



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL GRADO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN EL  
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO-ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero e Ingeniera Ambiental

**AUTORES:**

**BRYAN ALEXANDER AROCA MOROCHO**

**PATRICIA MICHELLE HERRERA PAUCAR**

**TUTOR: RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO**

Quito – Ecuador

2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros Bryan Alexander Aroca Morocho, con documento de identificación N° 1726470352 y Patricia Michelle Herrera Paucar con documento de identificación N° 1752893055, manifestamos que:

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

Quito, 06 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Bryan Alexander Aroca Morocho

1726470352



---

Patricia Michelle Herrera Paucar

1752893055

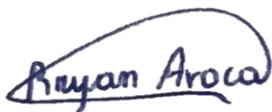
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros Bryan Alexander Aroca Morocho, con documento de identificación N° 1726470352 y Patricia Michelle Herrera Paucar con documento de identificación N° 1752893055, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Estudio y Análisis del Grado de la Contaminación Lumínica en el Distrito Metropolitano de Quito- Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero e Ingeniera Ambiental , en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 06 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Bryan Alexander Aroca Morocho

1726470352



---

Patricia Michelle Herrera Paucar

1752893055

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Renato Gabriel Sánchez Proaño con documento de identificación N° 1715542401, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL GRADO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO- ECUADOR realizado por Bryan Alexander Aroca Morocho y Patricia Michelle Herrera Paucar, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 06 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Ing. Renato Gabriel Sánchez Proaño M.Sc.

1715542401

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo experimental se lo dedico principalmente a la persona más especial; mi madrecita Rosa Morocho, por alentarme a seguir adelante porque si hoy he llegado hasta este punto de mi vida, se debe a los valores y principios que supo compartirme en todo el trayecto de mi existencia, además de brindarme siempre su apoyo incondicional sin importar la situación y circunstancia. Por cumplir el rol de padre, madre y amiga a la vez, debido a su perseverancia, humildad, amor, cariño y comprensión, se convertido en mi fuente de inspiración y motivo de llegar a cumplir cualquier meta propuesta.

A mi tía Martha Morocho, a quien considero como mi otra madre, por compartir momentos gratificantes, por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. Quien con su amor y apoyo me ha motivado a llegar a cumplir hoy un sueño más, inculcando en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermana Evelyn Aroca, quien de igual manera cumplió un rol importante en mi vida, formando parte de todas aquellas personas que cuidaron y velaron por mí.

A mis amigas Sheyla Padilla, Lizbeth Narváez, Camila Hidalgo, Carolina Sarzosa y Karla Yáñez, por inspirarme a seguir adelante, sus palabras de apoyo, las desveladas y sin duda alguna las tardes de lokiár. Con su amistad han hecho de esta experiencia una de las más especiales.

A Michelle Herrera, amiga y compañera de tesis por ser parte de este proceso y estar en cada paso del camino, creíste en mí aun cuando yo no lo hacía, siempre hemos formado un gran equipo y esta no sería la excepción, gracias por ser incondicional.

***Bryan Alexander Aroca Morocho***

Este logro se lo dedico al tesoro más grande que Dios ha puesto en mi vida, mis padres William Herrera y Teresa Paucar; que con su amor, cariño y apoyo incondicional han sido testigos de cada paso que he dado en mi formación académica, quienes siempre confiaron en mi y supieron que alcanzaría esta meta que también es suya gracias al esfuerzo que han hecho por apoyarme y nunca dejarme sola. Me siento tan dichosa al tener juntos unos padres tan buenos como ustedes, quienes con su gran ejemplo han sembrado valores en nuestro hogar para que pueda formarme como un gran ser humano. Los amo con todo mi corazón y cada escalón que suba será en nombre de Dios y el de ustedes.

A mis hermanos, John y Williams Herrera para que tomen el ejemplo y logren alcanzar sus metas, siempre en agradecimiento a quienes nos lo han dado todo, mis padres. Los quiero mucho ñaños.

A mi tía, la Ing. Verónica Herrera MSc, que es la persona en quien me he inspirado para estudiar esta hermosa carrera como lo es la Ingeniería Ambiental, por impartirme sus grandes conocimientos para poder llegar a ser colegas y trabajar de la mano en la Gestión Ambiental.

A mi prima, la Arq. Joselyn Fernández, por ser como mi hermana, por los consejos que me ha regalado y el apoyo incondicional en todo momento, te quiero mucho mi gordita y aunque nuestro primo Dennis ya no esté con nosotros este logro va dedicado para él también porque sé que al igual que tú estaría tan contento por mí.

A mi tío Geovanny Herrera quien siempre me ha enseñado que los Herrera nacimos para avanzar siempre a la meta propuesta cueste lo que cueste, quien no me ha permitido rendirme en el ámbito académico y siempre alentarme a salir adelante pero con humildad. Lo quiero como que fuera mi propio padre.

A mi abuelita Rosa por el amor y cariño tan puro que me ha brindado desde que era pequeña, quien iba a retirarme al kínder, la amo mamita Rosa.

A mis tíos Marcelo, Mesias, Rubén y Ramiro (+) por el cariño inmenso que han tenido hacia mi persona, los quiero mucho mis tíos lindos.

A mis tías Clarita, María y Elsi por ser como unas segundas madres cuando las he necesitado, las quiero demasiado.

A mis primas Kathy Ortíz y Lizeth Paucar por ser como las hermanas que nunca tuve.

A mis primos de la familia Paucar por la gran acogida en cada momento familiar. Los quiero a todos y cada uno es muy especial para mí.

A mis amigo Bryan Aroca quien ha sido mi confidente y colega en cada proyecto juntos, te quiero demasiado mejor amigo.

A mis amigas Sheyla Padilla y Karen Padilla por la amistad tan pura y sincera que me han brindado, por cada locura vivida juntas, las quiero mis mijitos.

A mis amigas Camila Hidalgo y Tatiana Simba sin duda alguna los mejores de la vida universitaria con quienes he vivido muchas experiencias. Las quiero muchísimo.

***Patricia Michelle Herrera Paucar***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la dicha de la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al MSc. Victor Rueda quien formuló el tema de investigación, quien se prestó en calidad de tutor del trabajo experimental y ha guiado con preocupación, paciencia, aportaciones y profesionalismo como docente y a MSc. Renato Sánchez, tutor de nuestro proyecto de investigación por confiar plenamente en nuestro trabajo.

A nuestra amiga, colega y colaboradora Ing. Tatiana Simba, quien formo parte de todo este proceso, brindarnos su ayuda con mucha preocupación y guiarnos hasta el momento último de esta etapa.

A nuestros hermanas (os) y familiares por estar siempre presentes con algún consejo y palabras de aliento de siempre esforzarnos hasta cumplir las metas planteadas y de que no nos estanquemos.

A nuestros compañeros (as) de la Carrera de Ingeniería Ambiental, por brindarnos apoyo académico.

Finalmente a todas aquellas personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

***Bryan Alexander Aroca Morocho***

***Patricia Michelle Herrera Paucar***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	xvi
<b>SUMMARY</b> .....	xvii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Delimitación .....	3
1.2. Pregunta de investigación.....	4
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivo Específicos .....	4
1.4. Hipótesis.....	5
1.4.1. Hipótesis nula .....	5
1.4.2. Hipótesis alternativa .....	5
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	6
2.1. Generalidades de luminotécnica.....	6
2.1.1. Luminotecnia .....	6
2.1.2. Magnitudes de Luminotecnia .....	6
2.2. Tipos de Iluminación.....	7
2.2.1. Iluminación Natural .....	7
2.2.2. Iluminación Artificial .....	8
2.2.2.1. Fuentes de Iluminación Artificial. ....	8
2.3. Contaminación Lumínica .....	9
2.3.1. Tipos de Contaminación Lumínica.....	10
2.3.1.1. Dispersión Lumínica.....	10
2.3.1.2. Luz Difusa.....	10
2.3.1.3. Luz Intrusa. ....	11
2.3.1.4. Deslumbramiento. ....	11
2.4. Causas y consecuencias de la contaminación Lumínica .....	11
2.4.1. Causas de la Contaminación Lumínica .....	11
2.4.2 Efectos o Consecuencias de la Contaminación Lumínica .....	12
2.4.2.1. Energética. ....	12
2.4.2.2. Económicas.....	12

2.4.2.3. Afectaciones sobre Flora y Fauna.....	13
2.4.2.4. Sociales y Culturales.....	14
2.4.2.5. Efectos en la Salud Humana.....	15
2.4.2.6. Efectos Astronómicos.....	15
2.5. Variables para medir la Contaminación Lumínica.....	16
2.5.1. Brillo del Cielo Nocturno.....	16
2.5.2. Luminosidad Lunar.....	17
2.5.2.1. Fase Lunar.....	17
2.5.2. Clima.....	18
2.5.2.1. Nubosidad.....	18
2.5.2.2. Temperatura.....	18
2.5.2.3. Humedad Atmosférica.....	18
2.6. Medición de la Contaminación Lumínica.....	19
2.6.1. Equipos.....	19
2.6.2. Recursos de Apoyo.....	20
2.6.2.1. ArcGIS.....	20
2.6.2.2. Google Earth Pro.....	20
2.6.2.3. Unihedron Device Manager (UDM).....	20
2.6.2.4. Light Pollution Map.....	20
2.6.2.5. Resources - International Dark-Sky Association.....	21
2.6.2.6. Globe at Night - Mapas y resultados.....	21
2.6.3. Unidad de Medida.....	22
2.7. Escala de Contaminación Lumínica.....	22
2.7.1. Escala de la Royal Astronomical Society.....	22
2.7.2 Escala Centros Urbanos Cuenca- Ecuador.....	24
2.7.3 Escala del Cielo Oscuro de Bortle.....	24
2.8. Medidas de Mitigación.....	25
2.9. Marco Legal.....	26
2.9.1. Normativa Nacional.....	26
2.9.1.1. Constitución del Ecuador.....	26
2.9.1.2. Norma Ecuatoriana RTE INEN 069.....	26
2.9.1.3. Regulación ARCERNNR 006/20.....	27
2.9.1.4. Leyes y Reglamentos de Energía Ecuatoriana.....	27

2.9.2. Normas Internacionales .....	27
2.9.2.1. Comisión Internacional de Iluminación (CIE).....	27
2.9.2.2. Normativa Española.....	28
2.9.2.3. Normativa Colombiana.....	28
2.9.2.4. Normativa Argentina.....	29
2.9.2.5. Normativa De Chile.....	29
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
3.1. Materiales .....	30
3.2. Diseño.....	30
3.2.1. Área de Estudio .....	30
3.2.2. Obtención de la Información .....	31
3.2.2.1. Identificación de las Variables de Estudio.....	31
3.2.2.2. Delimitación de la Zonas de Muestreo.....	32
3.2.3. Equipo de Monitoreo– Sky Quality Meter .....	33
3.2.3.1. Calibración del Equipo Sky Quality Meter.....	34
3.2.4. Instalación de Equipos y Proceso de Medición en Campo.....	35
3.3. Análisis de los Datos Obtenidos.....	35
3.3.1. Obtención de los Valores de Luminancia en los Puntos de Muestreo.....	36
3.3.2. Análisis Estadístico de los Datos Obtenidos .....	36
3.3.2.1. Correlación de Pearson.....	36
3.3.2.2. ANOVA.....	37
3.4. Presentación de los Datos.....	38
3.4.1. Contaminación Lumínica de los Puntos de Muestreo .....	38
3.4.1.1. Escala de la Real Sociedad Astronómica.....	38
3.4.1.2. Escala Centros Urbanos Cuenca- Ecuador.....	39
3.4.1.3. Escala de Cielo Oscuro de Bortle.....	40
3.5. Costo del Flujo Energético Desperdiciado.....	40
3.6. Elaboración de un Mapa de Polución Lumínica del DMQ .....	42
3.7. Alternativas de mitigación lumínica del DMQ .....	42
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
4.1. Definición de los Puntos de Muestreo.....	43
4.2.1. Levantamiento de la información en cada zona .....	45

4.2.	Análisis de los Datos Obtenidos.....	49
4.2.1.	Valores de Luminancia obtenidos.....	49
4.2.2.	Análisis Estadístico de los Datos Obtenidos.....	51
4.2.2.1.	Análisis de ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER. ....	51
4.2.2.2.	Análisis de la Correlación de Pearson.....	52
4.3.	Presentación de datos .....	54
4.3.1.	Nivel de Contaminación Lumínica en el DMQ.....	54
4.3.1.1.	Contaminación Lumínica de la Zona Norte. ....	54
4.3.1.2.	Contaminación Lumínica de la Zona Centro- Valles.....	55
4.3.1.3.	Contaminación Lumínica de la Zona Sur.....	56
4.3.2.	Análisis General del DMQ.....	57
4.4.	Costo del Flujo Energético Desperdiciado.....	59
4.5.	Mapa de Polución Lumínica del DMQ .....	60
4.6.	Alternativas de Mitigación de Contaminación Lumínica del DMQ .....	62
4.6.1.	Planteamiento de una Red de Monitoreo para la Evaluación de la Polución Lumínica en el DMQ.....	64
4.6.1.1.	Detalle de Costos Aproximados para la Implementación de las Estaciones de Monitoreo.....	65
4.6.1.2.	Costo para Seguimiento y Mediciones Continuas.....	67
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
5.1.	Conclusiones .....	68
5.2.	Recomendaciones.....	69
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Magnitudes luminosas fundamentales .....	6
<b>Tabla 2</b> Instrumentos de medición de la Contaminación Lumínica.....	19
<b>Tabla 3</b> Datos de Calibración SQM-LU-DL.....	34
<b>Tabla 4</b> Coeficiente de correlación de Pearson. ....	37
<b>Tabla 5</b> Escala de la Real Sociedad Astronómica.....	39
<b>Tabla 6</b> Escala propuesta para Centros Urbanos.....	39
<b>Tabla 7</b> Escala de Cielo Oscuro de Bortle. ....	40
<b>Tabla 8</b> Pérdidas y energía eléctrica disponible 2020.....	41
<b>Tabla 9</b> Puntos de monitoreo del Distrito Metropolitano de Quito.....	44
<b>Tabla 10</b> Total de puntos de monitoreo por zonas. ....	45
<b>Tabla 11</b> Valores MSAS y condiciones climatológicas de la zona Norte. ....	49
<b>Tabla 12</b> Valores MSAS y condiciones climatológicas de la zona Centro- Valles. ....	50
<b>Tabla 13</b> Valores MSAS y condiciones climatológicas de la zona Sur. ....	50
<b>Tabla 14</b> Análisis de ANOVA del Distrito Metropolitano de Quito. ....	51
<b>Tabla 15</b> Prueba TUKEY HSD/KRAMER entre zonas.....	52
<b>Tabla 16</b> Análisis de la correlación de Pearson entre el Brillo del Cielo y sus variables .....	52
<b>Tabla 17</b> Resultados de la Zona Norte del DMQ.....	54
<b>Tabla 18</b> Resultados de la Zona Centro- Valles del DMQ. ....	55
<b>Tabla 19</b> Resultados de la Zona Sur del DMQ. ....	56
<b>Tabla 20</b> Luminancia del cielo en las tres zonas.....	57
<b>Tabla 21</b> Facturación anual de Quito (2020) .....	59
<b>Tabla 22</b> Facturación Anual Quito.....	59
<b>Tabla 23</b> Equipos para implementar la red de monitoreo de CL. ....	65
<b>Tabla 24</b> Costos aproximados de los equipos para la implementación de las estaciones de monitoreo. ....	66
<b>Tabla 25</b> Costos aproximados para seguimiento y mediciones. ....	67

## ÍNDICE DE FÍGURAS

<b>Figura 1</b>	Mapa de ubicación del Distrito Metropolitano de Quito.....	3
<b>Figura 2</b>	Tipo de iluminación artificial- alumbrado público.....	8
<b>Figura 3</b>	Vuelos de aves pardela cenicienta desde su nido hasta el mar.....	14
<b>Figura 4</b>	Luz de las ciudades que intermite en la línea de visión de los telescopios .....	16
<b>Figura 5</b>	Fase Lunar visión desde el hemisferio sur .....	17
<b>Figura 6</b>	Mapa Interactivo de Contaminación Lumínica- Ecuador. ....	21
<b>Figura 7</b>	Atlas Mundial del brillo del cielo nocturno causado por la luz artificial. ....	23
<b>Figura 8</b>	Cielo de las diferentes clases de la escala de Bortle.....	24
<b>Figura 9</b>	Área de Estudio- DMQ.....	31
<b>Figura 10</b>	Equipo SQM LU- DL y complementos. ....	33
<b>Figura 11</b>	Brillo del cielo .....	34
<b>Figura 12</b>	Delimitación de las zonas de muestreo .....	43
<b>Figura 13</b>	Zona Norte del DQM. ....	46
<b>Figura 14</b>	Zona Centro- Valles del DQM. ....	47
<b>Figura 15</b>	Zona Sur del DQM. ....	48
<b>Figura 16</b>	Mapa temático de la polución lumínica en el DMQ en base a la escala Cuenca. ..	61
<b>Figura 17</b>	Esquema de instalación de la estación de monitoreo .....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b>	Equipo Sky Quality Meter, modelo SQM-LU-DL. ....	77
<b>Anexo 2</b>	Puntos de muestreo. ....	79
<b>Anexo 3</b>	Formato para la recopilación de datos. ....	80
<b>Anexo 4</b>	Análisis Estadístico-Base de Datos.....	81
<b>Anexo 5</b>	Análisis de ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER de las tres zonas del DMQ.....	82
<b>Anexo 6</b>	Análisis de Correlación de Pearson de las tres zonas del DMQ.....	83
<b>Anexo 7</b>	Mapas metodología por cuadrantes para determinar el área de estudio. ....	84
<b>Anexo 8</b>	Mapas temático según la escala de la Real Sociedad Astronómica. ....	85
<b>Anexo 9</b>	Mapas temático según la escala Nacional de la Ciudad de Cuenca.....	86
<b>Anexo 10</b>	Mapa temático según la escala de Cielo Oscuro de Bortle. ....	87
<b>Anexo 11</b>	Polución Lumínica en el DMQ. ....	88

## RESUMEN

En el Ecuador, el termino de contaminación lumínica se lo nombra de manera general en el Reglamento Técnico Ecuatoriano INEC 069; siendo deficiente el campo de investigaciones en este ámbito; por esta razón en el presente estudio se tiene como objetivo estimar el grado de polución lumínica mediante escalas ya propuestas, en el Distrito Metropolitano de Quito, en base a sus 8 administraciones zonales.

La metodología de investigación se realizó mediante revisión bibliográfica, muestreo de campo y análisis estadísticos; para lo cual se empleó la metodología de la cuadrícula con el fin de cubrir la zona de estudio con ayuda del GPS, ArcGIS y Excel para proceder a la zonificación y georreferenciación en lugares estratégicos - residenciales con un total de 31 puntos de muestreo (15 zona norte, 6 centro-valle y 10 zona sur), donde se obtuvo los datos mediante el uso del equipo Sky Quality Meter, modelo SQM-LU-DL.

Los datos fueron obtenidos durante la fase lunar menguante y en condiciones climatologías variadas (temperatura, iluminación lunar y nubosidad) obteniendo los siguientes resultados: zona norte 16,39 [mag/arcsec<sup>2</sup>]; zona centro- valles 16,31 [mag/arcsec<sup>2</sup>] y zona sur 15,53 [mag/arcsec<sup>2</sup>]. En base a esta evaluación, el DMQ con respecto a la escala de la Real Sociedad Astronómica, se ubicó en el rango SQM<18,8 [mag/arcsec<sup>2</sup>] de *Muy Contaminado*. Para la escala propuesta de zonas urbanas de Cuenca, estuvo en el rango SQM 15,4-16,6 [mag/arcsec<sup>2</sup>] que representa *Contaminado*, además se encontró un punto crítico en el sur de la ciudad 13,69 [mag/arcsec<sup>2</sup>] ubicado en el rango SQM<15,4 [mag/arcsec<sup>2</sup>] considerado *Muy Contaminado*. Finalmente, evaluando con la escala de Cielo Oscuro de Bortle, se determinó que predomina el *Cielo urbano y cielo urbano central*.

**Palabras claves:** Contaminación Lumínica, calidad del cielo, SQM -LU-DU, energía lumínica.

## SUMMARY

In Ecuador, the term light pollution is named in a general way in the Ecuadorian Technical Regulation INEC 069; being deficient the field of research in this area; for this reason in the present study the objective is to estimate the degree of light pollution by means of scales already proposed, in the Metropolitan District of Quito, based on its 8 zonal administrations.

The research methodology was carried out by means of a bibliographic, field and statistical review; for which the grid methodology was used to cover the study area with the help of GPS, ArcGIS and Excel to proceed with the zoning and georeferencing in strategic residential locations with a total of 31 sampling points (15 north zone, 6 center-valley and 10 south zone), where the data was obtained using the Sky Quality Meter equipment, model SQM-LU-DL.

The data were obtained during the waning lunar phase and in varied weather conditions (temperature, lunar illumination and cloudiness) obtaining the following results: northern zone 16.39 [mag/arcsec<sup>2</sup>]; central-valley zone 16.31 [mag/arcsec<sup>2</sup>] and southern zone 15.53 [mag/arcsec<sup>2</sup>]. Based on this evaluation, the DMQ with respect to the scale of the Royal Astronomical Society is estimated to have a range SQM<18.8 [mag/arcsec<sup>2</sup>] of *Very Polluted*. For the proposed scale of urban areas of Cuenca, it was in the range SQM 15.4-16.6 [mag/arcsec<sup>2</sup>] that represents *Contaminated*, in addition a critical point was found in the south of the city 13.69 [mag/arcsec<sup>2</sup>] located in the range SQM<15.4 [mag/arcsec<sup>2</sup>] considered *Very Polluted*. Finally, evaluating with the Bortle Dark Sky scale, it was determined that the *urban sky and central urban sky predominate*.

**Keywords:** Light pollution, sky quality, SQM -LU-DU, luminic energy.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

<b>ANOVA:</b> Análisis de varianza para comparar múltiples medias	<b>Mag/arc s<sup>2</sup></b> = (MPSAS)-Magnitud por arco segundo al cuadrado.
<b>Cd/m<sup>2</sup>:</b> Candela por metro cuadrado	<b>m.s.n.m:</b> Metros sobre el nivel del mar.
<b>CIE:</b> Comisión Internacional de Iluminación.	<b>T:</b> temperatura.
<b>EE:</b> Empresa Eléctrica.	<b>LED:</b> Light Emitting Diode (Diodo emisor de luz).
<b>DMQ:</b> Distrito Metropolitano de Quito.	<b>Lm:</b> Lúmen
<b>kWh:</b> Kilovatio hora	<b>Lmp:</b> Límites máximos permisible
<b>GPS:</b> Global Position System (Sistema de Posicionamiento Global).	<b>P-Value:</b> Probabilidad de que Ho sea verdadera.
<b>Hab:</b> Habitantes.	<b>RETILAP:</b> Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.
<b>ICE:</b> Índice de Consumo Energético.	<b>RTE:</b> Reglamento Técnico Ecuatoriano
<b>IP:</b> Ingress Protection (Grado de Protección).	<b>SD:</b> Desviación Estándar
<b>INEN:</b> Instituto Ecuatoriano de Normalización.	<b>UTM:</b> Universal Transverse Mercator.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a nivel mundial el creciente proceso de globalización ha dado paso al incremento en la demanda de consumo energético y fuentes alternativas con la finalidad de satisfacer las necesidades de la sociedad, lo que ha desencadenado la denominada contaminación lumínica, resultado del flujo luminoso de toda luz desaprovechada que afecta directa o indirectamente al ambiente (Guanuquiza & Quito, 2014).

La contaminación lumínica es un fenómeno que tuvo comienzo a principios del siglo XX, como una problemática exclusiva de la astronomía de los años setenta y que se ha empezado a estudiar con mayor interés en las últimas décadas (Solano, 2010).

