamente. Los niveles han ido creciendo exponencialmente sobre los niveles de iluminación nocturna natural proveniente de las estrellas y la luna. (Cinzano et al., 2011).

De acuerdo a las noticias mensuales de la Real Sociedad Astronómica, publicado en el 2001, dos tercios de la población de Estados Unidos y la mitad de la población de Europa han perdido la capacidad de observar la Vía Láctea de forma directa. 98% de la población de la Unión Europea y de los Estados Unidos, además de 63% de la población mundial, se encuentran en áreas donde la luminosidad del cielo nocturno es superior a los niveles establecidos como contaminación lumínica según la Unión Astronómica Internacional. De esta manera, la contaminación lumínica producida por fuentes artificiales sobrepasa más de 10% la del cielo natural en una elevación por encima de 45 °.(Chepesiuk, 2010).

La demanda de iluminación nocturna, aumenta el consumo de energía de manera continua año a año, algunas de las cuales se usan de manera ineficiente, resultando en una sobre iluminación del cielo nocturno, causado principalmente por la rápida

industrialización y modernización en regiones densamente pobladas. Factores como el estado físico real de la atmósfera y el reflejo de iluminación artificial causada por objetos, superficies del suelo, calles, carteles publicitarios y edificios es necesario considerar para la determinación de la contaminación lumínica en una zona. Por tanto, depende de formas, tamaños, distribución espacial, características espectrales y patrones radiativos de fuentes de luz vecinas. Todos estos factores influyen en la radiación y luminosidad espectral del cielo. (Kocifaj, 2011)

## **2.2. Tipos de Contaminación Lumínica**

La luz artificial excesiva o intrusiva causada por el mal diseño de iluminación se conoce como contaminación lumínica y se puede apreciar como deslumbramiento, brillo del cielo y luz intrusa. (Gallaway, Mitchell y Olsen , 2010).El deslumbramiento ocurre cuando dentro del campo de visión el valor de luminancia es excesivo o al aparecer objetos excesivamente brillantes en relación al entorno, ocasionando la incapacidad del ojo para adaptarse a extremas intensidades de luminancia. El deslumbramiento directo, se da por luminarias brillantes en el campo de visión y el deslumbramiento reflejado, por espejos, superficies acristaladas, etc. De igual manera, existe el deslumbramiento molesto, incómodo, pero que no impide la visión y el deslumbramiento perturbador que interfiere en la visión o distinción de objetos. Hay otro tipo de contaminación lumínica que debe ser considerado, el brillo del cielo, que es el resultado de la luz que se proyecta hacia arriba y luego se dispersa hacia la superficie de la tierra, produciendo un velo que dificulta las observaciones astronómicas nocturnas. Las dos fuentes del brillo del cielo nocturno, provienen del brillo natural del cielo, producido por la radiación de astros y fuentes celestes y el brillo artificial del cielo, que proviene de las fuentes de radiación artificial, que emiten la luz directamente hacia la superficie causando polución lumínica.(Narisada y Schreuder, 2004).La luz intrusa, se refiere a la invasión de luz artificial, que causa molestias y perjuicios a zonas adyacentes. La invasión de la luz procedente de alumbrado público, proyectores de iluminación de zonas industriales o comerciales

invaden las viviendas, perturbando el descanso nocturno y produciendo fatiga y estrés.(Peña, 2010)

### **2.3. Efectos de la Contaminación Lumínica**

La definición de contaminación lumínica se basa en la afectación del medio natural que es ocasionada por la iluminación artificial nocturna. Estas afectaciones son la luz intrusa en medios naturales oscuros, resplandor luminoso en cielo nocturno, deslumbramiento y consumo energético. Los efectos producidos por la carencia de oscuridad se dan sobre ámbitos como el cielo nocturno, el hábitat humano y espacios naturales. La dispersión de la luz, aumenta la claridad del fondo celeste del cielo, superando el brillo de las estrellas e impidiendo su visión. De esta manera, la contaminación lumínica constituye un limitante en el desarrollo de la astronomía, dificultando la aportación científica de esta en la sociedad, que contribuye en la valoración y conservación de un patrimonio cultural común para la humanidad (García, Francia, San Martín y Solano, 2012). En la salud del ser humano, la contaminación lumínica es considerada una fuente de molestia, según la Organización Mundial de la Salud, la molestia se describe como un sentimiento de disgusto que se ve asociado a cualquier agente o condición que afecta adversamente a un individuo o grupo (Narisada y Schreuder, 2004). La perturbación del ritmo día-noche por la luz artificial, tiene un efecto perjudicial en el ritmo circadiano, insomnio y enfermedades cardiovasculares en las personas, estudios actuales de cronobiología demuestran que progresivamente, estas alteraciones del ritmo natural de la luz afectan directamente sobre la salud humana. En los espacios naturales, la contaminación lumínica cambia las condiciones de muchos organismos como plantas, animales nocturnos y microorganismos, afectando el equilibrio ecológico. Condiciones como la alimentación, reproducción y relación depredador-presa se ven alteradas además, de la extinción de varias especies. (García et al., 2012).

La exposición de luz artificial de manera prolongada, impide que algunas especies de árboles se adapten a variaciones estacionales, afectando de esta manera a la

flora y fauna que dependen de estos para su hábitat natural. De acuerdo a diversas investigaciones, aves, tortugas, peces y reptiles, indican que la contaminación lumínica altera los ciclos de reproducción, comportamiento y áreas de recolección y caza, no solo en zonas rurales sino también en los centros urbanos. (Chepesiuk, 2010)

#### **2.4. Flujo Luminoso**

Considerando que la luz es la radiación visible al ojo humano, se define el flujo luminoso como la radiación de una cantidad de energía luminosa proveniente de la fuente cada segundo. Entendiendo al flujo luminoso, como la potencia de energía luminosa emitida por una fuente de luz artificial.

La unidad del flujo luminoso es el lumen, su potencia corresponde de 1/680 vatios en una longitud de onda de 555 nanómetros, que es la longitud de onda donde el ojo humano muestra la máxima sensibilidad. (García, 2015)

La parte del flujo luminoso que se emite más allá del haz de luz, se desperdicia en diferentes direcciones. Esto significa, que la cantidad de flujo luminoso que no emite directamente la luz hacia los objetos a iluminar, se pierde en direcciones innecesarias, aumentando así la contaminación lumínica y disminuyendo la eficiencia fotométrica de los sistemas de iluminación. (Narisada y Schreuder, 2004)

#### **2.5. Intensidad Luminosa**

Fuentes naturales como el sol, emiten luz en diferentes direcciones y velocidades, de igual manera, la luz artificial de acuerdo a la fuente que proporciona energía, emite luz en diferentes direcciones y se relaciona con la intensidad. Por tanto, la intensidad luminosa, es la intensidad de la luz que se emite desde la propia fuente. (Narisada y Schreuder, 2004).

La intensidad luminosa, tiene como símbolo ( $I$ ) y la unidad de medida es la candela (cd). Si una iluminaria irradia luz de manera uniforme, en la misma dirección, el flujo



luminoso se distribuiría de manera de esfera. Sin embargo, esto no sucede. Por lo tanto, es indispensable la medición de valor de los lúmenes que se emiten en cada dirección, estas direcciones se representan en magnitudes y vectores que indican la intensidad luminosa, de esta manera, el flujo luminoso es emitido en dirección de un punto determinado.

El flujo luminoso emitido por una unidad de ángulo sólido, se lo conoce como intensidad luminosa. Una luminosidad lumen es igual al flujo luminoso emitido por una lámpara de intensidad en ángulo sólido de un estereorradián. (Enríquez,2012).

## **2.6. Iluminancia**

La iluminancia (E) es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie dada. Su unidad es el lux = lumen/m<sup>2</sup>.(García et al., 2012).

La iluminancia en exteriores, depende de la ubicación de las luminarias, la dirección del flujo luminoso, lo que varía de manera notable con respecto a la superficie a iluminar. Por lo que, se determina el área de trabajo a iluminar, para la disposición espacial de las luminarias y su utilidad. Si la superficie está ubicada horizontalmente se la conoce como iluminancia horizontal (E<sub>h</sub>) y si está ubicado verticalmente, se llama iluminancia vertical (E<sub>v</sub>). Para la caracterización de las instalaciones de iluminación exterior, la iluminancia media es un parámetro crucial, esto se debe a que la distribución de iluminancia de cualquier área horizontal o vertical, el flujo luminoso que incide sobre esta no es uniforme, por esta razón la iluminancia promedio se considera necesaria para la medición. (Narisada y Schreuder, 2004).

Por otro lado, si la distribución de la iluminancia es extraordinariamente no unificada, la iluminancia promedio no es suficiente para realizar la caracterización de las luminarias. Por lo tanto, algunas normas recomiendan tanto para luminarias en interiores como exteriores calcular aparte de la iluminancia media, realizar mediciones del mínimo dividido por el promedio (E<sub>min</sub>/E<sub>m</sub>).

## 2.7. Brillo del cielo nocturno

El brillo del cielo es el resultado del reflejo de la radiación (visible y no visible), dispersado en la atmósfera (moléculas de gases, aerosoles y material particulado).

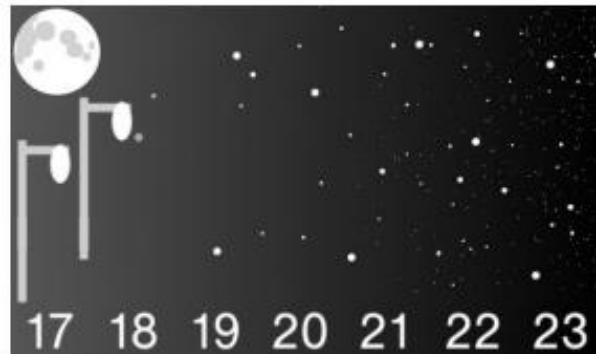
Se consideran dos tipos de fuentes de brillo del cielo:

- Resplandor natural del cielo, es parte del brillo del cielo que es atribuido a la radiación de fuentes celestes y procesos luminiscentes en la superficie atmosférica de la tierra.
- Resplandor artificial del cielo, es parte del brillo del cielo que es atribuido a fuentes de radiación hechas por el hombre (iluminación eléctrica), incluyendo la radiación que es emitida directamente hacia arriba y la radiación que es reflejada a la superficie de la tierra.

El brillo del cielo es causado por la dispersión de la luz eléctrica en la atmósfera, particularmente de la iluminación exterior en áreas urbanas. Atribuida por factores como: (crecimiento urbano/suburbano, diseños de iluminación que ignoran los cálculos de deslumbramiento y precaución, inapropiada selección e instalación de equipos de iluminación). (IESNA, 2011).

## 2.8. Equipos de medición

El medidor de calidad de cielo (SQM, "*Sky Quality Meter*"), es un fotómetro que mide el brillo del cielo nocturno de forma estandarizada. Realiza medidas continuas (cada 5 minutos) durante la noche y mide principalmente una región angular del cielo que abarca un cono de  $20^\circ$ . (Pastrana, 2012). El medidor SQM-LU-DL proporciona lecturas en magnitudes por segundo de arco cuadrado (mags/arcsec<sup>2</sup>), que es una medida logarítmica, que significa que grandes cambios en el brillo del cielo nocturno implica pequeños cambios numéricos (Figura 1). (Unihedron, 2019).



*Figura 1.* Rango de medición SQM-LU-DL

Tomado de (Unihedron, 2019).

El modelo que se utilizó (SQM-LU-DL), de la marca (Unihedron). Entre sus características está el reporte de las mediciones en magnitudes por segundo de arco cuadrado, filtro de bloqueo de infrarrojos, medición de temperatura, lecturas de precisión incluso en los lugares más oscuros, conectividad USB, el valor medio de la sensibilidad angular es ( $10^\circ$ ), el máximo ( $20^\circ$ ), la sensibilidad en una fuente puntual ( $20^\circ$ - $40^\circ$ ), tiempo máximo y mínimo de muestreo de la luz (80 segundos-1 segundo).(Unihedron, 2019)



*Figura 2.* Medidor de calidad de cielo nocturno (SQM-LU-DL)

El luxómetro (MAVOLUX 5032C/B), se utiliza para la medición de iluminancia en áreas de comercio, industria e investigación. El luxómetro tiene células fotoeléctricas que al captar la luz la transforma en impulsos eléctricos los que se representan en escala de luxes. (Gossen, 2010).

Contiene un filtro de corrección que se encuentra integrado al sensor, por lo que se puede medir con precisión todas las características de luz sin tomar en cuenta factores de corrección. Es utilizado como medidor para instalaciones de sistemas de iluminación, monitorización y comprobación. Cuenta con un adaptador de luminancia como accesorio opcional. Máxima precisión en las mediciones, amplio rango de medida, corrección del coseno, uso frecuente, confortable y memoria permanente son características de este medidor.(GOSSEN, 2010)



*Figura 3. Luxómetro MAVOLUX 5032 C/B*

Tomado de (GOSSEN, 2010)

Los parámetros relevantes para la selección de una clase de iluminación (P), áreas de tráfico peatonal o de baja velocidad se indica en la *Tabla 1*. Destinados a peatones, ciclistas, carreteras residenciales, calles peatonales y lugares de estacionamiento en la norma CIE 115-2010.

Tabla 1.

*Parámetros para la selección de la clase de iluminación (P)*

Parámetro	Opciones	Valor de Ponderación (VP)	Vp seleccionado
Velocidad	Baja	1	
	Muy Baja	0	
	Elevado	1	

Volumen de Tráfico	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy Bajo	-1	
Composición de Tráfico	Peatones, ciclistas y tráfico motorizado	2	
	Peatones y tráfico motorizado	1	
	Peatones y ciclistas solamente	1	
	Peatones solamente	0	
	Ciclistas solamente	0	
Vehículos Parqueados	Se permite	0,5	
	No se permite	0	
Iluminación Ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Reconocimiento Facial	Necesario	Requerimientos adicionales	
	No necesario	No requerimientos adicionales	
			$\Sigma Vps$

Tomado de (CIE, 2010)

Para la determinación de la clase de iluminación (P) a aplicar, se deben seleccionar y agregar los valores de ponderación apropiados en la *Tabla 1* de acuerdo a los diferentes parámetros para encontrar la suma de los valores de ponderación. El número de la clase de iluminación tipo P se calcula como:

$$P = 6 - \Sigma Vps \quad (\text{Ecuación 1})$$

Si el resultado no es un número entero, se aproxima al menor valor del sumatorio.

En la *Tabla 2*, se indica los parámetros fotométricos para áreas peatonales, de acuerdo a las clases de iluminación y la iluminación horizontal en luxes del promedio y mínimo de los valores establecidos en la norma CIE115-2010.

Tabla 2.

*Parámetros fotométricos para áreas peatonales*

<b>Clases de Iluminación</b>	<b>Iluminancia horizontal media Eh, av (lx)</b>	
P1	15	3,0
P2	10	2,0
P3	7,5	1,5
P4	5,0	1,0
P5	3,0	0,6
P6	2,0	0,4




Tomado de (CIE, 2010).

**2.9. Niveles de contaminación de calidad de cielo**

De acuerdo al nuevo atlas mundial del brillo artificial del cielo nocturno publicado por (Baugh et al., 2016), *Tabla 3*, se indica los niveles de color utilizados en los mapas en base a escalas de ( $\mu\text{cd}/\text{m}^2$ ,  $\text{mcd}/\text{m}^2$ ). La primera columna proporciona la relación entre el brillo artificial y brillo natural del cielo de fondo, la segunda columna el brillo artificial en ( $\mu\text{cd}/\text{m}^2$ ), asumiendo ( $1,74 \mu\text{cd}/\text{m}^2$ ), la tercera columna indica la aproximación, asumiendo un fondo natural de ( $22 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ ), el brillo total ( $\text{mcd}/\text{m}^2$ ) y la cuarta y quinta columna muestra los colores desde el más oscuro al más claro.

Tabla 3

*Niveles de contaminación por brillo del cielo nocturno.*

<b>Ratio to natural brightness</b>	<b>Artificial brightness (<math>\mu\text{cd}/\text{m}^2</math>)</b>	<b>Approximate total brightness (<math>\text{mcd}/\text{m}^2</math>)</b>	<b>Color</b>
<0.01	<1.74	<0.176	
0.32-0.64	55.7-111	0.230-0.285	
2.56-5.12	445-890	0.619-1.065	

10.2-20.5	1780-3560	1.96-3.74	
>41	>7130	>7.30	

Adaptado de (Baugh et al., 2016)

## 2.10 Normativas

Normativa CIE 140-2000 “Métodos de cálculo para la iluminación de vías”, es una instrucción técnica, que indica el procedimiento para la elaboración de grillas para la toma de datos, sea de luminancia o iluminancia, reduciendo de esta manera los errores y el tiempo en la toma de datos. (CIE, 2000)

Regulación No. CONELEC 005/14. El Directorio del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, esta norma tiene como objetivo normar condiciones técnicas, económicas y financieras para prestar el servicio de alumbrado público con calidad, eficiencia y precio justo. (CONELEC, 2015)

REAL DECRETO 1890/2008. Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, tiene como objetivo establecer técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento de las instalaciones de alumbrado exterior, lo que permite mejorar la eficiencia, ahorro energético, limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir luz molesta o intrusa (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008)

CIE 115-2010 “Alumbrado de carreteras para tráfico de peatones y motores”, desarrolla un modelo estructurado para la selección de clases de iluminación (M, C y P), en relación a conceptos de luminancia o iluminación. Aplicando variables como tiempo, volumen de tráfico, condiciones climáticas y la posibilidad de usar sistemas de iluminación adaptables. (CIE, 2010)

Illuminating Engineering Society (IES) “*Roadway Lighting*”, es una guía que tiene como propósito el diseño de iluminación fija para las carreteras, calles, carriles para

bicicletas y para vías peatonales. El diseño de sistemas de iluminación en América del Norte para peatones y caminos para bicicletas. (IES,2014).

## **2.11 Contaminación Lumínica en el Ecuador**

La Contaminación Lumínica en la actualidad es una nueva forma de polución a nivel mundial, que conlleva a consecuencias perjudiciales tanto para los seres vivos como para el medio ambiente. En Ecuador la contaminación lumínica es una problemática que se puede percibir en varios lugares de las diferentes ciudades, principalmente por el uso innecesario y excesivo de iluminación por parte de edificios, anuncios publicitarios y alumbrado público que afecta directamente a la economía, a la eficiencia energética, salud de los seres vivos y al medio ambiente.

A pesar de los beneficios que la luz artificial implica en el desarrollo de la sociedad, la contaminación lumínica puede causar graves problemas medio ambientales (alteración de ciclos vitales, ecosistemas), salud de los seres humanos (alteración en ciclos circadianos, insomnio y enfermedades cardiovasculares), además del despilfarro económico.

En la ciudad de Quito esta problemática se puede evidenciar en las zonas más transitadas y de mayor comercio como es la Av. Naciones Unidas. Cuenta con calles para peatones y ciclistas, centros comerciales, algunas viviendas y el parque La Carolina.

El laboratorio de Luminotecnia del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) , realizó una medición de luminancia de acuerdo a la metodología de CIE 140-2000 en el Puerto Baquerizo Moreno, en la calle Española, la cual se encuentra muy cercana a los ecosistemas de las orillas marinas y se registró valores de 4,7 cd/m<sup>2</sup> , en la norma CIE 115-2010 , el valor más alto de luminancia promedio es de 2cd/m<sup>2</sup>, que corresponde a calles de gran velocidad, intenso volumen de tráfico



compuesto entre no motorizado y motorizado , con varias intersecciones y presencia de vehículos parqueados. (Velásquez, 2018)

Además, se realizó el análisis de la polución lumínica provocada por el sistema de alumbrado público en la ciudad de Cuenca, utilizando el medidor de calidad de cielo (SQM-LU-DL),se midió de acuerdo a zonas dentro de la ciudad (Norte, Sur, Oeste, Este, Centro norte-sur, Centro este-oeste, Parque industrial), obteniendo valores entre contaminado y muy contaminado (14,91 mag/arcseg<sup>2</sup>-16,19 mag/arcseg<sup>2</sup>). (Espinoza, Guanquiza, Quito y Pulla, 2014).


## 2.12 Tipos de lámparas y luminarias empleadas en el alumbrado público




### 2.12.1 Lámparas


Son las fuentes de luz, que proporcionan iluminación a un área o sector. Existe diferentes tipos de lámparas utilizadas para la iluminación de alumbrado público de acuerdo a su eficiencia y tiempo de vida útil. (Obralux, 2010).


