

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



TESIS

**“DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA
CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN LA CIUDAD DE
HUANCAYO”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

CRISPÍN JURADO, Abel

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

Huancayo – Perú

2015

El presente trabajo está dedicado a Dios por bendecirme cada día de mi vida; Mis Padres por su inmenso amor y apoyo que me han brindado en cada paso que doy en mi vida; Mi hermana y hermano por su gran cariño, confianza, y ánimos en momentos cuando lo necesite.

AGRADECIMIENTO

- A mis padres por el apoyo y comprensión que brindaron durante el desarrollo y culminación de mi trabajo de investigación.
- A mi asesor el Ing. Gustavo Astuhuamán, por la orientación para poder presentar el presente trabajo de investigación.
- A mi amigo el Ing. Luis Holguín, por su apoyo en cada fracción de la elaboración del presente trabajo de investigación.
- A la Art. De la Municipalidad Provincial de Huancayo, por facilitarme el mapa de catastro de la Provincia de Huancayo.
- A mi hermano, hermana, catedráticos a Rosangel Q., por tantos momentos compartidos y a todas las personas que de algún modo ayudaron a culminar esta etapa de nuestro camino.

RESUMEN

Durante las últimas décadas, con la creciente industrialización y el progreso de los pueblos, se ha conllevado al crecimiento de centros o urbes, los cuales requieren niveles más elevados de bienestar; parte de esto último consiste en la iluminación.

La iluminación artificial durante la noche, de las vías vehiculares, áreas públicas, zonas comerciales, zonas de entretenimiento, zonas residenciales, etc., es imprescindible en toda zona urbana. Sin embargo la intensidad, la dirección, los horarios o rangos espectrales innecesarios de las fuentes artificiales de luz generan la denominada “contaminación lumínica”.

A nivel mundial este problema, en los últimos años, ha comenzado a tener relevancia, y por lo tanto han comenzado a tomar medidas jurídicas y correctoras para solucionar este problema. En el Perú aún no hay legislación sobre el tema, sin embargo ya que en Sudamérica existen países que comenzaron a adoptar medidas al respecto, se espera que en algunos años más se comience a tomar medidas correctivas.

PALABRAS CLAVE

Contaminación Lumínica, Luminaria, Magnitud aparente, Mapa de constelaciones

SUMMARY

Into the last decades, with the growing industrialization and progress of the towns, it's has become these ones in cities that require levels more raise of comfort; part of the this consist in the illumination.

The artificial light in the night, of the race track, public areas, trade centers, entertainment centers, residence zones, etc. is essential on every zone of the metropolis. Nevertheless the intensity, the direction, the schedules or spectrum ranks unnecessary from artificial light sources originate the "pollution lighting".

In the world wide, this problem, in the last years, has begun to take importance, and therefore have realized law measures and corrections for solve this problem. About Peru there isn't legislation, nevertheless in SouthAmerica there are countries that have begun to take measures, hope us that Peru join to this initiative in few years.

KEY WORDS

Pollution lighting, Luminary, Apparent (relative) magnitude, Constellations Map

INDICE

1. Introducción	01
2. Objetivos	02
3. Revisión bibliográfica	
3.1 <i>Contaminación Lumínica</i>	03
3.2 <i>Consecuencias de una mala iluminación</i>	06
3.3 <i>Isófotas</i>	13
3.4 <i>Iniciativas jurídicas</i>	14
3.5 <i>Instituciones que se ocupan de la contaminación lumínica y de la defensa del cielo nocturno</i>	15
3.6 <i>Tipos de lámparas</i>	16
3.7 <i>Magnitudes estelares</i>	17
3.8 <i>Proyectos realizados en otros países</i>	18
3.9 <i>Confiabilidad del método visual</i>	27
4. Materiales y métodos	
4.1 <i>Materiales</i>	29
4.2 <i>Área de estudio</i>	29
4.3 <i>Métodos</i>	29
4.3.1 <i>Definir los parámetros de medición para la toma de datos.</i>	30
4.3.2 <i>Definir mediante un mapa de isófotas, la distribución de la contaminación lumínica, de acuerdo a sus niveles.</i>	35
4.3.3 <i>Identificar las causas que originan esta distribución de la contaminación lumínica.</i>	39
5. Resultados	
5.1 <i>Definición de los parámetros de medición para la toma de datos.</i>	40
5.2 <i>Definición, mediante un mapa de isófotas, de la distribución de la contaminación lumínica, de acuerdo a sus niveles.</i>	43
5.3 <i>Identificación de las causas que originan esta distribución de la contaminación lumínica.</i>	47
6. Conclusiones	49
7. Recomendaciones	49

8. Glosario	51
9. Bibliografía	53
10. Anexos	55
○ Anexo 1 <i>Determinación de las horas de monitoreo</i>	
○ Anexo 2 <i>Constelaciones tomadas como referencia para el monitoreo</i>	
○ Anexo 3 <i>Puntos de monitoreo</i>	
○ Anexo 4 <i>Recorrido de los puntos de monitoreo por días</i>	
○ Anexo 5 <i>Datos obtenidos en el monitoreo</i>	
○ Anexo 6 <i>Cálculos Estadísticos – Índice de Correlación</i>	
○ Anexo 7 <i>Galería de imágenes</i>	

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Dirección Correcta e Incorrecta de la Iluminación	04
FIGURA 2	Intensidad Inadecuada	05
FIGURA 3	Horario Innecesario de Iluminación	05
FIGURA 4	Espectros de las Lámparas	05
FIGURA 5	Direcciones de la Luz Artificial	06
FIGURA 6	Desperdicio de la Electricidad	07
FIGURA 7	Intrusión Lumínica	08
FIGURA 8	Ciclo Sueño - Vigilia	09
FIGURA 9	Polillas Muertas Alrededor de una Iluminaria	10
FIGURA 10	Tipos de Emisiones de la Luz	12
FIGURA 11	La Astronomía como recurso Educativo	12
FIGURA 12	Proyecto Orión NOVAC, WDC	13
FIGURA 13	Imagen Nocturna – Imagen con Satélite F12	24
FIGURA 14	Clave de los Colores de las Imágenes	24
FIGURA 15	Contaminación Lumínica en los Estados Unidos de América	26
FIGURA 16	Distribución de Flujo Lumínico - Cataluña	27
FIGURA 17	Determinación de la Presencia de la Luz Solar	31
FIGURA 18	Polución Lumínica	39
FIGURA 19	Contaminación Lumínica	45
FIGURA 20	Mapa N° 01. Mapa de Isófotas	46

INDICE DE TABLAS

TABLA 1	Comparación de las Magnitudes Absolutas de las Estrellas en Soles	18
TABLA 2	Equivalencia entre el Número de Estrellas Observadas y la Magnitud Límite observada	21
TABLA 3	Resultados de las observaciones Nocturnas del Proyecto Tucson	23
TABLA 4	Muestra de los Resultados de la Noche del 20 al 21 de Enero	40
TABLA 5	Monitoreo de la Contaminación Lumínica (Magnitud Límite – Nubosidad	43
TABLA 6	Magnitud Límite – Nubosidad (Del Punto de Monitoreo NG 5	44
TABLA 7	Resultado de Magnitud Límite y Nubosidad del Punto NG 5	44
TABLA 8	Índice de Correlación (Nubosidad – Magnitud Límite)	47

“Determinación de la Distribución de la Contaminación Lumínica en La Ciudad de Huancayo”

1. Introducción

Durante las últimas décadas, con la creciente industrialización y el progreso de los pueblos, se ha conllevado al crecimiento de centros o urbes, los cuales requieren niveles más elevados de bienestar; parte de esto consiste en la iluminación.

La iluminación artificial durante la noche, de las vías vehiculares, áreas públicas, zonas comerciales, zonas de entretenimiento, zonas residenciales, etc., es imprescindible en toda zona urbana. Sin embargo la intensidad, la dirección, los horarios o rangos espectrales innecesarios de las fuentes artificiales de luz generan la denominada “contaminación lumínica”.

“La contaminación lumínica es la alteración artificial de la cantidad de luz natural en el cielo nocturno, provocada por la difusión, reflexión, y emisión directa de la luz artificial que tiene una dirección, intensidad, horario de uso, o rango espectral erróneo, que no se justifica para iluminar provechosamente el suelo o las construcciones, originando así la aparente desaparición del firmamento, un despilfarro energético innecesario, un desequilibrio ecológico (en los alrededores de la ciudad, y en las áreas naturales dentro de la ciudad), etc. Esto porque las personas tienen concepciones erróneas entre luz e iluminación, creyendo que una buena iluminación es aquella donde hay más luz, lo cual no es así”.

A nivel mundial este problema, en los últimos años, ha comenzado a tener relevancia, y por lo tanto han comenzado a tomar medidas jurídicas y correctoras para solucionar este problema. En el Perú aun no hay legislación sobre el tema, sin embargo ya que en Sudamérica existen países que comenzaron a adoptar medidas al respecto, se espera que en algunos años más se comience a tomar medidas correctivas.

La ciudad de Huancayo, como toda urbe, presenta este problema de la contaminación lumínica; es evidente que en algunas noches el cielo presenta un color gris-anaranjado en la que solo se pueden visualizar las estrellas más brillantes (algunas de manera tenue) y la Luna; claro que dependiendo de la zona de la ciudad, esto varía, mejorando o empeorando la visibilidad.

Es por ello que con este trabajo, se pretende determinar como varía esta contaminación lumínica en la ciudad de Huancayo mediante un mapa de isótopas que permita observar que zonas de la ciudad de Huancayo son las más afectadas, además de indicar las causas y como se puede mitigar y/o solucionar dicho problema, tomando como base para ello información recopilada y experiencias de otros países.

El indicador más evidente de la contaminación lumínica está en la apreciación del cielo nocturno, ya que el brillo de las estrellas es cuantificable; mientras que otros aspectos como las molestias causadas a las personas, por intromisión lumínica en las viviendas o deslumbramiento, son algo cualitativos y por ende subjetivos. Es por ello que para determinar la distribución de la contaminación lumínica en La ciudad de Huancayo, solo se basará en lo primero, puesto que permitirá obtener datos más confiables.

Así mismo para ello, se hace necesario, establecer la metodología que requiere la medición de dichos datos, para obtener resultados confiables y representativos; siendo aquello base primordial del presente trabajo.

El estudio de las características astronómicas del cielo Huancaíno, características de las luminarias (bombillas de los postes de alumbrado público), y la regulación internacional de la contaminación lumínica; son de gran ayuda para el desarrollo y comprensión de este trabajo, lo cual se explicará en los objetivos y metodología de este mismo.

2. Objetivos

a) Objetivo general

- Determinar la distribución y magnitud de la contaminación lumínica en La ciudad de Huancayo.

b) Objetivos específicos

- A- Establecer la metodología de medición de la contaminación lumínica.
- B- Definir mediante un mapa de isótopas, la distribución de la contaminación lumínica, de acuerdo a sus niveles.
- C- Identificar las causas que originan la distribución de la contaminación lumínica.

3. Revisión bibliográfica

3.1 Contaminación Lumínica

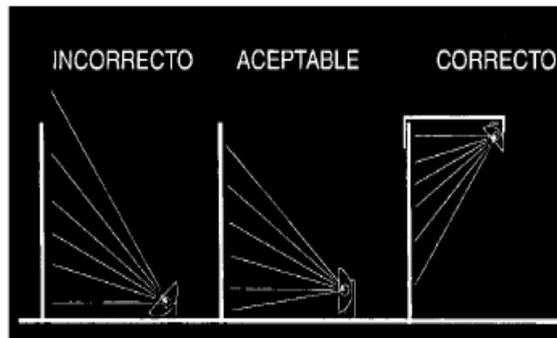
He aquí algunas definiciones sobre contaminación lumínica:

- Según Pere Horts (2000):“Es emisión directa o indirecta, hacia la atmósfera, de luz procedente de fuentes artificiales, en distintos rangos espectrales. Sus efectos manifiestos son: la dispersión hacia el cielo (skyglow), la intrusión lumínica, el deslumbramiento y el sobreconsumo de electricidad”.
- Según Herranz et al (2002):“En general se entiende por contaminación lumínica la alteración innecesaria de la cantidad natural de luz presente en el medio nocturno. A efectos prácticos puede definirse como la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, horarios o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se han instalado las luminarias.
El origen de la contaminación lumínica se halla en alumbrados deficientes de todo tipo: vial, peatonal, ornamental, de seguridad, publicitarios, etc
- De acuerdo a Mabel Santoro (2002): La contaminación lumínica es el brillo o resplandor de luz en el cielo producido por la difusión y reflexión de la luz artificial en los gases y partículas de la atmósfera.
- De acuerdo a la OTPC (2001): Este resplandor, producido por la luz que se escapa de las instalaciones de alumbrado de exterior, produce un incremento del brillo del fondo natural del cielo. Al hacerse las observaciones de objetos astronómicos por contraste con el fondo del cielo, un incremento del brillo del fondo disminuye este contraste e impide ver los objetos con un brillo similar o inferior al del fondo.
- Según Mike Hansen (2001): Cualquier efecto perjudicial producto de la luz artificial.
- Según Luis Holguín (2009): “La contaminación lumínica es la alteración artificial de la cantidad de luz natural en el cielo nocturno en más del 10% de su brillo natural, provocada por la difusión, reflexión, y emisión directa de la luz artificial que puede tener una dirección, intensidad, horario o rango espectral erróneo, que no se justifica para iluminar provechosamente el suelo y las construcciones. Esto origina así la aparente desaparición del firmamento, un despilfarro energético innecesario, un desequilibrio

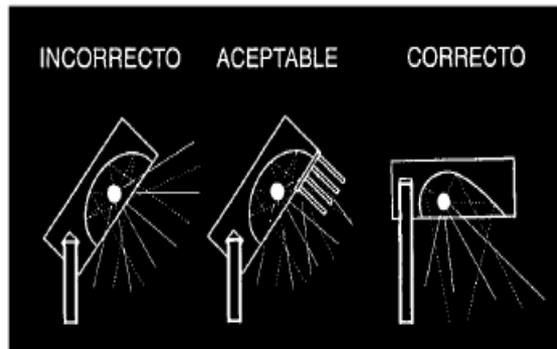
ecológico, etc.; esto porque las personas tienen concepciones erróneas entre luz e iluminación, creyendo que una buena iluminación es aquella donde hay más luz, lo cual no es así”.

En base a estas definiciones, considero que el conglomerado de ellas y otras, la definición más adecuada sería:

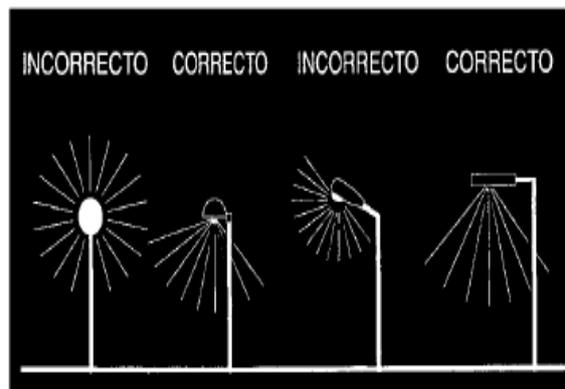
Abel Crispín Jurado (2015): “La Contaminación Lumínica (alteración de la cantidad de la luz natural), ya sea directa o indirecta; causan efectos perjudiciales para la salud y los diferentes ecosistemas que puedan encontrarse. Asimismo como un despilfarro energético, originando una desaparición del firmamento.