Se calcula que alrededor del 83% de la población mundial está afectada por este tipo de contaminación ambiental dado que la niebla luminosa oculta las estrellas y constelaciones generando un impacto visual que llega a alcanzar a un 99% de la población en países pertenecientes a los continentes europeo, norteamericano y Sudamérica, implementando normativas ambientales para la preservación de la calidad del cielo (Real Sociedad Astronómica, 2016).

Dentro de la normativa legal Ecuatoriana, no existe una regulación ni límites máximos permisibles o rangos para este tipo de fenómeno, pero en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público” se aborda algo respecto al tema de contaminación lumínica (Guanuquiza & Quito, 2014). Esta problemática ambiental ha sido estudiada en los últimos años, tal es el caso del análisis en la Ciudad de Cuenca (Guanuquiza & Quito, 2014), para la ciudad de Quito en un polígono en la zona norte (Silva, 2017) e incluso se ha evidenciado esfuerzos por generar marcos normativos en esta área (Chiluisa, 2014).

La presencia de contaminación lumínica acarrea consigo algunos problemas para el balance del ambiente, pero, sobre todo pone en riesgo la calidad de vida de las personas e incluso la supervivencia de algunas especies (Guanuquiza & Quito, 2014).

Es por esto, que el cielo nocturno necesita ser evaluado, con el fin de conocer las posibles causas o consecuencias de este tipo de polución en la sociedad y el ambiente. Para esto existen diversas herramientas, una de ellas es la medición de la calidad del cielo, mediante el uso del equipo Sky Quality Meter, dispositivo que ha sido probado y caracterizado por el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Contaminación Lumínica (ISTIL/LPLAB) y catalogado como un equipo preciso y útil para cuantificar la polución lumínica (Navas, 2015).

Con los datos obtenidos, se podrá comparar con las escalas propuestas de calidad del cielo a nivel nacional e internacional, estimando el grado de polución lumínica de la Distrito Metropolitano de Quito; los resultados logrados serán una herramienta de soporte para una mejor planificación de los sistemas de iluminación de la ciudad evitando el desperdicio energético causado por este tipo de contaminación, además de proponer medidas de mitigación para contrarrestar los efectos del impacto contribuyendo a la preservación de las condiciones naturales del cielo oscuro.

## 1.1. Delimitación

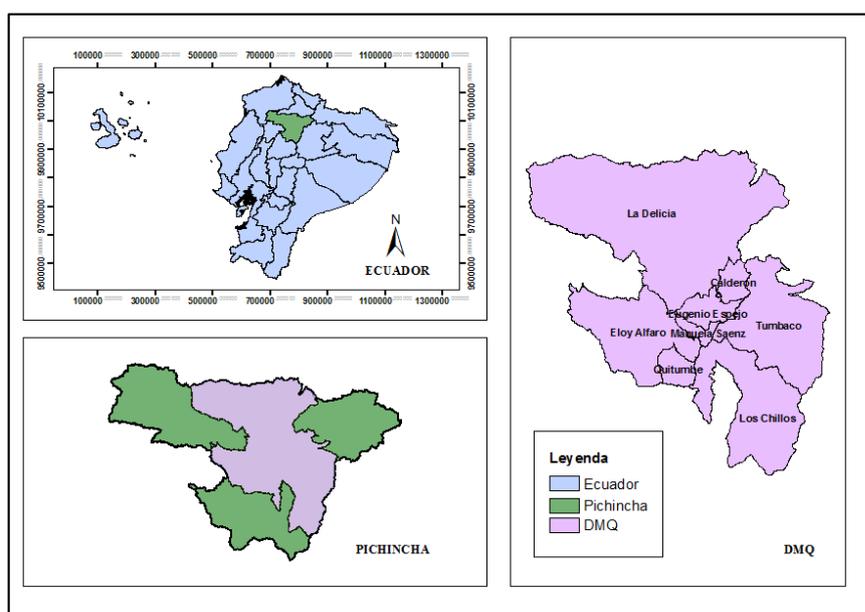
La contaminación lumínica será estimada para el Distrito Metropolitano de Quito, en la provincia de Pichincha, (ver Figura 1) que cuenta con una población de 2.781.641 habitantes, como se estima en la proyección poblacional del último censo (INEC, 2013).

Los datos de calidad del cielo y temperatura se obtendrán con dos equipos SQM LU-DL, importados desde México. Demás información climatológicas y meteorológicas será obtenida de datos locales disponibles y cuando el caso lo amerite, de información bibliográfica.

El estudio concluirá con la elaboración de un mapa de Contaminación Lumínica de Quito y un documento que recopile las alternativas para contrarrestar la contaminación lumínica para la ciudad. Los efectos o consecuencias de este tipo de contaminación, no son motivo de análisis de este estudio, ya que, para esto, se requiere de un equipo multidisciplinario.

### Figura 1

*Mapa de ubicación del Distrito Metropolitano de Quito.*



*Nota:* La figura representa la ubicación del Distrito Metropolitano de Quito.

El Distrito Metropolitana de Quito, se encuentra a 2.850 m.s.n.m. con una superficie aproximada de 4.183 km<sup>2</sup>, en un espacio geográfico dividido en 8 administraciones zonales, misma que contienen a 65 parroquias, de las cuales 32 son urbanas y 33 rurales (Prefectura de Pichincha, 2017).

## **1.2. Pregunta de investigación**

¿Cuál es el grado de contaminación lumínica en el Distrito Metropolitano de Quito en la zona norte, zona centro-valle y zona sur; estimado mediante el uso del equipo Sky Quality Meter-modelo SQM-LU-DL?

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo General***

Estimar el grado de contaminación lumínica existente en la ciudad de Quito mediante el uso del equipo Sky Quality Meter, modelo SQM-LU-DL.

### ***1.3.2. Objetivo Específicos***

1. Identificar los factores causantes de la polución lumínica en las zonas de estudio del DMQ.
2. Estimar la cantidad de energía y flujo luminoso que se desperdicia en las zonas de estudio del DMQ.
3. Proponer alternativas de solución para mitigar la contaminación lumínica en la zona de estudio.

## **1.4.Hipótesis**

### ***1.4 .1. Hipótesis nula***

**Ho:** Los niveles emitidos de flujo luminoso artificial en el Distrito Metropolitano de Quito, en la zona residencial (norte, centro- valles y sur), no superan las escalas propuestas de polución lumínica.

### ***1.4 .2. Hipótesis alternativa***

**Hi:** Los niveles emitidos de flujo luminoso artificial en el Distrito Metropolitano de Quito, en la zona residencial (norte, centro- valles y sur), sí superan las escalas propuestas de polución lumínica, evidenciando un tipo de contaminación ambiental en la ciudad.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. Generalidades de luminotécnica

#### 2.1.1. Luminotecnia

De acuerdo a León (2007) la luminotecnia “es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación, es decir, es el arte de la iluminación con luz artificial para fines específicos” (p. 9), como el alumbrado público.

#### 2.1.2. Magnitudes de Luminotecnia

Las magnitudes principales de la luminotecnia son las siguientes:

**Tabla 1**

*Magnitudes luminosas fundamentales*

MAGNITUD	UNIDAD	SIMBOLO
Flujo Luminoso	Lumen (lm)	$\Phi$
Rendimiento Luminoso	Lumen por vatio (lm/W)	$\eta$
Cantidad De Luz	Lumen por hora (lm/h)	Q
Intensidad Luminosa	Candela (cd)	I
Iluminancia	Lux (lm/m <sup>2</sup> )	E
Luminancia	Candela por metro cuadrado (cd/m <sup>2</sup> )	L

*Nota:* La tabla describe las principales magnitudes de Luminotecnia, tomado de Guanuquiza y Quito (2014).

- **Flujo luminoso:** Es la “cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo” (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020, p. 6).
- **Intensidad luminosa:** Cantidad de luz emitida en un segundo y en una dirección (Área tecnología, 2019).

- **Illuminancia:** Se considera como “la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie” (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020, p. 6).
- **Luminancia:** Es la “relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por el ojo en una dirección determinada” (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020, p. 6).
- **Rendimiento luminoso:** Es la relación entre el flujo expresado en lúmenes de la fuente luminosa y la potencia de la lámpara o fuente (Lightroom, 2015).
- **Cantidad de luz:** O energía luminosa que se utiliza para determinar la energía eléctrica consumida en un hogar (Guanuquiza y Quito, 2014).
- **Factor de utilización del alumbrado público general:** Número de horas promedio del alumbrado público que permanece encendidas y el número total de horas para el análisis (24h) (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020).

## **2.2. Tipos de Iluminación**

### ***2.2.1. Iluminación Natural***

La iluminación natural es aquella que proviene de la naturaleza, las fuentes más importantes son el sol y la luna. Cambia con respecto a las estaciones del año, la rotación de la Tierra y las condiciones del ambiente (Zárraga, 2021).

### 2.2.2. Iluminación Artificial

La iluminación artificial es aquella luz producida por el ser humano a partir de otra fuente de energía, cuya intensidad es controlada por una fuente de luz, adaptándose a las necesidades de la humanidad (Zárraga, 2021).

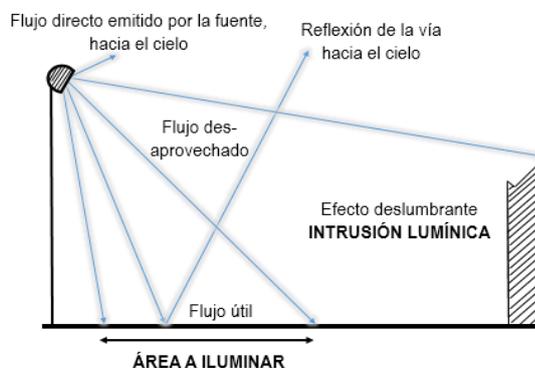
#### 2.2.2.1. Fuentes de Iluminación Artificial.

Según Bonnin, Gutiérrez, Xabier, y Sánchez (2018) “la radiación emitida por fuentes artificiales se compone de luz visible, de radiación ultravioleta (UV) e infrarroja (IR). Entre las principales fuentes de luz artificial está la fuente incandescente, halógena, fluorescente y Luz LED”.

Teniendo como una de las principales fuentes de desarrollo de la contaminación lumínica al alumbrado público, ya que su mala disposición sobre las normas técnicas, emite la luz directamente hacia el cielo y que, de acuerdo con Aguilera (2012) corresponde a un servicio público no domiciliario, creado con el propósito de iluminar lugares de libre circulación con el fin de generar sensación de seguridad a las personas y una mejor visión a la circulación vehicular (p. 8).

#### Figura 2

*Tipo de iluminación artificial- alumbrado público*



*Nota:* La figura muestra el flujo luminoso emitido por el alumbrado público. Tomado de Aguilera (2012).

Herranz (2002) menciona que, generalmente la emisión de luz del alumbrado público se identifica como la única fuente causante de la contaminación lumínica, pero además argumenta la existencia de otros tipos de fuentes de luces dañinas:

- **Alumbrado público urbano:** calles, parques plazas, jardines, escenarios deportivos, parqueaderos.
- **Iluminación privada de exteriores:** letreros, anuncios, cañones de luz, edificios, universidades.
- **Zonas industriales y comerciales:** aeropuertos, puertos y estaciones de ferrocarril
- **Iluminación de vías de comunicación:** estacionamientos, rondas, estacionamientos y peajes.
- **Iluminación ornamental de lugares emblemáticos:** edificios, monumentos, fuentes, árboles.

### **2.3. Contaminación Lumínica**

La contaminación o polución lumínica se dio a conocer como una problemática en los años 60, de acuerdo a Boehmwald (2019) “es un cambio innecesario de la cantidad de luz natural presente en un ambiente nocturno causado por la radiación o el flujo luminoso generado por una fuente de luz artificial en una intensidad, tiempo o rango espectral innecesarios” (p. 92).

Esta problemática ha generado impactos negativos en la salud de los seres humanos como en los ecosistemas de manera directa, principalmente en las ciudades afectando paisajes o lugares aledaños que incluso no cuenten con sistemas de iluminación artificial (Horts, 1999).

Según plantea Horts (1999), las actividades humanas e industriales son la principal fuente de contaminación lumínica por el desperdicio de luz, existiendo varias razones como:

- No se ilumina el objetivo y la luz se escapa dispersándose al horizonte o directamente al cielo.
- Fuentes de luz en momentos innecesarios.
- Se expone a manera de espectro no útil para la visión humana, pero que afectan a otros organismos y actividades, como las observaciones astronómicas.

La manifestación más clara de este tipo de contaminación es el resplandor o halo luminoso en el cielo, que ocasiona diversos impactos negativos sobre la biodiversidad, la calidad de vida y la salud de las personas, así como afectaciones al desarrollo sostenible (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

### ***2.3.1. Tipos de Contaminación Lumínica***

#### **2.3.1.1. Dispersión Lumínica.**

Es el resplandor brillante que se observa en las noches sobre las ciudades originando factores naturales o luz artificial que al interactuar con las partículas del aire o agua se dispersan hacia el cielo y se desvían en todas las direcciones, iluminando innecesariamente el cielo (Silva, 2017).

#### **2.3.1.2. Luz Difusa.**

La luz difusa, luz no aprovechada o difusión hacia el cielo es la emisión de rayos luminosos que se propaga hacia el cielo principalmente por la mala disposición del alumbrado público en las ciudades ya que gran parte de esta luz no enfoca su luminosidad a las calles, sino

que se ve dirigida al cielo generando un haz de luz que se puede apreciar en el firmamento (Moreno y Moreno, 2016).

#### **2.3.1.3. Luz Intrusa.**

Luz intrusa, luz indeseada o intrusión lumínica es la luz artificial exterior que invade las zonas que se encuentran fuera del límite del área a ser iluminada y se difunde en todas las direcciones ingresando a la vivienda sin ser deseado. Las principales fuentes de luz intrusa son las luces de las vías, calles, parques, campos deportivos y centros comerciales (Moreno y Moreno, 2016).

#### **2.3.1.4. Deslumbramiento.**

Es el efecto producido por la emisión de rayos luminosos de manera horizontal provocando una condición de incomodidad o disminución de visibilidad debido al brillo deslumbrante de las diferentes fuentes de iluminación (Guanuquiza y Quito, 2014).

#### **2.3.1.5. Sobre iluminación.**

Es la presencia de una intensidad lumínica superior y excesiva para una actividad o lugar específico; este fenómeno se presenta cuando ciertas zonas se encuentran rodeadas por demasiadas fuentes de luz, como la publicidad brillante (Moreno y Moreno, 2016).

### **2.4. Causas y consecuencias de la contaminación Lumínica**

#### ***2.4.1. Causas de la Contaminación Lumínica***

Teniendo en cuenta a Chiluisa (2014) las causas de la contaminación lumínica pueden ser muy variadas, entre las más comunes se encuentran:

- Instalaciones eléctricas de alumbrado público con mala disposición, provocando que el flujo luminoso se disperse hacia el cielo.
- Iluminarias en contacto con una atmósfera contaminada con partículas de polvo, gases, agua, etc., provocan la dispersión de la luz en todas las direcciones alcanzando lugares para los cuales no fueron previstas.
- Exceso de iluminación que produce gran cantidad de reflexión del flujo luminoso en la calzada u objetos reflejantes.
- Estudios inadecuados del sistema de alumbrado público, residencial y comercial.
- Uso de reflectores o cañones láser con fines publicitarios que emiten flujo luminoso en todas las direcciones.
- Falta de normativa sobre contaminación lumínica que permita controlar y regular la iluminación.

## ***2.4.2 Efectos o Consecuencias de la Contaminación Lumínica***

### **2.4.2.1. Energética.**

La contaminación lumínica está directamente relacionada con el desperdicio de energía cuando la luz se dirige hacia el cielo. Por lo tanto, se requiere más energía para lograr la iluminación deseada. Este despilfarro energético, adicionalmente desencadena un aumento significativo de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que supone una mayor contaminación medioambiental (Morian, 2019).

### **2.4.2.2. Económicas.**

Desde el punto de vista económico existe un despilfarro de dinero por parte del sector público y privado, esto gracias a los altos consumos eléctricos destinados a la iluminación de

espacios en exceso o por la iluminación no utilizada de forma adecuada, haciéndose evidente al momento de su facturación (Chiluisa, 2014).

La luz no se aprovecha de manera eficiente y el abuso del consumo energético por parte de las centrales eléctricas, representa considerables gastos de corriente, lo que significa un mayor gasto de la materia prima que es el combustible que al emanar al aire produce diversos gases contaminantes (Chiluisa, 2014).

#### **2.4.2.3. Afectaciones sobre Flora y Fauna.**

La presencia de polución lumínica altera los ciclos biológicos, tanto de animales y plantas, ya que estos son regulados por el cambio entre el día y la noche, por lo que esta contaminación perjudica a ciertas especies, generando desorientación, cambios repentinos en su conducta, provocando, en el peor de los casos, la muerte (Chiluisa, 2014).

Con respecto a la fauna que se encuentra en la zona urbana como los mirlos, gorriones y palomas, se ven afectadas en sus rutinas normales como emitir sus cantos en horas que no corresponden; otro estudio permitió conocer que, durante el vuelo nocturno de aves marinas, (Ver Figura 3) el 14% de las aves fueron deslumbradas por la contaminación lumínica ocasionando que aterricen accidentalmente en lugares erróneos y el restante 86% logró llegar al océano con otras adversidades en su migración, incluido sobrevolar en zonas urbanas (Rodríguez, Rodríguez, Acosta, y Negro, 2022).

### Figura 3

*Vuelos de aves pardela cenicienta desde su nido hasta el mar*



*Nota:* La figura muestra las rutas de migración de las aves Pardela cenicienta. Adaptado de SEOBirdLife, Universidad Autónoma de Madrid (UAM) (2022).

Así también los insectos han afectado sus ciclos reproductivos en un 90%, esto debido a los potentes focos que desprenden una radiación ultravioleta que interrumpe el ciclo normal de esta especie ocasionando que sea fácil perderse entre el día y la noche (Moreno y Moreno, 2016).

En cuanto a la flora, los efectos más considerables se relacionan con la disminución de los insectos, cambios en las especies vegetales que se abren por las noches y cambios en la floración (Chiluisa, 2014).

#### **2.4.2.4. Sociales y Culturales.**

El efecto de la contaminación lumínica perturba la fuente de valores culturales, históricos y sociales; tal como se describe a continuación:

- Niveles de estrés elevados en las personas lo que repercute en su interacción con la sociedad.
- Pérdida de interacción con el espacio natural por la modificación de los ciclos biológicos en las plantas y los animales.

- Cambios en los tiempos de caza y siembra en poblados que se dedican a la ganadería y agricultura, alterando sus costumbres y tradiciones.
- Modificación de hábitos de distracción nocturna.
- Alteración en el estilo de vida tradicional.

Como resultado de las consecuencias sociales y culturales de la contaminación lumínica, las ciudades se han aislado de su entorno, impidiendo observar el cielo estrellado en las condiciones climáticas adecuadas. Esto también puede conducir a cambios en la vida social, que si no se remedian pueden llegar a ser graves (Aguilera, 2012).

#### **2.4.2.5. Efectos en la Salud Humana.**

La salud humana se ha visto perjudicada por la contaminación lumínica, uno de los principales efectos que sufre el ser humano es el deslumbramiento lo que genera fatiga visual, pérdida de la visión y estrés; producto del brillo y de las luces intrusas (Silva, 2017).

Otra de los datos de esta problemática es la distorsión de su ciclo cardiaco producto de largas exposiciones a la luz artificial nocturna, especialmente a la porción azul del espectro luminoso, lo que conlleva a la supresión de la producción de la hormona melatonina que en los seres humanos influye en el ciclo del sueño – vigilia y desempeña un papel importante en el sistema inmunológico. (Silva, 2017).

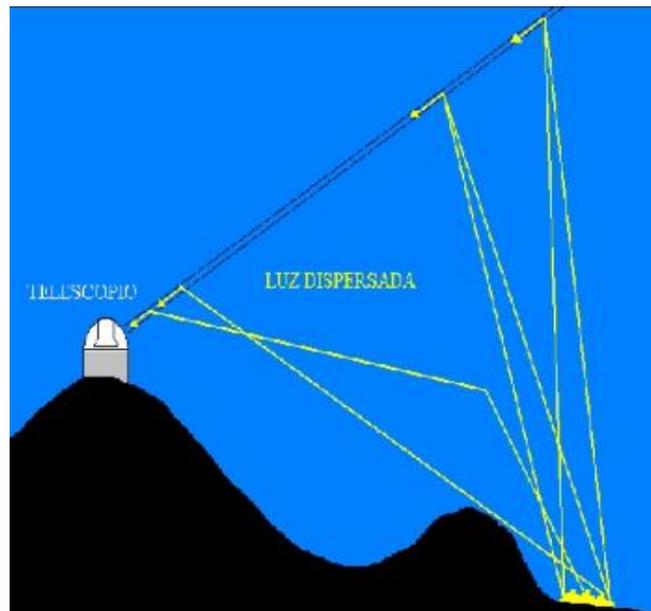
#### **2.4.2.6. Efectos Astronómicos.**

Al momento de monitorear las lecturas y actividades que los astrónomos realizan en el cielo, tienen un cierto nivel de dificultad, alterando su trabajo en el espacio exterior (Silva, 2017).

En (2012), Aguilera ha concluido que esta problemática se acarrea desde principios del siglo anterior, como consecuencia de la creciente iluminación de los asentamientos urbanos, siendo afectada la comunidad astronómica que requiere de cielos oscuros para realizar sus investigaciones (pp. 16-17).

#### **Figura 4**

*Luz de las ciudades que intermite en la línea de visión de los telescopios*



*Nota:* En la figura se observa como la luz dispersada por la zona urbana interfiere en el trabajo de los astrónomos en el momento de realizar sus análisis con el telescopio. Tomado de (Aguilera, 2012, p. 18).

### **2.5. Variables para medir la Contaminación Lumínica**

#### **2.5.1. Brillo del Cielo Nocturno**

El brillo del cielo se relaciona directamente con cuanto brilla el cielo en una noche que no existe presencia de la luna, permitiendo observar una variedad de fuentes de luz artificial que son contaminantes. Existen diferentes equipos que ayudan a cuantificar esta magnitud en  $Mag/arc\ s^2$  o (MPSAS) que se lee magnitud por arco segundo al cuadrado por medio de un

sensor convertidor de luz- frecuencia con un filtro para radiaciones infrarrojas (Exelencia Severo Ochoa, 2000).

### 2.5.2. *Luminosidad Lunar*

La luminosidad de la luna o la lunación es una fuente de luz natural que cambia su aspecto respecto al día reflejando la luz del sol, la evolución media de la noche viene marcada por la presencia o ausencia de la luna, y la atenuación normal del brillo del fondo del cielo se debe a la luminosidad según la fase o características de la luna (Sánchez, 2012).

#### 2.5.2.1. **Fase Lunar.**

Corresponde al estado en el que se aprecia la luna en un tiempo determinado, cuando la luna alcanza una posición exacta en relación al planeta y al sol menciona Sánchez (2012, p. 2) y como resultado se puede apreciar cuatro posiciones principales de cambio aparente de la luna, las mismas que varían de acuerdo al porcentaje de iluminación.

**Figura 5**

*Fase Lunar visión desde el hemisferio sur*



*Nota:* La figura indica las fase e iluminación de la luna. Tomado de SlidePlayer, adaptado por Autores, 2022.

## **2.5.2. Clima**

### **2.5.2.1. Nubosidad.**

Es la cantidad de nubes que cubre el cielo, se expresa en octas u octavos. Afecta a la radiación solar disponible, la calidad y cantidad de iluminación natural, reteniendo la radiación producida en las ciudades donde se puede apreciar las nubes con un brillo superior al del cielo (Benitez, 2016).

### **2.5.2.2. Temperatura.**

Es el grado de calor específico del aire, que puede estar presente en lugares y momentos determinados, los tres parámetros que describen el régimen de la temperatura son temperatura media, la máxima media y la mínima media (Urrego, 2016).

### **2.5.2.3. Humedad Atmosférica.**

Es la cantidad excesiva de agua presente en cualquier parte de la atmosfera, se encuentra en estado de vapor, pero cuando el vapor se condensa da lugar a la formación de las nubes (Urrego, 2016).