Tabla 4.


*Tipos de lámparas*

Tipos de lámparas	Descripción	Rendimiento luminoso (lm/W)	Bombillas
Incandescentes	Lámparas cuya luz se genera al pasar la corriente eléctrica por filamento de tungsteno, hasta que alcanza una temperatura elevada y emite radiaciones visibles. Se cubre con una ampolla de vidrio sellada	11	

	al vacío o rellenas con gas para evitar que haga combustión.		
Halógenos	Estas lámparas utilizan un componente de halógeno agregado al gas que posee la ampolla, alcanzan altas temperaturas y pueden tener casquillos de rosca o casquillos bi-pin	18	
Fluorescentes	Lámparas con tubos de vapor de mercurio de baja presión, en la cual la radiación ultravioleta predomina. Las paredes se recubren con polvos fluorescentes y transforman los rayos UV en radiaciones visibles. Se utiliza dos tipos de polvos (trifósforos y de espectro continuo)	85-104	
Compactos Fluorescentes	Estas lámparas compacto fluorescentes tienen las cualidades de los tubos fluorescentes, pero se reducen a las dimensiones de una	70	

	<p>lámpara incandescente. Se caracteriza por su bajo consumo de energía ,reproducción de color y un rango considerable de vida útil</p>		
Mercurio de alta presión	<p>Se caracterizan por ser de alta presión. Su encendido requiere de un electrodo auxiliar cercano a uno de los electrodos principales, este ioniza el bombillo y facilita la descarga provocando el encendido de la misma. Los balastos son equipos auxiliares necesarios para regular la corriente y evitar la ruptura de la cápsula de cuarzo además de un condensador para mejorar el factor de potencia</p>	40-60	

Luz Mixta	Este tipo de lámpara es la combinación de un bombillo de mercurio con un bombillo incandescente. Su vida útil viene limitada por el filamento. Una característica de este bombillo es que no necesita balasto, debido a que el filamento actúa como estabilizador de corriente	60	
Sodio de Baja Presión	Contienen un tubo de descarga que normalmente tiene forma de U, su cubierta exterior es de vidrio y en la superficie interna con una capa de óxido de indio. Estas capas actúan como un reflector de infrarrojo, lo que permite que las paredes del tubo de descarga lleguen a una temperatura adecuada, logrando de esta manera que la pérdida de calor sea mínima y	180	

	aumentando de esta manera su eficiencia luminosa.		
Vapor de Sodio de Alta Presión	Son utilizados en iluminación de exteriores debido a su capacidad de acentuar los objetos iluminados, abarca casi todo el espectro visible. Contienen exceso de sodio a diferencia de las lámparas de baja presión. Además, posee mercurio y xenón, lo que facilita el encendido y limita la conducción de calor. Estas lámparas utilizan equipos auxiliares tales como el arrancador, inductancia y un condensador.	180	

Adoptado de (Obralux, 2010)

### 2.12.2. Luminarias

De acuerdo a la CIE, las luminarias son aparatos que permiten distribuir, filtrar o transformar la luz que emite las lámparas y contienen todos los accesorios necesarios para protegerlas, fijarlas y conectarlas a un circuito de alimentación. Las características que deben tener las luminarias se dividen en tres clases que son: óptica, mecánica y estética. Los requisitos para el funcionamiento de una luminaria

se basan en proteger las fuentes de luz, aprovechamiento de la mayor cantidad de flujo luminoso, distribución adecuada de la luz y evitar el deslumbramiento y molestias.(Obralux, 2010)

### 2.12.3. Lámpara Schreder Ámbar 2 y 3 (Vapor de Sodio de Alta Presión)

Las lámparas Schreder ámbar 2 de (150W), lámparas Schreder ámbar 3 de (250W y 400W), son las luminarias utilizadas en alumbrado público.

Tabla 5.

*Características de lámparas Schreder Ámbar 2 y 3*

<b>Características</b>	
Potencia	70-100-150-250-400 W
Voltaje	220 V
Frecuencia	60 Hertz
Vida Útil	18000 Hr
Tiempo de Encendido	3-5 min
Flujo Luminoso	40000-48000 lm
Eficiencia Luminosa	70-130 lm/W
Calor a disipar	37 %

Tomado de (Schreder,2012)



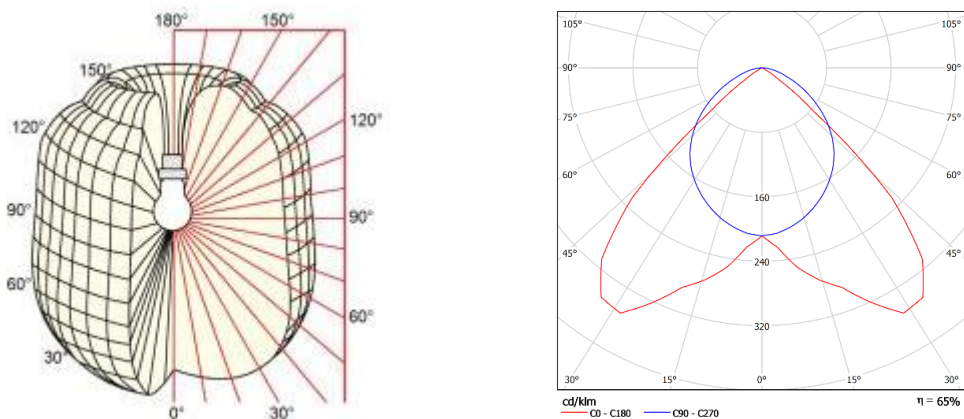
*Figura 2. Lámparas Schreder Ámbar 2 y 3*

## 2.13. Curvas Fotométricas

### 2.13.1. Diagrama Polar

Estas curvas representan la forma en la que se distribuye el flujo luminoso de una lámpara. El ángulo C, indica el plano vertical y mide el ángulo de inclinación respecto al eje vertical de las luminarias, la circunferencia concéntrica determina el valor de la intensidad en candelas, lo que determina la ubicación de la luminaria en el espacio ( $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ) y ( $90^{\circ}$ - $270^{\circ}$ ). Para obtener la curva polar, se realiza cortes fotométricos en dos dimensiones.

La curva polar se puede representar en dos planos verticales: transversal ( $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ) y longitudinal ( $90^{\circ}$ - $270^{\circ}$ ). El centro del diagrama polar tiene la intensidad luminosa de 0, de tal manera, que la intensidad máxima será el punto más alejado del centro. (García, Meléndez y Sierra, 2015).



*Figura 3. Curva de Distribución Luminosa y Curva de Distribución Polar*

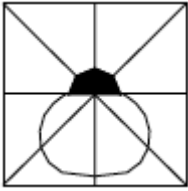
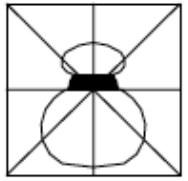
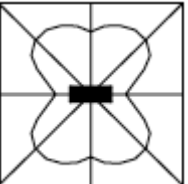
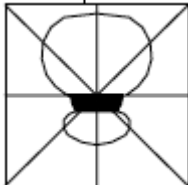
Tomado de (Philips, 2018)

### 2.13.2. Clasificación de luminarias según la fotometría

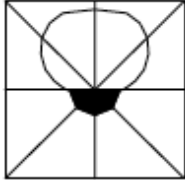
La distribución de las luminarias, se pueden clasificar en función a la distribución del flujo luminoso. La CIE establece una clasificación de las luminarias de acuerdo a su distribución *Tabla 6.*(Enríquez,2004)

Tabla 6.

*Tipos de luminarias según la fotometría*

Tipo de luminaria	Descripción	Distribución del flujo
Directa	Las luminarias tienen un rendimiento elevado (90-100%). El flujo luminoso es directo hacia abajo	
Semidirecta	El flujo luminoso es directo hacia abajo (60-90%) y hacia arriba (10-40%)	
Mixta	El flujo luminoso es uniforme hacia abajo (40-50%) y hacia arriba (50-60%)	
Semiindirecta	El flujo luminoso va sobre todo hacia la parte superior (60-90%)	



Indirecta	La visión y el rendimiento es bajo. La iluminación hacia arriba es del 90 - 100 %	
-----------	---	---

Adaptado de (Enríquez,2004)

## 2.14. Alternativas de uso para el alumbrado público

### 2.14.1. Lámparas LED

LED (*Light Emitting Diode*). Son dispositivos semiconductores que emiten luz en una longitud de onda monocromática, que pasa de forma directa la corriente eléctrica entre sus extremos y genera luz. La longitud de luz emitida y por tanto su color, depende de la composición química del material semiconductor. Un LED consta de dos capas formadas por materiales inorgánicos, una de las capas se carga negativamente (Capa N) y otra positivamente (Capa P). Parte de la energía que se emite en el espectro visible y genera luz y parte se queda atrapada en forma de calor. Un buen producto LED, debe extraer y controlar la luz de forma eficiente pero también disipar el calor. Entre las ventajas de las lámparas LED se encuentran: Larga vida útil, ahorro energético, reducido costos de mantenimiento, no emiten radiación infrarroja ni ultravioleta, menos luz dispersa lo que permite incrementar la eficiencia del sistema de alumbrado público. (Philips,2018).

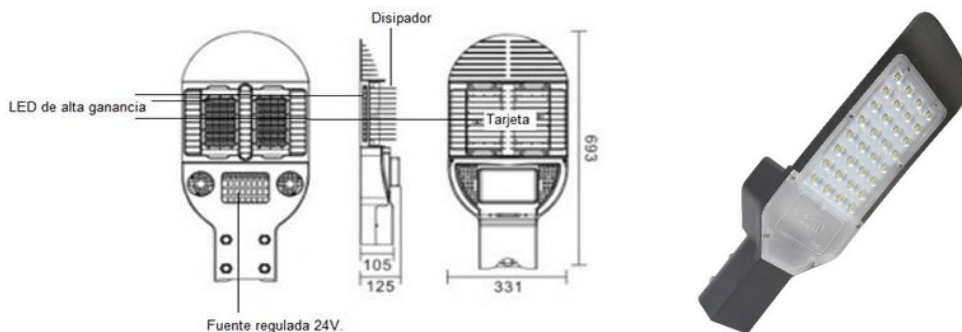


Figura 4. Lámparas LED

### 3. Capítulo III Metodología

#### 3.1. Flujograma de trabajo

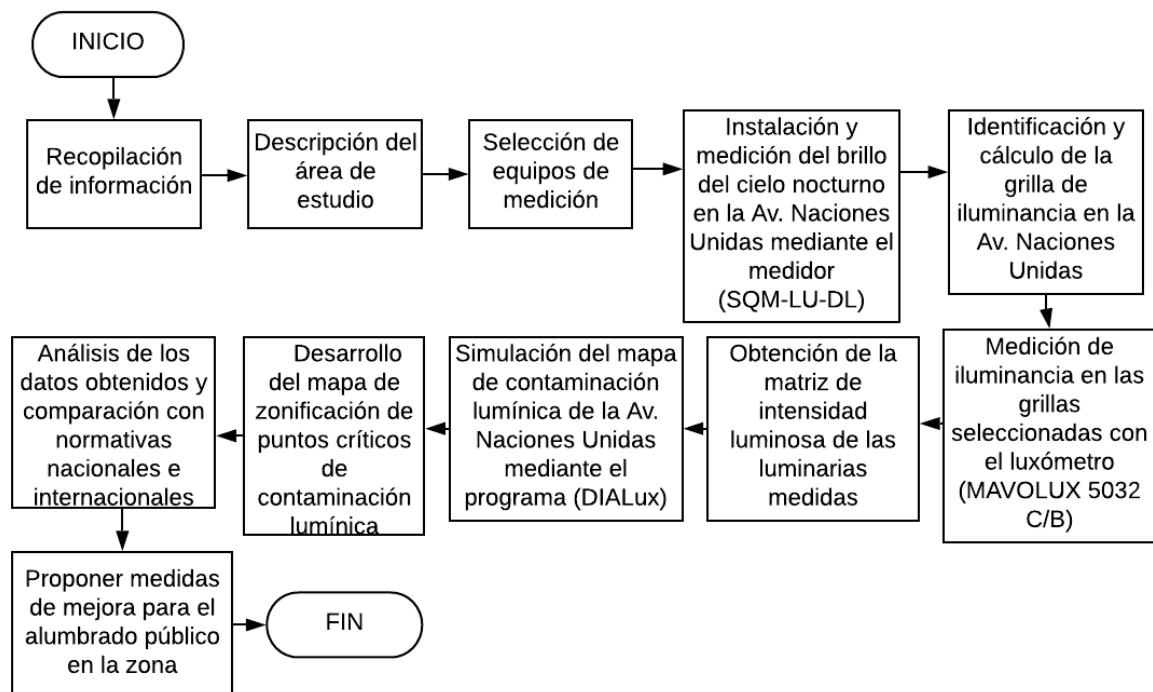


Figura 5. Flujograma de trabajo

#### 3.2. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la Av. Naciones Unidas (Estadio Olímpico Atahualpa-Av. Amazonas), ubicada en el cantón Quito en la provincia de Pichincha, Ecuador. Esta avenida cuenta con calles de tránsito vehicular y peatonal para su circulación. Las aceras son de 20 metros de ancho, de las cuales 12 están destinadas para la circulación peatonal y 8 metros para arborización y jardinería. En la zona de estudio se evidencia en gran parte la comercialización por lo que cuenta con varios centros comerciales (Quicentro Shopping, Centro Comercial Iñaquito y el Centro Comercial

Naciones Unidas), además de una zona para recreación (parque La Carolina) y varias oficinas y viviendas. La presencia de contaminación lumínica en las zonas urbanas de mayor comercialización es evidente, debido al alto tránsito peatonal y vehicular en la zona. El deslumbramiento, brillo del cielo y luz intrusa son tipos de contaminación lumínica que afecta el sector, produciendo exceso de iluminación por el uso de iluminación artificial de manera inadecuada.



*Figura 6.* Av. Naciones Unidas en la ciudad de Quito

Tomado de (David Villacrés, 2018)

### **3.3. Selección de equipos de medición**

Se utilizó dos equipos para las mediciones de calidad de cielo e iluminancia:

El medidor de calidad de cielo *Sky Quality Meter* (SQM-LU-DL), permitió el registro continuo de los datos en magnitudes por segundo de arco cuadrado (mpsas), cada 5 minutos, en un ángulo de medición de un cono de 20° para medir el brillo del cielo nocturno colocado sobre la Av. Naciones Unidas.

Luxómetro MAVOLUX 5032 C/B, es un equipo de fácil uso y altamente preciso. Permitió la medición de iluminación en escala de lux. Se utilizó el medidor para obtener los valores de iluminancia de dos vanos seleccionados en la avenida y se midió la intensidad luminosa debajo de las luminarias de cada vano.

### 3.4 Instalación y medición del brillo del cielo nocturno.

#### 3.4.1. Prueba de transmisión de luz

Para la protección del medidor se construyó una carcasa cilíndrica de PVC con diámetro de 75 mm, con una apertura en la parte superior de vidrio que permite al medidor tomar las lecturas y aislarlo de precipitaciones o cambios climáticos que afecten al equipo. Además, permite evitar elevaciones de temperatura en el interior por radiación solar.



*Figura 7.*Carcasa cilíndrica (SQM-LU-DL).

Se realizó la prueba de transmisión de luz, para medir la cantidad de luz que se transmite a través del vidrio transparente colocado en la carcasa cilíndrica del medidor de calidad del cielo. Esta prueba permitió medir y registrar la luz transmitida por medio de haces difusores o paralelos. De esta manera, se midió la transmisión de referencia (blanco), el resultado fue un valor de 100%, de esta manera, la intensidad que se transmite y el incidente son iguales y la absorbanza es cero.

Luego se midió la transmisión de vidrio obteniendo el siguiente resultado,(Figura 8), por lo que es aceptable el uso del vidrio para realizar las mediciones de brillo del cielo nocturno por el medidor (SQM-LU-DL) .La transmitancia, es la cantidad de luz que llega al detector hacia la muestra y la cantidad de luz que incide sobre ella.(Bautista,2012).

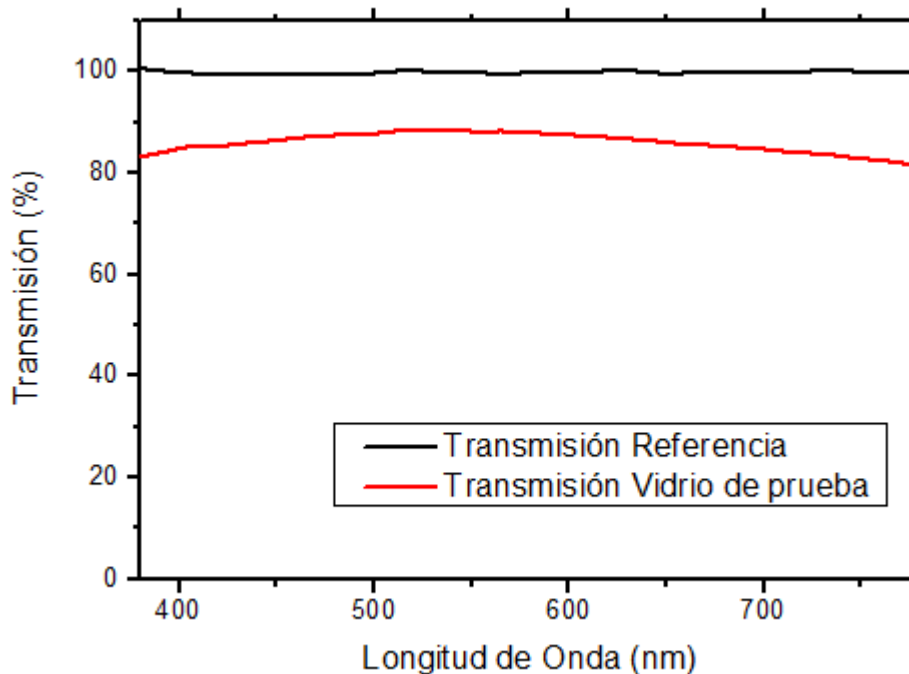


Figura 8. Transmisión del vidrio de prueba.

### 3.4.2. Instalación del medidor (SQM-LU-DL)

El medidor se instaló en uno de los edificios más altos de la Av. Naciones Unidas, con la finalidad de evitar la iluminación directa, que podría provenir de luminarias u otras fuentes artificiales de luz. La colocación del medidor se realizó en el techo del edificio, su tamaño es de 5.5 x 2.6 x1.1 pulg, su estancia fue aproximadamente de un mes (36 días), el medidor registró datos cada 5 minutos y se utilizó baterías triple

A. Se realizó mantenimientos cada semana (toma de datos, limpieza y reemplazo de baterías).



Figura 9. Instalación del medidor (SQM-LU-DL)

### 3.4.3. Cálculo de los niveles de contaminación (SQM).

En referencia al nuevo atlas mundial del brillo artificial del cielo nocturno publicado por (Baugh et al., 2016), *Tabla 3*. Se utilizó la conversión de magnitudes por segundo de arco cuadrado (mpsas) a candelas metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>) de la siguiente ecuación, se despejó para obtener los niveles de (mpsas) y proponer una escala de valores de contaminación del brillo del cielo nocturno.

$$\left(\frac{cd}{m^2}\right) = 10.8 * 10^4 * 10^{(-0.4 * \left[\frac{mag}{arcsec^2}\right])} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$y = 10.8 * 10^4 * 10^{(-0.4 [X])}$$

$$\frac{y}{10.8} * 10^{-4} = 10^{(-0.4 [X])}$$

$$X = -\frac{1}{0.4} \log_{10} \left( \frac{y}{10.8} * 10^{-4} \right)$$

Donde, Y es el brillo artificial en (cd/m<sup>2</sup>) y X es el valor en (mag/arcsec<sup>2</sup>). Se obtuvo los siguientes valores Tabla 7. Asumiendo un fondo natural de (22 mag/arcsec<sup>2</sup>).

Tabla 7.

*Valores obtenidos de (mag/arcsec<sup>2</sup>)*

Valores Obtenidos (X) mag/arcsec <sup>2</sup>	Valores de brillo artificial (Y) cd/m <sup>2</sup>
26,98	0,00000174
23,22	0,0000557
20,96	0,000445
19,46	0,00178
17,95	0,00713

De esta manera se propuso una escala de contaminación por brillo del cielo nocturno para centros urbanos a partir de los cálculos realizados. *Tabla 8.*

Tabla 8.