(A) Iluminación de letreros y fachadas.



(B) Iluminación peatonal y vial.



(C) Iluminación de grandes áreas mediante proyectores.

FIGURA N° 01
Dirección correcta e incorrecta de la iluminación

FUENTE: Oficina técnica para la protección del cielo, Instituto de Astrofísica de Canarias

FIGURA N°02
Intensidad
Inadecuada

FUENTE: Elaborado por el autor.

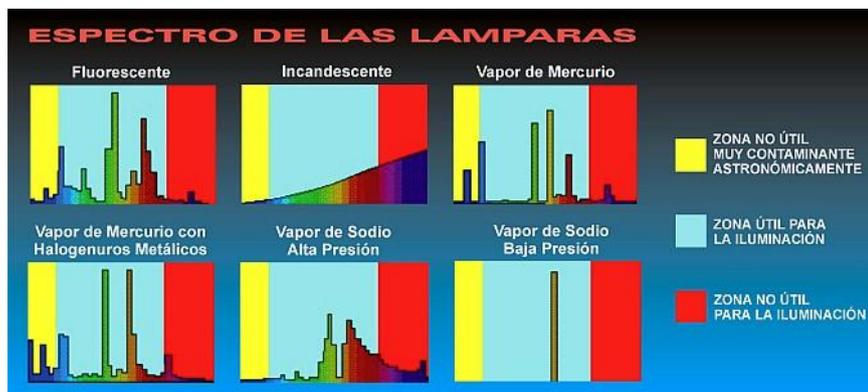


FIGURA N°03

Horario
Innecesario
De iluminación

FUENTE: Elaborado por el autor.

FIGURA N°04
Espectro erróneo

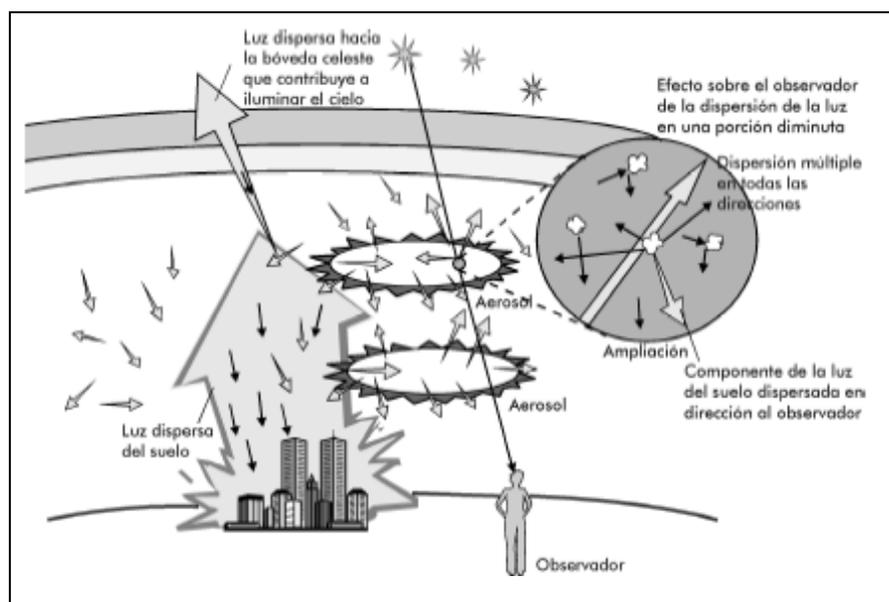


FUENTE: Instituto de Astrofísica de Canarias - IAC.

Las formas en que la luz artificial es enviada hacia el cielo son:

- ° **Directa** - Es aquella que llega directamente de las lámparas o luminarias, al cielo, porque el haz luminoso no ha sido direccionado hacia abajo.
- ° **Indirecta** - Por reflexión – Es aquel haz luminoso que llega al cielo indirectamente por el reflejo de la luz emitida sobre las superficies iluminadas, que tienen un índice de reflexión alto.
 - Por difusión – Son aquellos haces de luz que llegan al cielo por difusión del haz de luz emitido que encuentra en su camino, partículas en suspensión en el aire.

FIGURA N°05
Direcciones de la luz



FUENTE: PATRICIA ELKE RODRÍGUEZ SCHAEFFER
 Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas, México

3.2 Consecuencias de una mala iluminación

Entre las consecuencias más importantes, que han sido agrupadas por su aspecto, tenemos las siguientes:

- ° **Económicas:**
 - Mayor consumo de energía no aprovechada.
 - Mayor gasto en lámparas no necesarias.

- ° **Social** :
 - Deslumbramientos.
 - Molestias.
 - Intrusión lumínica en domicilios.

- ° **Salud** :
 - Insomnio.
 - Estrés
 - Modificación del ritmo circadiano.
 - Mayor probabilidad de cáncer.

- ° **Ecológicas** :
 - Modificación de ecosistemas nocturnos.
 - Alteración del ritmo circadiano en animales y plantas.
 - Emisión extra de gases de efecto invernadero en centrales térmicas.
 - Residuos tóxicos de las lámparas.

- ° **Culturales** :
 - Impedimento para observación astronómica.
 - Inaccesibilidad como recurso educativo.
 - Inaccesibilidad como recurso turístico.

a) Económicas.-

- *Al estar mal orientadas las lámparas de las luminarias, estas iluminan hacia donde no se aprovecha su luz para su objetivo de iluminación. Por lo cual ocurre un mayor consumo de energía no aprovechada.*
- *Además para cumplir con las normas de iluminación se utilizan lámparas con más watts de potencia. Con lo que se usan lámparas no necesarias para cumplir con el objetivo.*

En otras palabras, estamos desperdiciando una gran cantidad de electricidad y dinero al utilizar instalaciones de iluminación ineficientes y deficientes, esto por mal orientar las lámparas de las luminarias, y por pensar que una buena iluminación es aquella donde hay más luz, lo cual es erróneo, ya que una buena iluminación es aquella que está bien orientada y cumple con la iluminación adecuada para su objetivo.

Solo en Estados Unidos se despilfarran más de un billón de dólares por año iluminando el cielo durante la noche.

Si se evitasen las malas prácticas de iluminación, se lograría ahorrar hasta más de 40% del consumo total de electricidad. Esto aunque haya que lidiar con las compañías eléctricas y con los fabricantes de bombillas, puesto que ambas se benefician del sobreconsumo, las primeras porque a mayor consumo obtienen mayores beneficios, y las segundas porque a mayor potencia de las bombillas, aumenta el precio del producto y su tiempo de vida útil es menor.

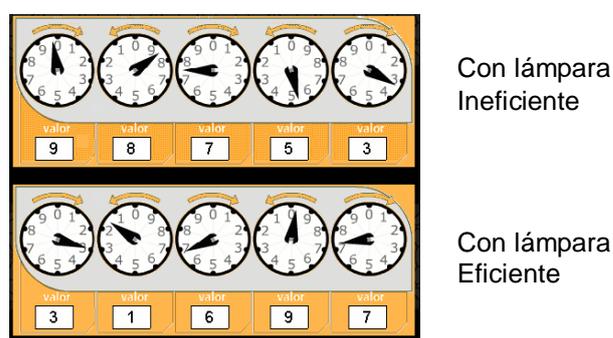


FIGURA N° 6
Desperdicio
de
Electricidad

FUENTE: LUIS HOLGUIN ARANDA
Determinación de la Distribución de la Contaminación Lumínica en Lima Metropolitana, 2008.

b) Social

- *El deslumbramiento se da cuando la luz incide directamente sobre el ojo, y es más intensa, cuanto más adaptada este la visión a la oscuridad; esto origina un enceguecimiento temporal pues el ojo humano necesita un tiempo razonable para adaptarse de la oscuridad a la luz o viceversa.*

El deslumbramiento puede originar muchos accidentes de tránsito, por ejemplo al salir de la ciudad muy iluminada a una carretera oscura o viceversa, nuestros ojos no se adaptan rápidamente a este cambio, por lo cual sería conveniente disminuir paulatinamente el nivel de luz en dirección saliente, dando al ojo tiempo para adaptarse; así mismo estas luminarias deben estar separadas a una distancia adecuada para no crear zonas de luz y oscuridad consecutivas.

- *Las molestias causadas por la excesiva iluminación originan en las personas irritabilidad, confusión, cansancio visual y distracción, sobre todo cuando se conduce.*

Las personas tienen una falsa sensación de seguridad con una mayor iluminación, ya que a los vándalos se les facilita con la iluminación, precisar las vías de acceso.

- *La intrusión lumínica en domicilios se produce cuando la luz artificial que no es de la propiedad, ingresa a la propiedad. Esta luz que se desperdicia entra a los jardines o las ventanas causando malestar a los propietarios.*

Lo normal sería que ingrese luz reflejada de las paredes o del suelo, pero no es aceptable soportar una lámpara que emite luz directamente hacia la propiedad.



FIGURA N° 7
Intrusión
Lumínica

FUENTE: Elaborado por el autor.

c) Salud

- *Se puede producir insomnio debido a la intrusión de luz, de las lámparas mal apantalladas, que ingresa por las ventanas.*

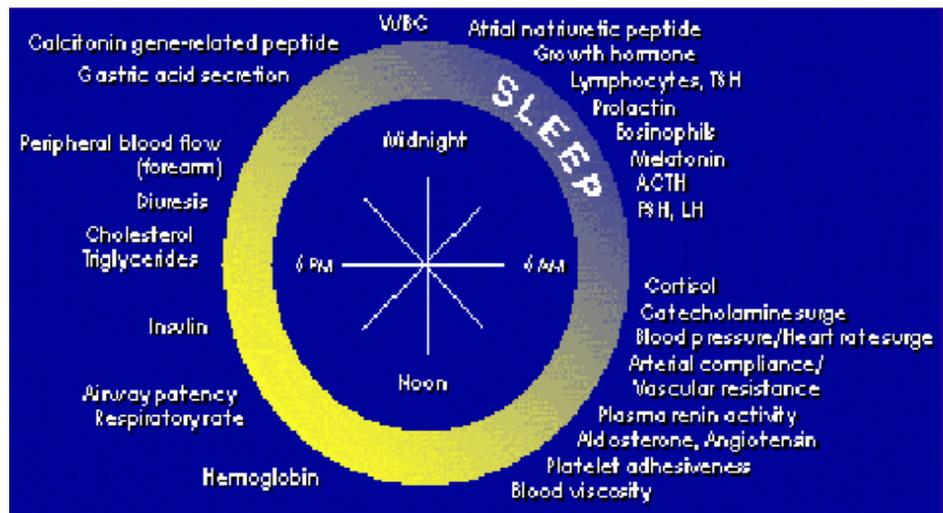
Esto a la larga puede originar serios problemas de salud, no solo fatiga mental y fisiológica.

- *El deslumbramiento, la intrusión lumínica, el cansancio visual, etc., originan irritabilidad y estrés, disminuyendo la capacidad de reacción de la persona.*

- *La modificación del ritmo circadiano, genera alteraciones del sueño, y de los procesos hormonales, modificando así, procesos vitales del ser humano.*

Según los estudios científicos realizados por el doctor Czeisler en la Escuela de Medicina de Harvard y en el Centro de Neurobiología del Comportamiento de Montreal “se ha demostrado que aumentos de los niveles de luz artificial, aún en grado mínimo, producen alteraciones de los procesos fisiológicos (ritmos circadianos) del ser humano, así como los ciclos sueño-vigilia, la temperatura corporal, el estado de alerta; algunas funciones neuroendocrinas, secreción de cortisol y melatonina, pueden ser alteradas cambiando nuestro reloj endógeno”.

FIGURA N° 8
Ciclo sueño – Vigilia (Ritmo circadiano)



FUENTE: LUIS HOLGUIN ARANDA.
Determinación de la Distribución de la Contaminación Lumínica en Lima Metropolitana, 2008.

- *Existe una mayor probabilidad de cáncer en la población que esta expuesta a la luz artificial, esto según un estudio realizado a gente que trabaja durante la noche.*

“El informe presentado en la Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno apunta al descubrimiento de científicos biomédicos, los cuales han descubierto que la exposición a la luz durante la noche afecta la salud de la gente al disminuir la producción nocturna de melatonina por la glándula pineal.

Esta hormona conocida como la “oscuridad química”, (su secreción se eleva coincidiendo con la oscuridad nocturna), es uno de los antioxidantes conocidos más potentes y su producción se inhibe por la luz, sobre todo con longitudes de onda próximas al azul.

La reducción de melatonina indica a muchos de los órganos del ser humano que es de día, cuando realmente es de noche, por lo que reajustan su fisiología en concordancia.

Además, se ha detectado que privar al cuerpo de esta sustancia incrementa el riesgo de padecer cáncer y puede contribuir a la iniciación, progresión o gravedad de toda una serie de enfermedades.

Muchas enfermedades debilitantes, especialmente en ancianos, incluyen como parte de su proceso degenerativo la acumulación de daño oxidativo por radicales libres”¹.

d) Ecológicas

- *Ocurre una modificación de ecosistemas nocturnos debido a que la luz artificial actúa como barrera para algunos insectos nocturnos, además de alterar el reloj biológico de la flora y fauna. Y como la biodiversidad nocturna es más numerosa que la diurna, implica mayores efectos sobre ella.*

La luz artificial afecta a aquellos animales que se amparan en la oscuridad para no ser descubiertos por sus depredadores, y a aquellos depredadores que la aprovechan para no ser vistos.

Los más perjudicados son los insectos que en sus ciclos reproductivos encuentran una barrera de luz, pues como es evidente los insectos se ven muy atraídos por la luz blanca (por lo general solo un género es atraído), impidiendo o retrasando la fecundación. Por lo tanto disminuye la población de esta especie, que son la base de sustento alimenticio de otras especies, modificando así todo el ecosistema. Además los insectos nocturnos ven en el espectro ultravioleta, espectros del azul y violeta, por lo que sería bueno que las lámparas emitan en un espectro de amarillo y anaranjado.

FIGURA N° 9

Cientos de polillas muertas
alrededor de una luminaria
en la península de Michigan.

FUENTE: Ecol Environ 2004



¹ ASOCIACION STARLIGHT
2003 Eficiencia energética y calidad del cielo.
(www.starlight2007.net/leyes.htm)

En general los animales se ven afectados por deslumbramiento o desorientación.

La flora se ve afectada en su crecimiento por el fototropismo que produce un crecimiento anormal, y disminuyen los insectos que generan su polinización.

- *Ocurre una alteración del ritmo circadiano en animales y plantas.*

En los animales les produce alteraciones del sueño, alteración de la migración (por ejemplo en las anguilas que la evitan), modificación de procesos hormonales, etc.

En las plantas genera la alteración de los ritmos de floración, alteración de los procesos fotosintéticos (fase oscura-fase luminosa), etc.

A nivel marino se ve afectado los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino, afectando la alimentación de especies costeras, además pudiendo alterar el oxígeno disuelto en la zona por la abundancia de fitoplancton; modificándose así el ecosistema.

En el país contamos con electricidad proveniente de hidroeléctricas y de termoeléctricas, siendo estas últimas las responsables de emitir emisiones gaseosas.

Sabemos que casi todo Huancayo se abastece por la distribuidora de electricidad ELECTROCENTRO (quienes utilizan electricidad generada por hidroeléctricas), sin embargo en otros sectores del país existe centrales termoeléctricas, las cuales usan como material combustible el diesel 2 y gas natural.