La humedad relativa de acuerdo a Urrego (2016) se define como la “relación entre la presión parcial, el vapor de agua y la presión de vapor saturada a una temperatura dada” (p. 35), es decir la humedad es aquel vapor de agua que se encuentra en el aire.

## 2.6. Medición de la Contaminación Lumínica.

### 2.6.1. Equipos

Navas (2015), señala que existen instrumentos clásicos o tradicionales para medir la cantidad de luz dependiendo de los parámetros de interés o el enfoque de la evaluación ya que requieren ciertas particularidades específicas como “son las bajas escalas requeridas, los tiempos de exposición o la velocidad de respuesta” (p. 60).

Los instrumentos y herramientas para la medición y evaluación de la contaminación lumínica que más sobresalen se presentan en la siguiente Tabla:

**Tabla 2**

*Instrumentos de medición de la Contaminación Lumínica*

<b>Instrumento</b>	<b>Descripción</b>
<i>Sky Quality Meter</i>	Fotómetro manual portátil que calcula y cuantifica el brillo del cielo nocturno por medio de un sensor convertidor de luz- frecuencia con un filtro para radiaciones infrarrojas.
<i>Cámaras fotográficas CCD o CMOS</i>	Son cámaras fotográficas con sensores, la medición se realiza mediante un software que analiza la imagen captada y obtiene una “imagen falsa de colores”.
<i>Espectrofotómetro portátil</i>	Fotómetro con capacidad de discriminación de espectros que monitorea la cantidad de brillo del cielo y las emisiones de polución lumínica en un rango aproximado de 420 nm a 950 nm.
<i>Excalibur</i>	Es un monitor de extinción atmosférica que cuenta con una cámara dotada de filtros que se acopla a un telescopio, determinando el brillo superficial del cielo.

*Nota:* La tabla contiene los diferentes instrumentos de medición del brillo del cielo nocturno. Tomado de (Navas, 2015).

### **2.6.2. Recursos de Apoyo**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas que gestionan la información disponible en una zona determinada. Es importante también conocer otras herramientas o sistemas de apoyo para el buen manejo, administración y gestión de los datos:

#### **2.6.2.1. ArcGIS.**

Es una herramienta de software que permite recopilar, organizar, analizar y compartir información geográfica; es utilizada para representar el área de influencia donde predomina la contaminación lumínica dentro de la zona de estudio, mediante la creación de mapas administrar datos geográficos compartiendo la información espacial (ArcMap, 2015).

#### **2.6.2.2. Google Earth Pro.**

Es un programa de Google que combina fotos satelitales de alta resolución, mapas detallados y una base de datos muy completa, permitiendo navegar de manera geoespacial libre por cualquier lugar de la Tierra (García, 2012).

#### **2.6.2.3. Unihedron Device Manager (UDM).**

Es un software que complementa el equipo Sky Quality Meter diseñado para la configuración previa a la medición, almacenamiento y descarga de datos; además, permite realizar múltiples funciones con la información de los medidores, es bastante simple por lo que es compatible con diferentes sistemas operativos: Windows, Mac y Linux (Unihedron, 2019).

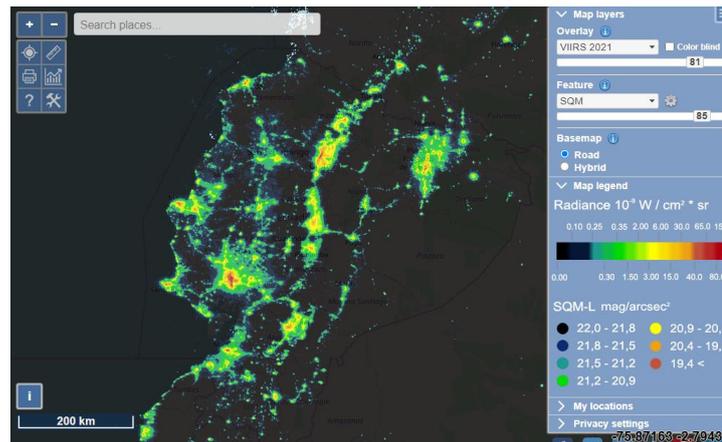
#### **2.6.2.4. Light Pollution Map.**

Es una plataforma digital online que se puede apreciar en la Figura 6, brinda contenido relacionado de la contaminación lumínica mediante mapas interactivos; basada en datos y

mediciones satelitales VIIRS y SQM; además también cuenta con un amplio menú donde se puede acceder a la visualización de la distribución espacial y magnitud de brillo de polución lumínica a nivel mundial (Light Pollution Map, 2022).

## Figura 6

*Mapa Interactivo de Contaminación Lumínica- Ecuador.*



*Nota:* La figura indica los niveles de contaminación lumínica según la plataforma digital. Tomado de Light Pollution Map (2022).

### 2.6.2.5. Resources - International Dark-Sky Association.

La Asociación Internacional del Cielo Oscuro -IDA es un programa de distribución de información sobre la contaminación lumínica, creada por una red de defensores del cielo oscuro nocturno quienes promueven la concientización y posibles alternativas para este tipo de contaminación (International Dark-Sky Association, 2022).

### 2.6.2.6. Globe at Night - Mapas y resultados.

Es un programa internacional cuya función principal es brindar concientización sobre el impacto de la polución lumínica, contiene una base de datos y un mapa interactivo que son obtenidas mediante la recopilación de información por diferentes usuarios, equipos y aplicaciones con las que trabaja este programa, la información es analizada y publicada. Todos

estos datos se encuentran completamente ordenados y son accesible para cualquier usuario y se puede descargar en diferentes extensiones (Globe at Night, 2021).

### ***2.6.3. Unidad de Medida***

El brillo del firmamento nocturno se mide en mag/arcsec<sup>2</sup> (magnitud entre arco segundo cuadrado) cuya abreviatura es MSAS, es una unidad logarítmica inversa del resplandor de objetos astronómicos lo que significa que “los grandes cambios en el brillo del cielo corresponden a cambios numéricos relativamente pequeños” (Unihedron, 2019).

Según Navas (2015), una lectura de 20,00 (mag/arcsec<sup>2</sup>) indica la equivalencia con una visibilidad estelar de magnitud 5, la energía que recibimos de ella es de 100 veces menor, lo que significa que una magnitud mayor (numéricamente) simboliza menor iluminación proveniente de un área determinada en el cielo (p. 61).

## **2.7. Escala de Contaminación Lumínica**

### ***2.7.1. Escala de la Royal Astronomical Society***

La Real Sociedad Astronómica (RAS) es una prestigiosa sociedad científica del Reino Unido que apoya la investigación astronómica estableciendo el primer Atlas Mundial del Brillo del Cielo Nocturno Artificial donde se propone una escala para determinar el grado de contaminación lumínica a nivel mundial (Real Sociedad Astronómica, 2016).

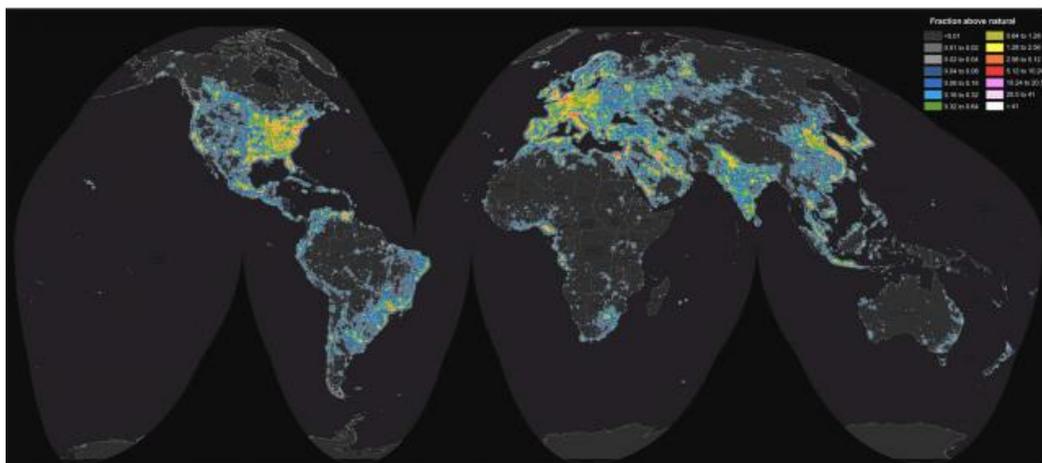
La escala propuesta se obtuvo con la reunión de datos de mediciones de brillo nocturno tomados por varios equipos y dispositivos especializados con imágenes satélites de alta resolución (Cinzano, Falchi, & Elvidge, 2001).

La Real Sociedad Astronómica (2016), establece rangos sobre el brillo natural del cielo, según la intensidad de iluminación reflejada hacia el cielo nocturno y diferenciándoles mediante colores:

- *Verde*: El brillo artificial natural en el cuarto creciente.
- *Amarillo*: El brillo artificial dobla al natural en la luna creciente alta en el cielo.
- *Naranja*: Como tener Luna llena todo el año. La Vía Láctea es prácticamente invisible.
- *Rojo*: Imposible ver la Vía Láctea. El número de estrellas visibles en buenas condiciones atmosféricas se reduce a un centenar. Se empieza a alcanzar el umbral de adaptación del ojo a la visión nocturna.
- *Blanco*: El ojo no puede adaptarse a la visión nocturna. Sólo son visibles unas pocas estrellas muy brillantes y los planetas.

### Figura 7

*Atlas Mundial del brillo del cielo nocturno causado por la luz artificial.*



*Nota:* La figura muestra los niveles de contaminación lumínica a nivel mundial. Tomado de (Cinzano, Falchi, y Elvidge, 2001).

### 2.7.2 Escala Centros Urbanos Cuenca- Ecuador.

Es una escala planteada por una metodología para evaluar la contaminación lumínica causada por el alumbrado público, que se realizó en la ciudad de Cuenca- Ecuador en base al estudio y análisis de contaminación lumínica provocada por el mismo, cabe recalcar que es una escala no regularizada, propuesta por Guanuquiza y Quito (2014), para determinar la calidad del cielo urbano mediante la distribución de rangos y simbología (color).

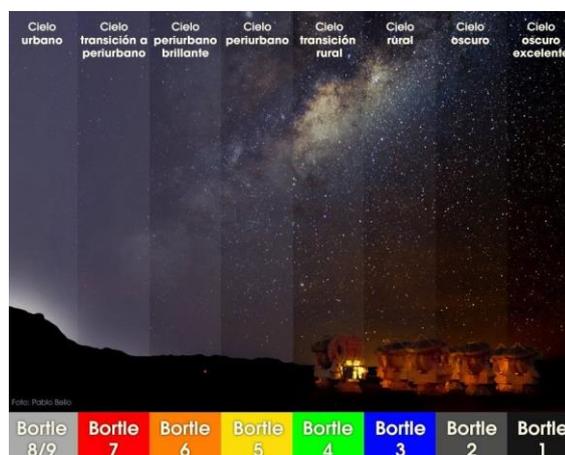
### 2.7.3 Escala del Cielo Oscuro de Bortle.

Es una escala no cuantitativa de la magnitud limitante de ojo desnudo (NELM), basándose en la observación visual del cielo, misma que fue publicada en el año 2001 en la Revista Sky and Telescope por John E. Bortle (Sanabria, 2015).

Para evaluar la calidad del cielo nocturno, Bortle propone nueve clases “iniciando en la clase número 1 que corresponde a los cielos más oscuros y limpios del planeta, hasta llegar a la clase número 9 referida a los cielos vistos desde el interior de ciudades con niveles máximos de contaminación lumínica” (Sanabria, 2015).

## Figura 8

*Cielo de las diferentes clases de la escala de Bortle.*



*Nota:* En la figura se observa las diferentes clases de cielo oscuro según Bortle. Tomado de Night Sky Pix (2021).

## 2.8. Medidas de Mitigación

Según Latorre (2017), el intentar minimizar la contaminación lumínica no debe confundirse con la idea de mantener las ciudades con una iluminación deficiente, por el contrario, las medidas enfocadas a reducir la contaminación lumínica están vinculadas a la mejora de la calidad de la iluminación ambiental.

Algunas medidas de mitigación que describe Latorre (2017) se enfocan en:

- Iluminar exclusivamente aquellas áreas que lo requieran sin dejar que la luz escape fuera de estas zonas.
- Emplear luminarias apantalladas cuyo flujo luminoso se dirija únicamente hacia abajo.
- Considerar el impacto del alumbrado en el diseño de todo nuevo proyecto de urbanización.
- Usar lámparas de espectro poco contaminante y de bajo consumo energético, preferiblemente de vapor de sodio a baja presión (VSBP) o de vapor de sodio a alta presión (VSAP).
- Ajustar los niveles de iluminación en el suelo.
- Regular el apagado de ornamentales, iluminaciones, publicitarias y monumentales.
- Impedir que cualquier proyector envíe luz hacia el cielo.
- Reducir el consumo de energía innecesaria y ser selectivo de luminarias.
- Apagar totalmente las luminarias que no sean necesarias.
- Revisar y actualizar la normativa aplicable.

- Condicionar los permisos para nuevas instalaciones industriales, comerciales y de ocio al cumplimiento de las normas y criterios de minimización de la contaminación lumínica.

## **2.9. Marco Legal**

### ***2.9.1. Normativa Nacional***

#### **2.9.1.1. Constitución del Ecuador.**

Con respecto a la normativa nacional en la Constitución de la República del Ecuador (2008), Título II, Capítulo segundo (Derechos del buen vivir)- Sección segunda (Ambiente Sano); reconoce el derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado, libre de contaminación y armonía con la naturaleza, estableciendo ciertas normativas de prevención y control de la contaminación ambiental. Pese a existir normativas para preservación del entorno, no existe reglamento alguno que abarque el tema de la contaminación lumínica en el Ecuador.

#### **2.9.1.2. Norma Ecuatoriana RTE INEN 069.**

En el Ecuador, respecto al control de la polución lumínica no existe una regulación específica por sus limitadas investigaciones, sin embargo, en el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 069), “Alumbrado Público”, punto 4.6 aborda el tema de contaminación lumínica definiéndolo como una propagación luminosa cuando se iluminan espacios que no son necesarios por su mal diseño desde que se planifica el proyecto (Guanuquiza y Quito, 2014).

### **2.9.1.3. Regulación ARCERNNR 006/20**

La Regulación ARCERNNR 006/20 “Prestación del Servicio de Alumbrado Público General” se encarga de las condiciones comerciales y técnicas que facilitan a las empresas un mejor manejo de la distribución del mismo con eficacia y calidad para la sociedad (Agencia de Regulación y Control de Energías y Recursos Naturales No Renovables, 2020).

### **2.9.1.4. Leyes y Reglamentos de Energía Ecuatoriana.**

Actualmente en el Ecuador, la normativa que hace referencia al alumbrado público es la Regulación CONELEC y EE, donde se señala que este servicio debe ser regulado y controlado por el Consejo Nacional de Electricidad. Actualmente según la Agencia de Regulación y Control de Energías y Recursos Naturales No Renovables (2020), se consolida con tres leyes:

- Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica (LOSPEE).
  - Reglamento general a la ley orgánica del servicio público de energía eléctrica
- Ley orgánica de eficiencia energética
- Ley orgánica de defensa del consumidor

## **2.9.2. Normas Internacionales**

### **2.9.2.1. Comisión Internacional de Iluminación (CIE).**

La Comisión Internacional de Iluminación fue fundada en el año de 1931 cuenta con su sede en Viena, Austria y realiza intercambio de información a nivel internacional sobre las tecnologías de la iluminación, teniendo como resultado dos publicaciones sobre la polución lumínica; (*CIE 126-1997*) denominada Directrices para la minimización del brillo del cielo y

la Guía para la limitación de los efectos molestos de la luz procedente de las instalaciones de iluminación en exteriores- *CIE 150-2003* (Guanuquiza y Quito, 2014).

### **2.9.2.2. Normativa Española.**

España, se encuentra inmersa en la contaminación lumínica por el consumo desmedido del recurso energético, es así que se considera que el alumbrado público crece más rápido que la población española y optan por implementar una serie de normativas tanto municipales como autonómicas (Chiluisa, 2014).

**Ley del cielo (31/10/1998):** La primera norma fue dirigida a la protección de la calidad astronómica del Instituto de astrofísica de Canarias. Posteriormente el real decreto 243/1992 aprobó el reglamento para esta ley, que tiene por objetivo establecer las condiciones y los límites tolerables de todos los factores que afectan la calidad astronómica del cielo sobre las zonas que rodean los observatorios (Chiluisa, 2014).

**Ley sobre la calidad del aire y protección de la atmósfera (03/04/2007):** Incorporando en uno de sus artículos la definición de la contaminación lumínica y además se especifica que el sector público tiene como una de sus competencias promover el uso adecuado de la luz artificial (Chiluisa, 2014).

### **2.9.2.3. Normativa Colombiana.**

La República de Colombia en el Ministerio de Minas y Energía maneja el RETILAP (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público) determinado en la resolución N° 180540 del 30 de marzo del 2010, sección 575 en donde hay conceptos sobre la contaminación lumínica realizando cooperaciones con la CIE en el año de 1997 (Chiluisa, 2014).

#### **2.9.2.4. Normativa Argentina.**

Según lo recopilado por Lazzeroni (2019), a nivel de las provincias, existe normativa orientada a la protección de los cielos nocturnos, principalmente en aquellas ciudades donde están instalados observatorios o proyectos astronómicos con reglamentaciones para contemplar los efectos de las nuevas tecnologías en la calidad del cielo nocturno y la calidad de vida de los ciudadanos.

#### **2.9.2.5. Normativa De Chile.**

En Chile, en el año de 1998 por Decreto Supremo N° 686 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción se aprueba la norma denominada Manual de Aplicación – Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica – CONAMA, en la que se establece una regulación a la contaminación lumínica cuyo objetivo era prevenir dicha polución de los cielos nocturnos de la II, III y IV Regiones, conservando la calidad actual de los cielos y del medio ambiente; preservando la salud del ser humano (Guanuquiza y Quito, 2014).

Además, para el año 2012 se publicó en el Diario Oficial de Chile una nueva norma sobre la contaminación lumínica, en la que se expone el objetivo de prevenir la propagación del mal uso de la luminaria hacia los cielos nocturnos (Chiluisa, 2014)

Otra medida de control de la contaminación lumínica, fue la creación de la Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile, la cual pretende alcanzar el uso correcto y eficiente de la iluminación urbana, salvaguardando el estudio astronómico (Chiluisa, 2014).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

- **Equipos**
  - ✓ GPS
  - ✓ Laptop
  - ✓ Equipo Sky Quality Meter (SQM LU-DL)
  - ✓ Domo de protección del SQM LU-DL.
  
- **Software**
  - ✓ Excel (Hojas de cálculo)
  - ✓ ArcGIS 10.4 (Mapas)
  - ✓ Google Earth Pro 7.3.4.8248
  - ✓ Unihedron Device Manager

#### 3.2. Diseño

##### 3.2.1. Área de Estudio

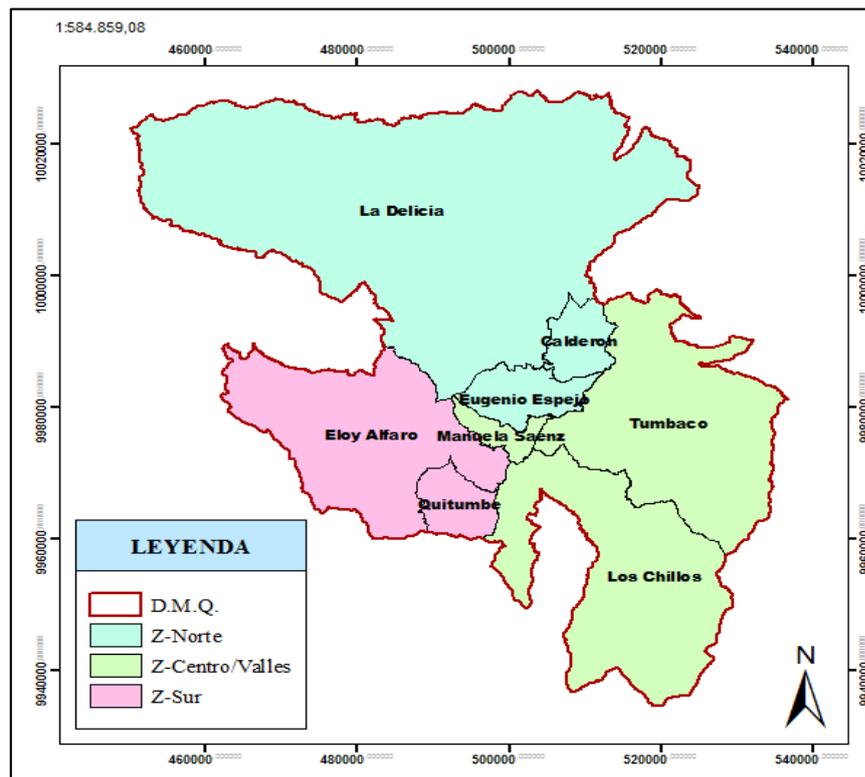
El Distrito Metropolitano de Quito, ubicado en el centro norte de la provincia de Pichincha-cantón Quito, su ubicación geográfica es de  $0^{\circ}13'31''S$  y  $78^{\circ}31'29''O$  a una altitud de 2.850 m.s.n.m, con una población de 2'781.641 habitantes en una superficie de 4.183 Km<sup>2</sup> (Prefectura de Pichincha, 2017).

El sector considerado para el estudio se encuentra limitado por el norte (Provincia de Imbabura), sur (Cantones Rumiñahui y Mejía), este (Cantones Pedro Moncayo, Cayambe y Provincia de Napo) y al oeste (cantones Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos y Provincia de

Santo Domingo de los Tsáchilas); para la investigación es considerando las ocho administraciones zonales: Calderón, Eloy Alfaro, Eugenio Espejo-Norte, Los Chillos, La Delicia, Manuela Sáenz-Centro, Quitumbe y Tumbaco para la división del sector.

**Figura 9**

Área de Estudio- DMQ.



*Nota:* En la figura se aprecia la zona norte, centro- valles y sur del Distrito Metropolitano de Quito.

### 3.2.2. Obtención de la Información

#### 3.2.2.1. Identificación de las Variables de Estudio.

Se consideró las siguientes variables para el manejo de datos:

**Brillo del Cielo Nocturno:** Por medio del equipo Sky Quality Meter se mide el brillo del cielo; proporciona las medidas en unidades  $mag/arcsec^2$  en un rango de lecturas cada 10 minutos que a su vez permite realizar promedios ya sea grupales o individuales y comparar con escalas propuestas (Exelencia Severo Ochoa, 2000).

**Ubicación Geográfica:** Los puntos de estudio se establecen mediante la aplicación Google Earth 7.3.4.8248

**Características de la Luna:** Es la fase por la que está pasando la luna y el porcentaje de visibilidad (iluminación), las mediciones fueron tomadas en el Calendario Lunar (2021), durante los meses de septiembres, octubre, noviembre y diciembre entre el 26 al 6 de cada mes en la que prevalece la luna nueva y menguante; evitando mediciones fallidas.

**Clima:** Intervienen factores como la nubosidad, humedad y temperatura tomado de (The Weather Channel, 2021).

**Tipo de construcción:** Se tomó en consideración el área de estudio por zonas norte, centro valle y sur; que sea de origen residencial.

### **3.2.2.2. Delimitación de la Zonas de Muestreo.**

Para la delimitación de las zonas de muestreo, se ha utilizado la metodología de la cuadrícula (o retícula) y aleatorio; para las zonas residenciales.

**Metodología de la cuadrícula:** Se procede a la realización de un mapa de toda la zona de estudio y mediante la división de cuadrantes se divide en secciones aproximada de 2x2 km, dentro de los cuales no se observa variaciones significativas en las mediciones con el equipo (Guanuquiza y Quito, 2014).

**Metodología aleatoria:** Se procedió a tomar algunos puntos al azar para completar la base datos que cubra toda el área de estudio, específicamente en los puntos más externos (Guanuquiza y Quito, 2014).