*Escala de contaminación propuesta por brillo del cielo nocturno*

<b>Magnitud (MPSAS)</b>	<b>Significado</b>
SQM<17,95	Activación de conos
17,95-19,46	Pérdida de luz natural y vía láctea
19,46-20,96	Pérdida de luz zenit
20,96-23,22	Pérdida de luz de horizonte
23,22-26,98	Oscuridad total

- **Activación de conos:** La respuesta a un excesivo uso de luz artificial activa las células responsables de la percepción de color como son los conos, los cuales se activan por encima de un nivel elevado de iluminación. Alteración en ciclos biológicos como producción de hormonas, regeneración celular, etc. (Cuenca, Mollo y Riquelme, 2010)

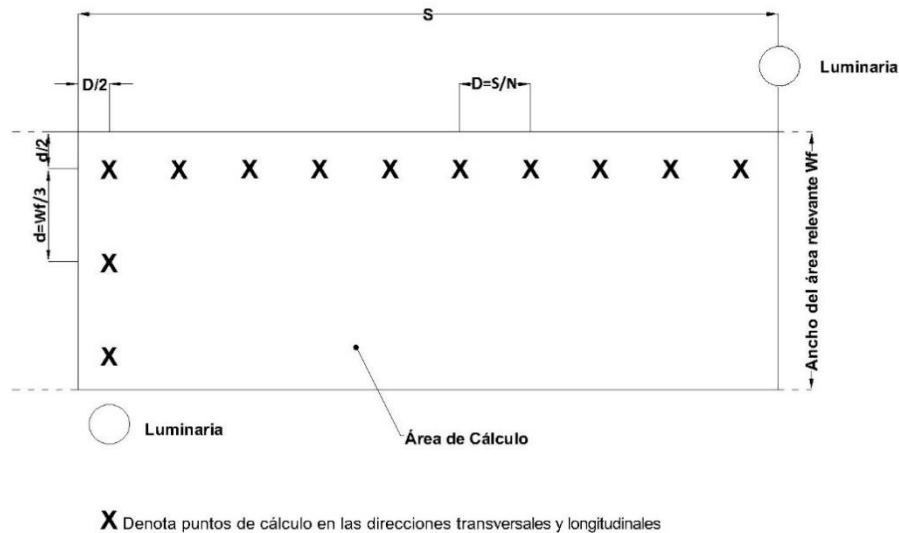
- **Pérdida de luz natural y vía láctea** : La contaminación lumínica provoca la pérdida de luz natural y la observación de la vía láctea a causa de fuentes de luz artificial (Buchiniz, Lepez y Torre 2010)
- **Pérdida de luz zenit** : El 95 % del brillo del cielo se debe a la luz emitida en el zenit desde la fuente en una dirección de 0 a 45 ° por encima de la horizontal (Barba et al, 2008).
- **Pérdida de la luz de horizonte**: Se aprecia algo de contaminación lumínica por las luces artificiales en el horizonte.
- **Oscuridad total**: Se observa a simple vista las estrellas y la vía láctea.

### **3.5. Medición de iluminancia en la Av. Naciones Unidas**

#### **3.5.1. Identificación y cálculo de la grilla de iluminancia.**

De acuerdo a la norma CIE 140-2000 "Métodos de cálculo para la iluminación de vías", para el campo de cálculo de las vías con clase de iluminación tipo (P) peatonal, se debe utilizar la grilla de iluminancia presente en la norma como se muestra en la (Figura 11), la cual indica el cálculo de los puntos que deben ser marcados en el campo. Esta zona debe ser delimitada por líneas transversales entre dos luminarias consecutivas y los bordes de la calzada. (CIE, 2000).





*Figura 10.* Grilla de medición de iluminancia.

Tomado de (CIE, 2000)

El espacio entre los puntos de cálculo debe ser uniforme y la determinación del número de puntos debe ser calculado de la siguiente manera:

- **Cálculo de los puntos en dirección longitudinal:**

El espaciado entre los puntos en la dirección longitudinal se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$D = \frac{S}{N} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde, D es el espacio en dirección longitudinal de los puntos (m), S es la separación entre las luminarias y N es el número de puntos calculados en dirección longitudinal de acuerdo a los siguientes valores:

Si  $S \leq 30$  m,  $N = 10$

Si  $S > 30$ , se considera el entero más pequeño  $D \leq 3$  m

La primera fila de puntos debe estar separada a una distancia de  $D/2$  m de la primera luminaria

- **Cálculo de los puntos en dirección transversal**

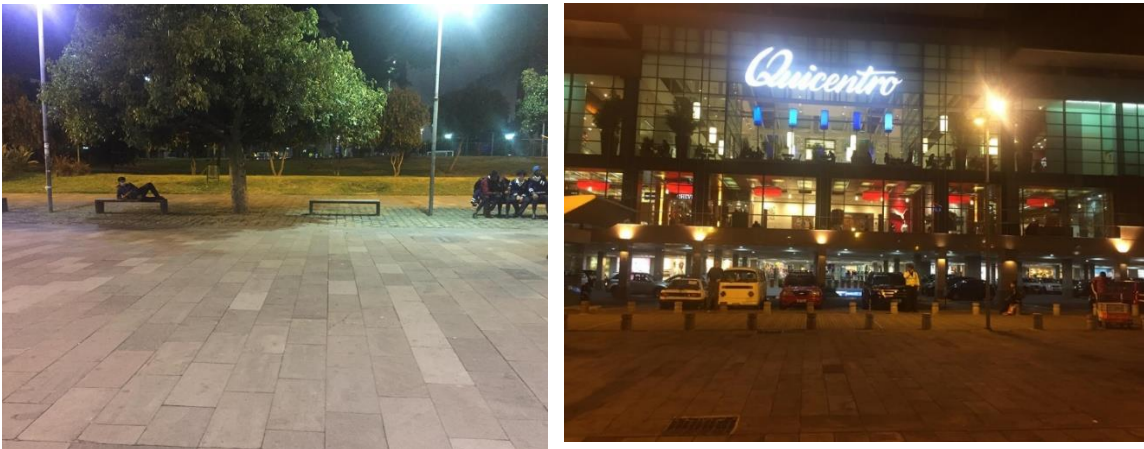
La distancia entre los puntos en la dirección transversal se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$d = \frac{Wf}{3} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde,  $d$  es el espacio en dirección transversal de los puntos (m) y  $Wf$  es el ancho o área relevante (m).

De esta manera, se determinó la distancia entre dos luminarias consecutivas de dos vanos distintos (parque La Carolina) y (Quicentro Shopping),(Figura 11).

Se utilizó un flexómetro y un distanciómetro laser, los cuales permitieron calcular las distancias de manera inmediata y precisa para realizar las grillas de iluminación en la zona.



*Figura 11.* Vano de medición parque La Carolina y Quicentro Shopping

### 3.5.2. Medición de iluminancia en las grillas seleccionadas

Para realizar las mediciones de iluminancia con el luxómetro MAVOLUX 5032 C/B, se marcó los puntos calculados por la grilla de iluminancia de acuerdo a las ecuaciones de la norma CIE 140-2000. Utilizando una piola y tiza se marcó los puntos a lo largo y ancho de la calzada en los dos vanos seleccionados (parque La Carolina) y (Quicentro Shopping). Posteriormente se preparó el equipo de medición luxómetro MAVOLUX 5032 C/B y la matriz para la toma de datos. Se debe colocar el filtro o sensor del equipo en la superficie de la calzada y distanciarse para evitar que la sombra interfiera con la medición, se tomó lectura del valor en lux calculado por el equipo y se registró los datos obtenidos. El proceso se repitió en todos los puntos marcados en la calzada de acuerdo a las grillas de medición determinadas.

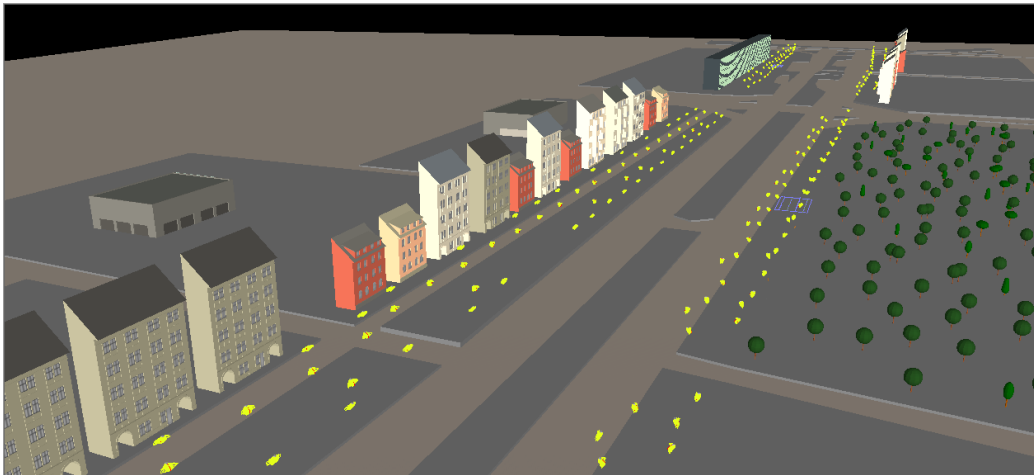


*Figura 12.* Mediciones nocturnas de iluminancia.

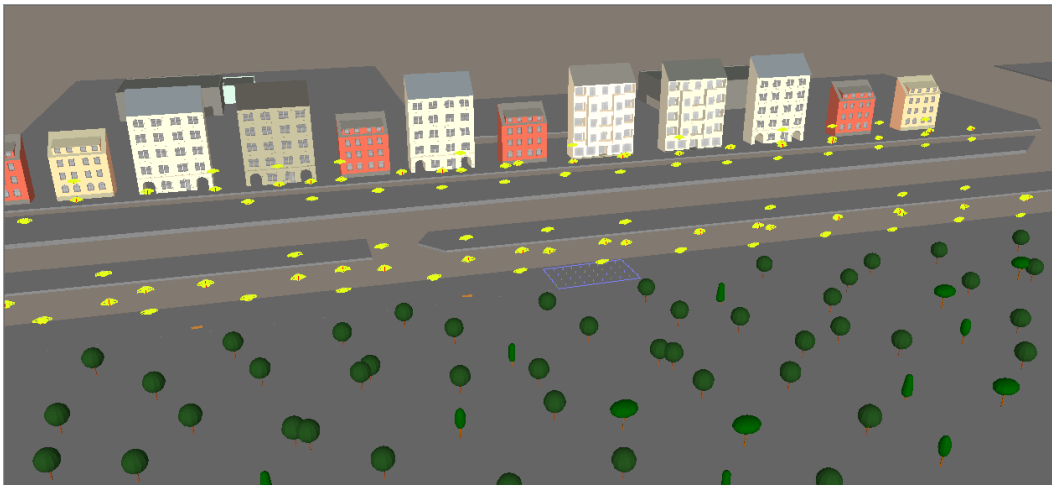
### 3.6. Simulación del mapa de contaminación lumínica mediante el programa (DIALux)

La simulación de iluminancia se realizó mediante el software DIALux, el cual crea proyectos especializados en iluminación, permite el diseño de iluminación en áreas interiores como en exteriores. Sus simulaciones 3D ayuda a comparar propuestas de iluminación en cuanto a lámparas y luminarias en el mercado. Utiliza para su cálculo metodología de la norma CIE 140-2000. (DIAL,2005).

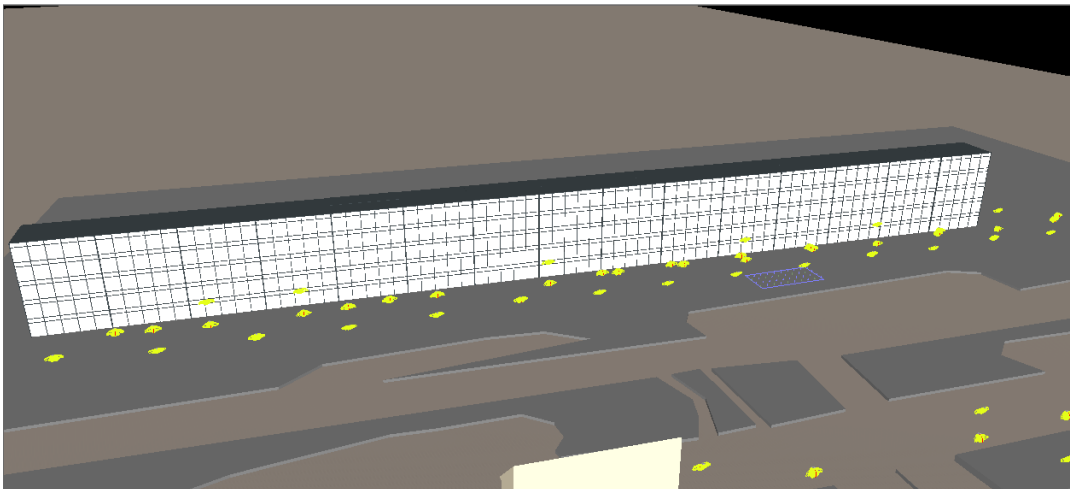
Se simuló la iluminancia de los dos vanos medidos (parque La Carolina) y (Quicentro Shopping), mediante las matrices de intensidad luminosa de las lámparas utilizadas actualmente en la zona, lámparas Schreder ámbar 2 de (150W), lámparas Schreder ámbar 3 de (250W y 400W).



*Figura 13.* Diseño para la simulación Av. Naciones Unidas.



*Figura 14.* Diseño para la simulación parque La Carolina



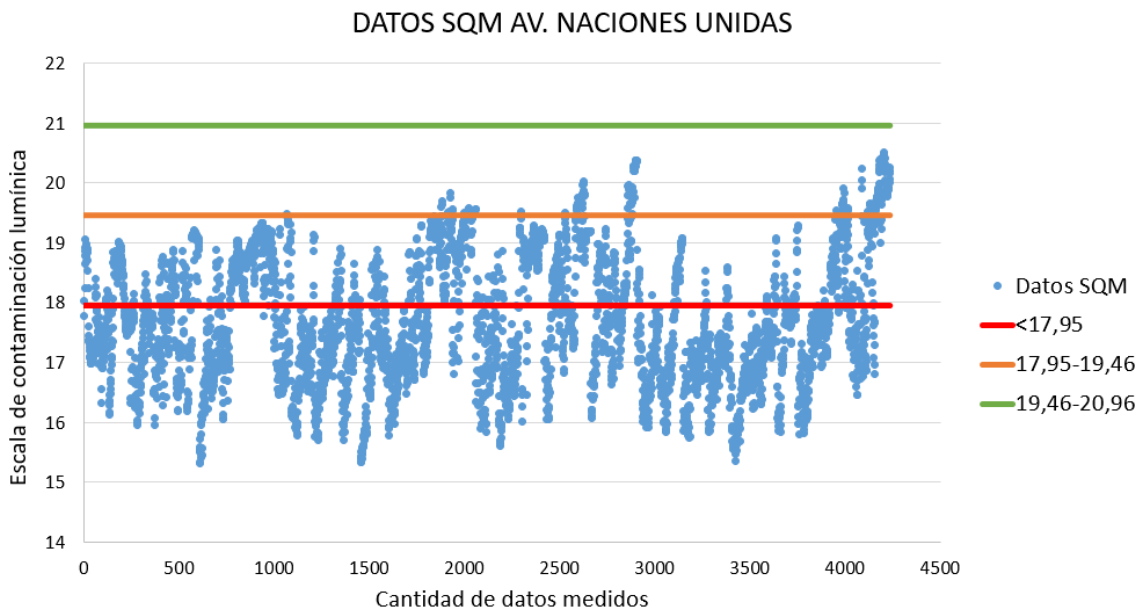
*Figura 15.* Diseño para la simulación Quicentro Shopping

## **4. Capítulo IV Resultados y Discusión**

### **4.1. Resultados SQM calidad del cielo**

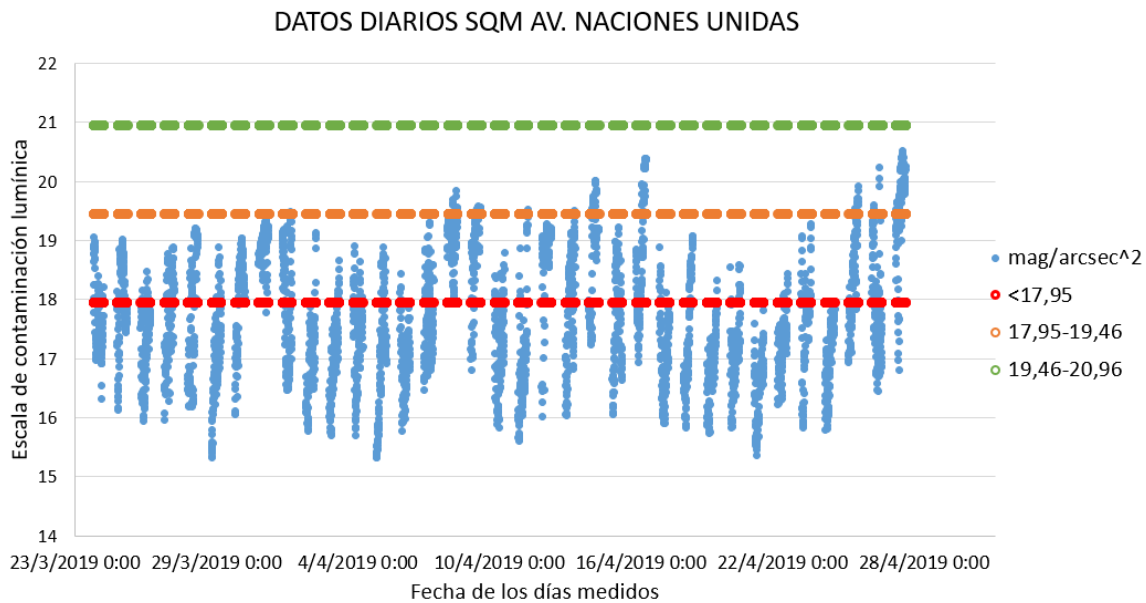
A continuación, se presentan los resultados registrados por el medidor de calidad del cielo (SQM-LU-DL) instalado en la Av. Naciones Unidas y su análisis en base a la escala de contaminación propuesta por brillo del cielo nocturno en la zona.

En la (Figura 16) , se muestran la cantidad de datos obtenidos por el medidor (SQM-LU-DL) al registrar las mediciones cada 5 minutos y la escala de contaminación propuesta. De esta manera, se puede identificar que la mayor cantidad de datos se encuentra por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$  por lo que, de acuerdo a la escala de contaminación , se puede dar la activación de conos. De igual manera, la distribución de los datos también se encuentran entre  $17,95-19,46 \text{ mag/arcsec}^2$ , lo que representa la pérdida de luz natural y vía láctea.



*Figura 16.* Datos SQM Av. Naciones Unidas

En la (Figura 17), se representa la distribución de los datos en relación a la escala propuesta de contaminación lumínica y todos los días que se hicieron mediciones con el equipo SQM. Existe una mayor cantidad de datos por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ , causando la posibilidad de activación de conos. Los valores medidos también se registran entre  $17,95-19,46 \text{ mag/arcsec}^2$ , por lo que representa la pérdida de luz natural y dificultad en la observación de la vía láctea en esta zona de la ciudad.



*Figura 17.* Datos diarios SQM Av. Naciones Unidas.

La (Figura 19), se indica el promedio obtenido de todos los valores medidos por el equipo SQM, cada hora desde las 19:00 p.m. hasta las 5:00 a.m., debido al reporte mensual de radiación solar registrado por la Secretaría del Ambiente (Figura 18), donde los valores de radiación solar se empiezan a registrar a partir del 6 a.m. hasta las 5 p.m., por lo que se filtró los valores a partir de estas horas para obtener una mayor precisión en los resultados del equipo. De acuerdo con el promedio de los datos medidos desde las 19:00 p.m. hasta las 0:00 p.m. se muestran valores por debajo de la escala de 17,95 mag/arcsec<sup>2</sup>, lo que implica la posibilidad de activación de conos. Entre las 21:00 p.m. y las 22:00 p.m. existe un descenso de los valores por debajo de 17,95 mag/arcsec<sup>2</sup> en comparación con el resto de horas medidas y entre las 0:00 p.m. hasta las 5:00 a.m. existe un aumento por encima de 17,95 mag/arcsec<sup>2</sup>. En la (Figura 19), también se indica el máximo y mínimo del promedio de los datos obtenidos, siendo los valores mínimos la representación de la escala más perjudicial ya que se registra por debajo de 17,95 mag/arcsec<sup>2</sup>, y los valores

máximos la representación de la escala de mejora de los valores registrados entre 17,95 mag/arcsec<sup>2</sup> y 19,46 mag/arcsec<sup>2</sup>.