Por lo tanto si hay un mayor derroche energético, aumentará la producción de la termoeléctrica, originando una mayor emisión de gases.

- *Residuos tóxicos de las lámparas, excepto en las de vapor de sodio de baja presión, ya que además de tener la mayoría sustancias peligrosas, tienen una corta vida originándose mucha de ella. Estos residuos requieren una adecuada disposición final.*

e) Culturales

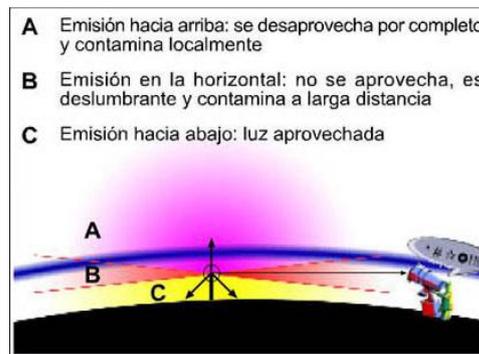
- *Impedimento para observación astronómica, tanto para los astrónomos como para el público en general.*

Toda esa luz que se pierde dirigida al cielo, no tiene razón de ser, pues no genera beneficio alguno, pero si destruye la visión nocturna del firmamento; además estropea las operaciones de los observatorios.

La luz de las lámparas mal orientadas afecta aún a kilómetros de distancia, y las lámparas que emiten además en un rango del ultravioleta (cuya onda es de gran energía) afectan a distancias mayores, originando gran malestar en los observatorios, pues estos captan la radiación ultravioleta proveniente de los astros.

FIGURA N° 10

Tipos de emisiones de Luz



FUENTE: CELFOSC

- *Inaccessibilidad como recurso educativo, no solo porque la enseñanza en las escuelas no incluyen nociones básicas de astronomía, sino porque los padres o abuelos no pueden explicarles a sus hijos sobre el tema pues se ha perdido en gran parte el cielo nocturno.*

Ante la pérdida del firmamento se han ido perdiendo tradiciones vinculadas al cosmos (historias, la relación con las tareas agrícolas, la nomenclatura popular, etc.) Es por ello que en las urbes, donde la información al respecto es enorme, las personas tienen casi un total desconocimiento de los astros, mientras que en las zonas rurales aun cuando tengan menor información de ello, tienen una mayor relación cultural respectiva.



FIGURA N° 11

La astronomía como recurso educativo.

FUENTE: LUIS HOLGUIN A.

- *Inaccesibilidad como recurso turístico, ya que para disfrutar de los astros hay que alejarse mucho de las ciudades, y no es muy placentero ir a una ciudad donde el cielo es gris-anaranjado.*

Por lo tanto es imprescindible la recuperación del cielo nocturno como utilidad social, así como para promover el atractivo turístico cultural de la localidad.

3.3 Isófotos

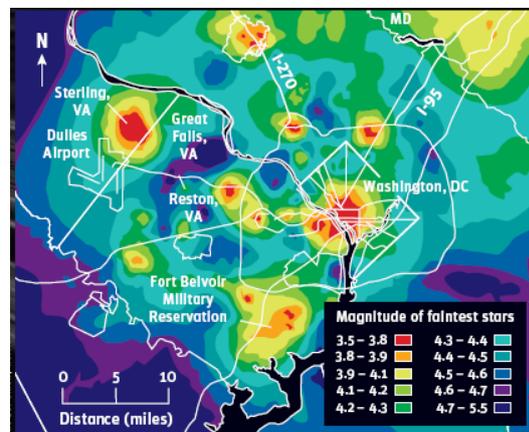
Un mapa de isófotos es un análogo a un mapa de isotermas, de isóbaras, curvas de nivel, etc.; solo que lo que se mide es la luz que se dispersa en la atmósfera. En este caso mediante una manera indirecta que es tomando en cuenta la visibilidad de las estrellas.

Un mapa de isófotos nos permita ver las partes más o menos iluminadas, al igual que en un mapa topográfico las curvas de nivel nos muestran las zonas de mayor o menor relieve. En este caso nos mostrará las partes más o menos iluminadas con respecto al cielo.

En este caso lo que se medirá será la estrella más tenue observada a simple vista de una constelación, obviamente lo que se anotará será su magnitud relativa. Obteniéndose luego del procesamiento del software una imagen como la siguiente.

FIGURA N° 12

Proyecto ORION NOVAC, WASHINGTON DC DISTRITO DE COLUMBIA



FUENT: PROYECTO ORION NOVAC, WASHINGTON DC DISTRITO DE COLUMBIA

3.4 *Iniciativas jurídicas*

Este problema recién se está abordando en los últimos años, y es por ello que hay pocas leyes que vayan dirigidas a combatir la contaminación lumínica; sobre todo porque no hay estudios que determinen el nivel de iluminación que se considera una molestia para el hombre.

Así con el tiempo han ido formándose, en varios países entidades encargadas de concienciar a las personas sobre la magnitud del problema, y buscar la promulgación de leyes para acabar con el problema. Algunos de los países son: EEUU, Inglaterra, Francia, Suiza, Alemania, Grecia, Italia, España, Chile, etc.

Para combatir este problema, se pueden tomar medidas que pueden ser jurídicas, o de proyectos que busquen las medidas correctoras adecuadas.

A continuación se mencionan algunas normas a nivel internacional; y proyectos que buscan el ahorro energético:

○ **Iniciativas con un enfoque principalmente orientado a la protección de la observación astronómica.**

- Declaración de la IAU/ICSU/UNESCO sobre la Reducción de los Impactos Ambientales Adversos para la Astronomía. París, 2 de Julio de 1992

"El cielo ha sido y es una inspiración para toda la humanidad. Sin embargo, su contemplación se hace cada vez más difícil e, incluso, para las jóvenes generaciones empieza a resultar desconocido. Un elemento esencial de nuestra civilización y cultura se está perdiendo rápidamente, y esta pérdida afectará todos los países de la tierra."

-Declaración de los Derechos del Hombre de las Generaciones Futuras. (UNESCO)París 12 de Noviembre de 1997

"Las generaciones futuras tienen derecho a una Tierra indemne y no contaminada, incluyendo el derecho a un cielo puro".

-La norma para la contaminación lumínica de Chile (1998).

Chile es el único país en el mundo que cuenta con una Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica desde 1998, que nació gracias al trabajo conjunto del Departamento de Contaminación, Planes y Normas de la Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA.

-Comité 50 de la Unión Astronómica Internacional

... un Observatorio de alta calidad no puede superar un incremento del 10% en su brillo natural del fondo del cielo,

medido a 45° sobre el horizonte en el rango del espectro de 300 nm a 1000 nm. (visible: 400 - 700 nm).

- **Iniciativas con un enfoque medioambiental o de ahorro energético.**

-Iniciativa para la Iluminación Eficiente (Efficient Lighting Initiative, ELI)

Programa desarrollado por la Corporación Financiera Internacional (CFI) del Grupo Banco Mundial, y financiado por el Fondo para el Ambiente Mundial (Global Environment Facility, GEF).

° **Caso Perú**

En Perú no hay legislación acerca del tema, sin embargo en el código civil, existe un artículo del cual se podría prestar al primer paso a desarrollar con respecto al tema.

-Código Civil Decreto Legislativo N° 295 – 1984, Artículo 961

El propietario, en ejercicio de su derecho y especialmente en su trabajo de explotación industrial, debe abstenerse de perjudicar las propiedades contiguas o vecinas, la seguridad, el sosiego y la salud de sus habitantes.

Están prohibidos los humos, hollines, emanaciones, ruidos, trepidaciones y molestias análogas que excedan de la tolerancia que mutuamente se deben los vecinos en atención a las circunstancias.

3.5 Instituciones que se ocupan de la contaminación lumínica y de la defensa del cielo nocturno ²

° **IDA International Dark-Sky Association**

Es la organización más veterana y representativa contra la contaminación lumínica, con miembros en todo el mundo.

Su objetivo ha sido desde su creación el proteger el medioambiente nocturno y su patrimonio asociado frente a las agresiones de la iluminación artificial de la noche.

Objetivos:

1. Contribuir a frenar los efectos adversos que degradan la noche, incluyendo:
 - La ineficiencia energética y la contaminación del aire y del agua causada por el despilfarro de la energía
 - Las agresiones a la salud humana.
 - Los impactos sobre la naturaleza y los sistemas ecológicos.
 - La reducción de la seguridad.
 - La reducción de la visibilidad en la noche.
 - El empobrecimiento del ambiente nocturno.

2. Fomentar un mayor conocimiento sobre el alcance de la contaminación lumínica, sus efectos nocivos, y sus posibles soluciones.
3. Promocionar las ventajas de un medio libre de la contaminación lumínica y la manera de alcanzarlo.
4. Ayudar a frenar otras amenazas que afectan al conocimiento del Universo, tales como las interferencias causadas por radiofrecuencia (IRF). las ventajas de un medio libre de la contaminación lumínica y la manera de alcanzarlo.

° **CIE Comisión Internacional de la Iluminación**

Como su nombre indica, la Comisión Internacional de la Iluminación, constituye una organización dedicada a la cooperación y al intercambio de información a nivel internacional entre sus países miembros, en todas las materias referentes a ciencia y el estado del arte de las tecnologías de la iluminación.

° **CELFOSC (Cataluña-España)**

Creada en 1996, Cel Fosc es una asociación abierta e independiente de ciudadanos con el objetivo de influir en la sociedad con el fin de mejorar el sistema de iluminación público y privado: Iluminar mejor respetando el medio ambiente, y garantizar un mejor uso de los recursos.

° **El Programa europeo "Greenlight"**

El Programa "GreenLight" constituye una iniciativa lanzada en el marco de los programas de la Comisión Europea, en la que las organizaciones privadas y públicas establecen compromisos voluntarios tendentes a la minimización del consumo energético en iluminación, favoreciendo en paralelo la reducción de emisiones y la contaminación lumínica. La iniciativa GreenLight fue lanzada en febrero de 2000.

° **ELI - Efficient Lighting Initiative**

La iniciativa "Efficient Lighting" constituye un programa internacional orientado a la certificación de la calidad y eficiencia de las luminarias y sistemas de alumbrado exterior.

3.6 Tipos de lámparas ³

Esta distinción de tipos de lámparas servirá para detallar el análisis de la distribución de la contaminación lumínica en el mapa de isófotas.

² ASOCIACION STARLIGHT
2003 Eficiencia energética y calidad del cielo.
(www.starlight2007.net/leyes.htm)

- **Vapor de Sodio a Baja Presión:** emite prácticamente sólo en una estrecha zona del espectro, dejando limpio el resto, su luz es amarillenta y monocromática; y carece de residuos tóxicos y peligrosos.
- **Vapor de Sodio a alta Presión:** emiten sólo dentro del espectro visible, su luz es amarillenta.
- **Lámparas incandescentes:** No emiten en el ultravioleta pero si en el infrarrojo cercano, su espectro es continuo y su luz es amarillenta.
- **Lámparas incandescentes halógenas:** Son iguales que las incandescentes pero emiten algo más en el ultravioleta si no va provista de un cristal difusor (son peligrosas sin este cristal por emitir en el ultravioleta duro).
- **Lámparas fluorescentes en tubos y compactas (vapor de mercurio a baja presión):** Emiten en el Ultravioleta, que luego reemiten en luz blanca. Es recomendable para alumbrados peatonales y de jardines., tienen una alta eficiencia. Por otro lado, la sensibilidad del ojo humano se desplaza hacia el azul con niveles bajos de iluminación por lo que las lámparas fluorescentes son más adecuadas para instalaciones que requieran un alumbrado tenue con entornos oscuros.
- **Lámparas de Vapor de Mercurio a alta presión:** Tienen una elevada emisión en el ultravioleta, su luz es blanca. Son las menos eficientes del mercado en lámparas de descarga.
- **Lámparas de halogenuros metálicos:** Tienen una fortísima emisión en el ultravioleta, su luz es blanca azulada. Son muy eficaces, parecidas al sodio de alta presión, pero de corta vida.

3.7 **Magnitudes estelares**⁴

Las magnitudes estelares tienen relación con el brillo real de las estrellas, solo que para simplificarlo y no tener que usar muchos números decimales, se usan dos tipos de magnitudes:

- Magnitud aparente
- Magnitud absoluta

³ INTERNATIONAL DARK-SKY ASSOCIATION
2002 Contaminación lumínica
(<http://www.darksky.org/>)

Magnitud aparente

La magnitud aparente es una cifra que indica la cantidad de luz de las estrellas que llega al observador. Como más brillante es la estrella, menor es la cifra de su magnitud. La regla es: por cada cinco magnitudes que se suman, el brillo se divide por cien. Ejemplo: la estrella Vega, una de las más brillantes, tiene magnitud cero. Las estrellas de magnitud 5 tienen un brillo de 0,01 veces, y las de magnitud 10 de 0,0001 veces. También hay magnitudes negativas; si un satélite artificial tiene un brillo de 100 veces, se dice que su magnitud aparente es -5.

Mirando desde el desierto, en una noche sin luna, las estrellas menos brillantes que se ven sin aparatos tienen magnitud 6. Mirando desde Madrid o Barcelona, las menos brillantes son de magnitud 1 ó 2 (normalmente).

Magnitud absoluta

La magnitud absoluta de una estrella es una medida de la cantidad total de luz que emite. Claro que es más fácil hacerse una idea del brillo real de la estrella si lo pasamos a "soles", con la tabla de la derecha.

Las magnitudes absolutas siguen la misma regla que las magnitudes aparentes: sumar cinco magnitudes equivale a dividir el brillo por cien. Según se ve en la tabla, una estrella de magnitud absoluta cero es 75 veces más brillante que el sol. Las estrellas del mismo brillo que el sol tienen magnitud 4,7. La estrella más cercana a la tierra, Próxima Centauri, no se puede ver sin telescopio. Su brillo real es 1/20000 del brillo del sol (magnitud absoluta

TABLA N° 1

Comparación de las Magnitudes Absolutas de las Estrellas en Soles

Magnitud absoluta	Soles
-1	190
0	76
1	30
2	12
3	5

Magnitud absoluta	Soles
4	1,9
4,7	1
5	0,76
6	0,3
7	0,12

Magnitud absoluta	Soles
8	0,05
9	0,019
9,7	0,01
10	0,0076
15	0,000076

FUENTE: LUIS HOLGUIN ARANDA
Determinación de la Distribución de la Contaminación Lumínica en Lima Metropolitana, 2008.