Para el estudio y análisis del grado de la contaminación lumínica se consideró 31 puntos de muestreo (15 puntos zona norte, 6 puntos entre centro-valles y 10 zona sur) del Distrito

Metropolitano de Quito, haciendo énfasis en los puntos estratégicos de mayor asentamiento poblacional (residenciales).

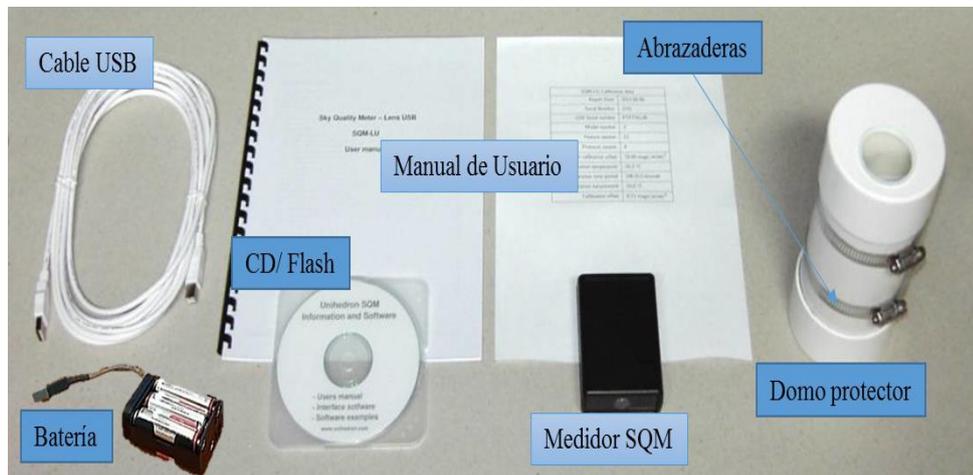
### 3.2.3. Equipo de Monitoreo– Sky Quality Meter

El equipo Sky Quality Meter LU-DL se utilizó para la toma de medidas de la calidad del cielo en el Distrito Metropolitano de Quito el mismo que brinda datos automáticos de las coordenadas de la ubicación geográficas (UTM), temperatura y magnitud de la polución lumínica en unidades  $mag/arcsec^2$  que a su vez puede ser descargado en un computador.

En la Figura 10 se puede apreciar los elementos complementarios del equipo SQM, cabe mencionar nuevamente que este equipo ha sido probado y caracterizado por el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Contaminación Lumínica (ISTIL/LPLAB) y catalogado como un equipo preciso y útil para cuantificar la polución lumínica (Navas, 2015).

**Figura 10**

*Equipo SQM LU- DL y complementos.*



*Nota:* La figura muestra el Medidor de la Calidad del Cielo y accesorios. Tomado de (Unihedron, 2019), Adaptado por autores, 2022.

### 3.2.3.1. Calibración del Equipo Sky Quality Meter.

Los datos de calibración en el momento del encendido se pueden contemplar en la siguiente tabla:

**Tabla 3**

*Datos de Calibración SQM-LU-DL*

SQM-LU-DL-R1 Calibration data	
Report Date	2022-01-05
Serial Number	3933
USB Serial Number	A5050UTQ
Model Number	6 (SQM-LU-DL-R1)
Feature version	61
Protocol version	4
Real Time Clock	D53234 ( $\pm 3.5$ ppm)
Data logging capacity	1048576 records
Light calibration offset	19,82 mags/arcsec <sup>2</sup>
Light calibration temperature	19,3 °C
Dark calibration period	141,078 seconds
Dark calibration temperature	19,6 °C
Calibration offset	8.71 mags/arcsec <sup>2</sup>

*Nota:* En la tabla se describen los valores de calibración del equipo SQM. Unihedron (2019).

El equipo empleado proporciona lecturas en unidades  $mag/arcsec^2$  o (MSAS), siendo una unidad de medida logarítmica, lo que significa que “los grandes cambios en el brillo del cielo corresponden a cambios numéricos relativamente pequeños” (Unihedron, 2019).

**Figura 11**

*Brillo del cielo*



*Nota:* Esta figura indica como interpretar las lecturas tomadas por el equipo SQM DL-LU, (Unihedron, 2019).

Lecturas mayores < Contaminación Lumínica  
Lecturas menores > Contaminación Lumínica

### ***3.2.4. Instalación de Equipos y Proceso de Medición en Campo***

Una vez localizados los puntos de muestreo se procedió a la colocación de los equipos y toma de datos (mediciones) teniendo en cuenta la distribución de zonas (norte, centro-valles y sur); marcando un orden cronológico de acuerdo a la movilidad se comenzó de norte a sur cubriendo toda el área de estudio.

Las mediciones se tomaron en intervalos de 10 minutos en un horario de las 20:00 pm hasta las 4:00 am del siguiente día, dado que se estima un lapso de dos horas después del atardecer y dos horas antes del amanecer para lograr una base de datos más reales (Solano, 2010).

Los equipos necesitaban contar con una batería amplia, protección del domo para evitar alteraciones del clima y ser colocados en las terrazas a una distancia considerable del alumbrado público o cualquier fuente de luz artificial (Guanuquiza y Quito, 2014).

### **3.3. Análisis de los Datos Obtenidos**

Los datos son descargados en un archivo DAT desde el equipo hacia la computadora conectados mediante el cable USB y con el uso del programa Unihedron, para luego ser digitados en una hoja de Excel a su vez categorizados por zonas y visualizados mediante el uso del software ArcGIS.

En cada uno de los puntos de monitoreo se llevó un registro en el programa de Excel en donde se indica las variables más representativas como: contaminación lumínica (magnitud), humedad, nubosidad, temperatura y característica de la luna (Ver Anexo 3).

A su vez se procede a realizar promedios individuales con sus respectivos puntos de monitoreo en cada zona y promedios grupales de las tres zonas del Distrito Metropolitano de Quito.

### ***3.3.1. Obtención de los Valores de Luminancia en los Puntos de Muestreo.***

Una vez obtenidos los datos, fueron exportados a una hoja Excel en donde se visualiza datos descargados, presentándose con hora y fecha en la que las mediciones fueron tomadas, además del periodo de tiempo al que se le programo para muestrear.

Mediante esto, fueron obtenidos un total de 49 mediciones en un solo punto de muestreo (una noche), durante el periodo de muestreo de 20:00 pm a 4:00 am, calculando en una hoja Excel los promedios individuales, valores máximos, mínimos y variación estándar del brillo del cielo nocturno; con respecto a la temperatura se registra automáticamente; los cálculos se realizaron para los 31 puntos de muestreo estableciendo el grado de contaminación lumínica.

### ***3.3.2. Análisis Estadístico de los Datos Obtenidos***

Los datos que se obtuvieron en cada uno de los puntos de muestreo, se trasladaron a un ordenador para mediante el empleo de software realizar un análisis estadístico y así estimar las tendencias entre las variables medidas, es decir determinar si las variables influyen en la medición del grado de contaminación lumínica.

#### **3.3.2.1. Correlación de Pearson.**

La correlación de Pearson mide la relación lineal entre X y Y, que señala una relación lineal positiva ( $r=1$ ), negativa ( $r=-1$ ) o que no exista una relación ( $r=0$ ), en si una relación causa – efecto manifestando la existencia de una fuerte de correlación.

**Tabla 4**

*Coefficiente de correlación de Pearson.*

<b>Criterio</b>	<b>Coefficiente</b>	
Alta	[0,5 – 1,0]	[-0,5 – (-1,0)]
Media	[0,3 – 0,5]	[-0,3 – (-0,5)]
Baja	[0,1 – 0,3]	[-0,1 – (-0,3)]
No hay correlación	0	0

*Nota:* Esta tabla indica los criterios para interpretar la correlación de Pearson. Tomado de (Urrego, 2016).

Para el presente apartado se analizó con el Software Microsoft Excel con el complemento de Real Statistics, que proporciona información sobre la Correlación de Pearson, entre la magnitud vs las condiciones climatológicas (temperatura, nubosidad).

Estableciendo lo siguiente:

**Temperatura vs Brillo del cielo (MSAS):** Correlación negativa a mayor temperatura menor es el grado de Brillo del cielo (MSAS) estableciendo como contaminando.

**Nubosidad vs Brillo del cielo (MSAS):** Correlación positiva es decir los dos deben aumentar simultáneamente

### **3.3.2.2. ANOVA.**

Para este apartado los datos fueron analizados mediante el empleo del Microsoft Excel con el complemento de Real Statistics, que proporciona información sobre ANOVA y comparaciones múltiples utilizando pruebas de TUKEY al 5%, de tal modo que crea intervalos de confianza entre las tres zonas norte, centro y sur del área estudiada. (Fallas, 2012).

Considerando la siguiente afirmación “cuanto mayor sea el valor de F, más probable es que el experimento sea declarado significativo” (Fallas, 2012, p. 9), los criterios se interpreta de la siguiente manera:

***Valor  $p \leq \alpha$  : SIGNIFICATIVA***

Cuando el valor p es menor al nivel de significancia (Alpha) se rechaza la hipótesis nula.

***Valor  $p \geq \alpha$  : NO SIGNIFICATIVA***

Cuando el valor p es mayor al nivel de significancia (Alpha) se rechaza la hipótesis alternativa.

### **3.4. Presentación de los Datos**

#### ***3.4.1. Contaminación Lumínica de los Puntos de Muestreo***

Para determinar el grado de contaminación lumínica en el DMQ, los resultados obtenidos en esta investigación fueron comparados con escalas de polución lumínica establecidas por instituciones internacionales o propuestas por autores en estudios antes realizados. Para este caso, fueron utilizadas las escalas de: RAS, Cuenca-Ecuador y Cielo Oscuro de Bortle.

##### **3.4.1.1. Escala de la Real Sociedad Astronómica.**

Los rangos que estima la Real Sociedad Astronómica (2016), para la contaminación lumínica son las siguientes:

**Tabla 5***Escala de la Real Sociedad Astronómica*

<b>Magnitud (MSAS)</b>	<b>Significado</b>	<b>Color</b>
SQM<18,8	Muy Contaminado	Blanco
SQM 18,8-19,8	Contaminado	Rojo
SQM 19,8-20,5	Medianamente Contaminado	Naranja
SQM 20,5-21,2	Ligeramente Contaminado	Amarillo
SQM 21,2-21,6	Aceptable	Verde

*Nota:* Esta tabla muestra los criterios para determinar la contaminación lumínica. Tomado de (Real Sociedad Astronómica, 2016).

### **3.4.1.2. Escala Centros Urbanos Cuenca- Ecuador.**

La siguiente escala se la utilizo como parte de nuestra investigación por que en estos lugares se prioriza la iluminación, por lo que no se puede aceptar mayor rango de brillo a diferencia de lugares en donde se ubiquen observatorios astronómicos, además los rangos establecidos están en función del grado de polución lumínica en las zonas urbanas en la investigación realizada en la ciudad de Cuenca- Ecuador por Guanuquiza y Quito (2014).

**Tabla 6***Escala propuesta para Centros Urbanos.*

<b>Magnitud (MSAS)</b>	<b>Significado</b>	<b>Color</b>
SQM<15,4	Muy Contaminado	Blanco
SQM 15,4-16,6	Contaminado	Rojo
SQM 16,6-17,8	Medianamente Contaminado	Naranja
SQM 17,8-18,8	Ligeramente Contaminado	Amarillo
SQM 18,8-21,6	Aceptable	Verde

*Nota:* En la tabla se aprecian los valores para determinar la contaminación lumínica. Tomado de (Quito, Guanuquiza, Espinoza, y Pulla, 2014, p. 166)

### 3.4.1.3. Escala de Cielo Oscuro de Bortle.

La escala de Cielo Oscuro de Bortle (2001), determina las características del cielo nocturno de la contaminación lumínica.

**Tabla 7**

*Escala de Cielo Oscuro de Bortle.*

<b>Magnitud (MSAS)</b>	<b>Significado</b>	<b>Color</b>
SQM<18,00	Cielo urbano y cielo urbano central	Blanco
SQM 18-19,1	Cielo suburbano brillante y transición cielo suburbano/urbano	Rojo
SQM 19,10-20,10	Cielo suburbano	Naranja
SQM 20,10-20,80	Transición cielo rural/suburbano	Amarillo
SQM 20,80-21,30	Cielo rural	Verde
SQM 21,30-21,50	Cielo rural oscuro	Azul
SQM 21,50-21,9	Cielo oscuro verdadero típico	Gris
SQM>21,90	Cielo Oscuro Excelente	Negro

*Nota:* Esta tabla indica los criterios para determinar la Calidad del Cielo Oscuro según Bortle. Tomado de (Northern Virginia Astronomy Club, 2001).

### 3.5. Costo del Flujo Energético Desperdiciado

Para determinar los valores de energía no aprovechada y desperdicio energético, se tomó como dato principal la cantidad de energía total disponible en el Distrito Metropolitano de Quito, además de la tarifa aplicada correspondiente a lo estipulado en la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica- LOSPEE al Pliego Tarifario de la Empresa Eléctrica (Pozo, 2014).

Basándose en el año 2020 respecto a energía recibida y perdida tenemos:

**Tabla 8**

*Pérdidas y energía eléctrica disponible 2020*

<b>Empresa</b>	<b>2020</b>		
	Disponible en el	Perdidas en el	Total, Distribuido por
<b>EE Quito</b>	Sistema (GWh)	Sistema (GWh)	el Sistema (GWh)
	4.221,47	243,23	3.978,24

*Nota:* En la tabla se muestra la cantidad total de energía disponible en el DMQ. Tomado de: (Agencia de Regulación y Control de Energías y Recursos Naturales No Renovables, 2020). Adaptado por Autores, (2022).

Se aplica el coste del servicio y alumbrado público para el sector residencial con consumos de energía, que pagarán una tarifa plana (fija) de **0,1047 \$kWh**, esta cifra consta en la resolución de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL-004, 2020).

Según la Asociación Internacional Dark- Sky se estima que al menos el 30% de iluminación es desperdiciada por la emisión de luz, del mismo el 10% de energía no puede ser controlada y se desperdicia; por lo tanto, solo se puede aprovechar el 20% (Guanuquiza & Quito, 2014).

Se procede a hacer una resta de la cantidad disponible menos las pérdidas en el sistema, obteniendo así la Cantidad Total Distribuido (ver Tabla 8).

Se realiza la transformación de unidades del Total Distribuido por el Sistema de (**GWh**) a (**kWh**) para poder multiplicar por la tarifa plan (fija) de **0,1047 \$kWh** dando como resultado la facturación (**\$/año**), para luego esta cantidad relacionarla con el porcentaje de desperdicio energético que estipula la Asociación Internacional Dark- Sky obteniendo así el valor de energía no aprovechada.

### **3.6. Elaboración de un Mapa de Polución Lumínica del DMQ**

El programa GIS nos permite realizar mapas en donde se presenta aproximaciones sobre la contaminación lumínica tomando en cuenta las características topográficas del área de estudio (Solano, 2010).

El método de interpolación espacial más utilizado en el modelamiento para la generación de mapas de estimación de contaminantes ambientales, se encuentra el Inverso a la Distancia Ponderada IDW; método exacto que asigna más peso a los datos más cercanos a un punto, obteniendo una predicción de datos que tienden más hacia el promedio de las muestras, en este caso al contaminante (López, 2014).

Considerando los datos MSAS del equipo SQM y coordenadas UTM de los puntos de monitoreo en el espacio urbano y rural (zonas residenciales) del Distrito Metropolitano de Quito, se procedió a la interpolación espacial mediante el método IDW para generar una visualización cartográfica de la estimación de polución lumínica en la ciudad y aquellas zonas que carecen de datos (ver Figura 16).

### **3.7. Alternativas de mitigación lumínica del DMQ**

Mediante un documento se recopilaron medidas para la mitigación de la polución lumínica que se basa en resultados e investigaciones previas respecto al tema, fijando las principales causas y consecuencias que afecta directamente a la flora y fauna con el principal objetivo que es disminuir el grado de contaminación que existe actualmente por este fenómeno.

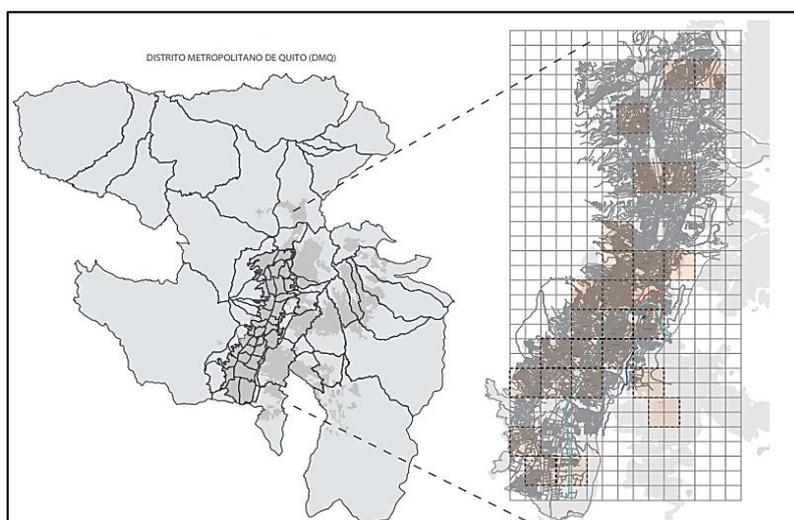
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Definición de los Puntos de Muestreo

Mediante el empleo de la metodología de la cuadrícula y aleatoria en el software ArcGIS, considerando las zonas urbanas y rurales más pobladas se determinó los puntos de muestreo en el área de estudio.

#### Figura 12

*Delimitación de las zonas de muestreo*



*Nota:* En la figura se aprecia las zonas a ser muestreadas.

El Distrito Metropolitano de Quito se clasificó en tres zonas estratégicas (norte, centro-valles y sur) ver Tabla 9; cubriendo las zonas residenciales por medio de la recopilación y clasificación de los datos de campo que permite conocer los niveles de contaminación lumínica en zonas puntuales; en la siguiente tabla se detallan los puntos de muestreo:

**Tabla 9***Puntos de monitoreo del Distrito Metropolitano de Quito*

<b>Punto</b>	<b>Codificación</b>	<b>Sector</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Distrito</b>	<b>Zona</b>
	ZN1	Mitad del mundo	San Antonio		Rural
	ZN2	Pomasqui	Pomasqui		Rural
	ZN3	Carcelén	Carcelén	La Delicia	Urbana
	ZN4	Ponceano Alto	Ponceano		Urbana
	ZN5	Comité del Pueblo	Comité del Pueblo		Urbana
	ZN6	El Condado	El Condado		Urbana
Zona Norte	ZN7	Carapungo	Calderón	Calderón	Rural
	ZN8	Calderón	Calderón		Rural
	ZN9	San Isidro del Inca	San Isidro del Inca		Urbana
	ZN10	Cochapamba	Concepción		Urbana
	ZN11	San José del Inca	Jipijapa	Eugenio Espejo	Urbana
	ZN12	Nayón	Nayón		Rural
	ZN13	Rumipamba	Rumipamba		Urbana
	ZN14	La Comuna	Belisario Quevedo		Urbana
	ZN15	La floresta	Mariscal Sucre		Urbana
Zona Centro-Valle	ZC1	Toctiuco	San Juan	Manuela Sáenz	Urbana
	ZC2	La Tola	Centro Histórico		Urbana
	ZC3	Puengasi	Puengasi		Urbana
	ZC4	Cumbayá	Cumbayá	Tumbaco	Rural
	ZC5	El Nacional	Tumbaco		Rural
	ZC6	Conocoto	Conocoto	Los Chillos	Rural
Zona Sur	ZS1	La Magdalena	La Magdalena		Urbana
	ZS2	Chimbacalle	Chimbacalle		Urbana
	ZS3	La Forestal	La Ferroviaria	Eloy	Urbana
	ZS4	Biloxi	La Mena	Alfaro	Urbana
	ZS5	San Bartolo	San Bartolo		Urbana
	ZS6	Santa Rosa Argelia	La Argelia		Urbana
	ZS7	Chillogallo	Chillogallo		Urbana
	ZS8	Chillogallo	Chillogallo	Quitumbe	Urbana
	ZS9	Quitumbe	Quitumbe		Urbana
	ZS10	Pucara	Guamaní		Urbana

*Nota:* En esta tabla se describen todos los puntos, zonas y sectores muestreados en el Distrito Metropolitano de Quito.

#### **4.2.1. Levantamiento de la información en cada zona**

Teniendo un total de treinta y uno puntos de muestreo recopiladas de manera estratégico abarcando todas las zonas (norte, centro- valles y sur); en el área de estudio, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 10**

*Total de puntos de monitoreo por zonas.*

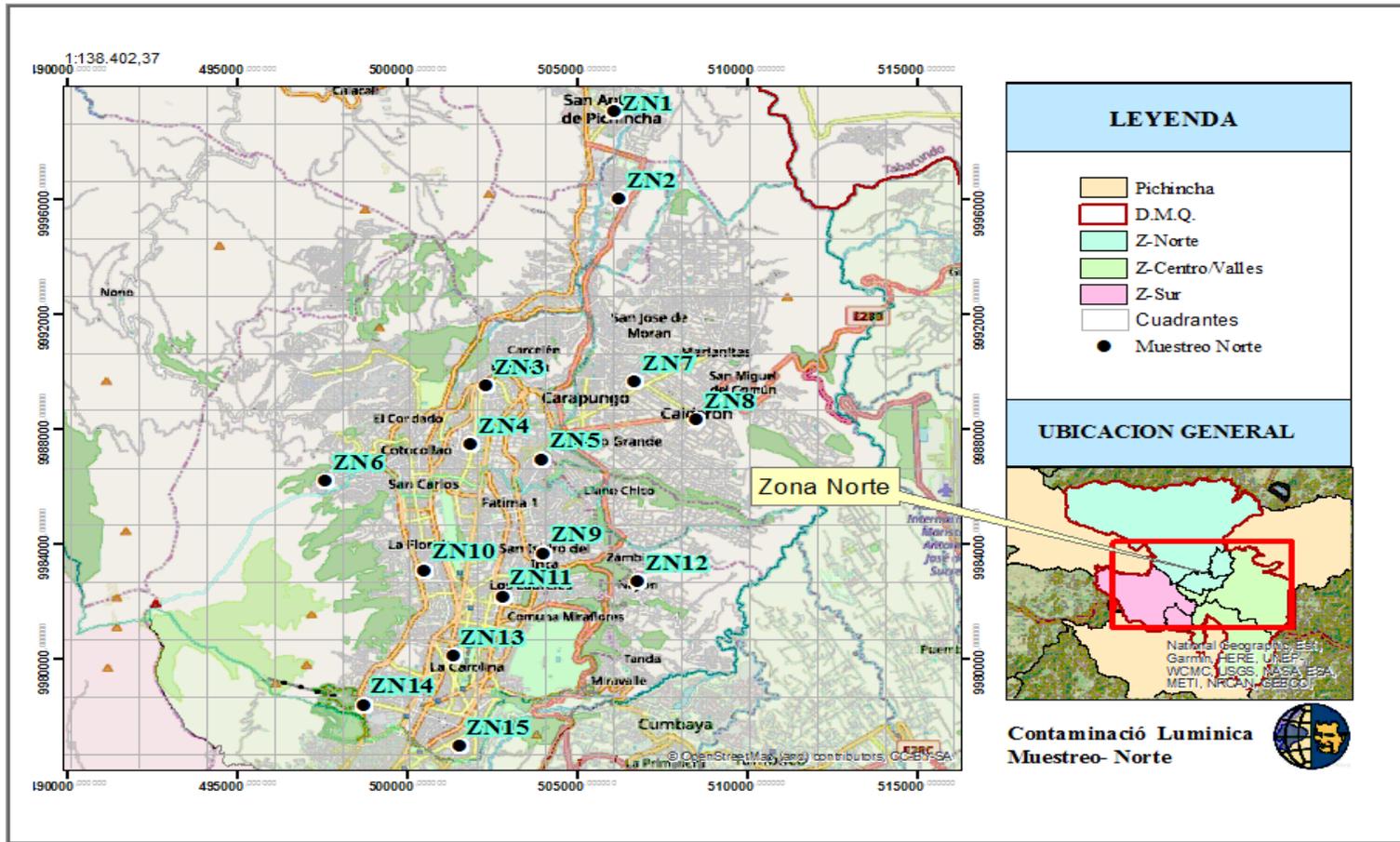
<b>Zona</b>	<b>Pto. de Monitoreo</b>
Zona Norte	15
Zona Centro- Valles	6
Zona Sur	10
Total	31

*Nota:* La tabla resume el total de puntos de muestreo en el DMQ.