Day	Hours																							Total General				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Max	Avg	RDS	
01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	18.19	127.95	502.62	717.02	804.51	827.38	440.56	524.32	843.54	205.85	22.71	18.91	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	827.38	193.89	24
02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	20.38	189.38	392.12	457.70	851.38	854.93	298.13	389.38	887.29	315.28	100.88	27.28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	887.29	172.48	24
03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	16.71	135.83	416.10	453.11	388.77	348.81	203.75	335.70	173.98	40.52	25.95	22.17	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	453.11	106.58	24
04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	16.18	111.85	61.89	127.97	434.88	900.38	309.28	138.11	85.53	185.84	78.55	13.57	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	900.38	101.75	24
05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	42.95	174.23	358.31	800.22	844.87	507.07	424.87	259.40	287.44	240.88	38.23	14.43	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	844.87	148.88	24
06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	40.04	149.56	403.25	507.43	915.57	1011.7	417.27	177.71	85.85	15.75	18.80	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1011.7	155.98	24
07	.00	.00	.00	.00	.00	.00	17.39	88.24	320.98	517.34	758.32	513.27	412.40	489.52	519.40	408.88	202.24	64.57	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	758.32	179.47	24
08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	44.14	88.82	542.80	844.88	851.03	528.62	325.39	509.00	483.70	490.04	351.09	72.84	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	851.03	197.49	24
09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	47.85	138.87	441.17	797.09	913.42	1029.9	980.82	898.49	388.55	184.48	139.27	38.78	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1029.9	240.69	24
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	29.79	194.25	397.40	888.00	705.94	934.45	713.81	1058.7	827.17	498.03	28.57	31.38	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1058.7	254.39	24
11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	44.83	274.47	542.85	704.85	803.74	873.93	859.64	911.47	500.01	348.84	294.91	77.89	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	911.47	255.70	24
12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	57.59	284.74	528.65	744.77	921.77	1039.3	985.69	401.78	893.33	822.80	407.93	53.40	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1039.3	281.37	24
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	32.48	275.03	520.89	598.09	233.83	828.95	727.84	573.34	584.41	224.04	49.20	54.75	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	828.95	194.99	24
14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	53.29	294.95	501.42	758.94	859.20	1011.9	1072.9	708.60	341.35	220.35	192.98	33.89	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1072.9	243.74	24
15	.00	.00	.00	.00	.00	.00	16.39	118.59	288.97	490.47	337.57	589.76	445.94	472.77	255.08	158.84	98.28	47.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	589.76	138.15	24
16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	53.80	279.35	549.02	753.44	901.77	995.74	982.12	785.50	844.74	598.90	159.83	39.25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	995.74	279.72	24
17	.00	.00	.00	.00	.00	.00	19.87	180.42	577.31	822.21	557.33	238.86	280.00	64.35	108.75	285.77	208.33	18.92	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	822.21	130.00	24
18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	27.99	185.50	554.95	823.16	801.88	750.17	442.82	517.91	592.60	418.03	86.88	22.76	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	750.17	199.34	24
19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	14.57	181.08	513.27	589.45	872.11	374.04	171.84	150.15	58.89	34.09	39.58	22.32	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	872.11	116.72	24
20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	26.28	151.11	309.89	417.84	818.49	598.94	585.34	483.67	407.23	72.90	51.20	32.21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	818.49	155.55	24
21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	18.38	133.75	303.58	404.84	523.84	429.83	838.89	507.07	84.01	53.97	89.89	15.83	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	838.89	133.38	24
22	.00	.00	.00	.00	.00	.00	13.70	127.13	499.87	719.82	914.31	988.99	448.57	86.83	54.88	48.37	216.97	54.16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	988.99	172.89	24
23	.00	.00	.00	.00	.00	.00	41.35	188.77	589.98	308.07	419.47	811.97	883.55	303.18	828.10	502.28	103.12	18.51	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	883.55	180.68	24
24	.00	.00	.00	.00	.00	.00	10.88	37.78	90.28	132.98	215.80	288.54	314.90	498.41	348.04	315.37	148.64	81.89	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	498.41	100.32	24
25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	37.29	281.42	452.42	589.83	744.75	1011.5	835.75	596.47	599.32	553.91	43.09	30.51	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1011.5	238.18	24
26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	27.30	125.00	510.38	752.91	925.09	999.87	751.81	887.57	311.84	121.48	132.08	29.27	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	999.87	223.92	24
27	.00	.00	.00	.00	.00	.00	28.94	134.88	423.33	487.91	727.88	588.89	804.44	813.32	174.20	18.21	28.75	23.22	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	813.32	168.91	24
28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	64.87	313.99	865.92	785.59	912.81	1008.8	1042.7	943.09	780.19	594.88	188.44	22.31	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1042.7	299.29	24

Figura 18. Datos reporte mensual de radiación solar. Secretaría del Ambiente

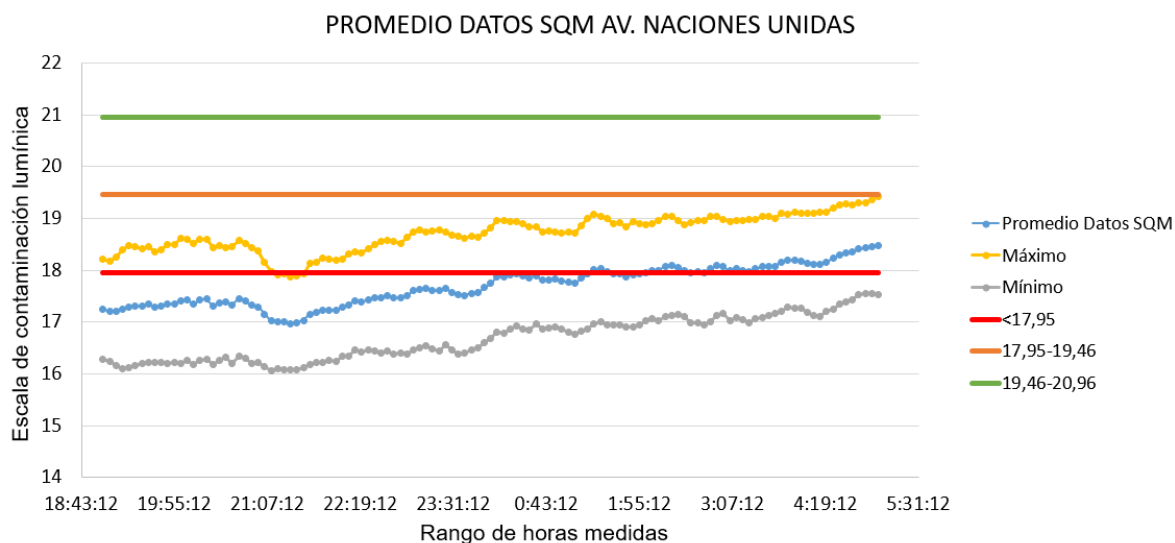


Figura 19. Promedio de los datos SQM Av. Naciones Unidas.



En la (Figura 20), se muestra el promedio de los datos obtenidos por el medidor SQM, en relación a los días (Lunes-Viernes), cada hora desde las 19:00 p.m. a las 5:00 a.m. En la cual se indica los días y las horas en donde existe mayor contaminación lumínica por brillo del cielo nocturno. De acuerdo a los resultados todos los días muestran valores por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$  entre las 19:00 p.m. a las 0:00 p.m. y un descenso en los valores entre las 21:00 p.m. y 22:00 p.m. Aumentando los valores en horas de la madrugada.

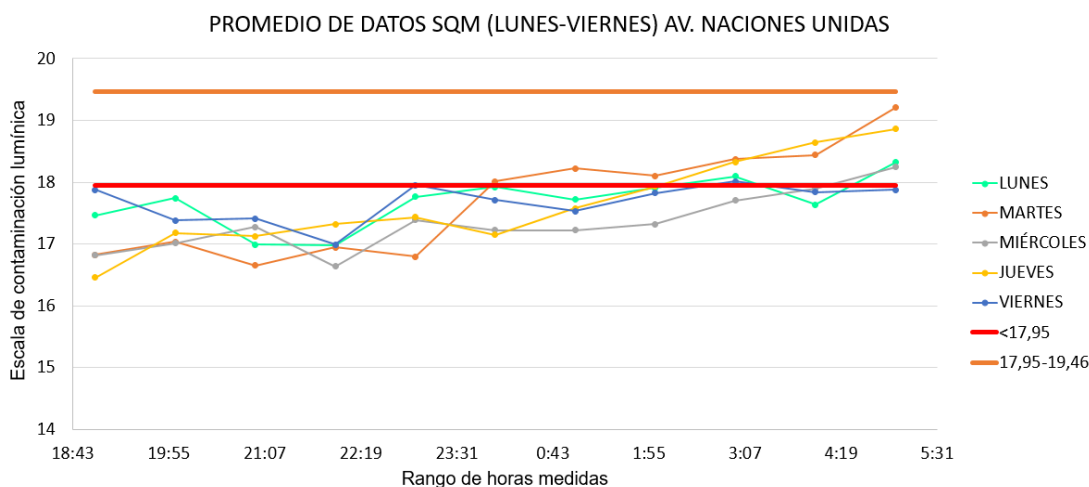
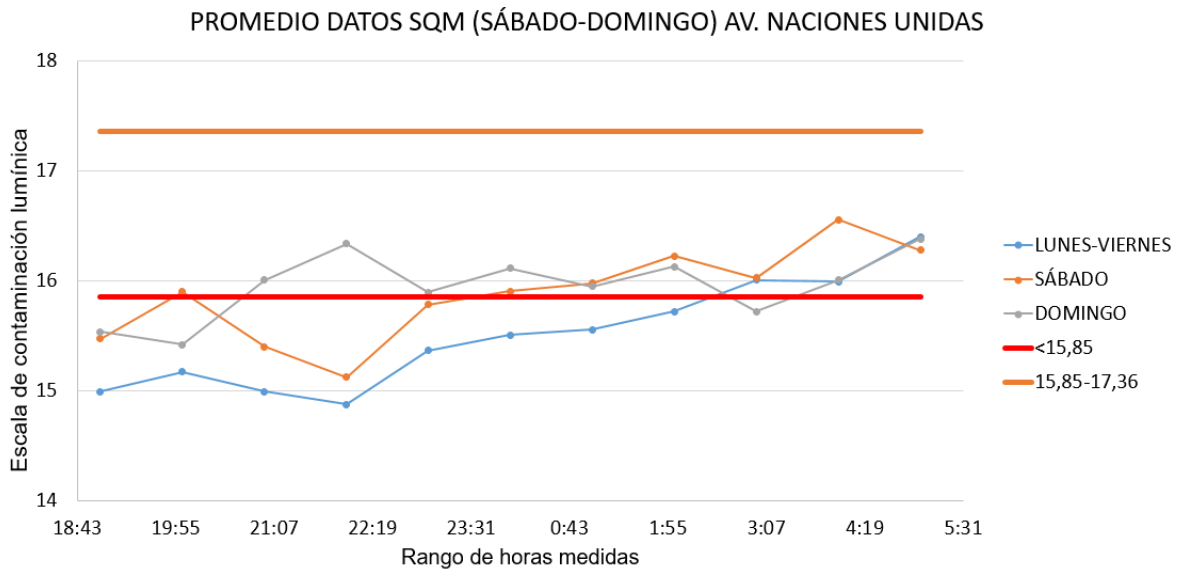


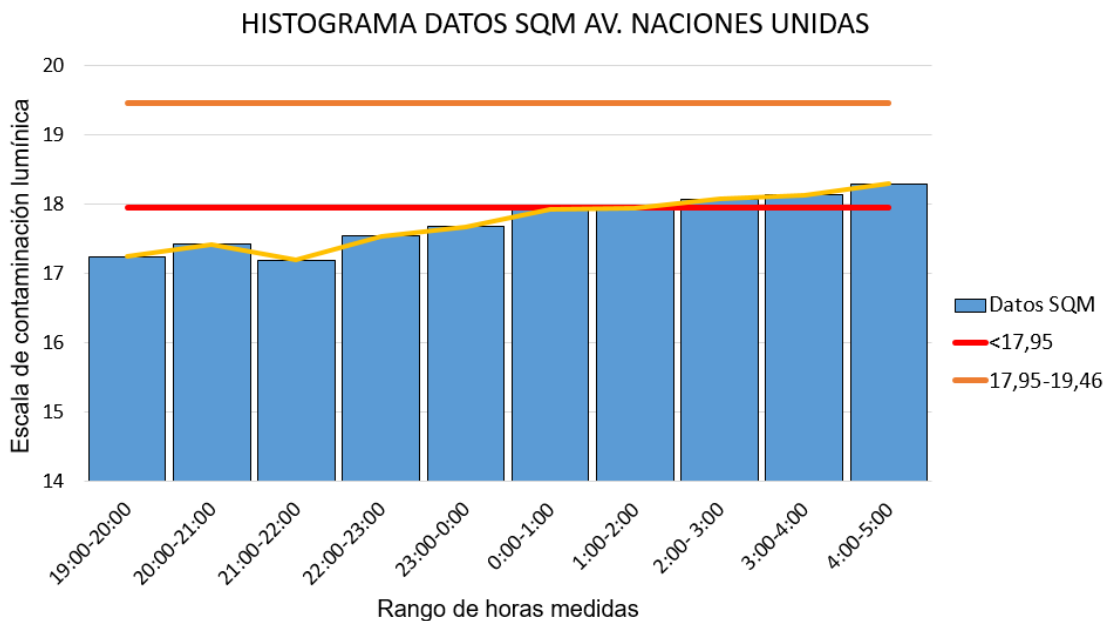
Figura 20. Promedio de los datos SQM (Lunes- Viernes) en la Av. Naciones Unidas.

En la (Figura 21), se presenta la comparación entre el promedio de los datos registrados de los días entre semana (Lunes- Viernes) y fin de semana (Sábado-Domingo), cada hora de 19:00 p.m. a 5:00 a.m. Los días de Lunes a Viernes y Sábado muestran valores por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ , sobre todo entre 21:00 p.m. a 22:00 p.m., siendo los días entre semana, donde se registran los menores valores, que de acuerdo a la escala de contaminación lumínica, existe la posibilidad de activación de conos. El día Domingo los valores medidos están en su mayoría sobre  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ . Sin embargo, se encuentran en la escala de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ -  $19,46 \text{ mag/arcsec}^2$ , resultando en la pérdida de luz natural y la poca posibilidad de observación de la vía láctea en el sector.



*Figura 21.* Promedio de los datos SQM (Sábado-Domingo) en la Av. Naciones Unidas.

En general, se puede determinar que los valores registrados por el medidor, entre las 19:00 p.m. hasta las 0:00 p.m. indican valores por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ , lo que implica la posibilidad de la activación de conos en los fotosensores del ojo, sobre todo de 21:00 p.m. a 22:00 p.m., donde los valores son menores, de acuerdo a la escala de contaminación lumínica por brillo del cielo nocturno. De 0:00 p.m. a 2:00 a.m. los valores se encuentran en  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$  y a partir de las 2:00 a.m. a 5:00 a.m. va en aumento en la escala de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2 - 19,46 \text{ mag/arcsec}^2$ . Lo que representa la dificultad para la observación de la vía láctea y pérdida de luz natural. (*Figura 22*).



*Figura 22.* Histograma de datos SQM Av. Naciones Unidas.

Para realizar una comparación con los resultados obtenidos de contaminación lumínica por brillo del cielo nocturno de la Av. Naciones Unidas, se utilizó el medidor (SQM-LU-DL), para realizar mediciones en otra zona de la ciudad (Carapungo), donde en su mayoría el sector es residencial alejado de los centros urbanos. Las mediciones se realizaron por una semana en las instalaciones del Laboratorio de Luminotecnia del IIGE (Instituto de Investigación Geológico y Energético). En la (Figura 23), se indica la cantidad de valores medidos y la dispersión que tienen estos en cuanto a la escala propuesta de contaminación lumínica. La mayor cantidad de datos se encuentra entre  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ -  $19,46 \text{ mag/arcsec}^2$ , pérdida de luz natural y vía láctea y  $19,46 \text{ mag/arcsec}^2$ - $20,96 \text{ mag/arcsec}^2$ , lo que significa pérdida de luz del zenit, que es el brillo del cielo que se debe a la luz emitida desde la fuente en una dirección de  $0$  a  $45^\circ$  por encima de la horizontal y existen pocos valores sobre  $20,96 \text{ mag/arcsec}^2$ , lo que representa la pérdida de luz en el horizonte. Sin embargo, existe una alta posibilidad de observación de la vía láctea en esta zona.

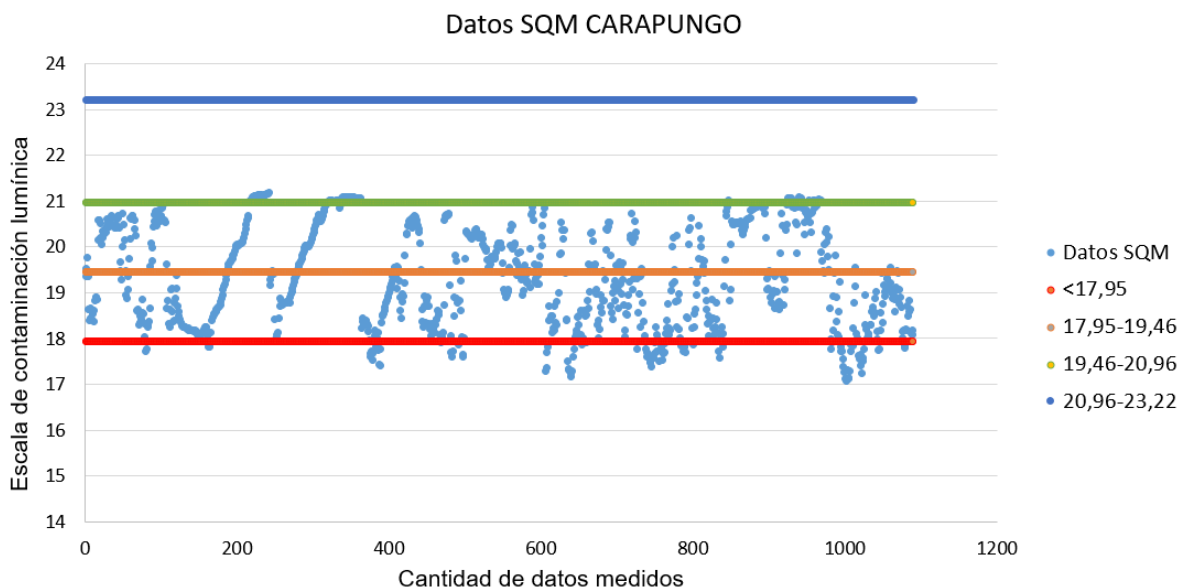


Figura 23. Datos SQM de Carapungo.

En la (Figura 24), se representa el promedio de los datos de SQM obtenidos de Lunes a Viernes en Carapungo, donde los valores indican una dispersión distinta todos los días, se encuentran en gran medida entre la escala de 17,95-19,46 mag/arcsec<sup>2</sup> y entre 19,46-20,96 mag/arcsec<sup>2</sup>. Además, existen pocos valores sobre 20,96 mag/arcsec<sup>2</sup>. El día viernes muestra un descenso en los valores de 4:00 a.m. a 5:00 a.m. a diferencia de los otros días que tienden a subir.