3.8 *Proyectos realizados en otros países*

Existen varias experiencias en las cuales se ha evaluado la contaminación lumínica, para ello se han utilizado varios métodos entre los cuales están:

- a) **Metodología del conteo de estrellas**, Esta metodología consiste en la densitometría o conteo de estrellas, en la cual mediante la toma de fotografía a un área de cielo nocturno referenciado por estrellas, se hace un conteo de las estrellas visibles en dicha área, esto se hace desde diferentes lugares del área poblada, así finalmente se elabora un mapa en base a estos datos.
- b) **Metodología de la equivalencia entre el número de estrellas visibles y la magnitud límite observada**, Esta metodología consiste en que los observadores cuenten las estrellas visibles en una determinada área de cielo nocturno, y además adjunten como dato la magnitud de la estrella menos visible de una constelación, esto para hacer más confiable la elaboración de un mapa de contaminación lumínica.
- c) **Metodología de captura, de propagación y dispersión de luz, por satélite**, Esta metodología consiste en la recepción de los datos enviados por un satélite especial para captar la propagación de la luz emitida, a la atmósfera, y su dispersión en las partículas atmosféricas; diferenciando así estas imágenes de una imagen nocturna común de la Tierra.
- d) **Metodología de valoración con base en localización geográfica y cantidad de población**, Esta metodología consiste en crear un mapa de distribución de la contaminación lumínica basándose en la localización geográfica, tamaño de la población, leyes físicas de dispersión de la luz, y curvatura de la Tierra; todo esto mediante un modelamiento en el ordenador.
- e) **Metodología de valoración con base en cantidad de flujo lumínico instalado**, Esta metodología trata de estimar la brillantez del cielo nocturno tomando como referencia la cantidad y tipo de luminarias que existen en cada zona.

Existen varias experiencias sobre el monitoreo de la contaminación lumínica ya realizadas en otros países, en este caso revisaremos cinco casos:

- a) Proyecto realizado en Zaragoza
- b) Proyecto realizado en Tucson
- c) Proyecto realizado por Light Pollution Science and Technology Institute, EEUU
- d) Proyecto realizado en EEUU por el método de valoración de localización geográfica y cantidad de población
- e) Proyecto realizado en Cataluña por el método de valoración de cantidad de flujo lumínico instalado

⁴ ASOCIACION STARLIGHT
2003 Eficiencia energética y calidad del cielo.
(www.starlight2007.net/leyes.htm)

a) Proyecto realizado en Zaragoza ⁵

El proyecto para determinar la contaminación lumínica fue hecho en el barrio de Las Fuentes de Zaragoza.

Siguiendo el programa del Club de Astronomía de Virginia del Norte, que asociado con el periódico Washington Post realizó en 1995 el "*Proyecto Orión*" (ver Sky & Telescope Junio 1996), se eligió para realizar las medidas, un periodo de 12 días alrededor de la Luna Nueva (9 antes y 3 después) entre los meses de Enero y Marzo y se contó el número de estrellas que se pueden apreciar a simple vista en una región del cielo donde destaca una constelación fácilmente reconocible, en este caso Orión, visible durante los meses de invierno en que anochece temprano y situada en su culminación (paso por el meridiano del lugar) a una altura media del horizonte. En el mapa estelar de la constelación de Orion, se han representado 58 estrellas desde la magnitud 0, 3 (máximo brillo) a la 6 (mínima magnitud que puede apreciar el ojo). La nebulosa de Orion se ha señalado como una estrella porque aparece de esa forma al ojo sin ayuda de aparatos, en un cielo lumínicamente polucionado.

El recuento se hace desde distintos puntos del área elegida, de manera que al final se pueda disponer de datos suficientes para elaborar un mapa de "isófotas" que nos permita ver las partes más o menos iluminadas, al igual que en un mapa topográfico las curvas de nivel nos muestran las zonas de mayor o menor relieve.

Los observadores deberán tener en cuenta unas normas mínimas para obtener resultados uniformes y reales. En primer lugar el recuento se efectuará después de un periodo de adaptación de los ojos a la oscuridad de al menos 10 minutos. También se protegerán los ojos de las luces próximas, y se efectuará una visión indirecta, con la vista ligeramente desviada (de reojo) del punto al que estamos mirando, para localizar las estrellas más débiles. Por último, en los informes se incluirá la hora, fecha, punto de observación, condiciones especiales del cielo si las hubiere y el número de estrellas detectadas.

Para tener unos datos de referencia y poder introducir correcciones a los resultados diarios por causa de las condiciones atmosféricas variables, todos los días de recuento, se realizará uno desde un mismo lugar y a la misma hora. Las variaciones positivas o negativas que se aprecien en dicho punto de referencia podrán extrapolarse al resto de observaciones del mismo día.

Decir, para terminar, que en la tabla de equivalencias entre el número de estrellas que se aprecian a simple vista y la magnitud límite observada (tabla), se han diferenciado 11 niveles de contaminación que van desde los puentes, calles o plazas muy

iluminados (magnitud límite 3,6), hasta las zonas que carecen de luz y están muy alejadas de las ciudades (magnitud límite observada 6).

TABLA N° 2

Equivalencias entre Número de Estrellas Detectadas a Simpe Vista y la Magnitud Límite Observada en la Región de la Constelación de Orión

Nº DE ESTRELLAS	MAGNITUD LÍMITE
9	3.3
11	3.7
14	3.9
16	4.2
20	4.5
25	4.7
30	4.9
33	5.2
42	5.4
46	5.7
58	6.0

FUENTE: Proyecto realizado en Zaragoza

Los resultados de la medición del número de estrellas visibles en diferentes puntos de los barrios de Las Fuentes, Montemolín y parte de S. José, una vez tenidas en cuenta las correspondientes correcciones, se han llevado sobre un mapa de la zona y se han tratado matemáticamente como si fuese una matriz. Programas como el Matlab, pueden transformar los datos numéricos en curvas que unen los puntos con valores de igual intensidad luminosa o "isófotas". Si se superponen mapa y curvas obtenemos el equivalente a un mapa topográfico pero con los niveles de contaminación lumínica de las distintas zonas.

Los lugares donde la contaminación es máxima son el área del puente de Las Fuentes junto al río Ebro, los aparcamientos de TUZSA y FOCSA en la carretera de Castellón, el entorno del pabellón Príncipe Felipe, el cruce de S. José con Cesáreo Alierta y la calle S. Adrián de Sasabe.

En todos los casos podría justificarse la excesiva iluminación si con ello se intentara evitar accidentes o mejorar la seguridad ciudadana, pero lo que se critica no es sólo la presencia de más luz en esas zonas sino el uso de luminarias (farolas) inadecuadas, cuyo mal apantallamiento hace que en la mayoría de los casos la luz se malgaste y sea enviada de forma directa al cielo (aproximadamente de un 30% a un 50%), en vez de usarse para iluminar el suelo. Esto supone, además de la contaminación, un derroche energético y de dinero de difícil justificación sobre todo si el que paga es el Ayuntamiento

b) Proyecto realizado en Tucson ⁶

Este estudio fue realizado en Tucson, Arizona, por los estudiantes de Ciencias de la preparatoria Tucson High, la secundaria Vail y el programa de educación de NOAO, Tucson

Los estudiantes de varias escuelas hicieron observaciones nocturnas para evaluar el nivel de contaminación lumínica en varios puntos de la ciudad de Tucson

La metodología se basó en:

- Observaciones del cielo en marzo y abril
- En horas sin luna visible
- En una área lo más oscura posible
- Adaptar los ojos a la oscuridad
- Localizar Orión
- Comparar la observación del cielo con los mapas de estrellas
- Escoger el mapa de estrellas que mejor representa el cielo que se observa
- Cada observación se colocó como un punto de color en un mapa de Tucson

Sus resultados fueron:

- 211 sitios de observación
- Pocas observaciones con altos niveles de contaminación lumínica
- La mayoría de las observaciones tienen un grado moderado de contaminación lumínica
- Los sitios con menores niveles de contaminación tienden a estar hacia las orillas de la ciudad

TABLA N° 3

Resultados de las Observaciones Nocturnas del Proyecto Tucson

Mapa de estrellas	Color en el mapa	Numero de Observaciones
No estrellas visibles	No se muestra	1
Mapa 2	Rojo	6
Mapa 3	Anaranjado	13
Mapa 4	Amarillo	61
Mapa 5	Verde	77
Mapa 6	Azul	36
Mapa 7	Morado	17

FUENTE: Proyecto Realizado en Tucson.

En conclusión, en base a las normas y al estudio realizado se puede decir que:

- En un esfuerzo por reducir la contaminación lumínica, Tucson tiene leyes que gobiernan el tipo de iluminación permitida.
- Aunque estas leyes no han eliminado completamente la contaminación lumínica Tucson todavía disfruta de cielos relativamente oscuros.

c) Imágenes desde la órbita terrestre por el satélite F 12 de DMSP ⁷

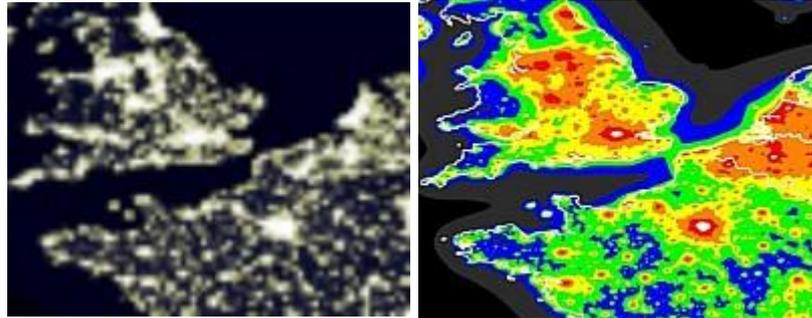
Este es un excelente trabajo del Light Pollution Science and Technology Institute y realizado por el equipo de Pierantonio Cinzano. A diferencia de las imágenes nocturnas de satélite, estos mapas muestran los efectos de la polución luminosa debida a la propagación de la luz artificial emitida hacia el cielo y su dispersión en las moléculas y partículas atmosféricas.

Las imágenes son generadas en base a los datos del programa de satélites meteorológicos de defensa de EE.UU. (DMSP) y se basan en la medida del flujo ascendente emitido por las fuentes de la superficie terrestre. Esta información es procesada para obtener un modelo de la propagación de la luz en la atmósfera. El resultado son mapas en los que no solo se observa puntos aislados de emisión de flujo luminoso sino la región a la que esta fuente afecta y en que magnitud. Por ejemplo, si tomamos como referencia de una imagen de satélite alguna zona costera o situada en desiertos donde no hay emisión pero si poblaciones cercanas, veremos que en los mapas de brillo si tenemos un valor no nulo para el brillo del cielo debido a la propagación de la luz de la población cercana.

⁶ PROGRAMA DE EDUCACIÓN DE NOAO
2002 Determinación de la Contaminación Lumínica en el cielo de Tucson, Arizona

FIGURA N° 13

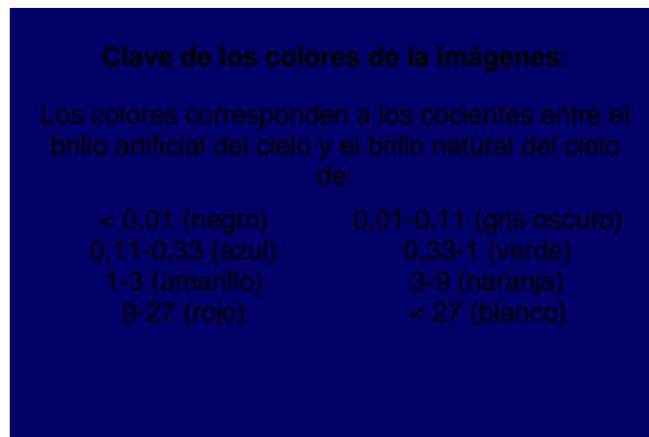
Imagen Nocturna Común e Imagen con Satélite F 12, Canal de la Mancha



FUENTE: LIGHT POLLUTION SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE

FIGURA N° 14

Clave de los Colores de las Imágenes



FUENTE: LIGHT POLLUTION SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE

Cinzano *et al* [2001] con base en la escala estandarizada que utilizaron, argumentan que aproximadamente la brillantez total nocturna es tal que: en las zonas marcadas con color rojo escasamente un centenar de estrellas o un poco más es visible; en las de color naranja la Vía Láctea es invisible o muy difícil de observar para un observador promedio en una noche clara típica; en las zonas con color amarillo se determinó una brillantez artificial igual a la natural. En los lugares marcados con azul se determinó un brillo 10% mayor que el natural, nivel de brillantez artificial del cielo nocturno que se considera como contaminada lumínicamente.

7 LIGHT POLLUTION SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE
2001 La contaminación luminosa en imágenes desde el cielo.
Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 689–707 (2001)

Estas son unas secciones de la zona del sur del Reino Unido y el norte de Francia separadas por el Canal de la Mancha. La imagen de la izquierda es una toma de nocturna de satélite en la que se aprecia perfectamente el mar entre la isla y el continente, con iluminación artificial a ambos lados pero claramente separados. En cambio la imagen de la derecha es un mapa de brillo del cielo en el que ambas costas quedan unidas por este, mostrando que la influencia lumínica de la ciudades costeras se extiende mas allá de estas, en este caso, hacia el mar.

Los datos son generados por el satélite F12 de DMSP que está colocado en una órbita polar baja. Entre sus instrumentos lleva un radiómetro oscilante, y el sistema operacional de Linescan con un tubo del photomultiplier (PMT) como detector. Con ellos explora una banda perpendicular a la órbita y de unos 3.000 kilómetros de ancho, con lo que se obtiene una imagen bidimensional de la superficie de la tierra. Con estos datos se hace una composición de la información obtenida a diversos aumentos para mejorar la gama dinámica y evitar la saturación. Estas imágenes tienen un tamaño del pixel de 30"x30", o lo que es lo mismo, menos de 1 kilómetro en una proyección de latitud / longitud.

d) Proyecto realizado en EEUU por el método de valoración de localización geográfica y cantidad de población ⁸

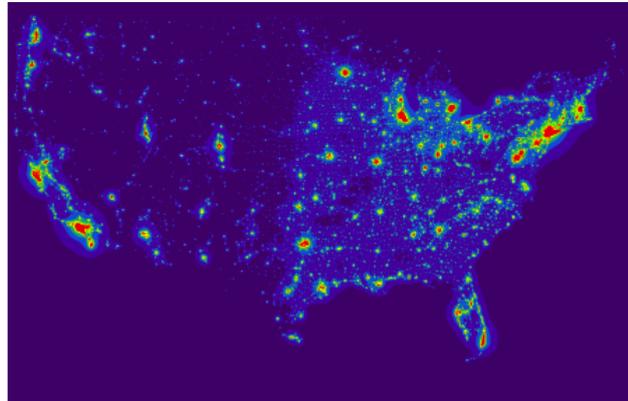
Albers y Duriscoe [2001] elaboraron un mapa de áreas de brillantez estimada para el cielo nocturno en los Estados Unidos de América. Este mapa tuvo como objetivo el predecir la contaminación lumínica relacionada al crecimiento poblacional e identificar amenazas a la oscuridad del cielo nocturno en los parques nacionales en ese país. Con la finalidad de preservar la oscuridad prístina que se encuentra aún en algunos lugares de dichos parques. En la elaboración del mapa se usó un modelo basado en la localización geográfica y el tamaño de la población (censo de 1990) de centros urbanos con más de 50,000 habitantes, considerando además, las leyes físicas de dispersión de la luz y la curvatura de la tierra que afecta la medición de distancias largas.

Para cada posición del mapa, la contaminación lumínica (medida en nanoLamberts) proveniente de cada centro urbano considerado, se asumió como directamente proporcional al tamaño de la población de la ciudad e inversamente a la distancia elevada a la 2,5. Estos cálculos fueron también ajustados debido a la interacción entre los rayos de luz provenientes de las ciudades y las moléculas de aire y otras partículas suspendidas (aerosoles). Finalmente, se sumaron los efectos de las emisiones provenientes de ciudades colindantes a cada localidad. Se asumió además, una brillantez natural del cielo nocturno equivalente a 60 nanoLamberts en ciclos de radiación solar

mínima. La imagen producida por el modelo se calibró con base en observaciones in situ siguiendo la escala de Schaaf.