A continuación, se representa los mapas temáticos para cada zona, Figura 12, 13 y 14 en donde se especifica los puntos de monitoreo para un mejor manejo de datos:

**Figura 13**

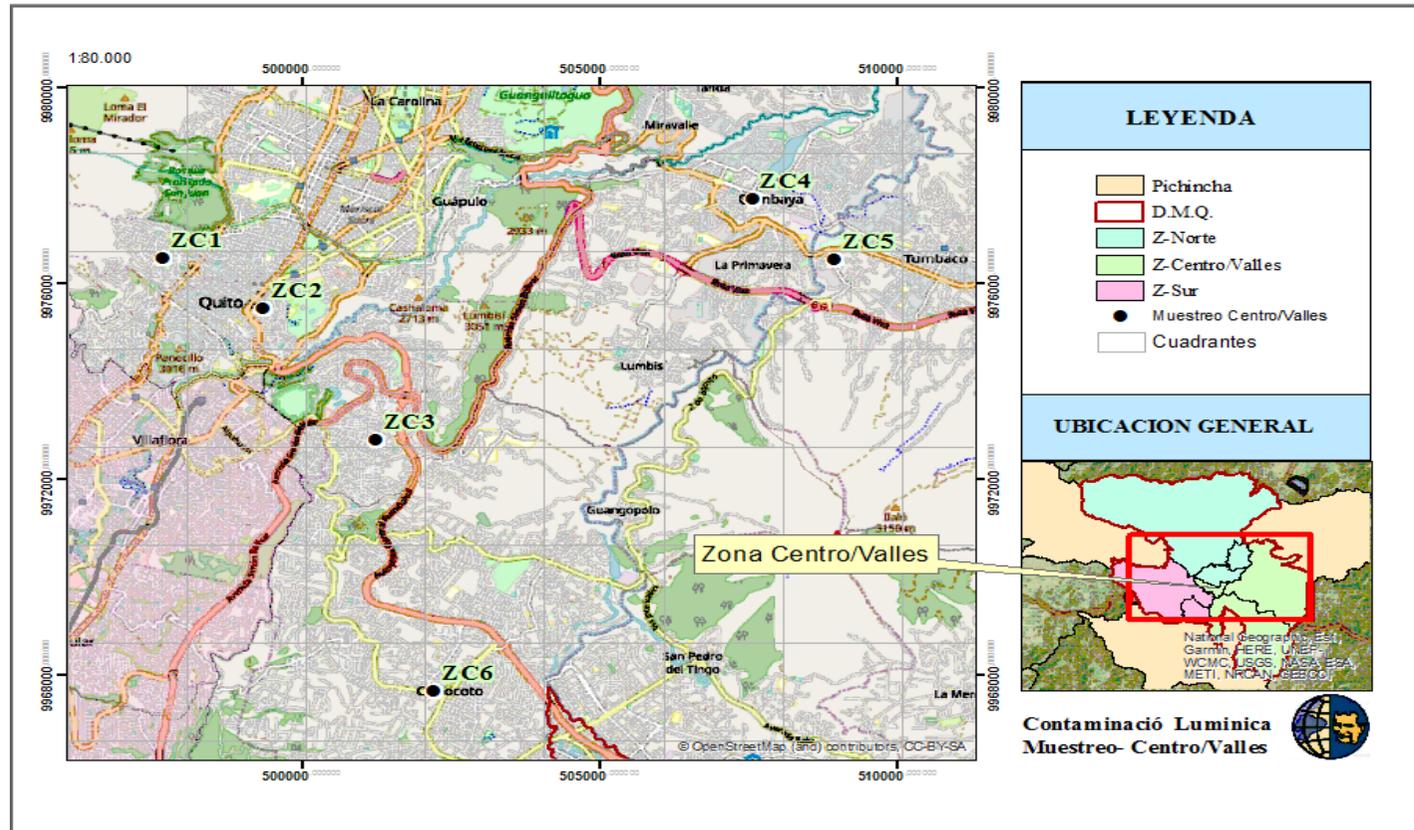
*Zona Norte del DQM.*



*Nota:* En la Figura se evidencia los sectores muestreados en la zona norte del DMQ.

**Figura 14**

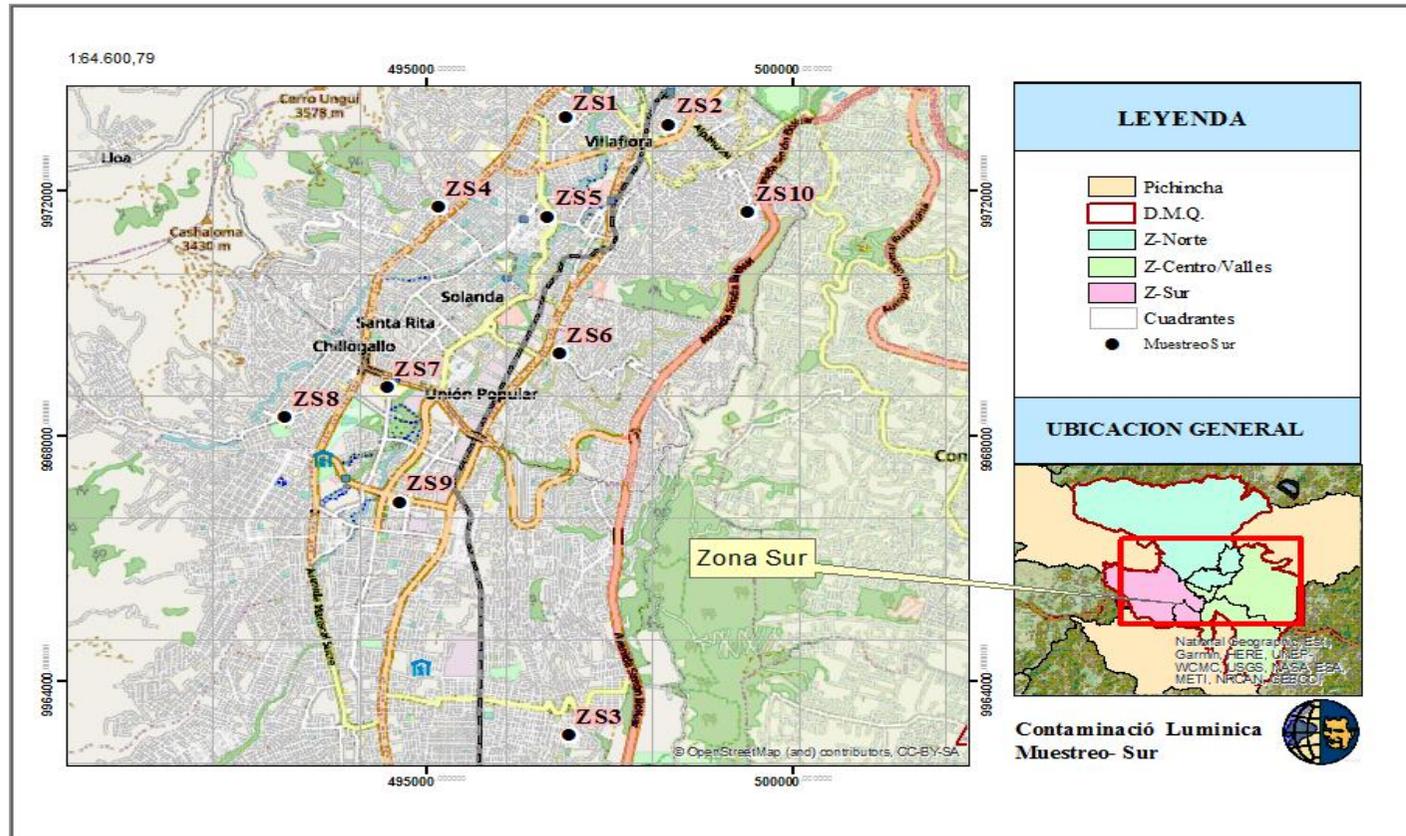
*Zona Centro- Valles del DQM.*



*Nota:* En la figura se evidencia los sectores muestreados en la zona centro- valles del DMQ.

**Figura 15**

*Zona Sur del DQM.*



*Nota:* En la figura se evidencia los sectores muestreados en la zona sur del DMQ.

## 4.2. Análisis de los Datos Obtenidos

### 4.2.1. Valores de Luminancia obtenidos

Los resultados se obtuvieron en cada uno de los puntos de muestreo con diferentes datos climatológicos y meteorológicos. Las mediciones se tomaron en días y condiciones atmosféricas diferentes; considerándose mayormente nublado y con un tiempo variado.

**Tabla 11**

*Valores MSAS y condiciones climatológicas de la zona Norte.*

Cod.	MSAS			T °C	% Iluminación Lunar	% Nubosidad	Tiempo
	min.	máx.	Prom.				
<b>ZN1</b>	14,42	18,09	16,17	10,29	1,9	94	Lluvia Ligera
<b>ZN2</b>	15,35	16,99	16,35	10,60	0,7	93	Lluvia Torm.
<b>ZN3</b>	13,11	17,08	15,66	10,46	7,9	94	Lluvia Ligera
<b>ZN4</b>	14,29	18,08	15,64	9,56	2,2	82	Lluvia ligera
<b>ZN5</b>	12,47	17,46	15,75	10,02	0	93	Lluvia Ligera
<b>ZN6</b>	15,59	16,62	16,29	6,36	22,6	94	Lluvia Ligera
<b>ZN7</b>	15,30	18,54	17,02	9,94	0,7	93	Lluvia Torm.
<b>ZN8</b>	17,01	18,78	18,49	6,30	53,1	93	Seco
<b>ZN9</b>	15,06	17,15	15,95	7,96	36,3	92	Lluvia Torr.
<b>ZN10</b>	15,04	17,49	16,01	11,89	2,6	93	Lluvia Ligera
<b>ZN11</b>	14,73	18,60	17,00	8,61	0	93	Lluvia Ligera
<b>ZN12</b>	15,34	18,63	16,38	10,16	2,6	93	Lluvia Ligera
<b>ZN13</b>	14,50	18,28	16,76	8,00	56	92	Luvia Torm.
<b>ZN14</b>	11,44	18,25	16,73	10,13	13,7	94	Lluvia Ligera
<b>ZN15</b>	14,14	17,61	15,70	7,83	32,5	94	Lluvia Ligera
<b>Prom.</b>	<b>14,52</b>	<b>17,84</b>	<b>16,39</b>	<b>9,21</b>	<b>15,52</b>	<b>92,47</b>	

*Nota:* Esta tabla muestra los valores resumen de los puntos de muestreo que se obtuvo en zona norte del DMQ.

Con las siguientes condiciones climáticas se adquirió un promedio: de 15,52% de iluminación lunar (fase lunar menguante) y nubosidad: 92,47% (tabla 11).

**Tabla 12***Valores MSAS y condiciones climatológicas de la zona Centro- Valles.*

Cod.	MSAS			T °C	% Iluminación Lunar	% Nubosidad	Tiempo
	min.	máx.	Prom.				
<b>ZC1</b>	12,84	18,69	16,61	8,07	56	92	Lluvia Torm.
<b>ZC2</b>	10,27	18,21	16,73	11,71	65,4	92	Lluvia Torm.
<b>ZC3</b>	14,88	18,41	16,00	9,55	20,9	81	Seco
<b>ZC4</b>	14,69	16,86	15,60	13,72	1,2	93	Lluvia Ligera
<b>ZC5</b>	15,12	19,34	16,65	12,93	56	92	Lluvia Torm.
<b>ZC6</b>	14,74	17,50	16,16	9,20	63,1	93	Lluvia Torm.
<b>Prom.</b>	<b>13,76</b>	<b>18,17</b>	<b>16,29</b>	<b>10,86</b>	<b>43,77</b>	<b>90,5</b>	

*Nota:* Esta tabla muestra los valores resumen de los puntos de muestreo que se obtuvo en zona centro- valles del DMQ.

En la Tabla 12 se presenta las siguientes condiciones climatológicas de 43,77% de iluminación lunar (fase lunar menguante) y nubosidad: 90,5%.

**Tabla 13***Valores MSAS y condiciones climatológicas de la zona Sur.*

Cod.	MSAS			T °C	% Iluminación Lunar	% Nubosidad	Tiempo
	min.	máx.	Prom.				
<b>ZS1</b>	14,03	16,00	15,14	11,06	48,7	80	Seco
<b>ZS2</b>	14,67	17,66	15,56	8,32	49,7	80	Seco
<b>ZS3</b>	9,65	16,67	13,69	16,72	29,7	81	Lluvia ligera
<b>ZS4</b>	13,67	15,60	15,07	7,69	29,7	81	Lluvia ligera
<b>ZS5</b>	14,23	16,47	15,28	9,52	58,2	79	Lluvia ligera
<b>ZS6</b>	14,46	17,86	16,76	7,51	0,1	82	Lluvia ligera
<b>ZS7</b>	14,57	16,34	15,26	7,72	15,6	94	Seco
<b>ZS8</b>	14,07	16,63	15,00	9,42	20,9	81	Seco
<b>ZS9</b>	14,43	17,41	15,73	7,56	58,2	79	Lluvia ligera
<b>ZS10</b>	11,74	18,72	17,78	5,74	13	81	Lluvia ligera
<b>Prom.</b>	<b>13,55</b>	<b>16,94</b>	<b>15,53</b>	<b>9,13</b>	<b>32,38</b>	<b>81,80</b>	

*Nota:* Esta tabla muestra los valores resumen de los puntos de muestreo que se obtuvo en zona sur del DMQ.

Las siguientes condiciones climatológicas descritas en la Tabla 13, para la zona sur se tiene un 32,38% de iluminación lunar (fase lunar menguante) y nubosidad: 81,80%.

#### 4.2.2. Análisis Estadístico de los Datos Obtenidos.

##### 4.2.2.1. Análisis de ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER.

Se desarrolló un análisis ANOVA para cada una de las zonas donde se indica que existen diferencias significativas entre las escalas propuestas por la normativa de polución lumínica.

**Tabla 14**

*Análisis de ANOVA del Distrito Metropolitano de Quito.*

		<i>Alpha</i>	<i>0,05</i>
<i>Grupo</i>	<i>Contar</i>	<i>Promedio</i>	<i>p value</i>
Zona Norte	15	16,39	
Zona Centro	6	16,29	0,046*
Zona Sur	10	15,53	
<b>Prom.</b>	<b>31</b>	<b>16,07</b>	

*Nota:* Se muestra el análisis de Anova para las tres zonas el DMQ. \*Si hay diferencia

En la Tabla 14 se observa que **SI** hay diferencia Significativa del Distrito Metropolitano de Quito con respecto a las diferentes escalas de polución lumínica al ser el **Valor  $p \leq \alpha$** , estableciendo que se rechaza la hipótesis nula (no superan las escalas propuestas de polución lumínica) y se acepta la hipótesis alternativa (si superan las escalas propuestas de polución lumínica).

**Tabla 15***Prueba TUKEY HSD/KRAMER entre zonas.*

TUKEY HSD/KRAMER		Alpha	0,05
Q TEST			
Grupo 1	Grupo 2	Promedio	p-value
ZONA NORTE	ZONA CENTRO	0,101	0,966**
ZONA NORTE	ZONA SUR	0,867	0,044*
ZONA CENTRO	ZONA SUR	0,766	0,039*

*Nota:* Se muestra el análisis de prueba Tukey para las diferentes zonas del DMQ. \*\*No hay diferencia. \*Si hay diferencia.

En los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER en la Tabla 15 se observa que, **SI** existe una diferencia significativa entre la zona norte vs zona sur y la zona centro vs zona sur a diferencia de la zona norte vs zona centro que **NO** hay diferencia significativa.

#### 4.2.2.2. Análisis de la Correlación de Pearson.

En la siguiente tabla se observa la correlación de Pearson de las tres zonas del Distrito Metropolitano de Quito, en relación del Brillo Del Cielo Oscuro (MSAS) con respecto a sus variables de estudio (temperatura, iluminación lunar y nubosidad).

**Tabla 16***Análisis de la correlación de Pearson entre el Brillo del Cielo y sus variables*

	Zona Norte		Zona Centro-Valles		Zona Sur	
Temperatura	-0,43	-(NS)	-0,02	-(NS)	-0,79	-(NS)
Iluminación Lunar	0,41	+(NS)	0,86	+(S)	-0,3	-(NS)
Nubosidad	0,23	+(NS)	0,19	+(NS)	-0,06	-(NS)

*Nota:* En la tabla se describe el análisis de Paerson para las tres zonas del DMQ con respecto a las variables de estudio. Simbología (donde: + es correlación positiva; - es correlación negativa; y **NS:** No Significante; **S:** Significante).

En la Tabla 16 con base en la teoría de la Tabla 4 con respecto a los valores de brillo del cielo vs la temperatura tiene un índice de correlación negativa “No Significativa”.

Concluyendo según Quito, Guanuquiza, Espinoza, & Pulla (2014), una correlación negativa baja ( $-1 < x < 0$ ) se da porque a medida que una variable aumenta, la otra variable disminuye; siendo el caso de que a mayor temperatura menor es el grado de brillo lunar estableciendo un mayor grado de contaminación lumínica, confirmando esta información con Urrego (2016) que el impacto de la contaminación aumenta y numéricamente la magnitud desciende.

Mientras que la iluminación lunar vs el brillo del cielo (ver Tabla 16) se obtuvo una correlación positiva con relación directa en la zona norte y la zona centro-valles determinando que según Quito, Guanuquiza, Espinoza, y Pulla (2014), “se considera como significativa si el valor es superior al 50% ( $< 0,5$ ) y no significativa si era menor a dicho valor” (p. 167), lo que da a deducir que a mayor iluminación lunar menor es el grado de contaminación lumínica; por otro lado en la zona sur se tiene una correlación negativa con relación inversa teniendo como resultado que a mayor iluminación lunar mayor es la luminancia.

Finalmente, la nubosidad en relación con el Brillo del Cielo (ver Tabla 16) tuvo una correlación positiva; basándonos en la investigación de Quito, Guanuquiza, Espinoza, & Pulla (2014), si la nubosidad aumenta, el brillo del cielo también como es el caso de la zona norte y centro-valle a diferencia de la zona sur que tuvo una correlación negativa ( $< 0,5$ ) considerada como no significativa.

Temperatura vs MSAS: **mayor temperatura mayor grado de CL.**

Iluminación lunar vs MSAS: **mayor iluminación menor grado de CL.**

Nubosidad vs Magnitud: **mayor nubosidad mayor grado de CL.**

### 4.3. Presentación de datos

#### 4.3.1. Nivel de Contaminación Lumínica en el DMQ

Con los resultados obtenidos se establece una comparación con los rangos de las diferentes escalas propuestas: Real Sociedad Astronómica- RAS (2016), Centros Urbanos-Cuenca (2014) y la de Cielo Oscuro de Bortle (2001).

##### 4.3.1.1. Contaminación Lumínica de la Zona Norte.

Al comparar los resultados obtenidos (Tabla 17) en MSAS [ $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ] con las escalas propuestas se tiene lo siguiente:

**Tabla 17**

*Resultados de la Zona Norte del DMQ.*

Cod.	MSAS	RAS	CUENCA	BORTLE
ZN1	16,17	MC	C	CU/CUC
ZN2	16,35	MC	C	CU/CUC
ZN3	15,66	MC	C	CU/CUC
ZN4	15,64	MC	C	CU/CUC
ZN5	15,75	MC	C	CU/CUC
ZN6	16,29	MC	C	CU/CUC
ZN7	17,02	MC	MedC	CU/CUC
ZN8	18,49	MC	LC	CSB/T
ZN9	15,95	MC	C	CU/CUC
ZN10	16,01	MC	C	CU/CUC
ZN11	17,00	MC	MedC	CU/CUC
ZN12	16,38	MC	C	CU/CUC
ZN13	16,76	MC	MedC	CU/CUC
ZN14	16,73	MC	MedC	CU/CUC
ZN15	15,70	MC	C	CU/CUC

*Nota:* Se muestra los valores de contaminación lumínica para la zona norte del DMQ con respecto a las escalas propuestas. Simbología (**C**: Contaminado, **CU/CUC**: Cielo Urbano y Cielo Urbano Central, **CSB/T**: Cielo Suburbano Brillante y Transición, **LC**: Ligeramente Contaminado, **MedC**: Medianamente Contaminado, **MC**: Muy Contaminado).

Según la Real Sociedad Astronómica (2016), en la Tabla 5 indica que; para estar en el rango muy contaminado su magnitud va MSAS <18,8; de acuerdo con los resultados obtenidos los 15 puntos se encuentran muy contaminados.

Con respecto a la escala Zonas Urbanas Cuenca (Quito, Guanquiza, Espinoza, & Pulla, 2014), (ver Tabla 6) se concluye los valores para un cielo contaminado, *medianamente contaminado* y *ligeramente contaminado* y con los resultados logrados en la Tabla 17, son 10 puntos de muestreo en estado *contaminado*, 3 *medianamente contaminado* y 2 *ligeramente contaminado*.

La tercera escala de Cielo Oscuro de Bortle (2001), en la Tabla 7 según sus valores determinados en comparación a los resultados conseguidos son 14 con un cielo urbano/cielo urbano central y 1 Cielo Suburbano Brillante y Transición.

#### 4.3.1.2. Contaminación Lumínica de la Zona Centro- Valles.

En la (tabla 18) se observa los resultados obtenidos y se lo relaciona con las escalas propuestas de la polución lumínica en MSAS [mag/arcsec<sup>2</sup>] deduciendo:

**Tabla 18**

*Resultados de la Zona Centro- Valles del DMQ.*

<b>Cod.</b>	<b>MSAS</b>	<b>RAS</b>	<b>CUENCA</b>	<b>BORTLE</b>
<b>ZC1</b>	16,61	MC	MedC	CU/CUC
<b>ZC2</b>	16,73	MC	MedC	CU/CUC
<b>ZC3</b>	16,00	MC	C	CU/CUC
<b>ZC4</b>	15,60	MC	C	CU/CUC
<b>ZC5</b>	16,65	MC	MedC	CU/CUC
<b>ZC6</b>	16,16	MC	C	CU/CUC

*Nota:* Se muestra los valores de contaminación lumínica para la zona centro- valles del DMQ con respecto a las escalas propuestas. Simbología (C: Contaminado, CU/CUC: Cielo Urbano y Cielo Urbano Central, CSB/T: Cielo Suburbano Brillante y Transición, LC: Ligeramente Contaminado, MedC: Medianamente Contaminado, MC: Muy Contaminado).

En la Tabla 5 se describe la escala de la Real Sociedad Astronómica (2016), que al comparar con los resultados obtenidos, se determina que los 6 puntos están bajo la magnitud de MSAS <18,8 se considera *muy contaminado*.

La escala nacional propuesta por la ciudad de Cuenca según lo plantea Quito, Guanuquiza, Espinoza, & Pulla (2014) (Tabla 6), los resultados obtenidos en la investigación se tiene *3 puntos en estado contaminado y 3 medianamente contaminado*.

Finalmente concluyendo con la escala de Cielo Oscuro de Bortle (2001) descritas en (Tabla 7) los valores son característicos de una *un cielo urbano/cielo urbano central* al estar en un rango de SQM<18,00.