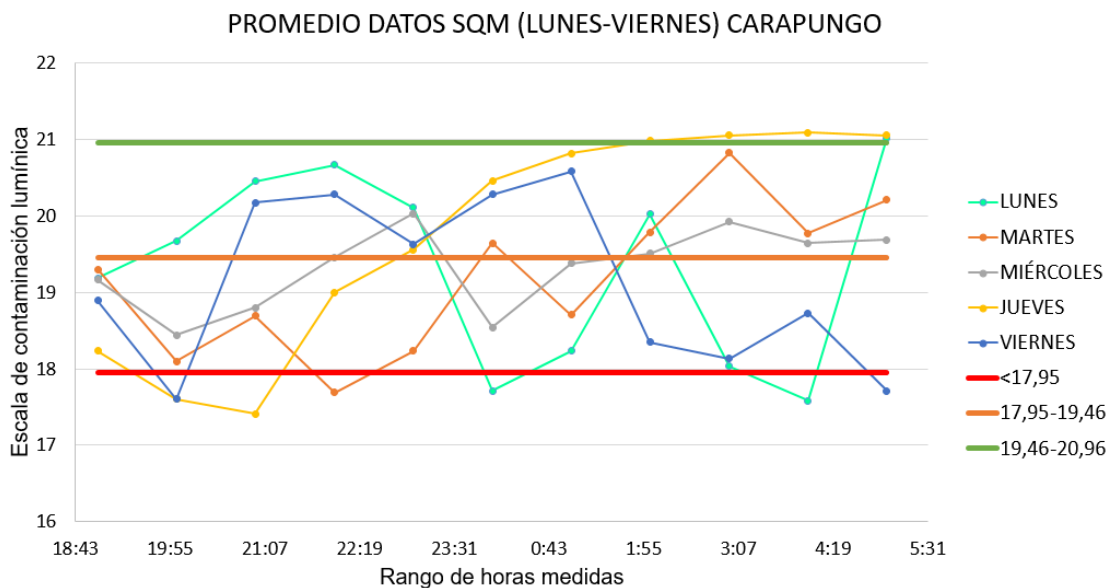


Figura 24. Promedio de datos SQM (Lunes- Viernes) en Carapungo.

La (Figura 25), indica el promedio de los valores obtenidos en las mediciones de fin de semana (Sábado-Domingo), registrando pocos valores por debajo de 17,95 mag/arcsec<sup>2</sup>, activación de conos y en su gran mayoría entre 17,95-19,46 mag/arcsec<sup>2</sup>. Sin embargo, los valores tienden a subir en horas de la madrugada. En comparación con los valores promedios de los días entre semana, donde sus datos son mayores, de acuerdo con la escala de contaminación lumínica por brillo del cielo nocturno.

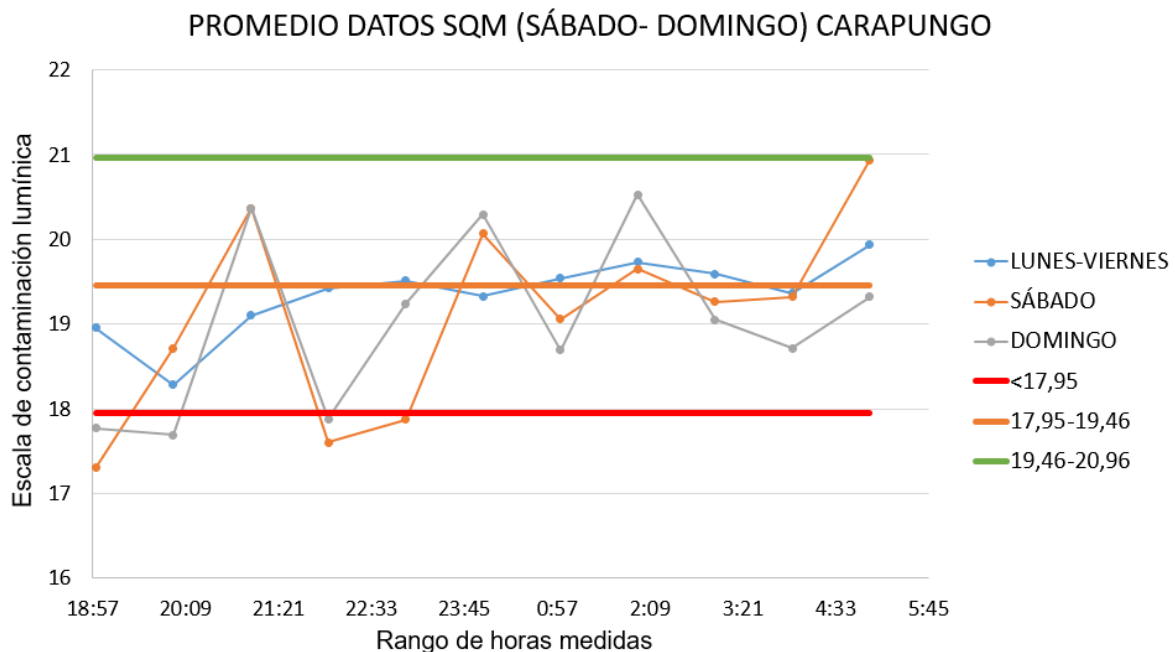


Figura 25. Promedio de datos SQM (Sábado-Domingo) en Carapungo.

## 4.2. Resultados de Iluminancia en la Av. Naciones Unidas

### 4.2.1. Vano de medición parque La Carolina.

- **Cálculo de los puntos en dirección longitudinal:**

Para el cálculo del espacio entre los puntos en la dirección longitudinal se utiliza la ecuación (3), obteniendo los siguientes valores:

-S longitud entre las luminarias (m) =15 m

-N es el número de puntos calculados en dirección longitudinal. Si  $S \leq 30$  m,  $N = 10$

$$D = \frac{15 \text{ m}}{10}$$

$$D = 1,5 \text{ m}$$

- **Cálculo de los puntos en dirección transversal:**

El cálculo de la distancia entre los puntos en la dirección transversal se determina con la ecuación (4), obteniendo los siguientes valores:

- Wf es el ancho o área relevante (m)=10,35 m

$$d = \frac{10,35 \text{ m}}{3}$$

$$d = 3,45 \text{ m}$$

- **Resultados de los valores de iluminancia**

Los valores obtenidos en la medición de iluminancia se encuentran en escala de lux *Tabla 9*. Se tabuló todos los valores para obtener el valor de iluminancia promedio, mínimo, máximo, mínimo sobre promedio y mínimo sobre máximo.

Tabla 9.

*Valores de iluminancia parque La Carolina*

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
	90,5	82,1	71,8	62,2	56,8	56,6	62,2	74,1	84,1	91,2
Y1	89,2	80,4	69,7	61,4	48,6	54,4	56,4	62,1	62,1	73,6
Y2	60,7	60,2	68,5	58,1	52,3	48	46,6	43,6	41,8	35,8
Y3	80,1	107,3	101,9	101,7	91,8	73	69	34,7	32,5	35,7

E m(x)	E min (x)	E max (x)	E min/ E m	E min/ Emax
65,82	32,5	107,3	0,494	0,303

#### 4.2.2. Vano de medición Quicentro Shopping

- **Cálculo de los puntos en dirección longitudinal:**

Para el cálculo del espacio entre los puntos en la dirección longitudinal se utiliza la ecuación (3), obteniendo los siguientes valores:

-S longitud entre las luminarias (m) =13,42 m

-N es el número de puntos calculados en dirección longitudinal. Si  $S \leq 30$  m,  $N = 10$

$$D = \frac{13,42 \text{ m}}{10}$$

$$D = 1,34 \text{ m}$$

- **Cálculo de los puntos en dirección transversal:**

El cálculo de la distancia entre los puntos en la dirección transversal se determina con la ecuación (4), obteniendo los siguientes valores:

-Wf es el ancho o área relevante (m)=8,34 m

$$d = \frac{8,34 \text{ m}}{3}$$

$$d = 2,78 \text{ m}$$

- **Resultados de los valores de iluminancia**

Los valores obtenidos en la medición de iluminancia se encuentran en escala de lux *Tabla 10*. Se calculó todos los valores para obtener el valor de iluminancia promedio, mínimo, máximo, mínimo sobre promedio y mínimo sobre máximo.

Tabla 10.

*Valores de iluminancia Quicentro Shopping*

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
	192,2	141,5	136,5	128,1	122	123,8	142,2	158	177,4	178,2

Y1	174,7	152,2	141,6	135	124,2	124,3	125	129,1	128,8	128
Y2	141,6	154,3	174,5	177,9	171,2	174,6	169,7	148,3	127	124,5
Y3	141	173,6	203	233	233	239	206	177,7	134,6	122

Em(x)	E min (x)	E max (x)	Emi /E m	E min/ E max
157,2325	122	239	0,776	0,510

### 4.3. Matriz de intensidad luminosa y curvas polares

El sistema de referencia de las luminarias es esférico y los diagramas polares permiten representar la distribución de la luz en todo el espacio y la intensidad luminosa en diferentes direcciones. Para obtener diagramas en dos dimensiones se realizan cortes en planos verticales, los cuales representan las intensidades luminosas utilizando un sistema de coordenadas en el plano C el eje axial, plano de rotación y el plano  $\gamma$  en el eje simultaneo, plano de elevación de la luminaria. La curva tiene un flujo de 1000 lúmenes y las intensidades en cd/1000 lm. (García, Meléndez y Sierra, 2015).

Las curvas polares se representan en dos planos: Eje longitudinal de la luminaria ( $C90^0-C270^0$ ) y transversal ( $C0^0-C180^0$ ). El centro del diagrama tiene una intensidad de 0, por lo que el valor de la intensidad máxima es el punto que más se aleja del centro. En la (Figura 26), se indica la curva polar de la lámpara SCHREDER AMBAR 2. SON-T+150W utilizada en la vía peatonal de la Av. Naciones Unidas. Donde, el corte 1 representa el plano ( $C90^0-C270^0$ ), en cual la luminaria emite luz hacia  $C90^0$ , lo que significa hacia la carretera y en el corte 2 representa el plano ( $C0^0-C180^0$ ), donde indica que la luminaria emita mayor cantidad de luz hacia los lados.



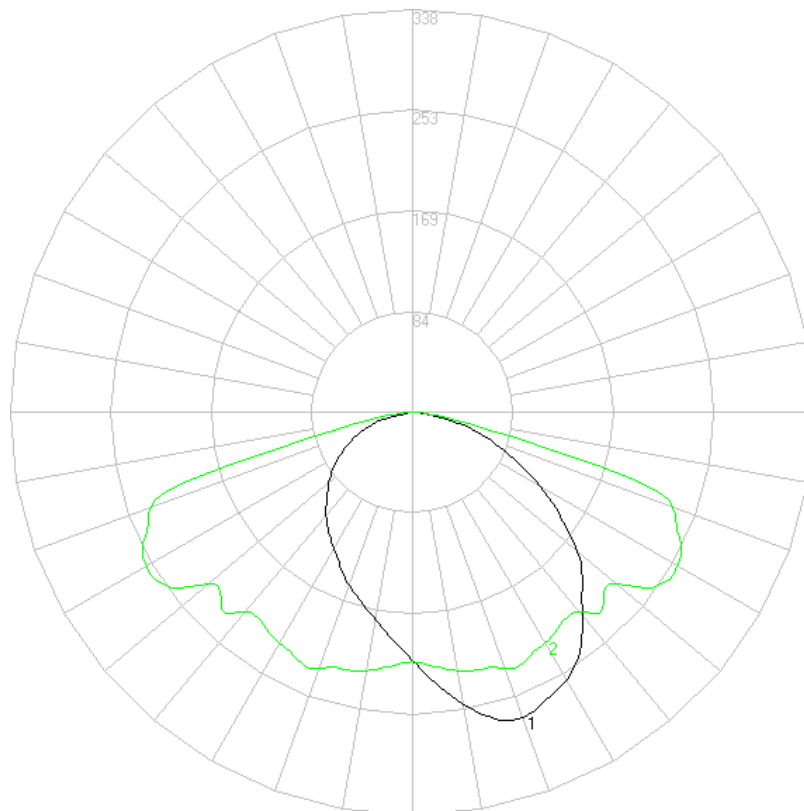


Figura 26. Diagrama polar SCHREDER AMBAR 2. SON-T+150W.

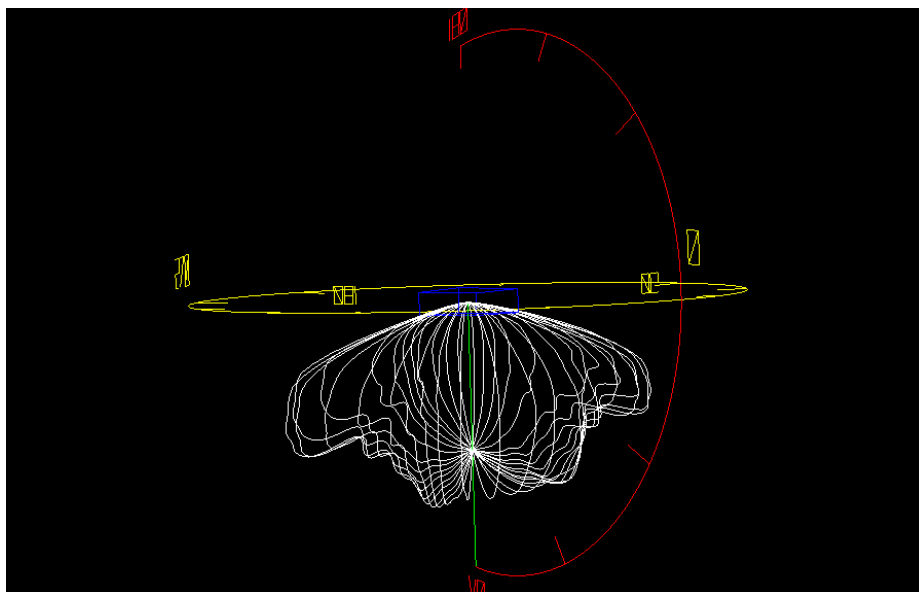
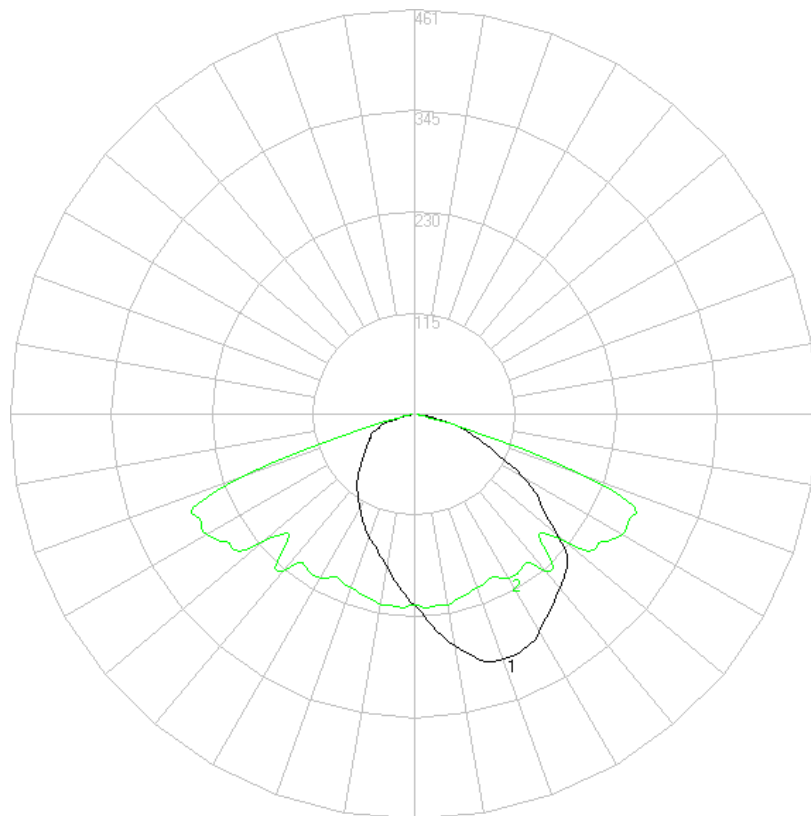
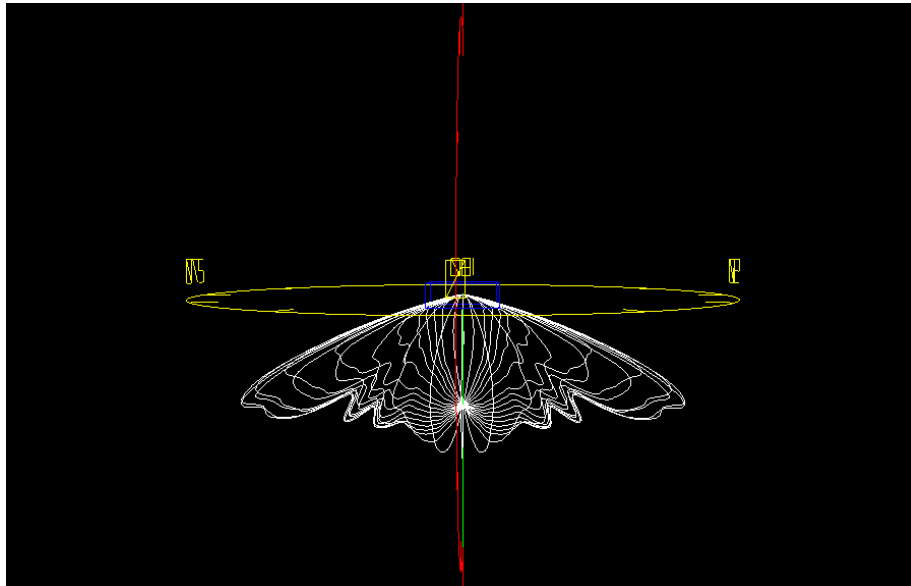


Figura 27. Diagrama polar 3D SCHREDER AMBAR 2. SON-T+150W.

En la (*Figura 28*), se observa la curva polar de la lámpara SCHREDER AMBAR 3. SON-T+400W utilizada para la vía vehicular de la Av. Naciones Unidas. Donde, el corte 1y 2 es más uniforme, en el corte 1 representa el plano (C90<sup>0</sup>-C270<sup>0</sup>), la luminaria de igual manera va hacia C90<sup>0</sup>, lo que significa que emite luz hacia la carretera y en el corte 2 representa el plano (C0<sup>0</sup>-C180<sup>0</sup>), en la cual la luminaria emita poca luz hacia los lados.



*Figura 28.* Diagrama polar SCHREDER AMBAR 3. SON-T+400W.



*Figura 29.* Diagrama polar 3D SCHREDER AMBAR 3. SON-T+400W.

En la (Figura 30), se observa la curva polar de la SCHREDER AMBAR 3 SON-T+250W utilizada para la vía peatonal de la Av. Naciones Unidas. Donde, en el corte 1 representa el plano (C90<sup>0</sup>-C270<sup>0</sup>), la luminaria emite luz hacia la carretera y en el corte 2 representa el plano (C0<sup>0</sup>-C180<sup>0</sup>), indica que la luminaria emita muy poca luz hacia los lados.

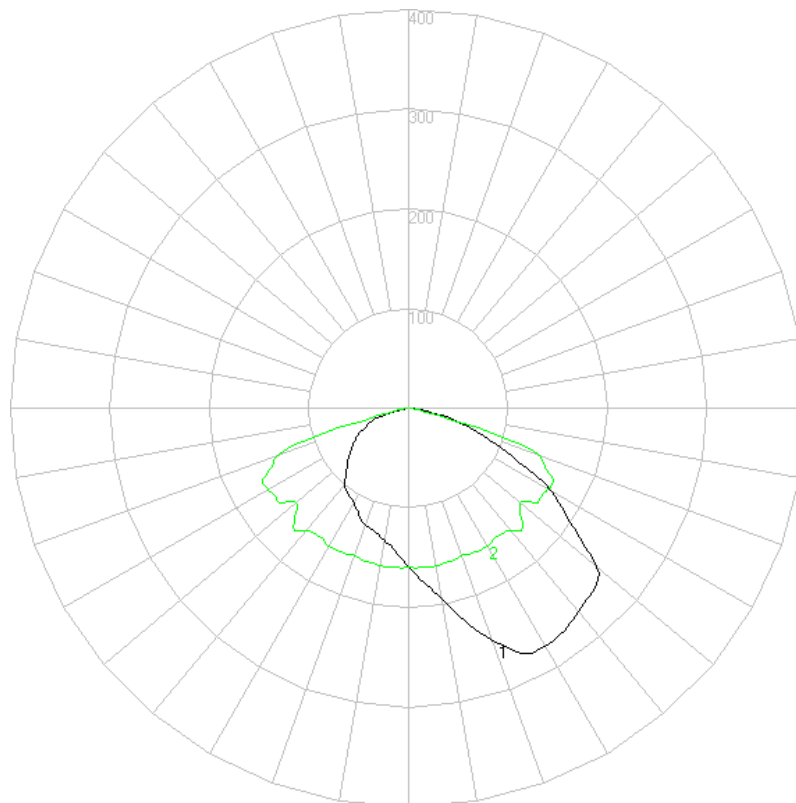


Figura 30. Diagrama polar SCHREDER AMBAR 3 SON-T+250W.