FIGURA N° 15

Contaminación Lumínica en Los Estados Unidos de América.



Los colores corresponden a Calidad de Cielo Nocturno (Brillo celestial natural promedio = 60 nanoLamberts = 21.9 mag/s²)

Clase Schaaf	Magnitud Cenital	Límite	Color equivalente
1	<4.75	.....	Rojo
2	4.75-5.25	...	Amarillo
3	5.25-5.75	...	Verde Claro
4	5.75-6.20	.....	Verde
5	6.20-6.55	....	Celeste
6	6.55-6.76	.....	Azul
7	6.76-6.81	.....	Negro

FUENTE: Albers y Duriscoe 2001.

e) Proyecto realizado en Cataluña por el método de valoración de cantidad de flujo lumínico instalado⁹

A petición de la *Generalitat* de Cataluña, España, San Martín *et al.* [2000] llevan a cabo un estudio piloto del alumbrado público municipal en esa Autonomía. Con el fin de conocer las características generales de la problemática de la contaminación lumínica en Cataluña, considerando el funcionamiento y particularidades del este servicio como fuente principal de dicha polución. Este estudio se realiza con base en datos y consideraciones estadísticas, así como, en observaciones y mediciones hechas *in situ*. La brillantez del cielo debida al alumbrado público se estimó cuantificando el flujo lumínico instalado (cantidad y tipo de luminarias). Se obtuvo la densidad de flujo al relacionar su cuantificación tanto con la cantidad de población como por el área territorial de cada comarca. Para obtener la cantidad de flujo lumínico instalado se realizaron encuestas en cada uno de los 942 municipios de la Autonomía Catalana, agrupando los datos posteriormente por Comarca (agrupación de municipios). Los resultados medios de flujo lumínico obtenidos por Comarca fueron: magnitud total 243.417 Kilolumens; densidad territorial: 0,724 lumens/m², y flujo *per capita*: 2,17 Kilolumens/habitante.

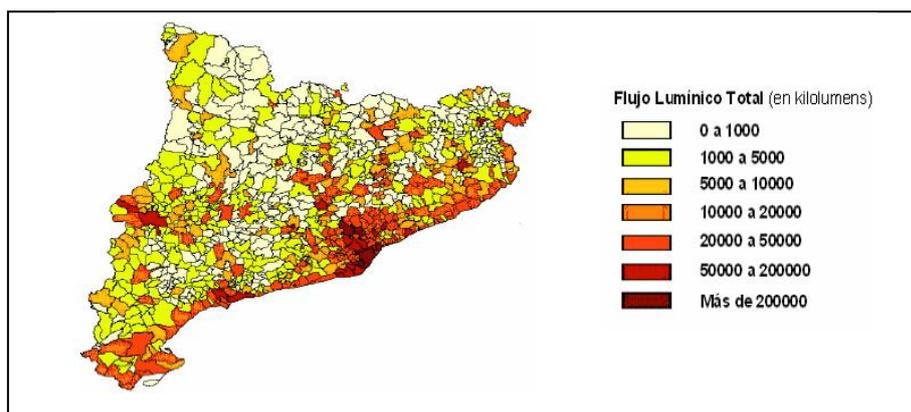
⁸ PATRICIA ELKE RODRÍGUEZ SCHAEFFER
2005 Contaminación lumínica: responsabilidad social
Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas, México

Cabe señalar, que los autores señalan que estos valores son elevados en comparación con los calculados para otros países, sin embargo, los explican por los elevados índices de actividad socioeconómica de Cataluña, por los modelos de iluminación artificial que se utilizan en esta Autonomía y por el amplio rango de variación en los tamaños de población, la cual se concentra en la Comarca del Barcelonés.

Se verificó también el porcentaje de tipos de luminarias del alumbrado público según las dimensiones del municipio, encontrándose que este servicio es sólo un componente parcial de la contaminación lumínica, en la cual se debe considerar también el alumbrado de áreas específicas como estadios deportivos, autopistas y el proveniente de establecimientos comerciales y habitacionales que no están considerados dentro del alumbrado público, pero que si contribuyen a incrementar el halo luminoso artificial. Además, en estos cálculos no se consideró la influencia de los rayos luminosos provenientes de los municipios vecinos, pero si se hace diferenciación debida a la dispersión del flujo emitido por las luminarias directamente hacia el cielo (flujo superior) y el que se arroja en dirección cercana a la horizontal (iluminación intrusa) que altera más bien el hábitat.

FIGURA N° 16

Mapa Municipal de Distribución de Flujo Lumínico Total Instalado en Cataluña



FUENTE: San Martín *et al.* 2000.

3.9 Confiabilidad del método visual ¹⁰

Mucho se ha discutido acerca de si el método visual proporciona datos científicos precisos, ya que el brillo del cielo nocturno en diferentes sitios puede ser evaluado en la actualidad con imágenes satelitales, con medidores de luz, o mediante modelamientos en el ordenador basándose para ello en la densidad poblacional.

⁹ PATRICIA ELKE RODRÍGUEZ SCHAEFFER
2005 Contaminación lumínica: responsabilidad social
Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas, México

Y claro que todos estos métodos son valiosos para determinar el brillo del cielo nocturno de manera, quizás, más precisa que el método visual; aún cuando cada una es precisa a su manera, ya que todas tienen sus propias limitaciones, tienen un diferente índice de reflexión. El método por modelamiento toma en cuenta la densidad poblacional pero no otros factores como el desarrollo de esa población o elementos meteorológicos del lugar. Y el método visual tiene por desventaja de que la perspectiva de cada observador es diferente.

Sin embargo en 1995 Los miembros del club de astronomía de Virginia del Norte (NOVAC) propusieron al editor de ciencia del Washington Post que alentara a los lectores a apreciar y juzgar el brillo del cielo durante más de dos semanas, esto mediante indicaciones básicas para el conteo; mientras tanto los miembros del NOVAC hacían su conteo por separado. The Post recibió más de 1500 reportes y el mapa final se comparó con el mapa elaborado por el NOVAC, los resultados fueron que el mapa del NOVAC se mostraba tan disperso como los del público, mostrando zonas claras y zonas oscuras; demostrando así que el nivel de experiencia del observador es irrelevante.

¹⁰ FRED SCHAFF
2007 Light pollution
Sky & Telescope, 42-45, April 2007

4) Materiales y métodos

4.1 Materiales

- Mapas estelares
- Plano de Huancayo Digitalizado
- Softwares :
 - Surfer
 - Arcview
 - Office
 - Autocad
 - Stellarium
- Cámara digital fotográfica
- Ordenador con acceso a Internet
- Vehículo
- Brújula
- Reloj
- Multímetro
- Termistores

4.2 Área de estudio

El estudio se realizará en La ciudad de Huancayo que comprende la los distritos de El Tambo, Huancayo y Chilca, en la provincia de Huancayo, región Junín.

La ciudad de Huancayo es la ciudad más importante de la sierra Central del país situada al sur del valle del Mantaro a 12°04'00" Latitud Sur y 75°13'00" de Longitud Oeste; tiene una extensión de 319.41 Km². Limita por el Este con Pariahuanca por el Oeste con Pilcomayo, por el norte con Quilcas y por el Sur con Sapallanga. La altitud es de 3271 m.s.n.m., en promedio.¹¹

La ciudad de Huancayo cuenta con 3 distritos (de manera parcial): El Tambo, Chilca y Huancayo.

4.3 Métodos

Los métodos a realizar para cada objetivo específico son:

- Objetivo A:** Definir los parámetros de medición para la toma de datos.
- Objetivo B:** Definir mediante un mapa de isótopos, la distribución de la contaminación lumínica, de acuerdo a sus niveles.
- Objetivo C:** Identificar las causas que originan esta distribución de la contaminación lumínica.

4.3.1 Definir los parámetros de medición para la toma de datos.

Puesto que el indicador más evidente y cuantificable de la contaminación lumínica es el nivel de visualización de las estrellas, entonces se hace necesario la determinación de parámetros que hagan fiable y representativo el monitoreo.

Entre los factores que afectan de manera determinante el monitoreo tenemos:

- i. La nubosidad
- ii. El rango horario
- iii. Humedad
- iv. La fase lunar
- v. Visibilidad
- vi. El deslumbramiento
- vii. Acondicionamiento visual
- viii. Orientación y reconocimiento
- ix. Visión óptima

Para determinar las condiciones de los anteriores, se buscó que en conjunto se procediera al monitoreo en condiciones de oscuridad y visualización sin obstáculos. Para ello se busco las condiciones óptimas en espacio y tiempo de cada factor.

i. La nubosidad

Huancayo por lo general está permanentemente bajo poca nubosidad que no limita mucho la visibilidad al firmamento, la nubosidad promedio es de $3/8$ ó $2/8$, sin embargo en la época de presente, comprendida entre los meses de enero a marzo, la nubosidad es de $4/8$ a $6/8$, tendiendo a despejarse con las horas.

ii. El rango horario para el monitoreo

Durante los meses de verano la duración de la noche es menor que en el resto del año, sin embargo el brillo aún se percibe luego de ocultarse el sol y antes de salir, debido a la dispersión de su luz por la atmósfera terrestre, ya que si bien la luz no llega al observador, si llega a la atmósfera encima de nosotros y se dispersa iluminando la zona.

Para determinar el rango horario, se pensó en uniformizar la toma de datos en las mismas condiciones de luz natural, por lo que se hizo necesario que los datos se tomaran solo en las horas y días en que no había presencia de Luna en el cielo.

Esto se hizo para diferenciarse de los otros estudios previos en otros países en el que se tomaron los datos en un rango de días en que la Luna se aproximaba a la fase de Luna Nueva, haciendo que sus datos se tomen con diferentes condiciones de luz natural, lo que pudo haber afectado sus mediciones.

Para evitar ello se procedió a determinar los días, y horas en que no había presencia de luz reflejada de la luna en el cielo; para ello se procedió de la siguiente manera:

PASO 1: Determinación de la salida y puesta del Sol

1. Se determinó el ángulo horario de salida o puesta de sol mediante la siguiente fórmula:

$$H = \arccos(-\operatorname{tg}(L) * \operatorname{tg}(Ad))$$

Donde: L= latitud
Ad= ángulo de declinación del Sol.

Previamente se determinó el Ad mediante:

$$Ad = -23.45 \operatorname{Cos}(n * 360 / 365)$$

n= número de días contabilizados a partir del solsticio de verano, o sea el 22 de diciembre n = 0

2. Luego la hora de salida del Sol se estima mediante:

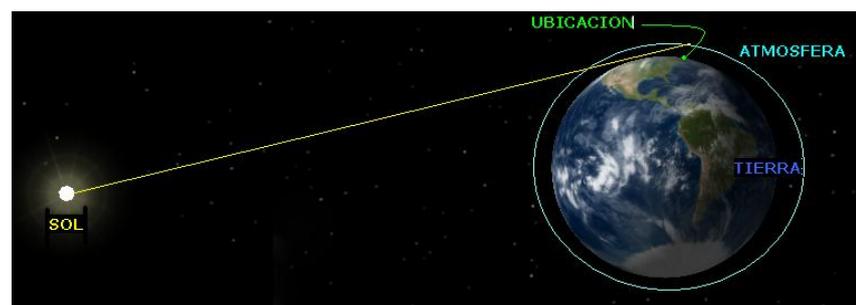
$$H_{ss} = (12 - H/15)$$

3. Y la hora de puesta del Sol se estima mediante:

$$H_{ps} = (12 + H/15)$$

FIGURA N° 17 - PASO 2:

Determinación de la Presencia de la Luz Solar en la Atmósfera Después del Ocaso y Antes del Alba.



FUENTE: LUIS HOLGUIN ARANDA
Determinación de la Distribución de la Contaminación Lumínica en Lima Metropolitana, 2008

Como vemos en la figura, y por experiencia, sabemos que luego de haberse ocultado el Sol, aún persiste un brillo en el cielo (lo mismo sucede antes de su salida), esto es debido a que si bien desde nuestra perspectiva la luz ya no llega a nosotros, pues si llega a la atmósfera difundiendo esa luz hacia nosotros. Obviamente en la figura se ha exagerado la escala de la atmósfera para que se pueda visualizar mejor el fenómeno.

Para que esa luz no afecte las mediciones se procedió así:

1. Durante 7 días se procedió a medir la hora en que ya no era evidente este resplandor, esto se hizo cerca a la playa, pues no hay obstáculos que interfieran en la visualización.
2. Los resultados fueron de aproximadamente 1 hora con diez minutos.
3. Pero para estar seguro de que la luz no distorsione los datos, se tomó 1 hora y media, con lo cual no se afectará las mediciones.
4. Entonces a la hora de puesta del Sol le sumo una hora y media, y a la hora de salida del Sol le resto igual una hora y media.

PASO 3: Determinación de la salida y ocultamiento de la Luna.

1. Mediante el Software Stellarium, se determinó la hora de salida y ocultamiento de la Luna.
2. Pero obviamente la Luna durante su movimiento de traslación algunos días aparece ya antes del ocultamiento del sol, por lo cual se tomó como salida de la Luna para esos días como la hora del ocaso. Por otro lado también ocurren días en que llega el alba antes de que se oculte la Luna, por ello se tomó como ocultamiento de la Luna el alba.

PASO 4: Determinación de la presencia de la luz procedente de la Luna en la atmósfera después de su salida y antes de su ocultamiento.

Al igual que en el paso 2, al saber que aun cuando la Luna ya no es apreciada, su luz (reflejada del Sol) aún es apreciada en la atmósfera, pero por un corto periodo de tiempo, esto sucede antes de su salida y después de su ocultamiento.

1. Durante 5 días se procedió a medir la hora en que ya no era evidente este resplandor.

2. Los resultados fueron de aproximadamente 9 minutos.
3. Pero para estar seguro de que la luz no distorsione los datos, se tomó 15 minutos, con lo cual no se afectará las mediciones.
4. Entonces a la hora de salida de la Luna se restó 15 minutos, y a la hora de puesta de la Luna se sumó igual 15 minutos.

PASO 5: Determinación del horario de medición.

Para determinarlo se tuvieron tres casos:

- Cuando la Luna aparece durante la noche y no se ha ocultado al llegar el alba.
- Cuando no hay presencia de Luna durante toda la noche.
- Cuando la Luna ya estaba presente apenas ocurría el ocaso y se oculta durante la noche

Entonces se procedió así:

1. Primer caso:

Horario de inicio = hora en que ya no afecta la luz indirecta del sol a su puesta. (En la tabla del anexo 3 post ocaso)

Horario de término = hora a la que no afecta la luz indirecta de la Luna a su salida. (En la tabla del anexo 3 pre halo)

2. Segundo caso:

Horario de inicio = hora en que ya no afecta la luz indirecta del sol a su puesta. (En la tabla del anexo 3 post ocaso)

Horario de término = hora a la que no afecta la luz indirecta del Sol a su salida. (En la tabla del anexo 3 pre alba)

3. Tercer caso:

Horario de inicio = hora en que ya no afecta la luz indirecta de la Luna a su

ocultamiento. (En la tabla del anexo 3 post halo)

Horario de término = hora a la que no afecta la luz indirecta del Sol a su salida. (En la tabla del anexo 3 pre alba)

Sin embargo como la iluminación puede variar debido a que la iluminación de los comercios y otras áreas con gran luminosidad son apagadas a partir de las 23:00 a 0:00 horas, para este caso se tomarán las mediciones solo hasta estas horas, y algunos datos se tomarán luego de estas horas pero en zonas con iluminación homogénea y en que esto no es relevante por ejemplo los extremos de los conos.

iii. Humedad

Como sabemos la luz se difunde al encontrar en su camino partículas de contaminantes y también en la humedad que no solo está representada por el vapor de agua sino además por las micro gotas en suspensión, estas últimas formadas sobre todo en la noche.