#### 4.3.1.3. Contaminación Lumínica de la Zona Sur.

En la Tabla 19 se observa los resultados obtenidos y se lo relaciona con las escalas propuestas de la polución lumínica en MSAS [mag/arcsec<sup>2</sup>] deduciendo:

**Tabla 19**

*Resultados de la Zona Sur del DMQ.*

<b>Cod.</b>	<b>MSAS</b>	<b>RAS</b>	<b>CUENCA</b>	<b>BORTLE</b>
<b>ZS1</b>	15,14	MC	MC	CU/CUC
<b>ZS2</b>	15,56	MC	C	CU/CUC
<b>ZS3</b>	13,69	MC	C	CU/CUC
<b>ZS4</b>	15,07	MC	MC	CU/CUC
<b>ZS5</b>	15,28	MC	MC	CU/CUC
<b>ZS6</b>	16,76	MC	MedC	CU/CUC
<b>ZS7</b>	15,26	MC	MC	CU/CUC
<b>ZS8</b>	15,00	MC	MC	CU/CUC
<b>ZS9</b>	15,73	MC	C	CU/CUC
<b>ZS10</b>	17,78	MC	MedC	CU/CUC

*Nota:* Se muestra los valores de contaminación lumínica para la zona sur del DMQ con respecto a las escalas propuestas.. Simbología (C: Contaminado, CU/CUC: Cielo Urbano y Cielo Urbano Central, CSB/T: Cielo Suburbano Brillante y Transición, LC: Ligeramente Contaminado, MedC: Medianamente Contaminado, MC: Muy Contaminado).

En la Tabla 5 los rangos según Real Sociedad Astronómica (2016) se observa que los 10 puntos están bajo la magnitud de MSAS <18,8 se considera *muy contaminado*.

Según indica la escala de Zonas Urbanas Cuenca (2014), en la Tabla 6, con relación a los resultados obtenidos se define 5 puntos de muestreo *en estado muy contaminado*, 3 *en estado contaminado* y 2 *medianamente contaminado*.

La tercera escala propuesta denominada Cielo Oscuro de Bortle (2001), los valores enunciadas en la Tabla 7 dan como características de una *un cielo urbano/cielo urbano central* al encontrarse en un rango de valor SQM<18,00.

#### 4.3.2. Análisis General del DMQ

Para realizar un análisis concreto de la polución lumínica del Distrito Metropolitana de Quito, se procedió a realizar un promedio donde se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 20**

*Luminancia del cielo en las tres zonas.*

	ZONA NORTE	ZONA CENTRO	ZONA SUR
	MSAS	MSAS	MSAS
Prom.	16,39	16,31	15,53
RAS	MC	MC	MC
CUENCA	C	C	C
BORTLE	CU/CUC	CU/CUC	CU/CUC

*Nota:* En la tabla se muestra los valores de contaminación lumínica para las tres zonas del DMQ. Simbología: (C: Contaminado, CU/CUC: Cielo Urbano y Cielo Urbano Central, MC: Muy Contaminado).

El Distrito Metropolitano de Quito tiene una magnitud promedio de 16,39; 16,31 y 15,53 MSAS respecto a sus zonas (norte, centro- valles y sur) como se muestra en la Tabla 20, según la escala de la Real Sociedad Astronómica (2016) se encuentran *muy contaminadas* al tener un valor SQM<18,8 representado por el color blanco (ver Anexo 8).

Según Guanuquiza y Quito (2014), la escala de Zonas Urbanas Cuenca establece valores SQM 15,4-16,6 que significa *Contaminado* y se lo pinta de color Rojo (ver Anexo 9). Sin embargo, realizando un análisis entre zonas se determina que la zona sur tiene 5 valores entre SQM<15,4 (ver Tabla 19) considerados como *Muy Contaminados* y esto se debe a que los puntos monitoreados que exceden las escalas de polución lumínica no cuentan con un servicio eléctrico adecuado y al mismo tiempo existe una activa industrial en sus alrededores (Silva, 2017).

Concluyendo con la escala de Cielo Oscuro de Bortle (2001), se caracteriza por tener un Cielo Urbano y Cielo Urbano Central al estar en un rango de SQM<18,00 representado por el color blanco (ver Anexo 10).

A nivel mundial la contaminación lumínica ha afectado a 20 países entre ellos España, Colombia, Argentina, Chile entre otros; teniendo en cuenta a Chiluisa (2014) sin excepción también esta Ecuador en un 32,3% sobre el rango de 20,5-18,9 MSAS ya que en la última década se ha evidenciado un aumento de la contaminación lumínica.

Según la investigación de Silva (2017), se estima el valor promedio medido en el norte de Quito es de 15,2 MSAS; si se considera que un cielo sin contaminación lumínica posee un valor mayor o igual a 22 MSAS y comparando dicho valor con el promedio general obtenido en el presente trabajo experimental para el Distrito Metropolitano de Quito (Tabla 14) es de 16,07 MSAS se sostiene que el nivel de contaminación lumínica ha descendido pero no por ello deja de caracterizarse como “contaminado”.

#### 4.4. Costo del Flujo Energético Desperdiciado

La facturación del servicio eléctrico se da con una base de tarifa establecida por la Empresa Eléctrica en la (Tabla 8) expuesta a continuación:

**Tabla 21**

*Facturación anual de Quito (2020)*

<b>Luminarias (u)</b>	<b>Total, Distribuido por el Sistema (GWh)</b>
287,150	3.978,24

*Nota:* La tabla presenta el valor total final de energía disponible en el DMQ. Tomado de (Agencia de Regulación y Control de Energías y Recursos Naturales No Renovables, 2020). Adaptado por: Autores, 2022.

Tabla 22

*Facturación Anual Quito*

<b>Año</b>	<b>Energía Total anual (kWh)/año</b>	<b>Tarifa (\$/KWh)</b>	<b>FACTURACIÓN (\$/año)</b>
2020	3.978'240.000	0,1047	416'521.728

*Nota:* En la tabla se muestra el valor total facturado de energía anualmente para el DMQ. Tomado de (ARCONEL-004, 2020). Adaptado por: Autores, 2022.

El DMQ dispone para el año 2020 una tarifa promedio de 0,1047 \$/kWh, con un consumo de energía total de 3.978'240.000 kWh/año, cuyo valor representa una facturación de 416.521.728 \$/año; considerando a la Asociación Internacional Dark- Sky se estima que al menos el 30% de iluminación es desperdiciada por la emisión de luz, lo que representa un valor aproximado de \$ 124.956.518,4 de pérdidas económicas.

Sin embargo, el 10% de energía desperdiciada en contaminación lumínica no puede ser controlada por el flujo luminoso y el 20% de la energía si puede ser aprovechada con un valor de \$/año 83'304.345,6; con esta cantidad económica se podría mejorar el sistema de

iluminación generando un ahorro energético, si se implementara lámparas de sodio de baja presión y la implementación de un plan de monitoreo.

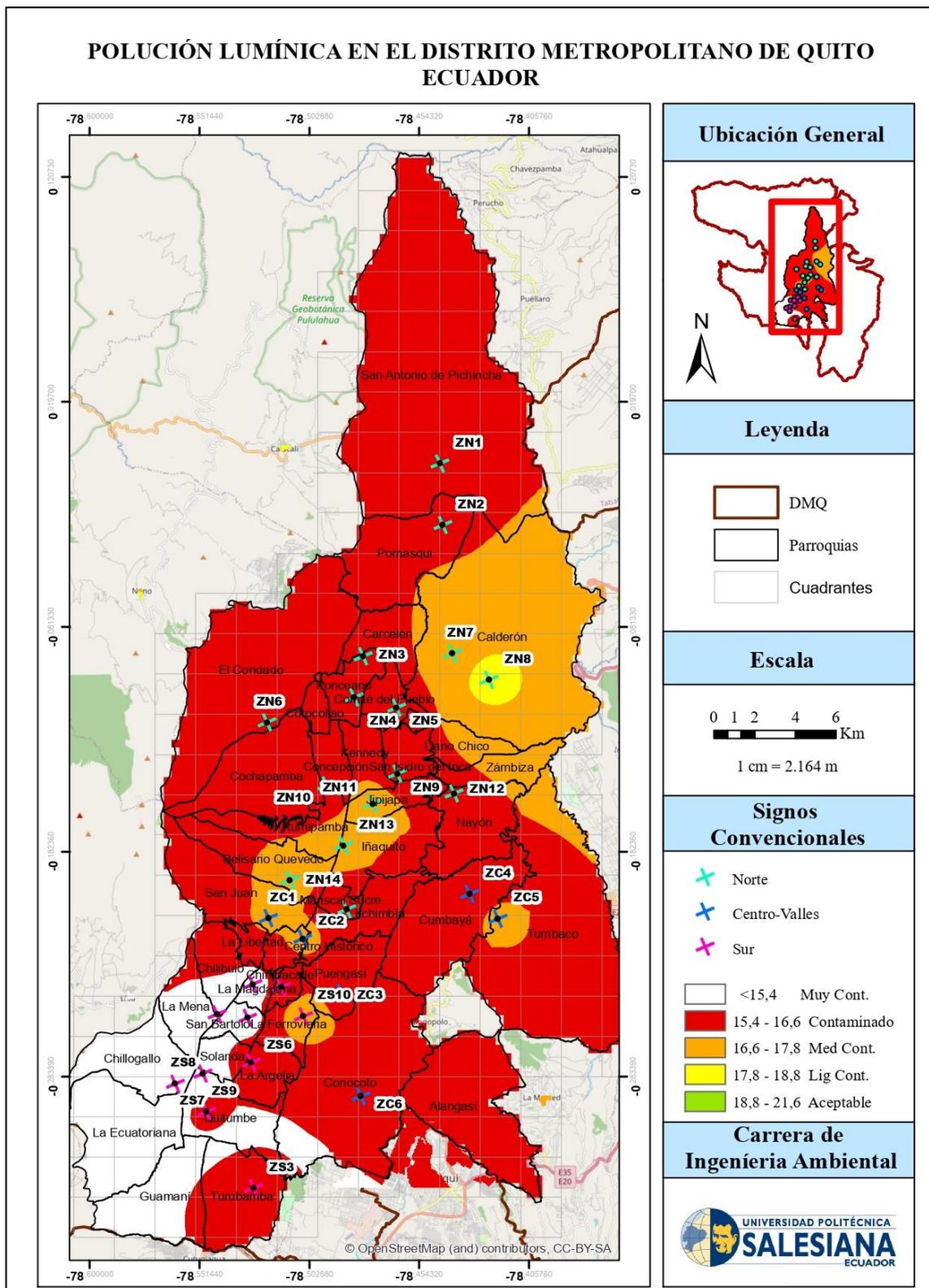
A su vez se observa que la principal fuente de contaminación es el alumbrado público, que según Zapata (2002), corresponde a “un tercio y la mitad de las causantes; existiendo otro tipo de luces parasitas” como son la iluminación de zonas industrias, residenciales y comerciales, peajes, monumentos históricos, letreros entre otros. Por lo que para mitigar este tipo de polución, una posible solución es el reemplazo de las lámparas de alta presión de sodio por unas lámparas de baja presión de sodio, ya que hasta consumen menos electricidad; Silva (2017) menciona que “el 90% de la luminarias de Quito tiene luminarias tipo HPS debido a su bajo costo, en comparación con otras tecnologías; posee una alta eficiencia energética, es decir, produce una buena cantidad de luz” lo que en si es bueno pero a largo plazo no deja de disminuir sus consecuencias.

#### **4.5. Mapa de Polución Lumínica del DMQ**

La polución lumínica se representa mediante un modelo cartográfico por medio de la interpolación, estimando el grado de contaminación lumínica de las diferentes áreas de la zona de estudio como se aprecia en la Figura 16. Mapa que podría mejorar si se contara con más equipos y puntos de muestreo en la zona de estudio.

**Figura 16**

Mapa temático de la contaminación lumínica en el DMQ en base a la escala Cuenca.



Nota: En la figura se presenta un mapa de estimación de la contaminación lumínica en todo el DMQ.

#### **4.6. Alternativas de Mitigación de Contaminación Lumínica del DMQ**

Para la presente investigación, se realizó la recopilación de algunas alternativas para mitigar la contaminación lumínica determinando las principales causas y consecuencias que hacen que la contaminación lumínica aumente con el incremento de la tasa de natalidad de las personas, nuevas tecnologías, el desarrollo de las industrias que van a traer consigo grandes efectos perjudiciales para la flora y fauna nocturna (Silva, 2017).

- Proponer al gobierno local de cada zona el uso de alumbrado público apantallado para contribuir con el ahorro energético, la disminución de la huella de carbono y la protección del cielo nocturno.
- Instalar lámparas de bajo consumo que iluminen de arriba hacia abajo que no contengan metales pesados, esto contribuirá al menor consumo y desperdicio de energía.
- Divulgar la problemática ante la sociedad para la toma de conciencia en cuanto a salud, protección de fauna urbana y silvestre y cuidado del medio ambiente.
- Regular la contaminación lumínica dentro del marco legal estableciendo normativa ambiental vigente que incluya políticas de apoyo y fomento para fuentes de energía alternativa.
- Apagar las luces, dispositivos electrónicos, entre otros, cuando se encuentren en desuso o sean innecesarios en lugares de trabajo o en casa.
- Aprobar reglamentos de control sobre las futuras instalaciones y diseñar planes de remodelación de las actuales bajo el principio de que las actuaciones en remodelaje se amorticen con el ahorro en el consumo.

La solución más óptima para la prevención y control de la contaminación lumínica es realizar el planteamiento urbanístico garantizando la “funcionalidad, economía y eficiencia en la redes de infraestructura para la prestación de servicios urbanos tales como, el alumbrado público o el suministro de energía eléctrica” según propone la Revista de Estudios de la Administración Local y Autonómica (2008), y corroborando con León (2007) expresa que las iluminarias se aprovecharían más si se las determinara por obras (residenciales, comerciales, industrial y exteriores) asentada por una normativa que la sociedad pueda seguir, el claro ejemplo del sur de Quito que la mayoría no cuenta con una organización territorial eficiente y mucho menos el sector eléctrico.

Además de que este tipo de contaminación según Real Sociedad Astronómica (2016) las “consecuencias ecológicas 21%, salud pública 22-24% y desperdicio de energía y dinero 25%” que a su vez se tiene la idea errónea de que la luz artificial aumenta la seguridad y previene delitos siendo una idea popular mas no científica; ya que lo que se busca es la eliminación y control de este tipo de luminarias que son innecesarias y podría ser controlado mediante un plan de monitoreo de la polución lumínica.

Tras haber realizado el análisis de datos de los niveles de luminancia en el DMQ, se propone una alternativa como solución para frenar y contrarrestar los niveles y el grado de contaminación dentro de la capital, la cual consiste en la implementación de una red de monitoreo de polución lumínica.

#### ***4.6.1. Planteamiento de una Red de Monitoreo para la Evaluación de la Polución Lumínica en el DMQ.***

Para llevar a cabo esta alternativa, se han tomado en cuenta las lecturas (mediciones) en los puntos establecidos dentro de los sectores de Quito con diferentes periodos y condiciones climáticas, determinando las zonas más críticas como base para la implementación de las redes de monitoreo.

Cabe mencionar que los niveles de polución lumínica se han asentado en las zonas residenciales debido a la necesidad de alumbrado público y se ha identificado que la zona más crítica es la del Sur de Quito a causa de la dispersión de emisiones, luz desperdiciada y material particulado proveniente de la industrialización, iluminación privada de exteriores, actos o actividades sociales, entre otras.

Ante lo expuesto en la metodología, se estima que las estaciones de monitoreo deberían ubicarse aproximadamente a 2,2 km de distancia con la finalidad de cubrir toda el área geográfica (Guanuquiza y Quito, 2014).

Para la implementación de las redes de monitoreo se necesitará un listado de equipos expuesto en la Tabla 23, materiales, mano de obra descritas en la Tabla 24 y personal encargado del seguimiento y control que constan en la Tabla 25.

Para la implementación de la infraestructura de la estación de monitoreo se requiere los siguientes equipos:

**Tabla 23***Equipos para implementar la red de monitoreo de CL.*

<b>Equipo</b>	<b>Función</b>
<b>Sky Quality Meter (SQM-LU-DL)</b>	Fotómetro manual portátil que calcula y cuantifica el brillo del cielo nocturno por medio de un sensor convertidor de luz- frecuencia con un filtro para radiaciones infrarrojas. La medida es en “magnitudes” por arco segundo cuadrado.
<b>Protector del SQM-LU-DL</b>	Elemento para proteger el equipo de las variaciones climáticas.
<b>Brazo (montaje)</b>	Estructura donde se instalarán con firmeza los equipos y que la toma de lecturas no se vea afectada.
<b>Abrazaderas</b>	Para asegurar el brazo y el Sky Quality Meter al poste
<b>Módulo de alimentación</b>	Base para la toma de energía necesaria para el funcionamiento del equipo, cada equipo utiliza 6 pilas recargables.
<b>Módulo de carga</b>	Herramienta que recarga las baterías para el funcionamiento del equipo.
<b>Mano de obra (instalación)</b>	Costo del personal de mano de obra para la ubicación del equipo.

*Nota:* En esta tabla se describen los equipos que forman parte de la estación de monitoreo para la calidad del cielo.

#### **4.6.1.1. Detalle de Costos Aproximados para la Implementación de las Estaciones de Monitoreo**

Según el estudio realizado sobre el “Análisis y metodología de evaluación de la polución lumínica causado por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca”, la cantidad de equipos Sky Quality Meter que se necesitaría para la implementación de las redes de monitoreo son 25 para cubrir un área de estudio de 8.189 km<sup>2</sup> (Guanuquiza & Quito, 2014).

En base a lo expuesto, se realizó una relación de proporcionalidad para determinar el número de equipos necesarios para la implementación de las redes de monitoreo en la ciudad de Quito, asumiendo un área de 4.183 km<sup>2</sup> (Prefectura de Pichincha, 2017).

**Tabla 24**

*Costos aproximados de los equipos para la implementación de las estaciones de monitoreo.*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Sky Quality Meter	13	410	5.330
Protección del Sky	13	50	650
Brazo (montaje)	13	20	260
Abrazadera	26	5	130
Módulo de alimentación (baterías)	78	2,50	195
Módulo de carga (pilas AA)	6	10	60
<b>Total</b>			<b>6.625</b>

*Nota:* En la tabla se muestran los valores aproximados para cubrir la implementación de la estación de monitoreo de la calidad del cielo para el DMQ.

En la tabla 24 se estima el costo total para la implementación de la red de monitoreo, teniendo un total de \$ 6.625. Además en la Figura 17 se puede observar la manera de instalar los equipos en campo.

**Figura 17**

*Esquema de instalación de la estación de monitoreo*



*Nota:* En la figura se aprecia la manera correcta y cronológica para instalar los equipos en las estaciones de monitoreo.

#### 4.6.1.2. Costo para Seguimiento y Mediciones Continuas.

**Tabla 25**

*Costos aproximados para seguimiento y mediciones.*

<b>Funcionamiento de red de monitoreo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Ubicación del equipo	13	35	455
Retiro del equipo	13	35	455
Configuración y descarga de datos	3	900	2.700
Costo trimestral de instalación			3.610
Costo total anual			<b>14.440</b>

*Nota:* Se aprecia los valores aproximados para el seguimiento y control de las mediciones de la estación de monitoreo de la calidad del cielo para el DMQ.

Se tendrá que recargar las pilas del equipo cada dos meses. El costo en mano de obra de instalación, configuración y retiro del equipo es de \$ 3610 trimestralmente, además el costo anual sumaría a \$ 14.440.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Los datos obtenidos mediante el empleo del equipo SQM LU-DL y la aplicación de las escalas de cielo nocturno se logró estimar el grado de contaminación lumínica para el Distrito Metropolitano de Quito; encontrando que según la escala de la Real Sociedad Astronómica se estima *muy contaminada*; la escala de Zonas Urbanas de Cuenca como *Contaminado* y un valor en el sur de Quito de  $[13,69 \text{ mag/arcsec}^2]$  como *Muy Contaminado*; finalmente con la escala de cielo oscuro de Bortle predomina el *Cielo urbano y cielo urbano central*.

El principal factor causante de la polución lumínica es la mala calidad y distribución; además del uso inadecuado y excesivo de luz artificial por fuentes de iluminación nocturnas (alumbrado público, zonas industriales nocturnas, iluminación de vías); debido a que la emisión de luz o energía se dirige hacia el cielo y se propaga por la atmosfera que provocan en consecuencia que el brillo sobre el cielo nocturno aumente.

La iluminación del cielo nocturno produce perdidas energéticas y por consiguiente económicas que, en el Distrito Metropolitano de Quito, representaría un valor recuperable de \$/año 83.304.345,6; que mejoraría el sistema de iluminación junto con un buen plan de monitoreo de ahorro energético.

La correcta iluminación implica el uso adecuado de las diferentes fuentes artificiales acorde a las necesidades reales y netamente necesarias, las alternativas consisten en la generación de opciones para minimizar el grado de flujo energético aportando a las zonas urbanas y rurales (residenciales) una nueva forma de vida que permita gozar de un cielo libre de polución lumínica.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda que las empresas encargadas de la distribución eléctrica trabajen en conjunto con centros de investigación y universidades para ampliar los estudios realizados en este tipo de contaminación.

El equipo Sky Quality Meter debe ser colocado para la toma de mediciones en un lapso de dos horas después del atardecer y dos horas antes del amanecer en un horario de 20:00 pm a 4:00 am para una mayor precisión en la lectura de medidas.

Antes de realizar el estudio y análisis se debe delimitar correctamente el área geográfica de estudio, considerando las distintas condiciones climáticas (tiempo, temperatura, luna), siendo la luna nueva y cuarto menguante las mejores para muestrear.

Proponer normativas medioambientales y limitantes que regulen el uso, instalación y producción de todo tipo de luz artificial.

Disminuir los niveles de luminosidad en la noche, específicamente cuando el tráfico no justifica su mantenimiento.

Se recomienda utilizar lámparas de vapor de sodio a baja presión para contrarrestar el efecto contaminante que provocan las lámparas de alta presión.

Tener en cuenta cierto horario de publicidad en pancartas ya que en algunas horas de la noche y madrugada son innecesarias y nadie las observa, esto produce gasto, consumo y derroche de energía eléctrica.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2020). *RESOLUCIÓN Nro. ARCERNNR – 029/2020- 006/20*. Obtenido de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-006-20.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de Energías y Recursos Naturales No Renovables. (2020). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. Obtenido de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>
- Aguilera, J. (2012). *Evaluación e impacto de la contaminación lumínica en Bogotá*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/25111/u627132.pdf?sequence=1>
- ArcMap. (Mayo de 2015). *ArcGIS Desktop*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/desktop/>
- ARCONEL-004. (2020). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Obtenido de [https://www.fielweb.com/App\\_Themes/InformacionInteres/Res004-2020.pdf](https://www.fielweb.com/App_Themes/InformacionInteres/Res004-2020.pdf)
- Area tecnología. (febrero de 2019). *Luminotecnia*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/luminotecnia.html>
- Benitez, L. (2016). *Eficiencia de la reglamenación para la prevención y disminución de la contaminación lumínica en Colombia*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10198/TESIS%20FINAL%202016.pdf?sequence=1>
- Boehmwald, Á. (Mayo de 2019). *Contaminación Lumínica*. Obtenido de Folio N° 79: [https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/Contaminacion\\_Luminica\\_\\_Boehmwald\\_R.\\_.pdf](https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/Contaminacion_Luminica__Boehmwald_R._.pdf)
- Bonnin, C., Gutiérrez, S., Xabier, R., & Sánchez, C. (17 de mayo de 2018). *Diferentes fuentes de luz artificial*. Obtenido de

<https://www.grupofranja2.com/index.php/oftalmica/item/2357-diferentes-fuentes-de-luz-artificial-comparacion-de-radiacion-ultravioleta-y-luz-azul>

Calendario Lunar. (2021). *Calendario Lunar Ecuador*. Obtenido de <https://www.vercalendario.info/es/luna/ecuador-mes-octubre-2021.html>

Celfosc. (s.f.). *Evita la contaminación lumínica*. Obtenido de Evita la contaminación lumínica: <https://www.celfosc.org/esp/5minutos.html>

Chiluiza, C. (Diciembre de 2014). *La Contaminación Lumínica en la zona de la Mariscal Sucre de la ciudad de Quito y su falta de normativa jurídica*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3947/1/T-UCE-0013-Ab-234.pdf>

Cinzano, P., Falchi, F., & Elvidge, D. (27 de Julio de 2001). *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*. Obtenido de <http://www.lightpollution.it/cinzano/download/0108052.pdf>

Constitución del Ecuador. (2008). *Constitución del Ecuador*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)

Dark, S. (2020). *Ligth Pollution*. Obtenido de Ligth Pollution: [https://www.darksky.org/wp-content/uploads/2021/01/Light-Pollution-Wastes-Energy-and-Money-Spanish-12-2020-.pdf?fbclid=IwAR187gnCnJc7tal-qUaKaLXxQW2P2YsfduCT-YwRuxrXtvvhtOhZ6\\_f318](https://www.darksky.org/wp-content/uploads/2021/01/Light-Pollution-Wastes-Energy-and-Money-Spanish-12-2020-.pdf?fbclid=IwAR187gnCnJc7tal-qUaKaLXxQW2P2YsfduCT-YwRuxrXtvvhtOhZ6_f318)

Exelencia Severo Ochoa. (2000). *Brillo de cielo nocturno*. Obtenido de <https://www.iac.es/es/observatorios-de-canarias/calidad-del-cielo/parametros-de-calidad-del-cielo/brillo-de-cielo-nocturno#:~:text=El%20brillo%20de%20cielo%20es,fuentes%20de%20luz%20artificiales%20contaminantes>.