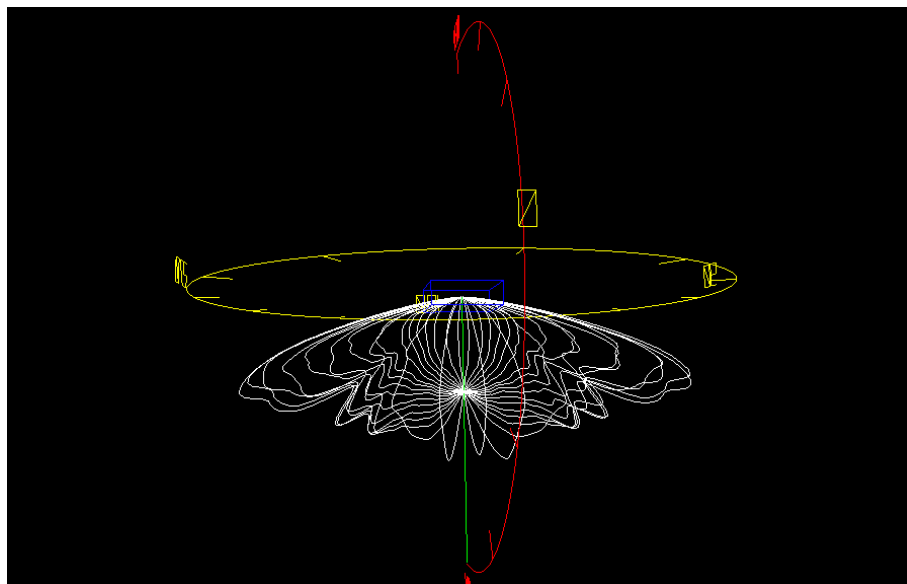


Figura 31. Diagrama polar 3D SCHREDER AMBAR 3 SON-T+250W.

## 4.4. Resultado de la simulación en DIALux de la Av. Naciones Unidas

### 4.4.1. Simulación de iluminancia inicial

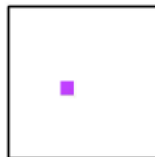
Para la simulación se tomó en cuenta los parámetros iniciales de las luminarias, como flujo luminoso, potencia, altura de las luminarias, matriz de intensidad. Utilizando el catálogo de SCHREDER para las lámparas SON-T+150W, SON-T+400W y SON-T+250W, se identificó flujos luminosos de (16500 lm, 32000 lm y 55000 lm) respectivamente y con un factor de mantenimiento de 1. Obteniendo los siguientes resultados.

- **Trama de cálculo parque La Carolina**

En la (Figura 32), se indica los valores de iluminancia iniciales en el tramo del parque La Carolina. De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación, se muestran valores mayores a los valores medidos de iluminancia en este tramo, debido a las condiciones iniciales de las lámparas al instalar las luminarias en la zona.



Situación de la superficie en la escena exterior:  
Punto marcado: (1739.791 m, 400.212 m, 0.600 m)



<b>7.875</b>	722	655	539	429	380	376	373	422	516	650
<b>5.625</b>	667	587	499	460	462	489	489	524	556	605
<b>3.375</b>	465	441	465	538	665	<u>724</u>	619	529	432	406
<b>1.125</b>	368	366	425	522	637	600	579	442	355	<u>302</u>
m	<b>0.789</b>	<b>2.369</b>	<b>3.947</b>	<b>5.526</b>	<b>7.105</b>	<b>8.684</b>	<b>10.264</b>	<b>11.843</b>	<b>13.422</b>	<b>15.001</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

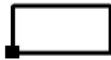
Trama: 10 x 4 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
507	302	724	0.60	0.42

Figura 32. Resultados de la simulación de iluminancia inicial.

- **Trama de cálculo Quicentro Shopping**

En la (Figura 33), se indica los resultados de la simulación inicial de iluminancia del tramo del Quicentro Shopping donde de igual manera se muestran valores de iluminancia mayores a los valores medidos, debido a las condiciones iniciales de las lámparas.



Situación de la superficie en la escena exterior:  
Punto marcado: (2121.364 m, 390.397 m, 0.600 m)



<b>5.703</b>	689	579	461	354	342	334	333	<u>330</u>	343	361
<b>4.073</b>	<u>799</u>	661	541	455	443	475	483	466	456	431
<b>2.444</b>	662	566	479	467	519	635	681	598	521	402
<b>0.815</b>	505	469	417	475	552	674	703	593	463	358
<b>m</b>	<b>0.000</b>	<b>1.536</b>	<b>3.073</b>	<b>4.609</b>	<b>6.145</b>	<b>7.681</b>	<b>9.218</b>	<b>10.754</b>	<b>12.290</b>	<b>13.826</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 4 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
502	330	799	0.66	0.41

Figura 33. Resultados de la simulación de iluminancia inicial.

#### 4.4.2. Simulación de depreciación luminosa.

La depreciación del flujo luminoso de las lámparas hace referencia a la reducción progresiva del flujo luminoso, debido al envejecimiento y deterioro a lo largo del uso de las lámparas. De esta manera para que se mantenga la iluminancia en un periodo de tiempo se debe considerar el factor de mantenimiento, el cual toma en cuenta la disminución del flujo luminoso y se identifica por la relación entre la iluminancia medida y la iluminancia en condiciones iniciales. (Cuerdo, Mockey y Rodríguez,

2012). Para el cálculo de iluminancia se realizó la deducción de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, obteniendo la siguiente ecuación: (CIE, 1983)

$$E = \frac{I d\Omega}{dA} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$E = \frac{I 4\pi}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}$$

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{[cd \cdot sr]}{m^2} = lux$$

$$lm = [cd \cdot sr]$$

$$lux = \frac{lumen}{m^2}$$

Para el cálculo del factor de mantenimiento, se realizó los siguientes cálculos:

- **SCHREDER AMBAR 3 SON-T+250W**

$$I_{real} = \frac{I_r}{1000 lm} * \phi_{real} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$I_{real} = \frac{159,51 cd \cdot sr}{1000 lm} * 32000 lm = 5104,32 cd \cdot sr$$

Donde

$I_{real}$ : Intensidad real (cd·sr)

$I_r$ : Intensidad relativa (cd·sr)

$\phi_{real}$ : Flujo luminoso real (lm)

$$E_i = \frac{I_{real}}{h^2} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$E_i = \frac{5104,32 \text{ cd}\cdot\text{sr}}{(4,97 \text{ m})^2} = 206,65 \text{ lux}$$

Donde

$E_i$ : Iluminancia inicial (lux)

$I_{real}$ : Intensidad real(cd·sr)

$h^2$ : altura de montaje ( $\text{m}^2$ )

$$FM = \frac{E_m}{E_i} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$FM = \frac{41,7 \text{ lux}}{206,65 \text{ lux}} = 0,20$$

Donde

$FM$ : Factor de mantenimiento

$E_m$ : Iluminancia medida(lux)

$E_i$ : Iluminancia inicial(lux)

- **SCHREDER AMBAR 2. SON-T+150W**

$$I_{real} = \frac{I_r}{1000 \text{ lm}} * \phi_{real} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$I_{real} = \frac{208,67 \text{ cd} \cdot \text{sr}}{1000 \text{ lm}} * 16500 \text{ lm} = 3443,05 \text{ cd} \cdot \text{sr}$$

Donde

$I_{real}$ : Intensidad real (cd·sr)

$I_r$ : Intensidad relativa (cd·sr)

$\phi_{real}$ : Flujo luminoso real (lm)



$$Ei = \frac{Ireal}{h^2} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$Ei = \frac{3443,05 \text{ cd} \cdot \text{sr}}{(5,65 \text{ m})^2} = 107,86 \text{ lux}$$

Donde

*Ei*: Iluminancia inicial (lux)

*Ireal*: Intensidad real(cd·sr)

*h*<sup>2</sup>: altura de montaje (m<sup>2</sup>)

$$FM = \frac{Em}{Ei} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$FM = \frac{60,1 \text{ lux}}{107,86 \text{ lux}} = 0,56$$

Donde

*FM*: Factor de mantenimiento

*Em*: Iluminancia medida(lux)

*Ei*: Iluminancia inicial(lux)

- **Trama de cálculo parque La Carolina**

En la ( *Figura 34*), se muestra la simulación en cuanto a la depreciación luminosa del tramo de cálculo del parque La Carolina, en la cual los resultados de los valores de iluminancia promedio , mínimo , máximo, mínimo sobre promedio y mínimo sobre máximo, son mayores a los resultados de la medición en la *Tabla 9*.



Situación de la superficie en la escena exterior:  
Punto marcado: (1739.791 m, 400.212 m, 0.600 m)



<b>7.875</b>	<u>111</u>	103	81	68	61	61	62	70	87	101
<b>5.625</b>	110	101	87	83	86	85	82	87	90	98
<b>3.375</b>	79	80	83	90	106	<u>111</u>	95	85	74	69
<b>1.125</b>	58	60	69	84	104	88	98	74	60	<u>52</u>
<b>m</b>	<b>0.789</b>	<b>2.369</b>	<b>3.947</b>	<b>5.526</b>	<b>7.105</b>	<b>8.684</b>	<b>10.264</b>	<b>11.843</b>	<b>13.422</b>	<b>15.001</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

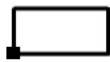
Trama: 10 x 4 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
83	52	111	0.62	0.47

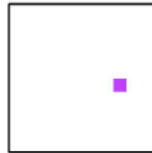
Figura 34. Resultado de la simulación por depreciación luminosa

- **Trama de cálculo Quicentro Shopping**

En la (Figura 35), se indica los resultados de la simulación por depreciación luminosa del tramo de cálculo del Quicentro Shopping, en la cual los valores de iluminancia promedio, mínimo, máximo, mínimo sobre promedio y mínimo sobre máximo, son valores menores en relación a los valores obtenidos en la medición en la Tabla 10.



Situación de la superficie en la escena exterior:  
Punto marcado: (2121.364 m, 390.397 m, 0.600 m)



<b>5.703</b>	126	104	84	66	<u>65</u>	66	71	81	105	118
<b>4.073</b>	<u>141</u>	116	93	79	83	93	100	106	121	125
<b>2.444</b>	115	99	84	84	96	117	127	121	114	100
<b>0.815</b>	89	83	76	88	105	129	136	119	98	81
<b>m</b>	<b>0.000</b>	<b>1.536</b>	<b>3.073</b>	<b>4.609</b>	<b>6.145</b>	<b>7.681</b>	<b>9.218</b>	<b>10.754</b>	<b>12.290</b>	<b>13.826</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 4 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
100	65	141	0.65	0.46

Figura 35. Resultado de la simulación por depreciación luminosa.

#### 4.5 Mapa de zonificación de puntos críticos de contaminación lumínica.

En base a los resultados de contaminación por brillo del cielo nocturno calculado con el medidor (SQM-LU-DL), en un cono de  $20^\circ$ , en la (Figura 36), se indica el área de mayor contaminación lumínica en la Av. Naciones Unidas, registrando valores por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ , lo que representa la posibilidad de activación de conos. En la (Figura 37), se observa el área de medición de contaminación por brillo del cielo nocturno del sector de Carapungo, registrando valores por encima  $19,46 \text{ mag/arcsec}^2$ , lo que implica la pérdida de luz del zenit, estos valores medidos permitieron la comparación con los datos medidos en la Av. Naciones Unidas.

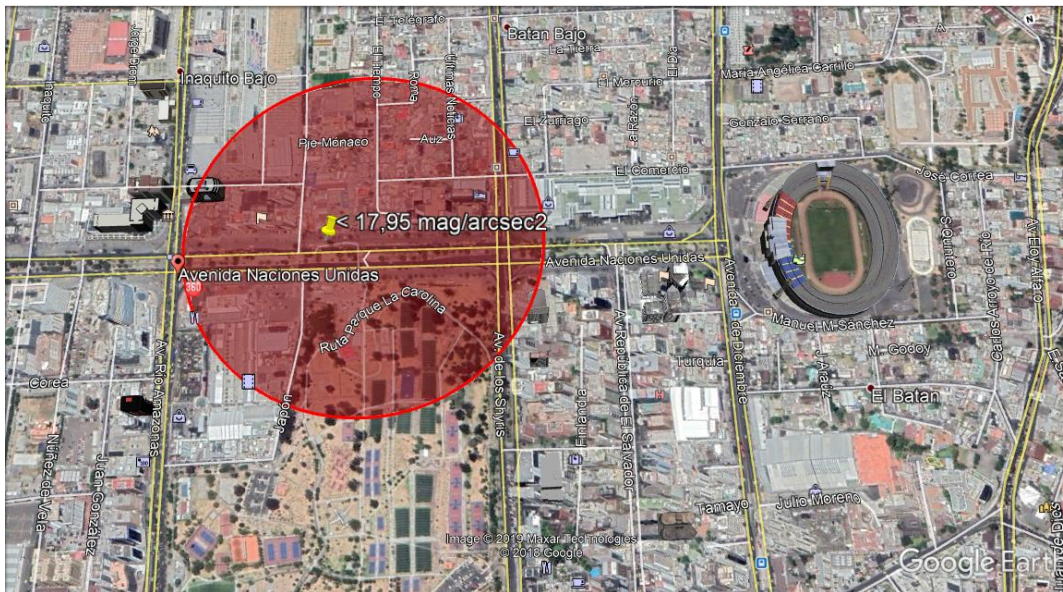


Figura 36. Mapa de contaminación lumínica Av. Naciones Unidas(SQM).

Adaptado de (Google Earth, 2019).

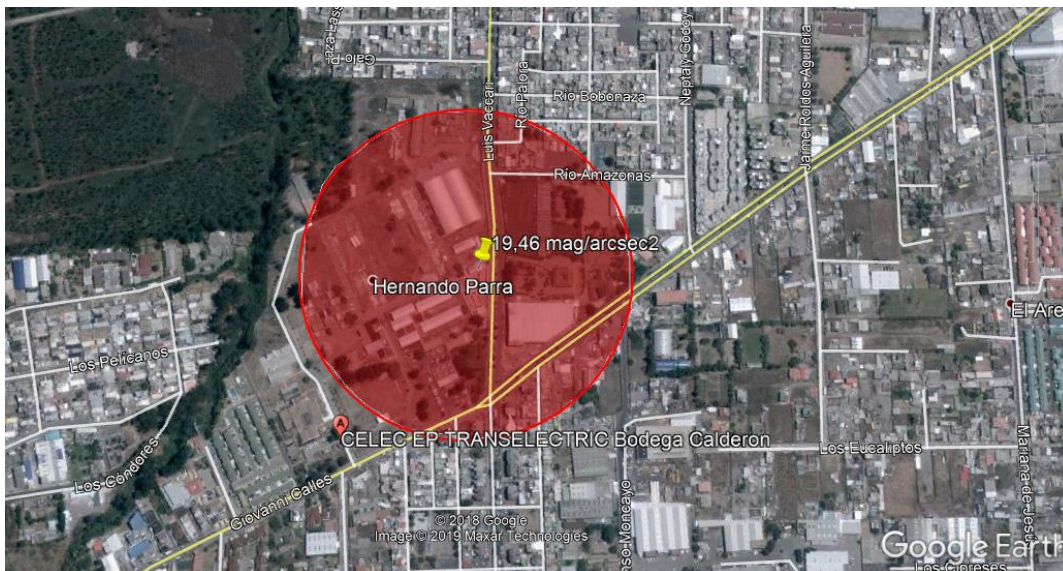


Figura 37. Mapa de contaminación lumínica Carapungo (SQM).

Adaptado de (Google Earth, 2019).

En la (Figura 38), se indica las zonas de medición de iluminancia y las grillas seleccionadas en el mapa de la Av. Naciones Unidas. Con respecto a los valores medidos de iluminancia, en la (Figura 39) y (Figura 40), se representan las zonas con los valores de menor a mayor iluminancia, en referencia a los valores normados, que de acuerdo con la CIE 115-2010, el valor de iluminancia horizontal promedio es de 10 lux . Se indica una escala de color que va de verde a rojo, de acuerdo a los valores de menor a mayor iluminancia respectivamente. De esta manera, siendo las zonas con mayor valor de luxes, las mediciones realizadas debajo de las luminarias, con gran influencia del flujo luminoso o por las luces emitidas por centros comerciales y vehículos en la zona. Por otro lado, las zonas con menor valor de luxes, son las mediciones que se tomaron lejos de las luminarias, por luminarias apagadas o por la presencia de sombra al momento de realizar las mediciones. En la (Figura 39), se observa los valores de iluminancia entre 32,5 lux , valor mínimo a 107,3 lux valor máximo. En la (Figura 40), los valores de iluminancia se encuentran entre 122 lux, valor mínimo y 239 lux valor máximo, siendo estos los valores más elevados, debido a las luces emitidas por centros comerciales y vehículos que transitan por la zona.

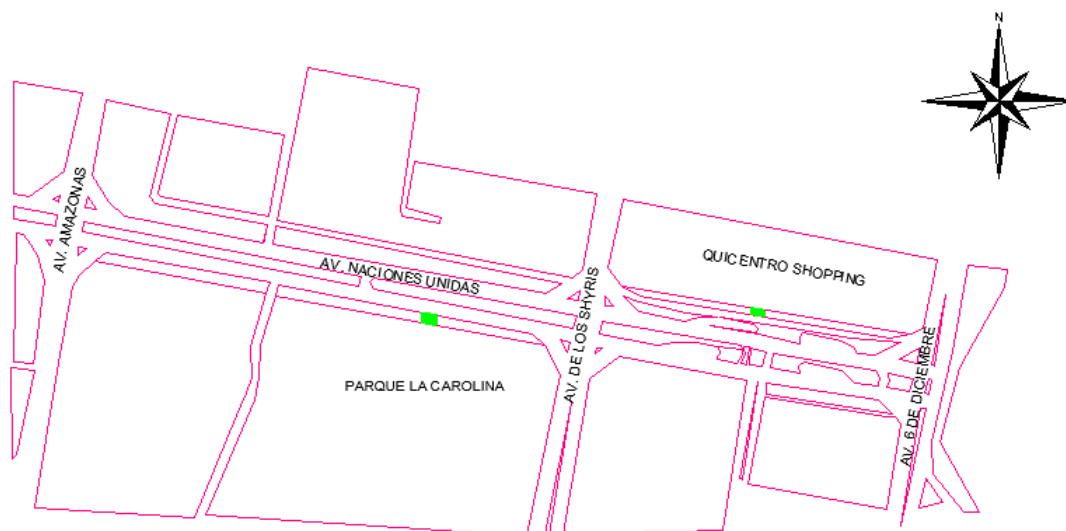


Figura 38. Mapa Av. Naciones Unidas. Grillas de medición.