En La ciudad de Huancayo la humedad relativa es muy uniforme durante el transcurso del año, por lo que no habría una época especial del año para el monitoreo basándose en el factor humedad.

iv. La fase lunar

La Luna, por su resplandor hace difícil la visibilidad de las estrellas más tenues que pueden ser percibidas por el ojo humano, por lo cual el monitoreo se debe hacer en un tiempo en que dicho resplandor no lo haga inviable.

Las fases de la Luna y su resplandor en cada una hace necesario que el monitoreo se realice en horas y días especificados; el método para determinar estas horas y días está detallado en determinación del rango horario.

v. Visibilidad

Las mediciones se deben tomar en lugares en que no se obstruya la visibilidad del firmamento por árboles o por edificios que no nos permitan reconocer las constelaciones y por ende las estrellas.

Además se necesitó determinar cuales son las constelaciones más reconocibles en esta época del año.

Las estrellas se deben ver en 30° sobre el horizonte, pudiendo así proceder al monitoreo sin el problema de captar magnitudes erróneas, ya que a menos de 30° sobre el horizonte es muy probable que la mayor presencia de atmósfera influya en la visualización.

vi. El deslumbramiento

Para un buen monitoreo se necesita que las luces no incidan directamente sobre los ojos, para ello se buscara ubicaciones estratégicas que impidan ello.

vii. Acondicionamiento visual

Uno debe adaptar los ojos a la oscuridad (visión escotópica o nocturna); esto porque los bastoncillos sensibles a baja intensidad de luz tardan un periodo de tiempo para llegar a su nivel óptimo.

Cuando uno se encuentra en la oscuridad, los bastones se van llenando de la sustancia rodopsina, la que permite que el ojo se vaya adaptando a la oscuridad, llegando a su nivel óptimo en 30 minutos.

viii. Orientación y reconocimiento

Para reconocer la constelación rápidamente es mejor llevar una brújula y un reloj para saber donde se encontrará exactamente ella.

ix. Visión óptima

La persona que realizará el monitoreo debe contar con una buena visión para poder percibir objetos con luminosidad tenue, es decir, la persona que monitorea no debería tener problemas de visión severos.

4.3.2 Definir mediante un mapa de isófitas, la distribución de la contaminación lumínica, de acuerdo a sus niveles.

Un mapa de isófitas nos permite ver las partes más o menos iluminadas, al igual que en un mapa topográfico las curvas de nivel nos muestran las zonas de mayor o menor relieve. En este caso nos mostrará las partes más o menos iluminadas con respecto al cielo nocturno.

Para realizar ello fue necesaria una secuencia de pasos previos que son:

- i. Planeamiento de los puntos de monitoreo.
- ii. Monitoreo de la contaminación lumínica
- iii. Procesamiento de los datos en un software adecuado.

i. Planeamiento de los puntos de monitoreo.

Para determinar los puntos de monitoreo, primero se necesitó:

- Un plano de La ciudad de Huancayo (Huancayo, El Tambo y Chilca).
- Un plano catastral de La ciudad de Huancayo, el más actualizado posible, y que abarcara los 3 distritos, tomados.
- Un plano de distribución de la población.

Con estos tres se pudo determinar que obviamente los puntos de monitoreo no podían ser uniformes en cuadrícula, pues los puntos debían tomarse tomando en cuenta la distribución de población que conlleva a la iluminación en dichas zonas; además por la accesibilidad a dichos puntos.

La ubicación de los puntos estuvo condicionada por la diferente calidad de iluminación en cada distrito, así por ejemplo: en El Tambo la iluminación es uniforme ya que en casi todo el distrito se utilizan luminarias con lámparas de vapor de sodio de baja presión (color amarillo); mientras que en Huancayo la calidad de la iluminación es diferente para cada zona (lámparas incandescentes, lámparas de vapor de mercurio a alta presión, vapor de sodio a alta presión, etc), además hay muchas áreas de esparcimiento con gran concentración de luz. Entonces se procedió a identificar los puntos en cada distrito.

Para evitar deslumbramientos y hacer más representativa la toma de datos, se han ubicado los puntos de monitoreo en calles internas, y no en avenidas ni parques, esto por la concentración de luz, y la emisión directa de luz desde todas direcciones.

Así mismo, estas, se han escogido en áreas de interés y representativas. En los casos de zonas peligrosas los puntos se han tomado cerca de la avenida y en algunos casos dentro de centros públicos, como intersección de calles principales.

ii. Monitoreo de la contaminación lumínica

Tomando en cuenta los parámetros predeterminados para una adecuada medición, en el monitoreo se necesitó:

- Un mapa de constelaciones que indique las constelaciones que se verán en el cielo en Huancayo en el mes de enero, febrero, y marzo. Este debe indicar la magnitud relativa de cada estrella.
- Una brújula.
- Un reloj
- Libreta de apuntes.

El monitoreo se baso en los siguientes pasos:

- a. Establecimiento en el punto de monitoreo.
 - b. Orientación y reconocimiento del firmamento
 - c. Acondicionamiento visual y toma de datos
-
- a. Establecimiento en el punto de monitoreo.

Se llegó al punto de monitoreo predeterminado y se dirigió la mirada hacia el lado de la calle que no cuenta con alumbrado público. El itinerario de los puntos de monitoreo se encuentran en el ANEXO 4.

- b. Orientación y reconocimiento del firmamento

Con la brújula se determinó la dirección en que se leería el mapa, el reloj nos indicaba la hora y con ello sabíamos si la constelación estaría sobre nosotros, si ya había pasado o si aún no. Y así era mas fácil el reconocimiento de la constelación en el firmamento

- c. Acondicionamiento visual y toma de datos

En los casos que hubo luces directas se protegió los ojos de estas, y en algunos casos se varió la posición del punto de monitoreo unos metros, ya que no es relevante la exactitud en la ubicación para este tipo de monitoreo.

Luego se acondicionó los ojos a la oscuridad del firmamento unos 10 minutos, además se realizo una visión indirecta para poder percibir las estrellas más tenues. La visualización se hizo sobre los 30° sobre el horizonte.

Al ubicar la o las estrellas más tenues, se referenció con otra más visible y que este próxima, para determinar así su magnitud en el mapa de constelaciones.

Obviamente la idea era percibir las estrellas más tenues perceptibles desde un punto específico para así determinar hasta que magnitud relativa estelar aún se puede apreciar (magnitud límite), esto debido a la contaminación lumínica; ya sabemos que el ojo humano puede percibir hasta magnitud 6 en un cielo libre de iluminación artificial.

Luego de reconocer la magnitud relativa más tenue visible desde ese punto se procede a anotarlo en la libreta, adjuntando además la nubosidad, humedad y hora; la humedad se estimó mediante un multímetro y una tabla que unía las resistencias del bulbo seco y bulbo húmedo y que ya se habían predeterminado. ANEXO 5.

Finalmente se repite los pasos para cada punto de monitoreo. Y se hace todo este procedimiento en La ciudad de Huancayo 2 veces más para que los datos sean más fiables.

iii. Procesamiento de los datos en un software adecuado.

Al tener 3 datos de cada punto, se procede a tomar el dato del momento en que se pudo apreciar una mayor magnitud límite, pues quizás en los otros datos no se pudo apreciar bien por la nubosidad o la humedad o simple error en el monitoreo.

Con los 31 puntos ya monitoreados, se procedió a ingresar los datos, las coordenadas y las magnitudes relativas más tenues registradas, en extensión dat (SOFTWARE SURFER). Posteriormente a ello se procedió a crear las isolíneas en el SURFER utilizando el método Nature Neighbor, pues es el que más se ajusta a la realidad para este caso; luego de ello se exportó con extensión shape.

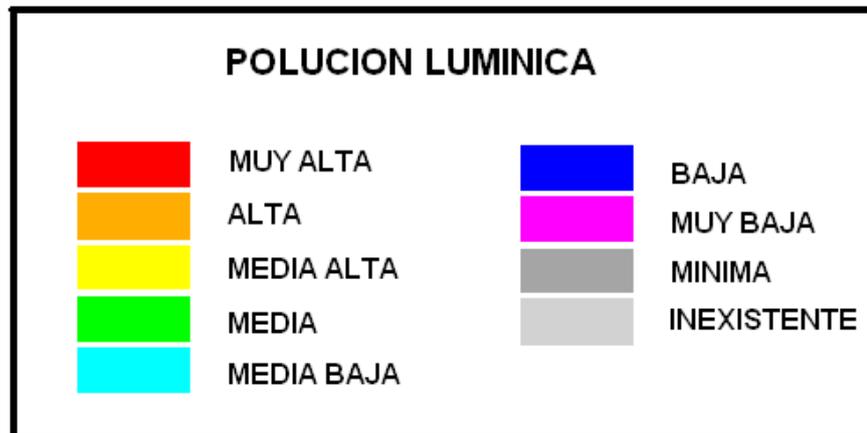
Luego en el software ARC VIEW se digitalizó el mapa de Huancayo con sus distritos, y se unió con las curvas de nivel elaboradas anteriormente; esto para elaborar el mapa final y que se pudiera interpretar.

Las zonas con mayor contaminación lumínica son las que indican menor magnitud; pues como se sabe, a menor

magnitud relativa, mayor luz percibida de la estrella. Entonces, en una mayor concentración de contaminación lumínica solo se podrán apreciar las estrellas con menor magnitud aparente (mayor luz que llega al observador), o incluso ninguna.

Aun cuando se considera contaminación lumínica el alterar el brillo natural nocturno (60 nanoLamberts) por encima de 10 %, es decir, 66 nanoLamberts, en el país no existe legislación que indique a partir de que parámetro se considera contaminación lumínica, y puesto que no hay, aún, una correlación numérica sustentada entre el brillo artificial del cielo nocturno y las magnitudes límites visibles, se consideró una escala arbitraria, basada en las magnitudes aparentes percibidas en La ciudad de Huancayo. En esta escala se detalla la magnitud límite (menor magnitud aparente visible), ya que es un indicador cuantificable de la contaminación lumínica.

FIGURA N° 18
Polución Lumínica



FUENTE: LUIS HOLGUIN ARANDA.
Determinación de la Contaminación Lumínica en Lima Metropolitana, 2008.

4.3.3 Identificar las causas que originan esta distribución de la contaminación lumínica.

Para especificar las causas fue necesario comparar los resultados del mapa de contaminación lumínica, con los datos de nubosidad y humedad obtenidos en el monitoreo, para determinar si estos afectaron de manera alguna los resultados.

Además de ello fue imprescindible tener en cuenta la descripción de la zona, ya que una zona comercial densa, tiende a contar con una infraestructura lumínica mayor, y por ende es más propensa a contribuir a la contaminación lumínica.

Para una buena comparación del mapa de contaminación lumínica con los datos de nubosidad y humedad, se hizo necesario crear dos mapas más: uno de nubosidad y otro de humedad, para que ayudaran a detallar algunas anormalidades que nos presentó el mapa de contaminación lumínica. Para componer estos dos mapas, se tomó los datos de nubosidad y humedad que acompañaron al dato de contaminación lumínica con mayor magnitud límite observada, esto para que los datos muestren la realidad de ese punto en ese momento.

5) Resultados

Los resultados para cada objetivo específico fueron:

Objetivo A: Definición de los parámetros de medición para la toma de datos.

Objetivo B: Definición, mediante un mapa de isófitas, la distribución de la contaminación lumínica, de acuerdo a sus niveles.

Objetivo C: Identificación de las causas que originan esta distribución de la contaminación lumínica.

5.1 Definición de los parámetros de medición para la toma de datos.

Los resultados para cada factor que afecta el monitoreo, fueron los siguientes:

i. La nubosidad

En esta época del año para el monitoreo, la nubosidad fluctúa entre los 4/8 y 6/8.

ii. El rango horario

La determinación del rango horario de medición está extensamente detallada en el ANEXO 1, sin embargo tomamos como muestra los resultados de la noche del 20 al 21 de enero:

TABLA N° 4.

Muestras de Resultados de la Noche del 20 al 21 de enero.

OCASO	POST OCASO	ALBA	PRE ALBA	> LUNA	PRE HALO	< LUNA	POST HALO	DESDE	HASTA
18:16	19:46	5:44	4:14	-----	-----	-----	-----	19:44	4:15

FUENTE: Elaborada por el Autor

El rango horario para este día de medición es de 19:44 hasta las 4:15.

Sin embargo las mediciones en su mayoría se han tomado hasta las 23 horas o medianoche (ANEXO 4), debido a que la iluminación de los comercios y otras áreas con gran luminosidad son apagadas a estas horas, y algunos datos se han tomado luego de estas horas pero en zonas con iluminación homogénea y en que esto no es relevante por ejemplo en la periferia de la ciudad.

iii. Humedad

Como en Huancayo la humedad relativa es muy uniforme durante todo el año, y en esta zona es muy baja, entonces para este caso es irrelevante.

iv. La fase lunar

La luz de la Luna influye mucho en el monitoreo, se determinó ya en el horario de monitoreo la ausencia de esta (ANEXO 1).

v. Visibilidad

Los puntos de monitoreo no se han en posicionamiento directo a las luminarias.

Se determinó las constelaciones más reconocibles en esta época del año, por su luminosidad y configuración espacial. Para ello uno debe aprender a reconocer la distribución de estas mediante la posición de sus estrellas más perceptibles (las de magnitud relativa menor).

Así las constelaciones más reconocibles, para esta época del año a esta latitud son:

- Orión
- Tauro
- Can mayor
- Cochero

Sobre todo el más fácilmente reconocible es Orión debido a tres de sus estrellas conocidas como el Cinturón de Orión; que se encuentran casi juntas, y son casi colineales y consecutivas.

Se han tomado como referencia estas 4 constelaciones (ANEXO 2), pues además de ser fácilmente reconocibles, en caso el cielo este nublado y no nos permita ver alguna constelación en parte o en su totalidad, contamos con las que sean visibles para realizar el monitoreo. Al tomar estas

4 constelaciones, que abarcan una gran superficie en la esfera celeste, obtenemos un mayor campo para la visualización y toma de datos.

Para la toma de datos tomamos en cuenta la magnitud relativa de las estrellas, no la magnitud absoluta; la magnitud absoluta toma en cuenta el valor verdadero de brillo que emite una estrella a una distancia predeterminada; mientras que la magnitud relativa toma en cuenta el valor aparente del brillo que emite la estrella vista desde la Tierra. Por ejemplo si tenemos dos focos uno de 100 watts a 700 metros de distancia, y otro de 50 watts a 30 metros de distancia, el que aparentemente brilla más es el de 50 watts, aun cuando el que tiene mas potencia es el de 100 watts. Entonces tomamos en cuenta la magnitud relativa porque lo que se pierde con la contaminación lumínica es el brillo aparente de las estrellas.

Las magnitudes relativas de las estrellas de cada constelación se obtuvieron con el software Stellarium.