Garcia, J. (Septiembre de 2012). *Manual Básico de Google Earth*. Obtenido de [https://docs.google.com/document/d/1s6\\_Rn27UaXFbbXBEEz9QgPtqriKEve4piXyx287GpGc/edit](https://docs.google.com/document/d/1s6_Rn27UaXFbbXBEEz9QgPtqriKEve4piXyx287GpGc/edit)

Globe at Night. (2021). *Maps and Data*. Obtenido de <https://www.globeatnight.org/maps.php>

- Guanuquiza León, M. V., & Quito Arias, R. M. (mayo de 2014). *Análisis y metodología de evaluación de la polución lumínica causado por el albrado público en la ciudad de Cuenca* . Recuperado el febrero de 2021, de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5531/1/Tesis.pdf>
- Guanuquiza, M., & Quito, R. (2014). *Analaisis y metodologia de evaluación de la polución lumínica causado por el alumbramiento público en la ciudad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5531/1/Tesis.pdf>
- Guanuquiza, M., & Quito, R. (Mayo de 2014). *Analisis y Metodologia de Evaluación de la Polución Luminica Causado por el Alumbrado Público en la ciudad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5531/1/Tesis.pdf>
- Herranz, C. (2002). *IMPACTO AMBIENTAL DE LA ILUMINACIÓN NOCTURNA*. Obtenido de <https://www.celfosc.org/biblio/general/gorosti17.pdf>
- Horts, P. (1999). Who still us Milky Way Galaxy? Light pollution problem. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 102-104.
- INEC. (Enero de 2013). *Proyeccion Poblacional*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Instituto de Astrofísica de Canarias. (2021). *Evita la contaminación lumínica*. Obtenido de <https://www.celfosc.org/esp/5minutos.html>
- Internacional Dark-Sky Association. (2020). *Ligth Pollution*. Obtenido de Ligth Pollution: [https://www.darksky.org/wp-content/uploads/2021/01/Light-Pollution-Wastes-Energy-and-Money-Spanish-12-2020-.pdf?fbclid=IwAR187gnCnJc7tal-qUaKaLXxQW2P2YsfduCT-YwRuxrXtvvhtOhZ6\\_f318](https://www.darksky.org/wp-content/uploads/2021/01/Light-Pollution-Wastes-Energy-and-Money-Spanish-12-2020-.pdf?fbclid=IwAR187gnCnJc7tal-qUaKaLXxQW2P2YsfduCT-YwRuxrXtvvhtOhZ6_f318)
- International Dark- Sky Association . (2022). *The International Dark-Sky Association works to protect the night skies for present and future generations*. Obtenido de <https://www.darksky.org/>
- Latorre, B. G. (febrero de 2017). *Contaminación lumínica*. Obtenido de <http://ing.unne.edu.ar/imate/jornadasint/pub/t5.pdf>

- Lazzeroni, C. F. (septiembre de 2019). *Impacto de la contaminación lumínica en la calidad del cielo*. Obtenido de <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/2266/Lazzeroni%20Claudia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- León, A. (2007). *LIGHTING*. Obtenido de <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Lighting.pdf>
- Light Pollution Map. (2022). *Light Pollution Map*. Obtenido de <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=4.00&lat=45.8720&lon=14.5470&layers=B0FFFFFFFFTFFFFFFFFFFFFF>
- Lightroom. (9 de abril de 2015). *Curvas fotométricas*. Obtenido de <http://lightroom.lighting/curvasfotometricas/>
- López, F. (2014). *Distribución espacial de contaminantes gaseosos NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> mediante el método de interpolación determinista y exacto IDW*. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4024/1/10623.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (abril de 2020). *Contaminación Lumínica- Gobierno de Chile*. Obtenido de <https://luminica.mma.gob.cl/que-es-la-contaminacion-luminica/>
- Moreno, M., & Moreno, A. (5 de Julio de 2016). *La contaminación lumínica. Aproximación al problema en el barrio de Sants (Barcelona)*. Obtenido de <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/download/54165/49539>
- Moriana, L. (2019). Contaminación lumínica: definición, causas y consecuencias. *Ecología Verde*, 32.
- Navas Borrero, J. L. (octubre de 2015). *Medida y Evaluación de la contaminación lumínica en entornos urbanos*. Recuperado el febrero de 2021, de [https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11913/TD\\_BORRERO\\_NAVAS\\_Jose\\_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11913/TD_BORRERO_NAVAS_Jose_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Navas, J. (octubre de 2015). *Medida y Evaluación de la contaminación lumínica en entornos urbanos*. Recuperado el febrero de 2021, de

[https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11913/TD\\_BORRERO\\_NAVAS\\_Jose\\_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11913/TD_BORRERO_NAVAS_Jose_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Night Sky Pix. (29 de Noviembre de 2021). *¿Qué Es La Escala De Bortle? Explicación De Las Clases De Contaminación Lumínica*. Obtenido de <https://nightskypix.com/bortle-scale/>

Northern Virginia Astronomy Club. (Febrero de 2001). *NOVAC*. Obtenido de <http://www.novac.com/wp/observing/bortle-scale/>

Pozo, J. (Octubre de 2014). *Análisis de eficiencia energética del alumbrado público en el sector El Girón en la ciudad de Quito*. Obtenido de [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21371/1/IEE\\_01\\_Pozo.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21371/1/IEE_01_Pozo.pdf)

Prefectura de Pichincha. (2017). *Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/distrito-metropolitano-de-quito>

Quito, R., Guanquiza, M., Espinoza, J., & Pulla, G. (21 de Septiembre de 2014). *Metodología para evaluar la polución lumínica causada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca*. Obtenido de [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21400/1/IEE\\_16\\_Quito%20et%20al.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21400/1/IEE_16_Quito%20et%20al.pdf)

Real Sociedad Astronómica. (2016). *The new world atlas of artificial night sky brightness sky brightness*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/303900724\\_The\\_new\\_world\\_atlas\\_of\\_artificial\\_night\\_sky\\_brightness](https://www.researchgate.net/publication/303900724_The_new_world_atlas_of_artificial_night_sky_brightness)

Revista de Estudios de la Administración Local y Autonómica. (2008). *La contaminación lumínica: implicaciones urbanísticas, demaniales y de eficiencia energética*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/5764/576461196005.pdf>

Rodríguez, A., Rodríguez, B., Acosta, Y., & Negro, J. (18 de Enero de 2022). *Tracking Flights to Investigate Seabird Mortality Induced by Artificial Lights*. Obtenido de Airam Rodríguez, Beneharo Rodríguez<sup>1</sup>, Yarci Acosta<sup>4</sup> and Juan J. Negro<sup>5</sup>: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2021.786557/full>

- RTE INEN 069. (Abril de 2014). *Reglamento Técnico Ecuatoriano. "Alumbrado Público"*.  
Obtenido de <https://cupdf.com/document/rte-inen-069.html>
- Sánchez, A. (2012). *Variación del brillo del fondo de cielo en el cénit con la fase y altura de la Luna*. Obtenido de [http://guaix.fis.ucm.es/~alex/TFG\\_Alex\\_v3.pdf](http://guaix.fis.ucm.es/~alex/TFG_Alex_v3.pdf)
- Sanabria, J. (16 de Agosto de 2015). *La contaminación lumínica y la Escala de Bortle*.  
Obtenido de <https://astrofacilvzla.wordpress.com/2015/08/16/la-contaminacion-luminica-y-la-escala-de-bortle/>
- SEOBirdLife. (18 de Enero de 2022). *Investigadores monitorizan vuelos nocturnos de aves marinas afectadas por la contaminación lumínica*. Obtenido de [https://seo.org/2022/01/18/investigadores-monitorizan-vuelos-nocturnos-de-aves-marinas-afectadas-por-la-contaminacion-luminica/?fbclid=IwAR37zmH4s9oFA3IIFy6s6Tm3hxSGu4rWWbkNkZca1xk\\_WhuJBDKC5aiDt\\_c](https://seo.org/2022/01/18/investigadores-monitorizan-vuelos-nocturnos-de-aves-marinas-afectadas-por-la-contaminacion-luminica/?fbclid=IwAR37zmH4s9oFA3IIFy6s6Tm3hxSGu4rWWbkNkZca1xk_WhuJBDKC5aiDt_c)
- Silva Sánchez, W. F. (octubre de 2017). *Estudio y Análisis del grado de contaminación lumínica en un polígono (o área) del sector norte de la ciudad de Quito de acuerdo a la normativa de polución lumínica mundial - propuesta de solución*. Recuperado el febrero de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19400/4/CD-8789.pdf>
- Silva, W. (Octubre de 2017). *Estudio y Análisis del grado de contaminación lumínica en un polígono del sector norte de la ciudad de Quito de acuerdo a la normativa de Polución Lumínica Mundial*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19400/4/CD-8789.pdf>
- Solano, H. (28 de Julio de 2010). *Medición de la contaminación lumínica en espacios naturales*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94165>
- The Weather Channel. (2021). *Pronóstico del tiempo mensual para Quito, Provincia de Pichincha, Ecuador*. Obtenido de <https://weather.com/es-US/tiempo/mensual/1/Quito+Provincia+de+Pichincha+Ecuador?canonicalCityId=37c1334b7c7f44bdcd51f156ffa0c369131c9fdc46ad55eabc57dccc305b268>

Unihedron. (2019). *Sky Quality Meter - LU-DL Operator's Manual*. Obtenido de [https://nimax-ing.de/Produktdownloads/48182\\_1\\_Anleitung-EN.pdf](https://nimax-ing.de/Produktdownloads/48182_1_Anleitung-EN.pdf)

Urrego, G. (Mayo de 2016). *Análisis de los niveles de 13 puntos, en los límites del jardín botánico para la espacialización de la contaminación lumínica en el circuito general*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8897/DOCUMENTO%20FINAL.pdf>

Zapata, N. (2002). *Impacto Ambiental de los sistemas de iluminación*. Obtenido de [https://www.grupo-epm.com/site/Portals/1/biblioteca\\_epm\\_virtual/tesis/impacto\\_ambiental\\_de\\_los\\_sistemas\\_de\\_iluminacion\\_luminica.pdf](https://www.grupo-epm.com/site/Portals/1/biblioteca_epm_virtual/tesis/impacto_ambiental_de_los_sistemas_de_iluminacion_luminica.pdf)

Zárraga, V. (5 de abril de 2021). *Iluminación natural y artificial*. Obtenido de <https://aleph.org.mx/que-es-la-iluminacion-natural-y-artificial-de-ejemplos>

## 7. ANEXOS

### Anexo 1

*Equipo Sky Quality Meter, modelo SQM-LU-DL.*



Instalación del programa Unihedron Device Manager para la prueba de funcionamiento del Sky Quality Meter.



Equipo, batería y protección Sky Quality Meter.



Protector del equipo para condiciones climáticas.



Equipo Sky Quality Meter SQM-LU-DL.



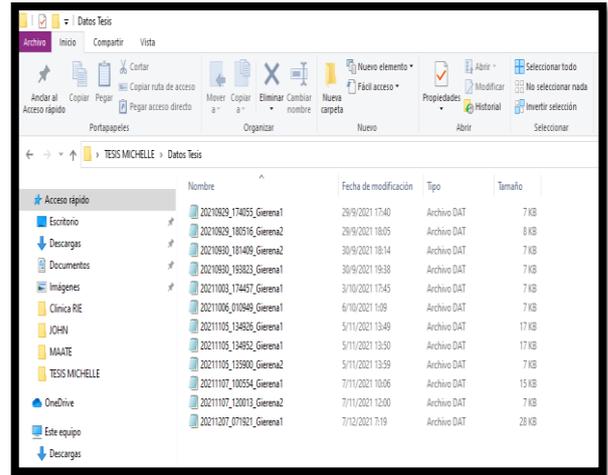
Colocación del equipo en el horario previsto (20:00 h).



Nota importante: El lente debe estar en dirección al cielo nocturno.



Vista previa a la colocación del equipo.



Descarga de datos SQM.

## Anexo 2

### *Puntos de muestreo.*



Muestreo Zona Norte



Muestreo Zona Centro



Muestreo Zona Sur

### Anexo 3

Formato para la recopilación de datos.

Universidad Politécnica Salesiana  
Carrera de Ingeniería Ambiental  
Contaminación Lumínica



Registro

Localidad: Sector Norte/ Centro-Valles/  
Sur \_\_\_\_\_  
Fecha de Inicio: Septiembre/ Octubre/ Noviembre  
27 \_\_\_\_\_

Provincia/ Cantón: Pichincha, Distrito Metropolitano de Guilo (DMQ)  
Fecha de Finalización: Octubre/ Noviembre/ Diciembre  
06 \_\_\_\_\_

Variables de Estudio															
Punto:	Zonificación						Tipo de Construcción	Característica Lunar		Climatología			SGM-LU-DL		
	Coordenadas:		Dirección/Referencia:					% Iluminación	Fase Lunar	Nubosidad		Temperatura °C	Tiempo	MSAS	(od/m2)
	UTMX	UTMY	Dirección	Fecha	Sector	Parroquia				%	Característica				
<b>Observaciones:</b>							<b>Tipo de Construcción</b>	<b>Punto</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Tiempo Clima</b>				
Fuente Bibliografica: Fase lunar: <a href="https://www.vercalendario.info/es/luna/ecuador-mes-octubre-2021.html?fbclid=IwAR1o481zwNyzvNRSO3XISCuNgF_BuZskERWmpKZL90NLvKfBmVYLFymFI">https://www.vercalendario.info/es/luna/ecuador-mes-octubre-2021.html?fbclid=IwAR1o481zwNyzvNRSO3XISCuNgF_BuZskERWmpKZL90NLvKfBmVYLFymFI</a> Tiempo Climatico: <a href="https://www.adonde-y-cuando.es/when/americasur/ecuador/quito/octubre/">https://www.adonde-y-cuando.es/when/americasur/ecuador/quito/octubre/</a>							Comercial Residencial Industrial	ZN: Zona Norte ZS: Zona Sur ZC: Zona Centro/Valles	Latitud: UTM X Longitud: UTM Y		Seco Luvia Tormenta				

Nota: Se muestra la hoja, registro de actividades de monitoreo para el DMQ.

## Anexo 4

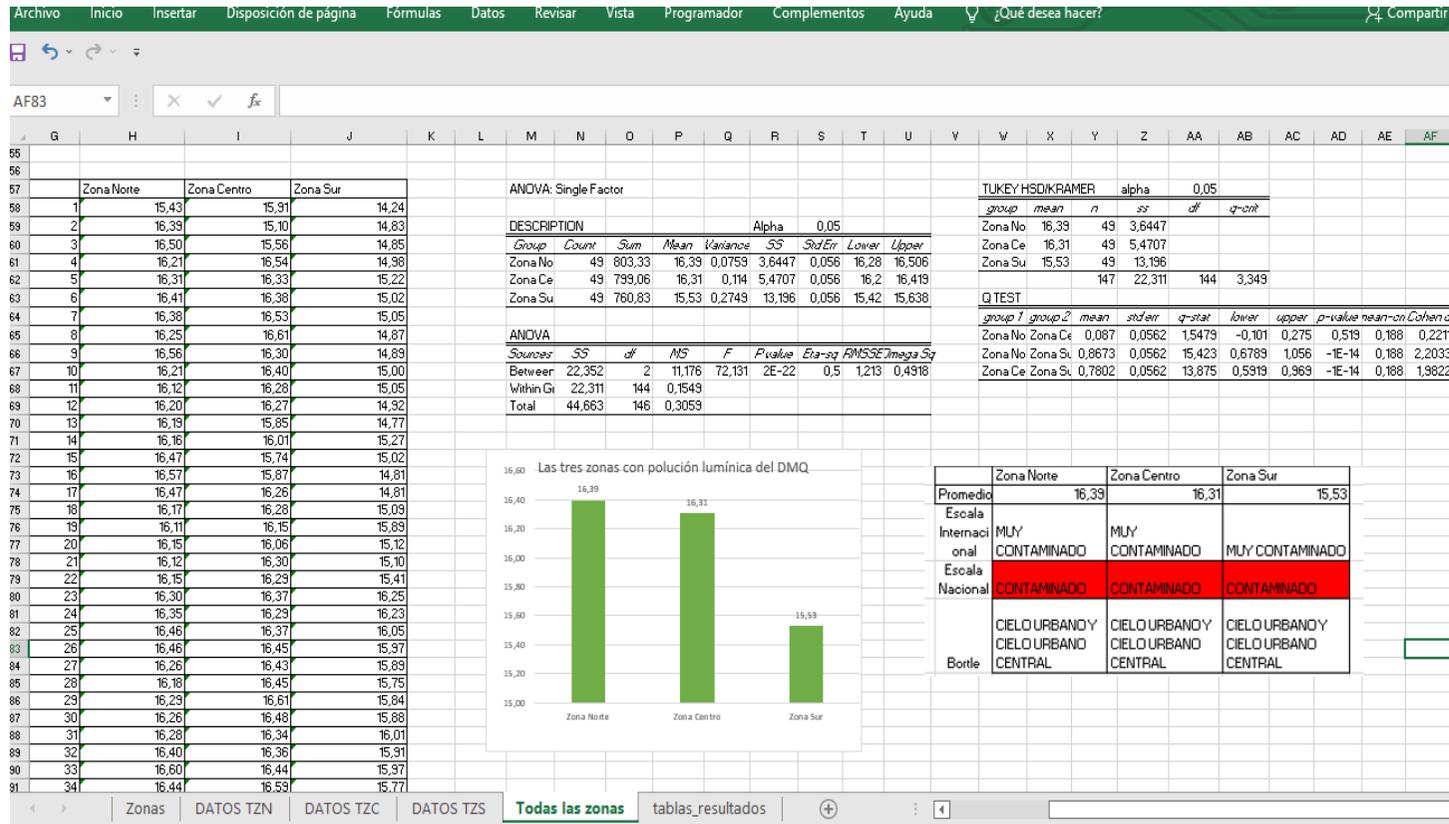
### Análisis Estadístico-Base de Datos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
	Punt o:	UTMX	UTMY	Dirección	Fecha	Sector	Parroq uia	Adminstrac ion Zonal	Zona	Locali dad	Tipo de Constru cción	% Ilumina ción	Fase Lunar	% Nubu sidad	Característica de Nubosidad	Temperat uta (°C)	Tiempo	MSAS (magfarcos cc <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	MSAS REDONDEA DO	Categoriza cion	COLOR		
1	ZN1	784395,01	939122	Av. Equinoccial y 13 de Junio	3-dic	Mirad del Mundo	San Antonio	La Delicia	Rural	Norte	Residencial	1,3	Menguante	94	Mayormente nubado	10,291837	Lluvia Ligera	16,169592	0,036777908	16,2	Contaminado	Rojo		
2	ZN2	784505,5	9396054	Av. Simon Bolivar y De Los Pepinos J- Lib Pamba 2	4-nov	Pomasqui	Pomasqui	La Delicia	Rural	Norte	Residencial	0,7	Menguante	93	Mayormente nubado	10,595918	Lluvia Tormentosa	16,35449	#####	16,4	Contaminado	Rojo		
3	ZN3	780600,08	9389539	Av. Juan De Sell	7-nov	Carcelén	Carcelén	La Delicia	Rural	Norte	Residencial	7,9	Creciente	94	Mayormente nubado	10,455102	Lluvia Ligera	15,661633	0,058717324	15,7	Contaminado	Rojo		
4	ZN4	780165,6	9387496	Av. Real Audiencia y De	5-oct	Poncaeano	Poncaeano	La Delicia	Urbana	Norte	Residencial	2,2	Menguante	82	Mayormente nubado	9,5612245	Lluvia ligera	15,643673	0,059697256	15,6	Contaminado	Rojo		
5	ZN5	782236,16	9386360	Av. Carlos Fortínez y	4-dic	Comité del Pueblo	Comité del Pueblo	La Delicia	Urbana	Norte	Residencial	0	Nueva	93	Mayormente nubado	10,018367	Lluvia Ligera	15,750816	0,054087539	15,8	Contaminado	Rojo		
6	ZN6	775870,32	9386228	Cesar Andrade y Aurora Estrada	30-nov	Condado	El Condado	La Delicia	Urbana	Norte	Residencial	22,6	Menguante	94	Mayormente nubado	6,3571429	Lluvia Ligera	16,287959	0,032979197	16,3	Contaminado	Rojo		
7	ZN7	784385,51	9383685	Av. Capitan Geovanni Calles y Palermo	4-nov	Carapungo	Calderón	Calderón	Rural	Norte	Residencial	0,7	Menguante	93	Mayormente nubado	9,9408163	Lluvia Tormentosa	17,024082	0,016741374	17	Mediamente Contaminado	Naranja		
8	ZN8	786804,06	9388365	Panamericana Norte, frente al Colegio Abdón	27-nov	Calderón	Calderón	Calderón	Rural	Norte	Residencial	53,1	Menguante	93	Mayormente nubado	6,2959184	Seco	18,491429	0,004333635	18,5	Ligeramente Contaminado	Amarillo		
9	ZN9	782288,75	9383690	California Alta y C.FIS	30-oct	San Isidro del Inca	San Isidro del Inca	Eugenio Espejo	Urbana	Norte	Residencial	36,3	Menguante	92	Mayormente nubado	7,9591837	Lluvia Torrencial	15,952041	0,044937347	16	Contaminado	Rojo		
10	ZN10	778800,93	9383104	Agustin Zambrano y J.	6-nov	Cochapamba	Concepción	Eugenio Espejo	Urbana	Norte	Residencial	2,6	Creciente	93	Mayormente nubado	11,885714	Lluvia Ligera	16,007347	0,042705615	16	Contaminado	Rojo		
11	ZN11	781083,26	9382186	Av. De las Palmeras y De	4-dic	San Jose de El Inca	Jipiapa	Eugenio Espejo	Urbana	Norte	Residencial	0	Nueva	93	Mayormente nubado	8,6142857	Lluvia Ligera	17,003673	0,017059031	17	Mediamente Contaminado	Naranja		
12	ZN12	785074,94	9382703	Pablo Calero,	6-nov	Nayón	Nayón	Eugenio Espejo	Rural	Norte	Residencial	2,6	Creciente	93	Mayormente nubado	10,157143	Lluvia Ligera	16,383469	0,030202021	16,4	Contaminado	Rojo		
13	ZN13	779642,29	9380113	Juan Pablo Sanz y Juan Gonzales	28-oct	Rumipamba	Rumipamba	Eugenio Espejo	Urbana	Norte	Residencial	56	Menguante	92	Mayormente nubado	7,9959184	Lluvia Tormentosa	16,762857	0,02129516	16,8	Mediamente Contaminado	Naranja		
14	ZN14	776999,69	9378412	La Gasca y Enrique Ríther	1-dic	La Comuna	Belisario Quevedo	Eugenio Espejo	Urbana	Norte	Residencial	13,7	Menguante	94	Mayormente nubado	10,132653	Lluvia Ligera	16,725714	0,022036268	16,7	Mediamente Contaminado	Naranja		
15	ZN15	779802,46	9376967	Av. Isabel la Católica y	29-nov	La Floresta	Mariscal Sucre	Eugenio Espejo	Urbana	Norte	Residencial	32,5	Menguante	94	Mayormente nubado	7,8265306	Lluvia Ligera	15,697959	0,056785844	15,7	Contaminado	Rojo		
16	ZC1	775942,03	9376532	Juan Soto y Andres Paredes	28-oct	Toctiucó	San Juan	Manuela Sáenz	Rural	Centro	Residencial	56	Menguante	92	Mayormente nubado	4,6489796	Lluvia tormentosos	18,770816	0,003350404	18,8	Ligeramente Contaminado	Amarillo		
17	ZC2	777629	9375496	Vicente Leon y Jose J. Olmedo	27-oct	La Tola	Centro Historico	Manuela Sáenz	Urbana	Centro	Residencial	65,4	Menguante	92	Mayormente nubado	11,708163	Lluvia tormentosos	16,734694	#####	16,7	Mediamente Contaminado	Naranja		
18	ZC3	779515,91	9372817	O Suarez y V	2-oct	Puengasi	Manuela Sáenz	Eugenio Espejo	Urbana	Centro	Residencial	20,9	Menguante	81	Mayormente nubado	8,9040816	Seco	16,982653	0,017392521	17	Mediamente Contaminado	Naranja		

Nota: Se observa la base de datos para determinar los valores promedios para la interpretación de resultados.