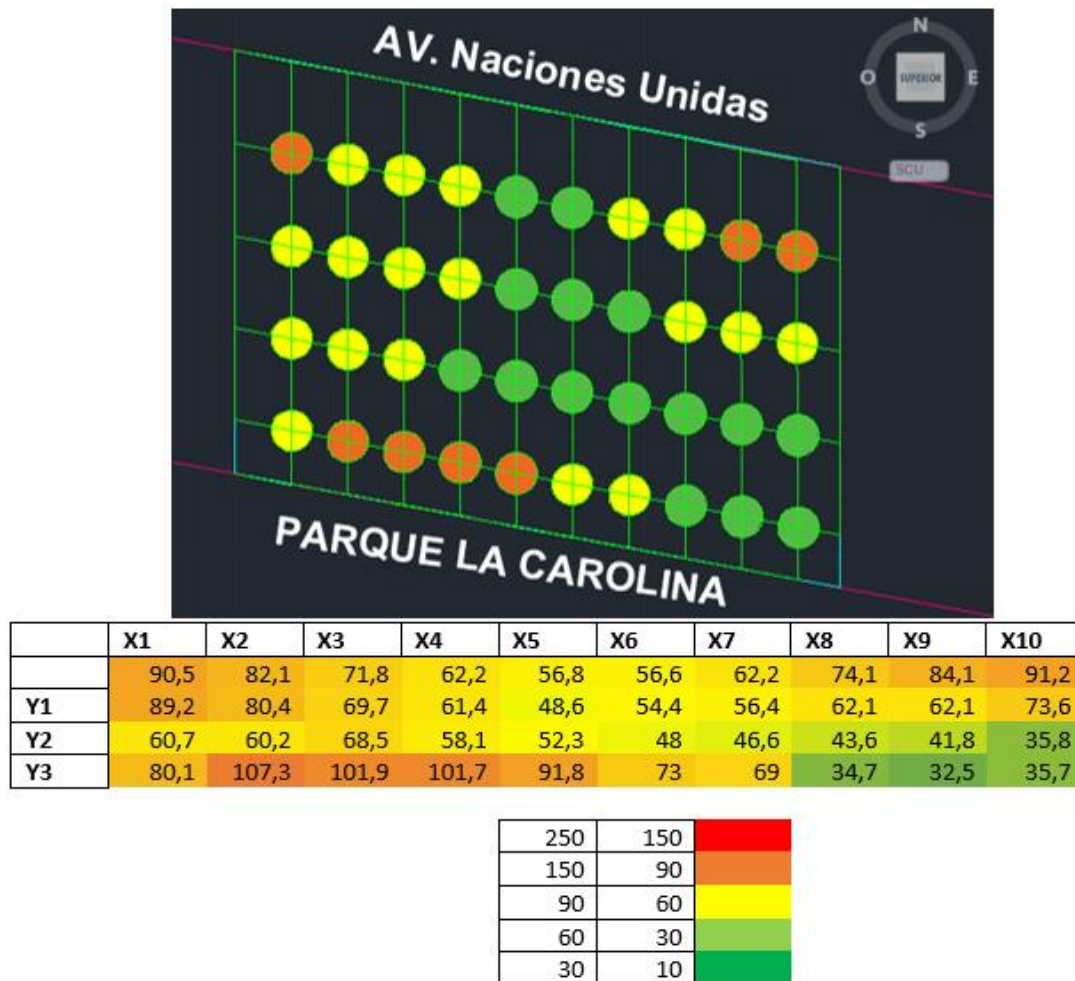


Figura 39. Mapa de puntos críticos. Grilla parque La Carolina

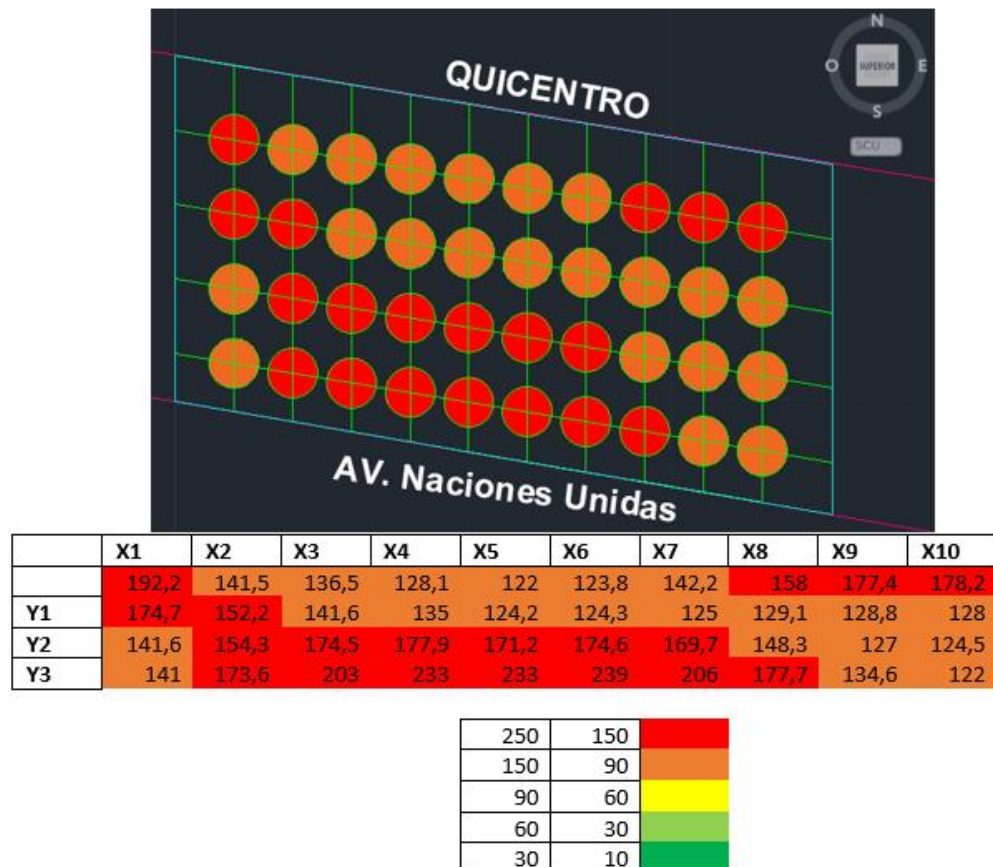


Figura 40. Mapa puntos críticos. Grilla Quicentro Shopping.

En las (Figura 41) y (Figura 42), se representan por colores los valores de iluminancia medidos en las grillas seleccionadas en la Av. Naciones Unidas. Los colores de puntos críticos que se observan van de verde a rojo de acuerdo a los valores de menor a mayor iluminancia. Donde se identifica el color verde más lejano a las luminarias y representan los puntos de menor valor de luxes y los colores amarillo, naranja y rojo, los que se encuentran más cercanos a las luminarias y representan los puntos de mayor valor de luxes medidos en la avenida.

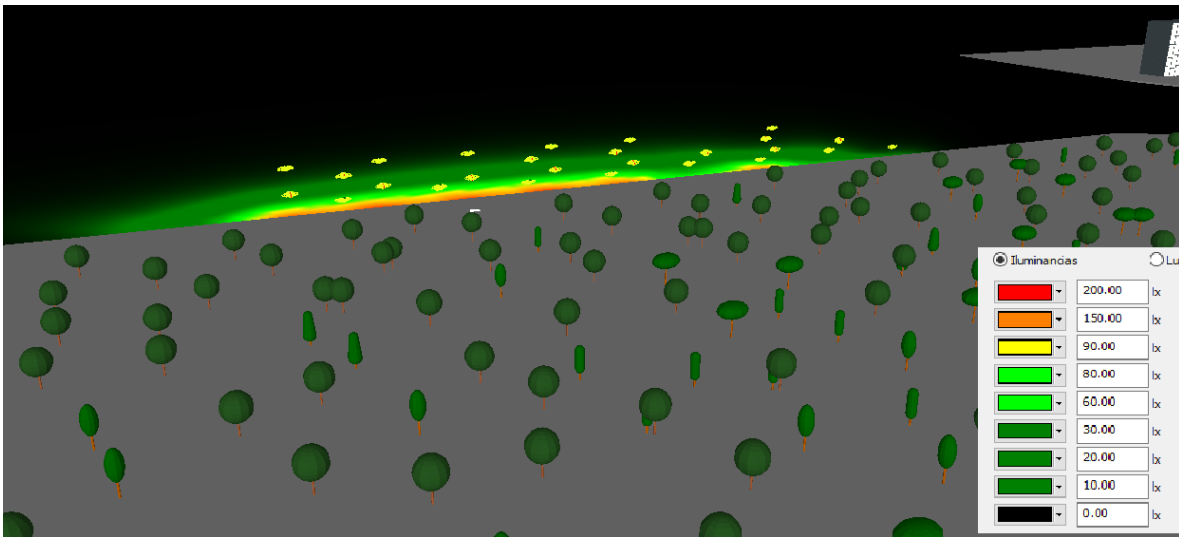


Figura 41. Representación por colores de iluminancia parque La Carolina. (DIALux).

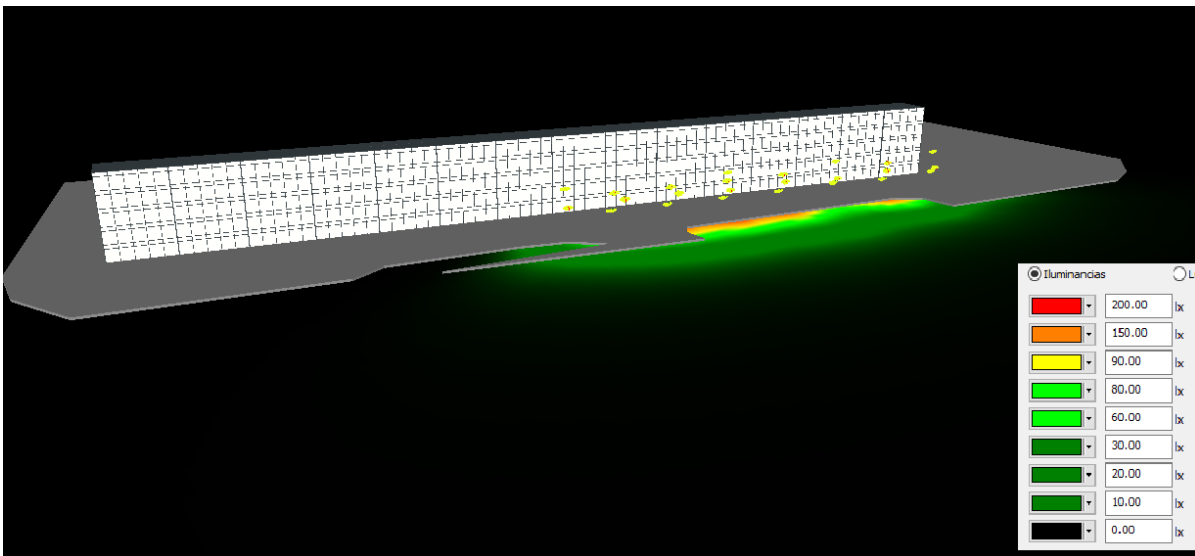


Figura 42. Representación por colores de iluminancia Quicentro Shopping. (DIALux)



## 4.6. Discusión

### 4.6.1. Comparación con normativas nacionales e internacionales

En base a la *Tabla 1*, en la cual se indican los parámetros para la selección de la clase de iluminación tipo (P), vías peatonales, en las cuales se utilizan valores de iluminancia horizontal. Se determina los parámetros fotométricos para las seis clases de iluminación. La *Tabla 11.*, muestra los valores de ponderación seleccionados para determinar la clase iluminación (P1- P6).

Tabla 11.

*Valores de ponderación seleccionados*

<b>Parámetro</b>	<b>Vp seleccionado</b>
Velocidad	1
Volumen de Tráfico	1
Composición de Tráfico	1
Vehículos Parqueados	0
Iluminación Ambiental	1
	$\Sigma Vps = 4$

Tomado de (CIE, 2010).

El número de la clase de iluminación tipo P se calcula como:

$$P = 6 - \Sigma Vps \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$P = 2$$

De acuerdo a la *Tabla 2*, se indican los parámetros fotométricos para áreas peatonales, iluminación horizontal en lux, el valor promedio para P2 es de 10 lux y mínimo de 2 lux en la norma CIE 115-2010. En comparación con los resultados obtenidos *Tabla 9.* y *Tabla 10.*, los valores de iluminancia promedio medidos sobrepasan los valores de iluminancia promedio establecidos en la norma. En el vano medido del parque La Carolina, el valor promedio de iluminancia es de 65, 82 lux y en el vano del Quicentro Shopping, el valor promedio de iluminancia es de

157,23 lux, por lo que los sistemas de iluminación se encuentran sobredimensionados.

En la regulación del Conelec 005/14, El Directorio del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, *Tabla 12*. Se presentan parámetros fotométricos para áreas peatonales y tráfico de baja velocidad. De igual manera los valores promedios para la clase de iluminación P2, se establecen valores de iluminación horizontal promedio de 10 lux y mínimo de 2 lux. Por lo que se determina que los sistemas de alumbrado público medidos están sobredimensionados. (Conelec, 2015).

Tabla 12.

*Clases de iluminación para zonas peatonales*

Clases de Iluminación	TIPO DE APLICACIÓN	
	Iluminación Horizontal (lx) Referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P1	15,00	3,00
P2	10,00	2,00
P3	7,50	1,50
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40

Tomado de (Conelec, 2015)

En base a normativas internacionales, en la *Tabla 13.*, se indica la normativa del Real Decreto 1890/2008, donde se establece los niveles de iluminación horizontal en el área de la calzada para tipos de vías C, D y E. En la cual la clasificación de vías tipo E, son vías peatonales para espacios de conexión peatonal, calles peatonales y aceras a lo largo de la calzada. La clase de alumbrado se determina como S2, que son clases de alumbrado para áreas comerciales con flujo de tráfico alto. Por lo que la iluminancia horizontal media para S2 es de 10 lux y la iluminación mínima es de 3 lux. Los resultados obtenidos en la medición de iluminancia de la Av. Naciones Unidad *Tabla 9.yTabla 10.*, indican valores de iluminancia media elevados y sobrepasan los establecidos en la norma. (Ministerio de Industria, 2008).

Tabla 13.

*Clase de alumbrado para viales tipo C, D y E*

Clase de Alumbrado	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	Iluminancia Media Em (lux)	Iluminancia mínima E min (lux)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1

Tomado de (Ministerio de Industria, 2008)

En la *Tabla 14.*, la normativa publicada por *Illuminating Engineering Society* (2014), ANSI/IES RP8-14 “*Roadway Lighting*”, establece valores recomendados de iluminancia para peatones en áreas conflictivas. Las áreas comerciales en entornos urbanos con alta actividad peatonal nocturna, se establece valores de promedio de iluminancia horizontal de 10 lux e iluminancia horizontal mínima de 5 lux. Por tanto, son valores menores a los valores de iluminancia horizontal medidos en la *Tabla 9* y *Tabla 10*. (IES, 2014).

Tabla 14.

*Valores de iluminancia para vías peatonales*

Valores de iluminancia para vías peatonales			
	Eavg (lux)	EV min (lux)	Eavg/Emin
Mezcla vehículos y peatones	20.0	10.0	4.0
Peatonal	10.0	5.0	4.0

Tomado de (IES, 2014).

En la *Tabla 15.*, para determinar el sobredimensionamiento del sistema de iluminación, se indica los valores obtenidos de iluminancia promedio de lámparas de descarga de alta intensidad (HID) en los vanos de medición, valores de iluminancia media de las lámparas (HID) de acuerdo a la simulación con factor de mantenimiento de 0,20 y 0,56 para la depreciación luminosa, valores de iluminancia media de lámparas (HID) en condiciones iniciales con factor de mantenimiento 1 en la simulación y se indica el sobredimensionamiento en base a las normativas nacionales e internacionales, en donde la iluminancia horizontal promedio para clases de iluminación P2 es de 10 lux, por lo que se determina en el vano del parque La Carolina existe un sobredimensionamiento de 50,7 veces más que los valores establecidos en la normativa y en el vano del Quicentro Shopping un sobredimensionamiento de 50,2 veces más que los valores normados.

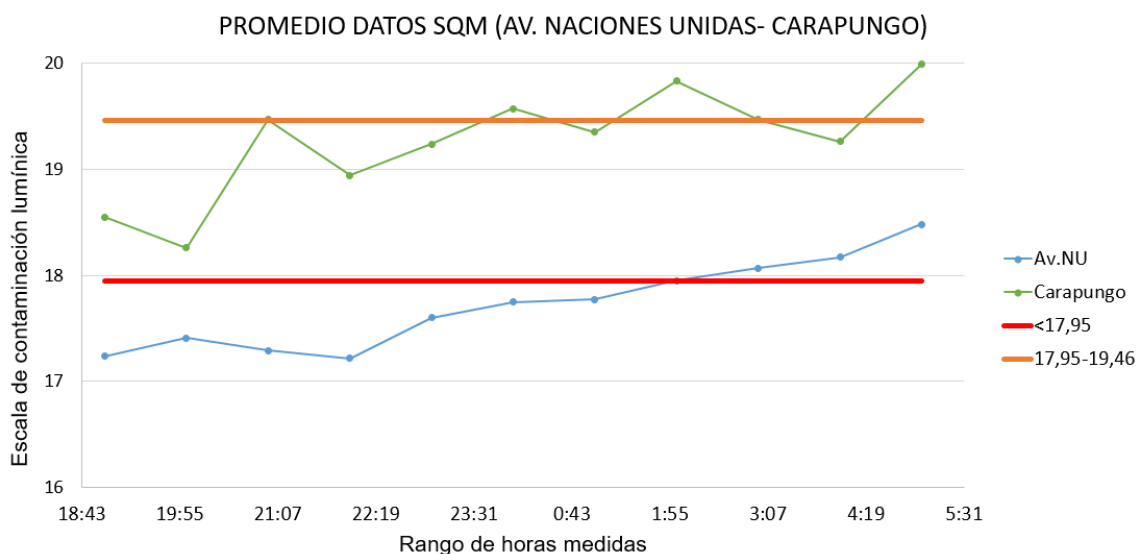
Tabla 15.

*Valores de iluminancia y sobredimensionamiento*

<b>Vanos medidos</b>	<b>Em medida (HID)</b>	<b>Em (HID)</b>	<b>Em (HID)</b>	<b>Límite normativo CIE (P2)</b>	<b>Sobredimensionamiento</b>
La Carolina	65,82 lux	<b>FM=0,20</b> 82 lux	<b>FM=1</b> 507 lux	<b>10 lux</b>	50,7 veces del valor normativo
Quicentro Shopping	157,22 lux	<b>FM=0,56</b> 100 lux	<b>FM=1</b> 502 lux	<b>10 lux</b>	50, 2 veces del valor normativo

#### 4.6.2. Calidad de cielo Av. Naciones Unidas y Carapungo

En la Figura 43, se realizó la comparación entre el promedio de los valores obtenidos por el medidor SQM en las dos zonas medida (Av. Naciones Unidas y Carapungo). En general se muestra la diferencia que existe entre los valores registrados, al igual que las horas en donde se aprecia mayor contaminación lumínica. El sector de la Av. Naciones Unidas muestra valores por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ , sobre todo entre las 21:00 p.m. y 22:00 p.m. tendiendo a subir en la madrugada. Los valores medidos en el sector de Carapungo muestran valores por encima de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$  y debajo de  $19,46 \text{ mag/arcsec}^2$  y sobrepasando este nivel a partir de las 0:00 p.m. La comparación entre las dos zonas muestra valores de contaminación lumínica por brillo del cielo nocturno diferentes, siendo la zona de la Av. Naciones Unidas la que presenta mayor contaminación lumínica, ocasionando la posibilidad de afectación a la salud de los seres humanos y a la fauna urbana, además de la imposibilidad de la observación de la vía láctea. En la zona de Carapungo los valores de contaminación lumínica son menores sobre todo



en horas de la madrugada, donde existe la posibilidad de observación de la vía láctea.

*Figura 43.* Promedio de datos SQM (Av. Naciones Unidas- Carapungo)

#### **4.6.3. Mediciones contaminación lumínica.**

El nuevo atlas de la contaminación lumínica, indica el impacto de la contaminación causado por las luces artificiales nocturnas en la población mundial. El 83% de la población a nivel mundial y 99% de las poblaciones de Europa y Estados Unidos, viven con cielos contaminados por la luz artificial. Utilizando un satélite y sensor DNB VIIRS, se obtuvo resultados que demuestran que la mayor parte del mundo está afectado por la contaminación lumínica, provocando consecuencias ecológicas globales y problemas de salud, además del desperdicio energético y monetario. De acuerdo a los resultados del atlas mundial, Ecuador se encuentra entre (1.7 a 14  $\mu\text{cd}/\text{m}^2$ ), que significa la pérdida de luz del horizonte, donde se llega a apreciar un poco de contaminación lumínica en el horizonte. Sin embargo, debido que las luces son de naturaleza dinámica, pueden ocultarse en presencia de nubes por lo que los datos medidos pueden variar. (Baugh et al., 2016). Es de esta manera que, para la obtención de datos precisos, las mediciones de la contaminación lumínica deben realizarse en una zona específica y con los medidores necesarios. Los resultados medidos en la zona de la Av. Naciones Unidas muestran valores menores a (17,95  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ), por lo que existe contaminación lumínica en la zona y la posibilidad de ocasionar efectos perjudiciales a la salud y la alteración de los ciclos biológicos tanto de la fauna del lugar como a las personas es alta.

Estudios realizados en el Ecuador, demuestran la presencia de contaminación lumínica como la evaluación de la contaminación lumínica causado por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca, en la cual se utilizó un medidor de cielo SQM para las mediciones de contaminación de cielo nocturno en diferentes calles de la ciudad, los resultados obtenidos en el estudio muestran valores entre (14,91-16,19  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ), que de acuerdo a los niveles de contaminación lumínica propuestos

en el estudio se encuentran entre muy contaminado y contaminado. (Espinoza, 2014). Los resultados de medición de contaminación lumínica registrado por el medidor SQM-LU-DL en la Av. Naciones Unidas muestra valores de contaminación por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ , lo que representa en muy contaminado de acuerdo a los niveles de contaminación propuestos. Se realizó un estudio en Galápagos por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), en el Puerto Baquerizo Moreno, en la calle Española, donde se midió los niveles de luminancia que de acuerdo a la CIE 115-2000 el valor promedio de iluminancia es de  $2 \text{ cd/m}^2$  y los valores medidos son de  $4,7 \text{ cd/m}^2$  por lo que se evidencia contaminación lumínica en el sector, debido principalmente al turismo de la isla. (Velásquez, 2018).