La visualización se realiza a más de 30° sobre el horizonte.

vi. El deslumbramiento

Se debe proteger los ojos de emisiones directas de haces de luz artificial que provoquen deslumbramientos y no permita así la toma de datos. Por ello no se debe hacer en avenidas ni parques, sino en calles internas, ya que estas cuentan solo con alumbrado público a un lado de la vía pudiendo uno mirar hacia el lado donde no existe alumbrado

vii. Acondicionamiento visual

Uno debe acondicionar los ojos al menos diez minutos en la oscuridad para poder percibir los objetos con poca luminosidad de manera satisfactoria.

Uno debe realizar una visión indirecta (de reojo) para detectar las estrellas más débiles; esto porque en la retina poseemos dos tipos de células especializadas en la captación de luz: los conos y los bastones. Los conos se encuentran en la parte central, son sensibles a la luz (todo el espectro visible) y nos permite observar directamente las cosas. Los bastones se encuentran alrededor, son sensibles solo a las longitudes de onda correspondiente al azul además nos permite una visión indirecta de las cosas. Estas últimas células nos permiten detectar en la oscuridad

aquello que tiene una pequeña luminosidad, claro, viéndolas indirectamente.

viii. Orientación y reconocimiento

El reloj es para saber la dirección en que ha avanzado la constelación aparentemente, es decir, a una cierta hora se sabe que esta exactamente sobre nosotros, y a otra hora sabremos en que ángulo encontrarlo. Por ejemplo si hoy la constelación Can Mayor está en el zénit a las 21:00 horas, entonces a las 0:00 horas se debe encontrar a 45° hacia el oeste de la línea norte-sur.

x. Visión óptima

Según los estudios realizados en EEUU (capitulo 3.8), no es muy relevante la capacidad visual del espectador, claro, siempre y cuando no tenga problemas visuales muy serios.

5.2 Definición, mediante un mapa de isófotas, de la distribución de la contaminación lumínica, de acuerdo a sus niveles.

Los resultados de cada paso mencionado en los métodos fueron los siguientes:

i. Planeamiento de los puntos de monitoreo.

Por el área de influencia, por la heterogeneidad de su alumbrado público, y por las zonas pobladas, se han estimado 31 puntos de monitoreo que se detallan por sus coordenadas y sus códigos en el ANEXO 3.

ii. Monitoreo de la contaminación lumínica

Para comenzar se trabajó con los mapas de cada constelación indicando las magnitudes relativas de sus estrellas (ANEXO 2).

TABLA N° 5

Monitoreo de la Contaminación Lumínica (Magnitud Límite – Nubosidad)

PUNTO	COORDENADAS		DATO PRELIMINAR 1		
	este	norte	MAG - LIM	NUBOSIDAD	
NH	1	475,287.55	8,671,270.68	5.30	(4/8)
NH	2	474,129.91	8,670,614.82	5.30	(4/8)
NG	3	475,366.60	8,670,543.81	5.30	(3/8)
NG	4	476,542.13	8,670,061.46	5.30	(3/8)
NG	5	475,407.32	8,669,728.02	5.10	(5/8)

FUENTE: Elaborado por el Autor

MAG-LIM: magnitud limite

N: Nubosidad

Los resultados completos están en el ANEXO 5

iii. Procesamiento de los datos en un software adecuado.

Como se obtuvieron tres datos, en cada punto, se tomó aquel donde se aprecia una mayor magnitud límite, por ejemplo en el punto NG 5 se obtuvieron:

TABLA N° 6

Magnitud Límite – Nubosidad (Del punto de monitoreo NG5)

MAGNITUD LIMITE	NUBOSIDAD
5.10	5/8
5.30	4/8
5.10	3/8

FUENTE: Elaborado por el Autor

Y se tomo entonces como datos para procesar al conjunto que presenta la mayor magnitud limite observada, o sea:

TABLA N° 7

Resultado de Magnitud Límite – Nubosidad (Del punto de monitoreo G5)

MAGNITUD LIMITE	NUBOSIDAD
5.30	5/8

FUENTE: Elaborado por el Autor

Los datos completos se encuentran en el ANEXO 6.

El mapa de isótopas se muestra en el MAPA 1, y su descripción se basó en el rango de magnitud límite (menor magnitud observable) 4.40 y la magnitud 6 que es límite para el ojo humano, clasificándolo de la siguiente manera:

FIGURA N° 19

Contaminación Lumínica – Niveles

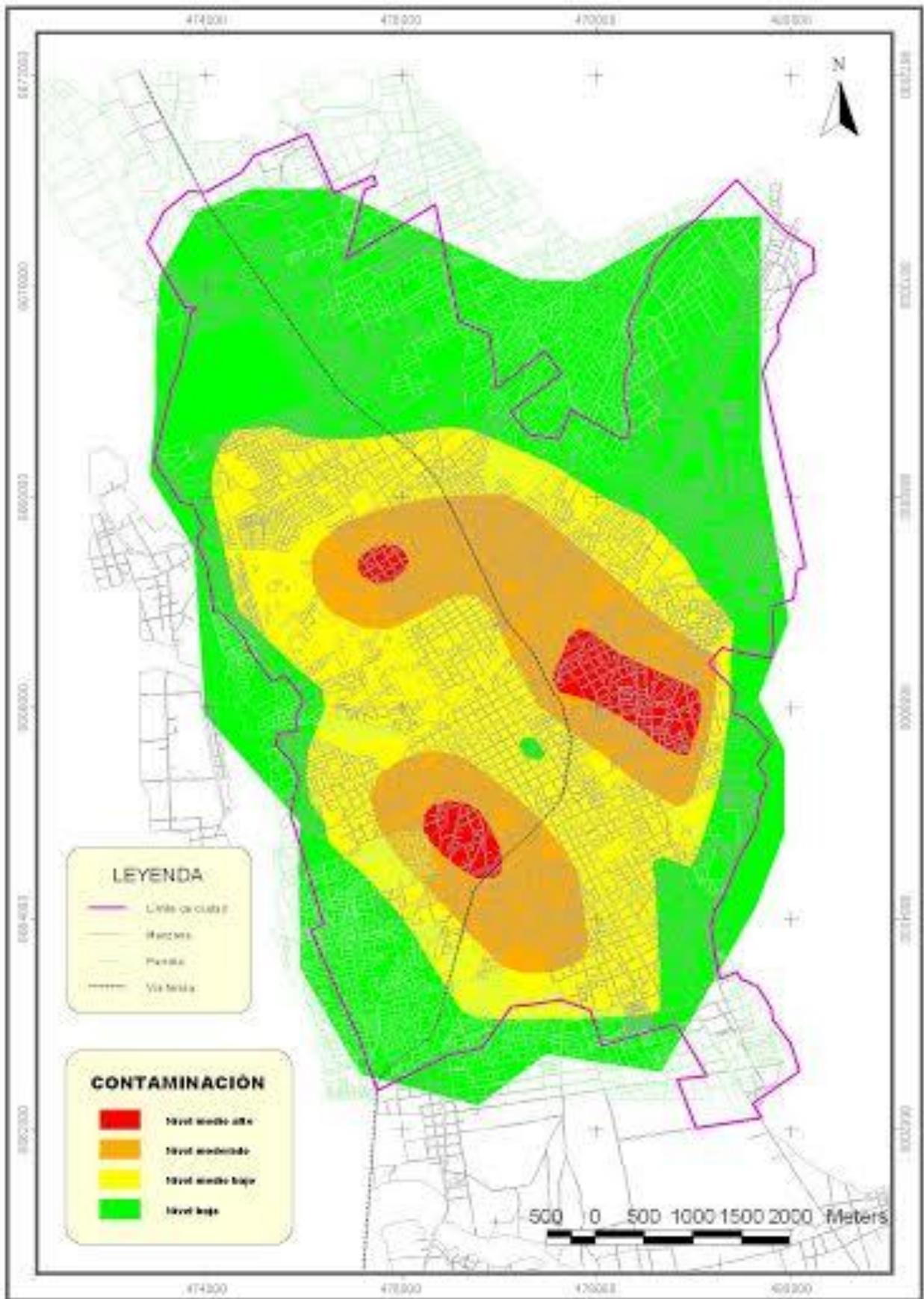


FUENTE: Elaborado por el Autor

Donde medio alto va desde Magnitud relativa 4.0 a 4.3, moderado desde 4.3 a 4.6, medio bajo desde 4.6 a 4.9, bajo desde 4.9 a 5.2.

FIGURA N° 20.

MAPA N°1. MAPA DE ISÓFOTAS



FUENTE: ELABORADO POR EL AUTOR

5.3 Identificación de las causas que originan esta distribución de la contaminación lumínica.

Como resultado de mayor contaminación lumínica a nivel medio alto en La ciudad de Huancayo, magnitud límite de 4.0-4.3 (color rojo), se aprecian las zonas de Centro de Huancayo, por el Municipio de El Tambo y por el Municipio de Chilca; en el primero, se puede explicar por la forma de iluminación de los monumentos y patrimonio, que es un típico alumbrado ornamental de abajo hacia arriba, además del centro comercial; en el segundo y el tercero, se podría explicar que arrojaron esos valores debido a la especial iluminación de dichos sectores.

Luego con una contaminación lumínica de magnitud moderada se encuentra la zona que rodea estos tres puntos, solo que separado el sector de la municipalidad de Chilca.

La magnitud media baja se extiende rodeando el sector anterior.

La magnitud baja como era de esperarse se extiende con mayor pronunciación en la periferia; excepto por una isla que se ubica cerca a la intersección de la calle Real con Ferrocarril.

DATOS ESTADISTICOS

Para determinar si la nubosidad influyó en el monitoreo, y si los datos obtenidos eran fiables se procedió a realizar cálculos estadísticos, que dieron los siguientes resultados.

En el caso de nubosidad se supone que a mayor presencia de esta, mayor dispersión de la luz, por lo tanto menor visibilidad del firmamento y solo se visualizaría las estrellas con menor magnitud límite; en conclusión la nubosidad es inversa con la magnitud límite.

Se procedió a determinar el índice de correlación y los resultados fueron los siguientes:

TABLA N° 8
Índice de Correlación

VARIABLES	MAGNITUD LIMITE
NUBOSIDAD	$r = 0.117$

FUENTE: Elaborado por el Autor

Lo que indica que esta variable no afectó el monitoreo.

Lo que indica finalmente que realmente la nubosidad no afectó los resultados.

Por otro lado de todos los datos obtenidos, se determinó el coeficiente de variabilidad para cada punto de monitoreo, obteniéndose valores entre 0 a 6.056, considerándose todos: datos muy homogéneos (de 0 a 10 se consideran así).¹² Todos estos datos se procesaron en excel, y se encuentran adjuntos en el ANEXO 6.

¹² JORGE RUBIO DONET
1993 Estadística, Pág. 35

6) Conclusiones

- La uniformización en la toma de datos respecto a la luz natural, para determinar la magnitud límite permitió que el mapa de contaminación lumínica sea más representativo.
- La contaminación lumínica como era de esperarse se concentra en las zonas más turísticas y comerciales de La ciudad de Huancayo. Mapa N° 1.
- La nubosidad y la humedad no fueron factores fundamentales al interpretar el mapa de contaminación lumínica, pero si lo fueron las descripciones de cada área ya que permitieron explicar la distribución de las isófitas.
- La dispersión denotada en el mapa 1, muestra parte del distrito de El Tambo, del Distrito de Chilca, y centro de Huancayo, de color rojo registrándose una contaminación Lumínica moderadamente alto.
- En el mapa 1, denotado por colores; Muestra que en ciudad de Huancayo existe contaminación Lumínica.

7) Recomendaciones

- Sería recomendable que en un estudio similar, se tomen unas repeticiones más, para disminuir aun más los errores o tener una mejor muestra representativa al obtener un dato con las mejores condiciones atmosféricas.
- Sería bueno que se tomen mas puntos de monitoreo para obtener de una formas mas detallada el mapa de isófitas.
- Asimismo el mapa denotaría el total de la distribución si los puntos de monitoreo fueran equidistantes para toda el área de estudio.
- Sería recomendable que en un estudio posterior se determine con exactitud en cuantas veces se supera el brillo natural del cielo nocturno.
- Asimismo sería bueno que se haga un estudio de a que distancia se puede ver halo luminoso de la ciudad de La ciudad de Huancayo, y como afecta ello a los poblados circundantes.
- Las lámparas de las luminarias en La ciudad de Huancayo deberían ser modificadas para que el flujo al hemisferio superior sea nulo, además para evitar iluminar donde no se desea.

- Se debería concienciar a las personas sobre los problemas que genera una mala iluminación, además de hacerles entender que una buena iluminación no es aquella donde hay más luz.
- Enfocar los estudios no solo a la contaminación clásica (agua, aire, y suelos), sino a los problemas generados por la tecnología moderna (lumínica, radiofrecuencia, microondas, etc.) que aunque no son evidentes, están ahí, afectando el medio en que vivimos.

8) Glosario

1. **Constelación**

Cualquier grupo de estrellas que parecen estar más o menos juntas en el cielo. Una de las 88 zonas en que se divide la esfera celeste.

2. **Contaminación Lumínica:**

Cualquier efecto perjudicial producto de la luz artificial.

3. **Esfera celeste**

La esfera celeste es una esfera imaginaria en cuya superficie están las estrellas.

4. **Intromisión de luz:**

El desperdicio de la luz fuera de su área de utilidad hacia un área en donde no se necesita.

5. **Lámpara:**

La fuente de luz en una luminaria; Por ejemplo, un bombillo.

6. **Resplandor molesto:**

Resplandor producto de un alto nivel de iluminación que genera un alto contraste entre las áreas con luz y a oscuras. Éste produce molestia que no necesariamente disminuye la capacidad visual.

7. **Luminaria de Apagado Total:**

Una luminaria revestida que no permite la emisión de luz por encima del plano horizontal a través de la luminaria.

8. **Luminaria:**

Una unidad de iluminación completa

9. **Magnitud**

La magnitud de una estrella es un número que indica su brillo. Se suelen escribir con cifras, magnitud 1, magnitud 2, magnitud 3, pasa que como mayor es el número, menos brilla la estrella.

10. **Magnitud absoluta**

La magnitud absoluta de una estrella es una medida de la cantidad total de luz que emite

11. **Magnitud aparente**

La magnitud aparente es una cifra que indica la cantidad de luz de las estrellas que llega al observador.

12. **Mapa de constelaciones**

Es un mapa que representa las mil estrellas más brillantes vistas desde la Tierra, excepto el sol, claro. Este mapa representa bastante bien el aspecto del cielo nocturno.

13. Resplandor incapacitante:

Resplandor producto de luz dispersa que brilla sobre la retina reduciendo el contraste, lo que hace que las imágenes sean menos visibles. Este resplandor también se llama luminancia de velado y ceguera nocturna. El efecto es más serio en la personas mayores o en aquellas que sufran de cataratas.

14. Resplandor Luminoso Nocturno:

El brillo del cielo nocturno debido a la luz artificial que se dirige en dirección ascendente y lejos de su fuente o del lugar donde se supone debe reflejar. Las nubes, la humedad y las partículas dispersas en el aire hacen que aumente el resplandor luminoso nocturno.