## Anexo 5

### Análisis de ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER de las tres zonas del DMQ.



Nota: Se observa el análisis estadístico y tratamiento de datos del equipo SQM.

## Anexo 6

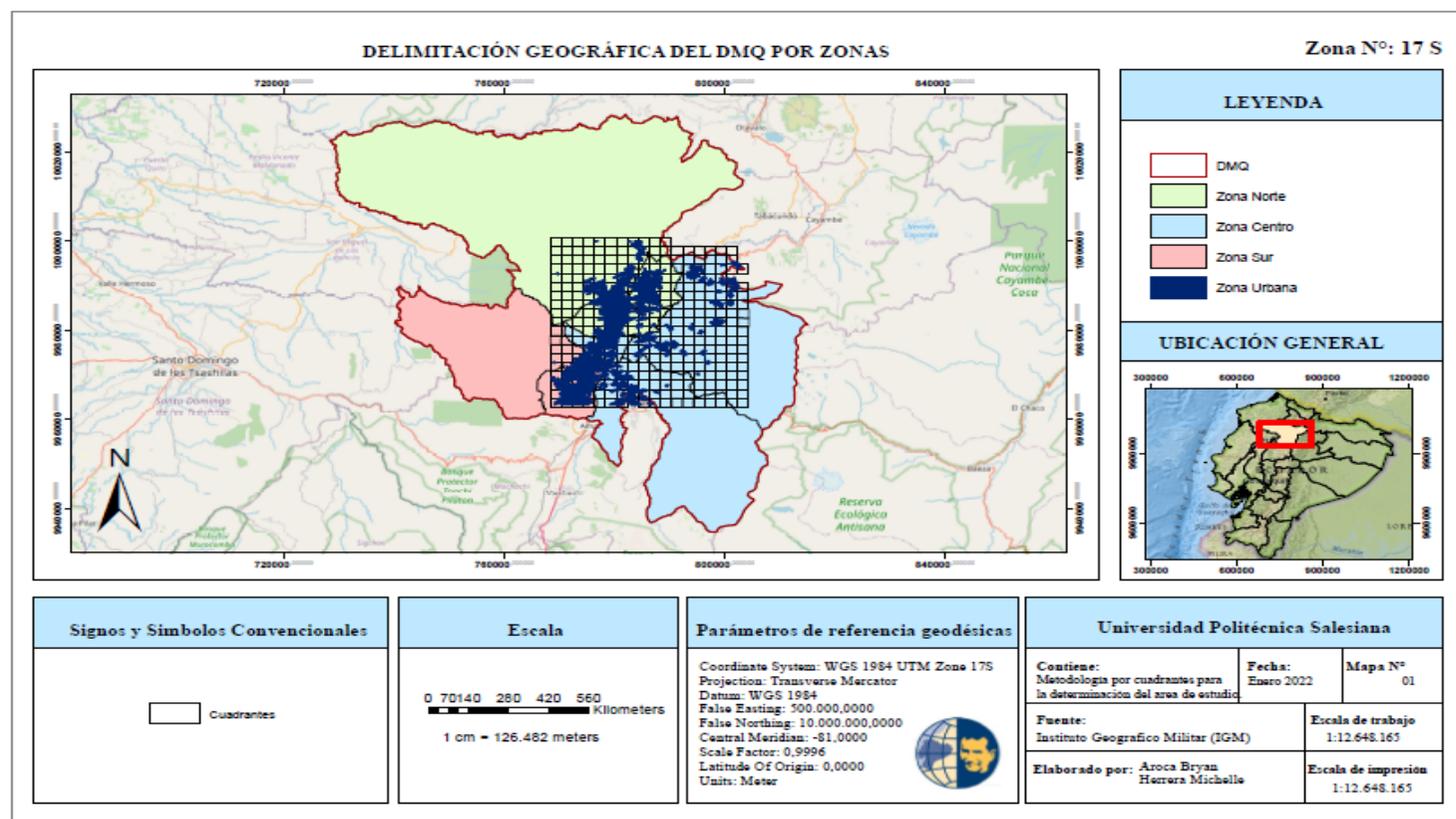
### Análisis de Correlación de Pearson de las tres zonas del DMQ.

Real Statistics																							
Comandos de menú																							
A28																							
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U			
Zona Norte			Zona Centro			Zona Sur									10,60	16,35	Correlation Coefficients						
Cod.	T °C	MSAS	Cod.	T °C	MSAS	Cod.	T °C	MSAS						10,46	15,66								
ZN1	10,29	16,17	ZC1	8,07	16,61	ZS1	11,06	15,14						9,56	15,64			Pearson	-0,4830103				
ZN2	10,60	16,35	ZC2	11,71	16,73	ZS2	8,32	15,56						10,02	15,75			Spearman	-0,2231368				
ZN3	10,46	15,66	ZC3	9,55	16,00	ZS3	16,72	13,69						6,36	16,29			Kendall	-0,1494253				
ZN4	9,56	15,64	ZC4	13,72	15,60	ZS4	7,69	15,07						9,94	17,02								
ZN5	10,02	15,75	ZC5	12,93	16,65	ZS5	9,52	15,28						6,30	18,49								
ZN6	6,36	16,29	ZC6	9,20	16,16	ZS6	7,51	16,76						7,96	15,95								
ZN7	9,94	17,02	Promedio	10,86	16,29	ZS7	7,72	15,26						11,89	16,01			Alpha	0,05				
ZN8	6,30	18,49				ZS8	9,42	15,00						8,61	17,00			Tails	2				
ZN9	7,96	15,95				ZS9	7,56	15,73						10,16	16,38								
ZN10	11,89	16,01				ZS10	5,74	17,78						8,00	16,76			corr	-0,4830103				
ZN11	8,61	17,00				Promedio	9,13	15,53						10,13	16,73			std err	0,1654756				
ZN12	10,16	16,38												7,83	15,70			t	-2,9189209				
ZN13	8,00	16,76												8,07	16,61			p-value	0,0068582				
ZN14	10,13	16,73												11,71	16,73			lower	-0,8219717				
ZN15	7,83	15,70												9,55	16,00			upper	-0,1440488				
Promedio	9,21	16,39												13,72	15,60								
Correlation Coefficients			Correlation Coefficients			Correlation Coefficients			Correlation Coefficients			Correlation Coefficients			Correlation Coefficients			Correlation Coefficients					
Pearson			-0,42826			Pearson			-0,0207712			Pearson			-0,0207712			Pearson			-0,42826		
Spearman			-0,2			Spearman			-0,2			Spearman			-0,2			Spearman			-0,2		
Kendall			-0,16484			Kendall			-0,2			Kendall			-0,2			Kendall			-0,16484		
Pearson's coeff (t test)			Pearson's coeff (Fisher)			Pearson's coeff (t test)			Pearson's coeff (Fisher)			Pearson's coeff (t test)			Pearson's coeff (Fisher)			Pearson's coeff (t test)			Pearson's coeff (Fisher)		

Nota: Se observa el tratamiento de datos y análisis estadístico de las lecturas que brinda el equipo SQM.

## Anexo 7

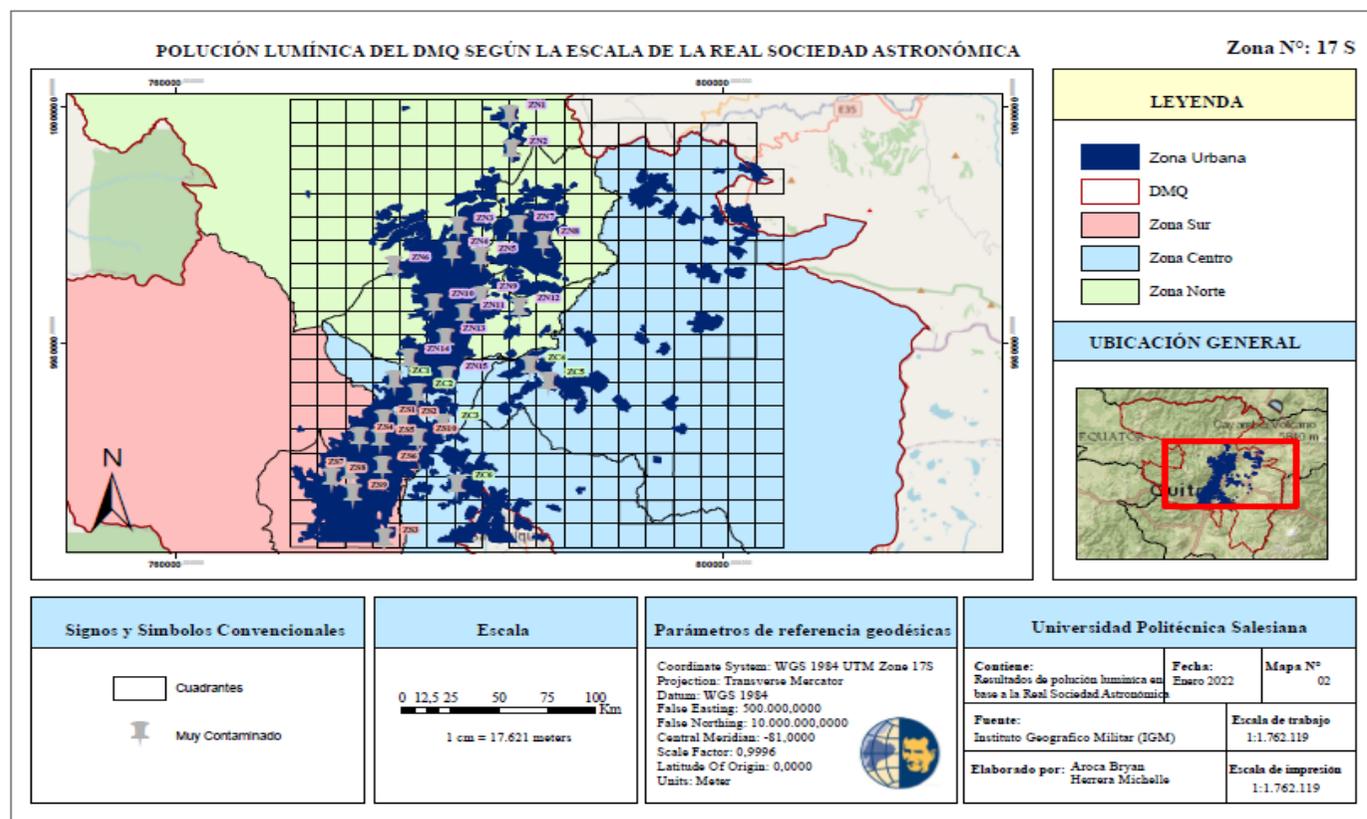
Mapas metodología por cuadrantes para determinar el área de estudio.



*Nota:* Se observa la elaboración de mapa de la zona de estudio y utilización de la metodología para determinar los puntos de muestreo.

## Anexo 8

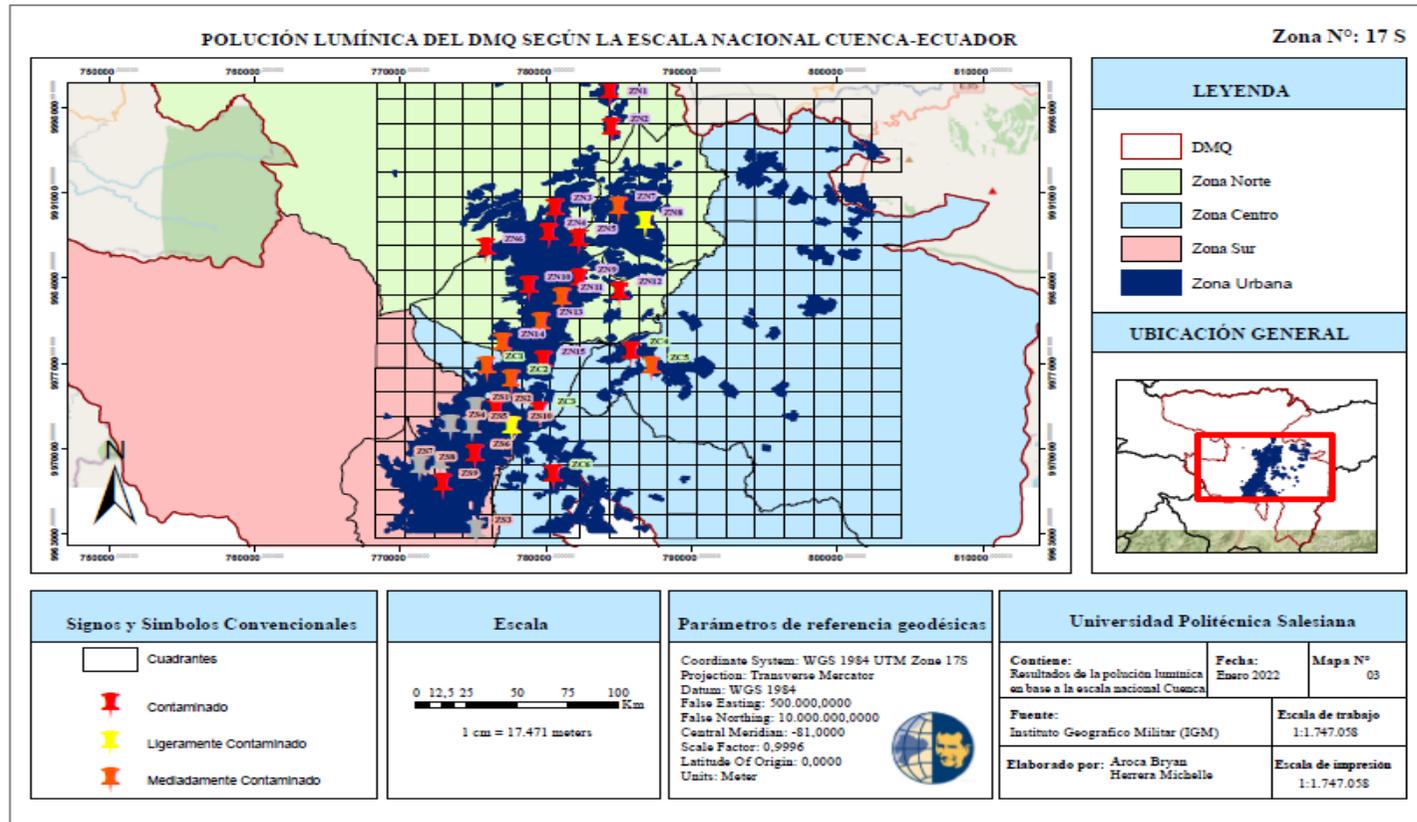
Mapas temáticos según la escala de la Real Sociedad Astronómica.



*Nota:* Mapa de estimación de la contaminación lumínica del DMQ con respecto a la escala RAS.

## Anexo 9

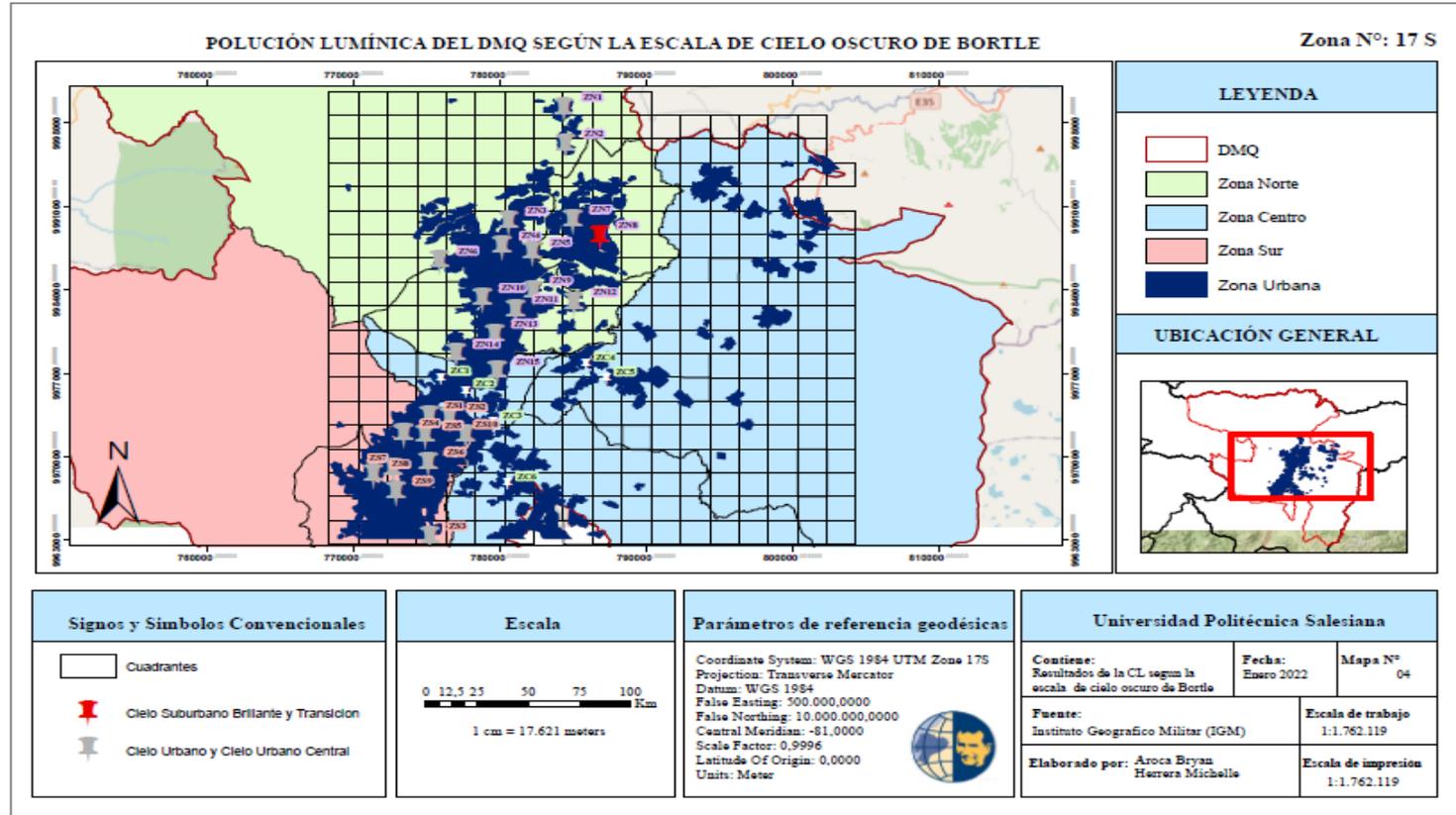
Mapas temáticos según la escala Nacional de la Ciudad de Cuenca.



Nota: Mapa de estimación de la contaminación lumínica del DMQ con respecto a la escala de Centros Urbanos Cuenca.

## Anexo 10

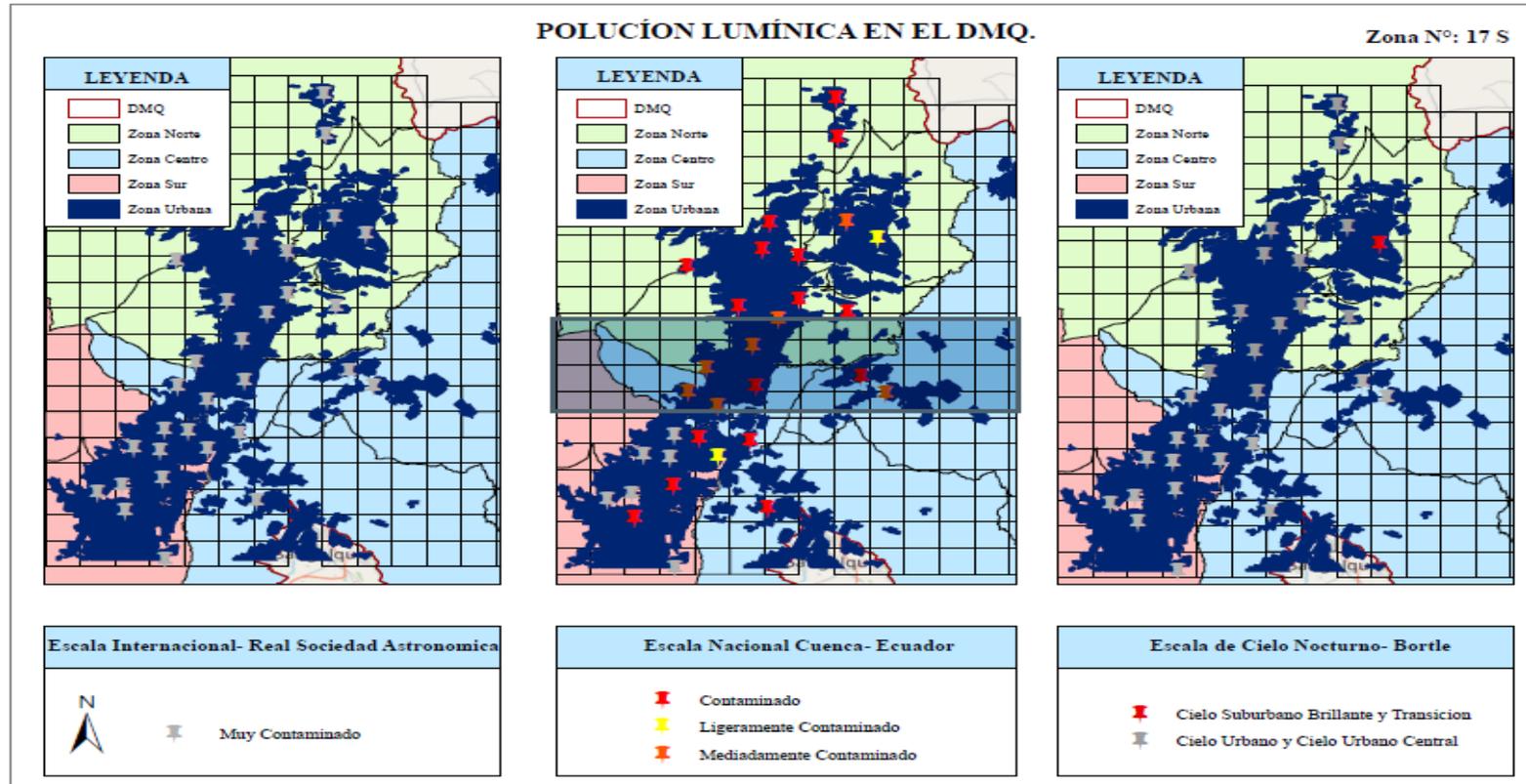
Mapa temático según la escala de Cielo Oscuro de Bortle.



Nota: Mapa de estimación de la contaminación lumínica del DMQ con respecto a la escala de Cielos Oscuros de Bortle.

## Anexo 11

### Polución Lumínica en el DMQ.



*Nota:* Mapa de estimación de la contaminación lumínica del DMQ con respecto a la escala propuestas.