La revista Ciencias Espaciales (FACES), realizó un estudio del brillo del fondo en el cielo nocturno del Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa (OACS) en Honduras, en el cual se utilizó el fotómetro SQM-L para realizar mediciones de contaminación lumínica en el OACS, el cual se encuentra rodeado de zonas urbanas con gran influencia de la ciudad. Se registró cielos altamente contaminados a  $30^\circ$  donde los datos fueron de  $16,3 \text{ mag/arcsec}^2$  y después de los  $60^\circ$  los valores fueron de  $18,7 \text{ mag/arcsec}^2$  lo que representa mayor oscuridad. De igual manera se realizó mediciones en lugares alejados a la ciudad donde se evidenciaron cielos oscuros y despejados. (Pastrana, 2012). De igual manera, los valores registrados en la medición de brillo del cielo nocturno por el equipo SQM-LU-DL, indican valores de cielos contaminados en la zona de mayor comercialización como es la Av. Naciones Unidas y cielos menos contaminados en zonas alejadas a la ciudad como es el sector de Carapungo.

#### **4.6.4. Uso de lámparas LED en el alumbrado público.**

La introducción de nueva tecnología en los últimos años en los sistemas de iluminación ha proporcionado soluciones de iluminación sostenibles. Las lámparas de diodos emisores de luz (LEDs), son dispositivos semiconductores con una

longitud de onda monocromática que emite una corriente eléctrica entre los extremos de forma directa. Sus ventajas son el ahorro energético, larga vida útil, bajos costos de mantenimiento, lo que hace a un sistema de alumbrado público eficiente. (Fraile y Gago,2012).

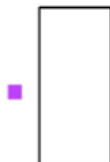
La gama de Ampera de Schreder establece soluciones para los sistemas de iluminación urbanos, con larga vida útil, reducido costos de mantenimiento y aumentando la eficiencia energética (Schreder, 2015) .En calles con disposición tresbolillo como es la disposición actual de la Av. Naciones Unidas, con distancias entre las luminarias de 15 m en la misma acera y 8m de ancho, se emplean luminarias Ampera del modelo mini, debido a que no se requiere excesivo flujo luminoso ni potencias puesto que su distribución es de tresbolillo y la fotometría, alcance y dispersión son de mayor interés para que se pueda llegar a iluminar toda la acera.(Izquierdo y Safont,2017) .

Para comparar los valores de iluminancia horizontal de las luminarias medidas en zona de la Av. Naciones Unidas, se realizó una simulación de la avenida con lámparas Schreder Ampera mini LED 8 con flujo luminoso de 1192 lm y potencia de 10W .Se registró los valores en los dos vanos de medición parque La Carolina (*Figura 44*) y Quicentro Shopping (*Figura 45*),obteniendo valores de iluminancia horizontal promedio considerablemente menores a los medidos en la avenida. Logrando un sobredimensionamiento con lámparas LED que cumplan con valores de iluminancia horizontal establecidos en las normas.





Situación de la superficie en la escena exterior:  
Punto marcado: (1739.791 m, 400.212 m, 0.600 m)



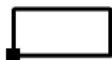
<b>7.875</b>	13	17	12	7.42	5.67	4.64	5.35	7.06	10	14
<b>5.625</b>	14	21	14	25	<u>35</u>	7.50	6.00	6.09	7.26	10
<b>3.375</b>	7.88	28	17	17	20	14	9.85	7.01	5.73	5.54
<b>1.125</b>	<u>4.42</u>	4.95	6.73	12	15	13	12	8.22	5.72	4.44
<b>m</b>	<b>0.789</b>	<b>2.369</b>	<b>3.947</b>	<b>5.526</b>	<b>7.105</b>	<b>8.684</b>	<b>10.264</b>	<b>11.843</b>	<b>13.422</b>	<b>15.001</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

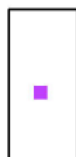
Trama: 10 x 4 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
12	4.42	35	0.38	0.13

Figura 44. Simulación de lámparas Ampera mini LED parque La Carolina



Situación de la superficie en la escena exterior:  
Punto marcado: (2121.364 m, 390.397 m, 0.600 m)



<b>5.703</b>	15	14	8.48	6.65	14	14	<u>5.07</u>	5.88	7.85	9.35
<b>4.073</b>	16	18	9.81	7.19	29	<u>34</u>	8.52	7.46	8.67	10
<b>2.444</b>	17	22	9.24	7.22	17	20	13	10	8.57	9.26
<b>0.815</b>	20	30	9.51	6.52	15	17	12	12	8.94	7.34
<b>m</b>	<b>0.000</b>	<b>1.536</b>	<b>3.073</b>	<b>4.609</b>	<b>6.145</b>	<b>7.681</b>	<b>9.218</b>	<b>10.754</b>	<b>12.290</b>	<b>13.826</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 4 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
13	5.07	34	0.39	0.15

Figura 45. Simulación de lámparas Ampera mini LED Quicentro Shopping

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

En base a las mediciones realizadas en la Av. Naciones Unidas, de calidad de cielo e iluminancia para la evaluación de contaminación lumínica en el sector, se determinó valores elevados de contaminación lumínica debido al uso de iluminación artificial en la avenida de manera excesiva e innecesaria.

Los resultados registrados por el medidor de calidad de cielo (SQM-LU-DL), indicaron valores por debajo de  $17,95 \text{ mag/arcsec}^2$ , que de acuerdo, con la escala de contaminación propuesta, representa la posibilidad de activación de conos, lo que causa la alteración de los ciclos biológicos, (regeneración celular, producción de hormonas, etc.). Perjudicando la salud de los seres humanos y de los animales nocturnos. Además, se registraron valores entre  $17,95-19,46 \text{ mag/arcsec}^2$ , lo que significa, la imposibilidad de la observación de la vía láctea y la pérdida de luz natural, en esta zona de la ciudad la cual presenta alta comercialización y circulación tanto vehicular como peatonal.

Las horas donde se midieron mayor contaminación por brillo del cielo nocturno es de 19:00-00:00 p.m. sobre todo de 21:00-22:00 p.m. y tendiendo a disminuir la contaminación en horas de la madrugada. Los días que se registraron mayor contaminación lumínica son los días entre semana y disminuyendo los fines de semana. De acuerdo a la comparación con los datos medidos en el sector de Carapungo, los valores de contaminación por brillo del cielo nocturno son menores a los registrados en la Av. Naciones Unidas, debido a que es una zona alejada del de la ciudad y el uso de iluminación artificial es menor.

Las mediciones de iluminancia realizada en la Av. Naciones Unidas, con el luxómetro MAVOLUX 5032 C/B , en los vanos calculado : parque La Carolina y Quicentro Shopping, registraron valores de iluminancia promedio elevados en

comparación con los valores de iluminancia en tipo de vías peatonales (P), donde se establecen los valores de iluminancia horizontal promedios y mínimos específicos, siendo los valores medidos superiores y causando un sobredimensionamiento del sistema de alumbrado público en 50,7 veces más que el límite normativo en el vano del parque La Carolina y 50,2 veces más que el límite normativo en el vano del Quicentro Shopping.

De acuerdo con el mapa de zonificación de los puntos críticos medidos en las grillas seleccionadas en la Av. Naciones Unidas, se determinaron valores de mayor iluminancia en la grilla del Quicentro Shopping, debido al flujo luminoso de las luminarias, luces emitidas por el centro comercial y por vehículos que transitan por la zona. Sin embargo, la grilla medida en el parque La Carolina de igual manera presenta valores de mayor iluminancia debajo de las luminarias y valores menores al alejarse de estas, por luminarias apagadas o por la presencia de sombra en las mediciones.

Para proponer medidas de mejora al uso de iluminación artificial se realizó la simulación en DIALux de una lámpara LED (Schreder Ampera mini) para el alumbrado público, obtenido valores de iluminancia horizontal promedio en los dos vanos medidos : parque La Carolina y Quicentro Shopping, menores a los valores medidos en la avenida , los valores de iluminancia en condiciones iniciales y por depreciación luminosa, por lo que se considera una alternativa de uso en el sistema de alumbrado público, logrando un sobredimensionamiento con lámparas tipo LED que cumplan con los valores establecidos en la norma, aumentando la eficiencia energética, vida útil ,menores costos de mantenimiento y disminuyendo la posibilidad de afectación a la salud y al medio ambiente por la contaminación lumínica.

## 5.2. Recomendaciones

El resultado de los valores medidos de calidad de cielo como de iluminancia, demuestran que en la actualidad la contaminación lumínica es un problema y que podría afectar la salud de los seres humanos, provocar consecuencias en la ecología global y aumentar el desperdicio energético y monetario. Es por este motivo, que la contaminación lumínica es un tema que debe ser tratado de inmediato.

Entre las medidas de mejora y control que se debe emplear para evitar mayor contaminación lumínica es el diseñar y dimensionar los sistemas de alumbrado público de acuerdo a los valores establecidos en las normativas para evitar niveles elevados de contaminación, que ocasionan la polución lumínica en el sector. Además, se recomienda no sobredimensionar las instalaciones de las luminarias, para proteger el cielo nocturno, el consumo energético y económico de la ciudad.

Se debe considerar la instalación y mantenimiento de las luminarias. La verificación del diseño e instalación, de parámetros como la altura de montaje, ángulo de inclinación, etc. La instalación de las luminarias a  $0^{\circ}$ , evitará que el flujo luminoso vaya hacia el cielo y solo se ilumine el suelo, lo que reducirá la posibilidad de contaminación lumínica, cumpliendo con los criterios técnicos y valores promedios de las normativas nacionales e internacionales.

El uso de lámparas LED, son una alternativa de mejora para el sistema de alumbrado público de manera eficiente, disminuyendo la contaminación lumínica sobre todo en zonas de alto tránsito y comercialización. Representan una solución viable para los sistemas de iluminación urbanos, aumentando la eficiencia energética, vida útil de las lámparas, bajos costos de mantenimiento y cumpliendo con los valores establecidos en las normativas.

Se recomienda para próximas investigaciones, la evaluación de contaminación lumínica en otras zonas de ciudad, donde el uso de iluminación artificial es alto y

proponer medidas de mejora. Además, de investigaciones de afectación a la fauna urbana como a la salud de las personas por contaminación lumínica.

## REFERENCIAS

- Antero, J., & Ramírez, V. (2014). Evolución de las teorías de explotación de recursos naturales: Hacia la creación de una nueva ética mundial. *Luna Azul*.(39),1-23. Recuperado el 10 de marzo del 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n39/n39a17.pdf>.
- Baugh,K., Cinzano,P., Duriscoe,D., Elvidge,C., Falchi,F., Furgoni,R ., Kyba,C ., Portonov,B., Rybnikova, N.(2016). *The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness. Science Advances* , 1–26. doi: 10.1126/sciadv.1600377.
- Barba,M., Cañavate,E., Campo,J., Galadí,D., Morell,JSarroca,J., Vázquez,J, et al.(2008).Contaminación Lumínica.*Conama,Congreso Nacional del Medio Ambiente*.8-9.Recuperado el 12 de mayo del 2019, de <http://www.celfosc.org/biblio/general/conama92008.pdf>
- Bautista,N., Carbajal,J., Pérez,E. (2012). Técnica para medir transmitancia en capas dieléctricas en el rango de radiofrecuencia.Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales.*25(1).60.Recuperado el 14 de mayo del 2019* , de <http://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v25n1/v25n1a11.pdf>
- Buchiniz, Y., Lepez,H., Torres,M. (2010). El Valor del Recurso Cielo – Paisaje Nocturno y la Contaminación Lumínica. *Ambiental 2010 San Juan I Argentina*, 7-8.Recuperado el 20 de mayo del 2019 , de [http://www.turismoenconservacion.org/pdf/publicaciones/dadb1a\\_Paisaje\\_Nocturno\\_contaminaci%C3%83%C2%B3n\\_lum%C3%83%C2%ADnica\\_Buchiniz-Torre-Lepez\\_2010.pdf](http://www.turismoenconservacion.org/pdf/publicaciones/dadb1a_Paisaje_Nocturno_contaminaci%C3%83%C2%B3n_lum%C3%83%C2%ADnica_Buchiniz-Torre-Lepez_2010.pdf)
- CIE. (2000). *Road Lighting Calculations* Cie 140 -2000. *The International Commission on Illumination*.1-36.Recuperado el 23 de febrero del 2019,de <http://www.51ballast.cn/tec/gf/8.pdf>
- CIE. (2010). *Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. The International Commission on Illumination*.1-45.
- CIE. (1983).*The Basis of Physical Photometry. The International Commission on Illumination*.6-7.
- Cinzano, P., Elvidge, C., Falchi, F., Haim, A., y Keith, D. (2011). *Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. Journal of Environmental Management*, 92(10), 2714–2716. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>
- CONELEC. (2015). Regulacion No. CONELEC 005/14. *El Directorio Del Consejo Nacional De Electricidad Conelec*.Recuperado el 1 de marzo del 2019, de

[https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Regulaci%C3%B3n-No.-CONELEC-005\\_14-Prestaci%C3%B3n-APG\\_.pdf](https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Regulaci%C3%B3n-No.-CONELEC-005_14-Prestaci%C3%B3n-APG_.pdf)

- Cuenca, N., Mollo,E., Riquelmen,M. (2010). La transducción visual. *Ann d’Oftalmologia* 18(3), 130–132.Recuperado el 20 de mayo del 2019, de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16719/1/transduccion\\_visual.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16719/1/transduccion_visual.pdf)
- Cuerdo,J., Mockey,I., y Rodríguez,M.(2012).Evaluación de la depreciación luminosa y la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado viario.*Ingeniería Energética*,33,27-28.Recuperado el 20 de mayo del 2019, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v33n1/rie04112.pdf>
- Chepesiuk,R. (2010). Extrañando la oscuridad. *Salud Pública de México*, 52(5), 470–477. Recuperado el 12 de marzo del 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342010000500015](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342010000500015)
- Dial.(2005). *DIALux 4 with new improved calculation kernel; Research paper to Laboratory of company DIAL. Light Building Software.1-15*.Recuperado el 13 de marzo del 2019, de <https://archbpswiki.bwk.tue.nl/bpswiki/images/b/b8/DiaLux-calculation-kernel.pdf>
- Enríquez,G.(2004).El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión (2.ª ed.)148-149.México. D.F, México:Limusa S.A.
- Enríquez,G.(2012).Diseño de sistemas eléctricos:Basado en la norma oficial Mexicana de instalaciones eléctricas.(1ª ed).76.MéxicoD.F,México:Limusa S.A.
- Espinoza,J., Guanquiza,M., y Quito,R. (2014). Metodología para evaluar la polución lumínica causada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca. *MASKANA, I+D+ingeniería*, 2, 163–173.Recuperado el 2 de mayo del 2019, de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/584/508>
- Fraile,J., y Gago,A. (2012).Iluminación con tecnología LED.1ª ed.17-18. España:Paraninfo S.A
- Gallaway, T., Mitchell, D., y Olsen, R. N. (2010). *The economics of global light pollution. Ecological Economics*, 69(3), 658–659. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.10.003>
- García, M., San Martín, R., y Solano, H. (2012). Metodología ramal-UPC para análisis cuantitativo de la contaminación lumínica.*ResearchGate*.4-6. Recuperado el 20 de febrero del 2019, de [https://www.researchgate.net/publication/250615293\\_Metodologia\\_ramal-](https://www.researchgate.net/publication/250615293_Metodologia_ramal-)

## UPC\_para\_analisis\_cuantitativo\_de\_la\_contaminacion\_luminica

- García Gil, M., Francia, P., San Martín, R., Solano, H. (2012). Contaminación lumínica una visión desde el foco contaminante: el alumbrado artificial. (1ª ed). 17-21. Barcelona: (U.P.C. Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech). Recuperado el 22 de abril del 2019, de <http://hdl.handle.net/2099.3/36606>.
- García. (2015). Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para su evaluación y acondicionamiento. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)*. 5-8. Recuperado el 22 de abril del 2019, de <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/Iluminacion%20en%20el%20puesto%20de%20trabajo.pdf>
- García, M., Meléndez, L., Sierra, C. (2015). *Modeling light pollution in urban environments. International Congress on Project Management and Engineering*. 19.1380-1381. Recuperado el 14 de mayo del 2019, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/83340/04026.pdf?sequence=1>
- GOSEN. (2010). Tecnología de medición de la luz. *Gossen*. 8-9. Recuperado el 3 de mayo del 2019, de [https://gossen-photo.de/wp-content/uploads/DL/LMT/GOSEN\\_Katalog\\_Lichtmesstechnik\\_ES.pdf](https://gossen-photo.de/wp-content/uploads/DL/LMT/GOSEN_Katalog_Lichtmesstechnik_ES.pdf).
- IESNA, (2011). *Addressing Obtrusive Light (Urban Sky Glow and Light Trespass in Conjunction with Roadway Lighting. The Lighting Authority*. 1-7. New York: *Illuminating Engineering Society*.
- IES, (2014). *Roadway Lighting*. 12-13. New York: *Illuminating Engineering Society*.
- Izquierdo, S., y Safont, F. (2017). Proyecto de mejora del alumbrado público en el distrito de Cuatro Carreres de la ciudad de Valencia. 29-31. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia.
- Kocifaj, M. (2011). *A numerical experiment on light pollution from distant sources. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 415(4), 3609–3610. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.18977.x>.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2008). REAL DECRETO 1890/2008, *Boe*. (279), 45988–46057. Recuperado el 22 de abril del 2019 de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/11/14/1890/dof/spa/pdf>.
- Narisada, K., y Schreuder, D. (2004). *Light Pollution Handbook. Astrophysics and Space Science Library* (Vol. 322). Virginia, U.S.A.: Springer doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2666-9>.
- Obralux. (2010). *Luminotecnia*, 1ª ed. Caracas, Venezuela: Obralux. 152-156. Recuperado el 22 de mayo del 2019, de



<http://www.obralux.com/pdf/luminotecnia.pdf>

- Pastrana, R. (2012). CIENCIAS ESPACIALES Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES). *Ciencias Espaciales*, (Universidad Nacional Autónoma de Honduras),5(2) 48–60. Recuperado el 20 de marzo del 2019, de [http://faces.unah.edu.hn/decanato/images/stories/PDF/revista/otoo\\_2012.pdf](http://faces.unah.edu.hn/decanato/images/stories/PDF/revista/otoo_2012.pdf)
- Peña, J. (2010). *Contaminación Lumínica. Asociación contra la contaminación lumínica (Cel Fosco)*.5-12.Recuperado el 9 de abril del 2019 de <http://www.celfosc.org/biblio/general/gt20vconama.pdf>
- Philips.(2018).Conocer la tecnología LED.Fundamentos de la tecnología LED.*Philips Lighting University*.Recuperado el 15 de mayo del 2019 de, <http://www.lighting.philips.es/formacion/lighting-university/lighting-university-browser/course/understanding-led-technology>
- Schreder. (2015). Soluciones de iluminación digitales. *Schreder*.35.Recuperado el 3 de junio del 2019, de [https://soluciones-iluminacion.schreder.com/wp-content/uploads/2018/05/Cat%C3%A1logo-de-Schreder-2017\\_BB.pdf](https://soluciones-iluminacion.schreder.com/wp-content/uploads/2018/05/Cat%C3%A1logo-de-Schreder-2017_BB.pdf)
- Schreder . (2012). Catálogo de Equipos de Iluminación.1ª ed.México D.F, México: *Schreder Group*.
- Unihedron. (2019). *SQM-LU-DL Operator's Manual*. *Unihedron*. 11-12.Recuperado el 28 de abril del 2019, de [http://unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU-DL/SQM-LU-DL\\_Users\\_manual.pdf](http://unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU-DL/SQM-LU-DL_Users_manual.pdf)
- Velásquez, C. (2018). Fuentes de contaminación lumínica en Galápagos. Instituto de Investigación Geológico y Energético. *IIGE*.(6),5-7.