9) Bibliografía

- UNESCO “Declaración De Las Generaciones Presentes Hacia Las Generaciones Futuras”. Artículo 1. Paris .1996
- International Dark-Sky Association (IDA) “La contaminación lumínica, el problema, las soluciones”. Information Sheet #134s. 2004
- Carlos Herranz Dorremocha “El impacto ambiental de la iluminación artificial”. Gorosti, 27- 44. 2002
- Mike Hansen “Sacando a la luz el tema de la contaminación lumínica”. Green teacher. Ed #71, 7-13. 2007
- Travis Longcore y Catherine Rich “Ecological light pollution”. Front Ecol Environ 2004; 2(4): 191–198. 2004
- P. Cinzano, F. Falchi y C. D. Elvidge “El primer atlas del brillo artificial nocturno”. Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 689–707. 2001
- LIGHT POLLUTION SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE “La contaminación luminosa en imágenes desde el cielo”. Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 689–707. 2001.
- Patricia Elke Rodríguez Schaeffer “Contaminación lumínica: responsabilidad social”. Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas, México. 2005.
- Fred Schaff “Light pollution”. Sky & Telescope, 42-45, April. 2007.
- REPUBLICA DEL PERÚ. Código Civil, Artículo 961. Huancayo.
- Luis Holguín Aranda “Determinación de la distribución de la contaminación lumínica en Lima metropolitana”, Universidad Agraria la Molina. Perú 2009.

Paginas web:

- ASOCIACION STARLIGHT. Eficiencia energética y calidad del cielo. www.starlight2007.net/leyes.htm. 2007.
- INTERNATIONAL DARK-SKY ASSOCIATION. Contaminación lumínica <http://www.darksky.org/>. 1998.
- Pere Horts. ¿Quién nos ha robado la Vía Láctea? <http://www.astrogea.org>. 2000.
- UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS. Micro regiones de La ciudad de Huancayo. http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVMedioAmbiente/Temario/Previo_riggo/bases/modulo_I/Huancayo_metropolitana.htm. 2003
- CELFOSC. La contaminación lumínica. <http://www.celfosc.org/>
- CIE Comisión Internacional de la iluminación. Tecnologías de iluminación. <http://vi12n153.members.eunet.at/cie>
- OFICINA TECNICA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO. Conceptos básicos sobre contaminación lumínica. <http://www.iac.es/proyect/otpc/concep.htm>

10) Anexos

- Anexo 1 *Determinación de las horas de monitoreo*
- Anexo 2 *Constelaciones tomadas como referencia para el monitoreo*
- Anexo 3 *Puntos de monitoreo*
- Anexo 4 *Recorrido de los puntos de monitoreo por días*
- Anexo 5 *Datos obtenidos en el monitoreo*
- Anexo 6 *Cálculos Estadísticos – Índice de Correlación*
- Anexo 7 *Galería de imágenes*

ANEXO N°01. DETERMINACION DE LAS HORAS DE MONITOREO

FECHA		OCASO			post ocaso			ALBA			pre alba			> LUNA			pre halo			< LUNA			post halo			HORA DE MEDICION						
desde	hasta	H	m	s	H	m	s	H	m	s	H	m	s	H	m	s	H	m	s	H	m	s	H	m	s	desde	hasta					
17-ene	18-ene	18	16	29	19	46	29	5	43	45	4	13	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	44	60	4	15	15	
18-ene	19-ene	18	16	15	19	46	15	5	43	59	4	13	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	44	45	4	15	31	
19-ene	20-ene	18	16	1	19	46	1	5	44	14	4	14	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	44	29	4	15	48	
20-ene	21-ene	18	15	46	19	45	46	5	44	29	4	14	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	44	12	4	16	4	
21-ene	22-ene	18	15	31	19	45	31	5	44	44	4	14	44	-	-	-	-	-	-	19	50	30	20	5	30	20	5	30	4	16	20	
22-ene	23-ene	18	15	16	19	45	16	5	45	0	4	15	0	-	-	-	-	-	-	20	30	19	20	45	19	20	45	19	4	16	37	
23-ene	24-ene	18	14	60	19	44	60	5	45	15	4	15	15	-	-	-	-	-	-	21	12	17	21	27	17	21	27	17	4	16	54	
24-ene	25-ene	18	14	45	19	44	45	5	45	31	4	15	31	-	-	-	-	-	-	21	55	43	22	10	43	22	10	43	4	17	11	
25-ene	26-ene	18	14	29	19	44	29	5	45	48	4	15	48	-	-	-	-	-	-	22	42	36	22	57	36	22	57	36	4	17	29	
26-ene	27-ene	18	14	12	19	44	12	5	46	4	4	16	4	-	-	-	-	-	-	23	33	21	23	48	21	23	48	21	4	17	46	
27-ene	28-ene	18	13	56	19	43	56	5	46	20	4	16	20	-	-	-	-	-	-	0	30	9	0	45	9	0	45	9	4	18	4	
28-ene	29-ene	18	13	40	19	43	40	5	46	37	4	16	37	-	-	-	-	-	-	1	32	17	1	47	17	1	47	17	4	18	22	
29-ene	30-ene	18	13	23	19	43	23	5	46	54	4	16	54	-	-	-	-	-	-	2	36	2	2	51	2	2	51	2	4	18	40	
30-ene	31-ene	18	13	6	19	43	6	5	47	11	4	17	11	-	-	-	-	-	-	3	39	10	3	54	10	3	54	10	4	18	58	
31-ene	01-feb	18	12	49	19	42	49	5	47	29	4	17	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01-feb	02-feb	18	12	31	19	42	31	5	47	46	4	17	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02-feb	03-feb	18	12	14	19	42	14	5	48	4	4	18	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03-feb	04-feb	18	11	56	19	41	56	5	48	22	4	18	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04-feb	05-feb	18	11	38	19	41	38	5	48	40	4	18	40	19	41	25	19	26	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05-feb	06-feb	18	11	20	19	41	20	5	48	58	4	18	58	20	18	17	20	3	17	-	-	-	-	-	-	19	39	29	20	3	17	
06-feb	07-feb	18	11	2	19	41	2	5	49	16	4	19	16	20	55	23	20	40	23	-	-	-	-	-	-	19	39	10	20	40	23	
07-feb	08-feb	18	10	44	19	40	44	5	49	35	4	19	35	21	34	24	21	19	24	-	-	-	-	-	-	19	38	51	21	19	24	
08-feb	09-feb	18	10	25	19	40	25	5	49	54	4	19	54	22	15	45	22	0	45	-	-	-	-	-	-	19	38	31	22	0	45	
09-feb	10-feb	18	10	6	19	40	6	5	50	12	4	20	12	23	0	1	22	45	1	-	-	-	-	-	-	19	38	12	22	45	1	
10-feb	11-feb	18	9	48	19	39	48	5	50	31	4	20	31	23	47	51	23	32	51	-	-	-	-	-	-	19	37	52	23	32	51	
11-feb	12-feb	18	9	29	19	39	29	5	50	50	4	20	50	0	39	8	0	24	8	-	-	-	-	-	-	19	37	33	0	24	8	
12-feb	13-feb	18	9	10	19	39	10	5	51	9	4	21	9	1	33	19	1	18	19	-	-	-	-	-	-	19	37	13	1	18	19	
13-feb	14-feb	18	8	51	19	38	51	5	51	29	4	21	29	2	28	42	2	13	42	-	-	-	-	-	-	19	36	53	2	13	42	
14-feb	15-feb	18	8	31	19	38	31	5	51	48	4	21	48	3	24	15	3	9	15	-	-	-	-	-	-	19	36	34	3	9	15	
15-feb	16-feb	18	8	12	19	38	12	5	52	8	4	22	8	4	18	26	4	3	26	-	-	-	-	-	-	19	36	14	4	3	26	
16-feb	17-feb	18	7	52	19	37	52	5	52	27	4	22	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	35	54	4	24	27	
17-feb	18-feb	18	7	33	19	37	33	5	52	47	4	22	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	35	33	4	24	47	
18-feb	19-feb	18	7	13	19	37	13	5	53	7	4	23	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	35	13	4	25	7	
19-feb	20-feb	18	6	53	19	36	53	5	53	26	4	23	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	34	53	4	25	27	
20-feb	21-feb	18	6	34	19	36	34	5	53	46	4	23	46	-	-	-	-	-	-	19	51	50	20	6	50	20	6	50	4	25	48	
21-feb	22-feb	18	6	14	19	36	14	5	54	6	4	24	6	-	-	-	-	-	-	20	38	17	20	53	17	20	53	17	4	26	8	
22-feb	23-feb	18	5	54	19	35	54	5	54	27	4	24	27	-	-	-	-	-	-	21	29	27	21	44	27	21	44	27	4	26	28	
23-feb	24-feb	18	5	33	19	35	33	5	54	47	4	24	47	-	-	-	-	-	-	22	25	15	22	40	15	22	40	15	4	26	49	
24-feb	25-feb	18	5	13	19	35	13	5	55	7	4	25	7	-	-	-	-	-	-	23	25	36	23	40	36	23	40	36	4	27	9	
25-feb	26-feb	18	4	53	19	34	53	5	55	27	4	25	27	-	-	-	-	-	-	0	27	13	0	42	13	0	42	13	4	27	30	
26-feb	27-feb	18	4	33	19	34	33	5	55	48	4	25	48	-	-	-	-	-	-	1	30	53	1	45	53	1	45	53	4	27	50	
27-feb	28-feb	18	4	12	19	34	12	5	56	8	4	26	8	-	-	-	-	-	-	2	30	17	2	45	17	2	45	17	4	28	11	
28-feb	01-mar	18	3	52	19	33	52	5	56	28	4	26	28	-	-	-	-	-	-	3	26	25	3	41	25	3	41	25	4	28	32	
01-mar	02-mar	18	3	32	19	33	32	5	56	49	4	26	49	-	-	-	-	-	-	4	19	1	4	34	1	-	-	-	-	-	-	
02-mar	03-mar	18	3	11	19	33	11	5	57	9	4	27	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
03-mar	04-mar	18	2	51	19	32	51	5	57	30	4	27	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
04-mar	05-mar	18	2	30	19	32	30	5	57	50	4	27	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05-mar	06-mar	18	2	10	19	32	10	5	58	11	4	28	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06-mar	07-mar	18	1	49	19	31	49	5	58	32	4	28	32	19	29	51	19	14	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07-mar	08-mar	18	1	28	19	31	28	5	58	52	4	28	52	20	9	58	19	54	58	-	-	-	-	-	-	19	29	24	19	54	58	
08-mar	09-mar	18	1	8	19	31	8	5	59	13	4	29	13	20	53	17	20	38	17	-	-	-	-	-	-	19	29	4	20	38	17	
09-mar	10-mar	17	53	37	19	23	37	6	6	42	4	36	42	21	40	6	21	25	6	-	-	-	-	-	-	19	28	43	21	25	6	

Constelaciones tomadas como referencia para el monitoreo

Para un buen monitoreo se debe tener presente que uno debe poseer un conocimiento básico de reconocimiento de las constelaciones. Para ello uno debe aprender a reconocer la distribución de estas mediante la posición de sus estrellas más perceptibles (las de magnitud relativa menor).

Así las constelaciones más reconocibles, para esta época del año a esta latitud son:

- Orión
- Tauro
- Can mayor
- Cochero

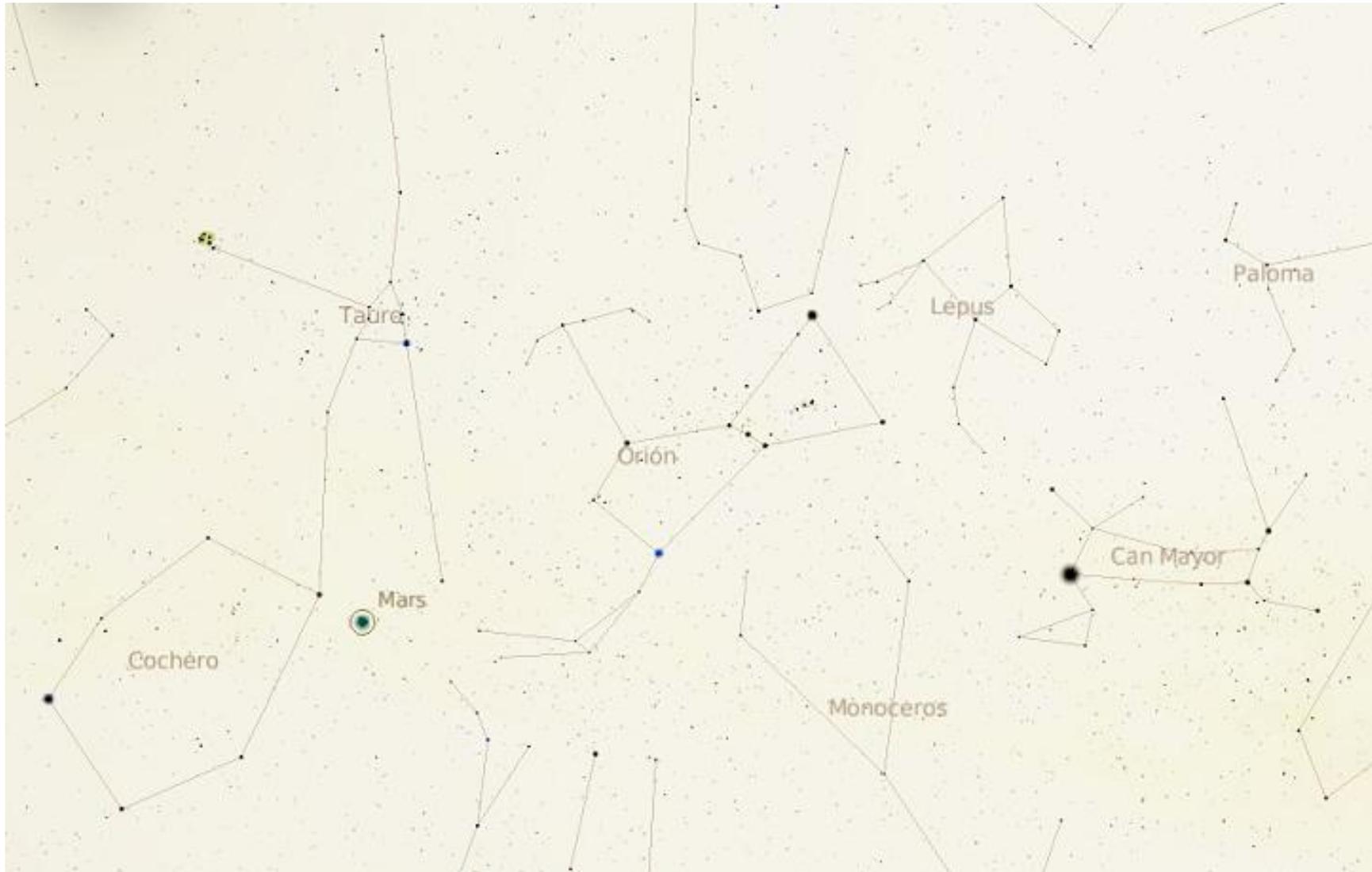
Sobre todo el más fácilmente reconocible es Orión debido a sus tres estrellas; que se encuentran casi juntas, son casi colineales y consecutivas; conocidas como el Cinturón de Orión.

Se han tomado como referencia estas 4 constelaciones, pues además de ser fácilmente reconocibles, en caso el cielo este nublado y no nos permita ver alguna constelación en parte o en su totalidad, contamos con las que sean visibles para realizar el monitoreo. Al tomar estas 4 constelaciones, que abarcan una gran superficie en la esfera celeste, obtenemos un mayor campo para la visualización y toma de datos.

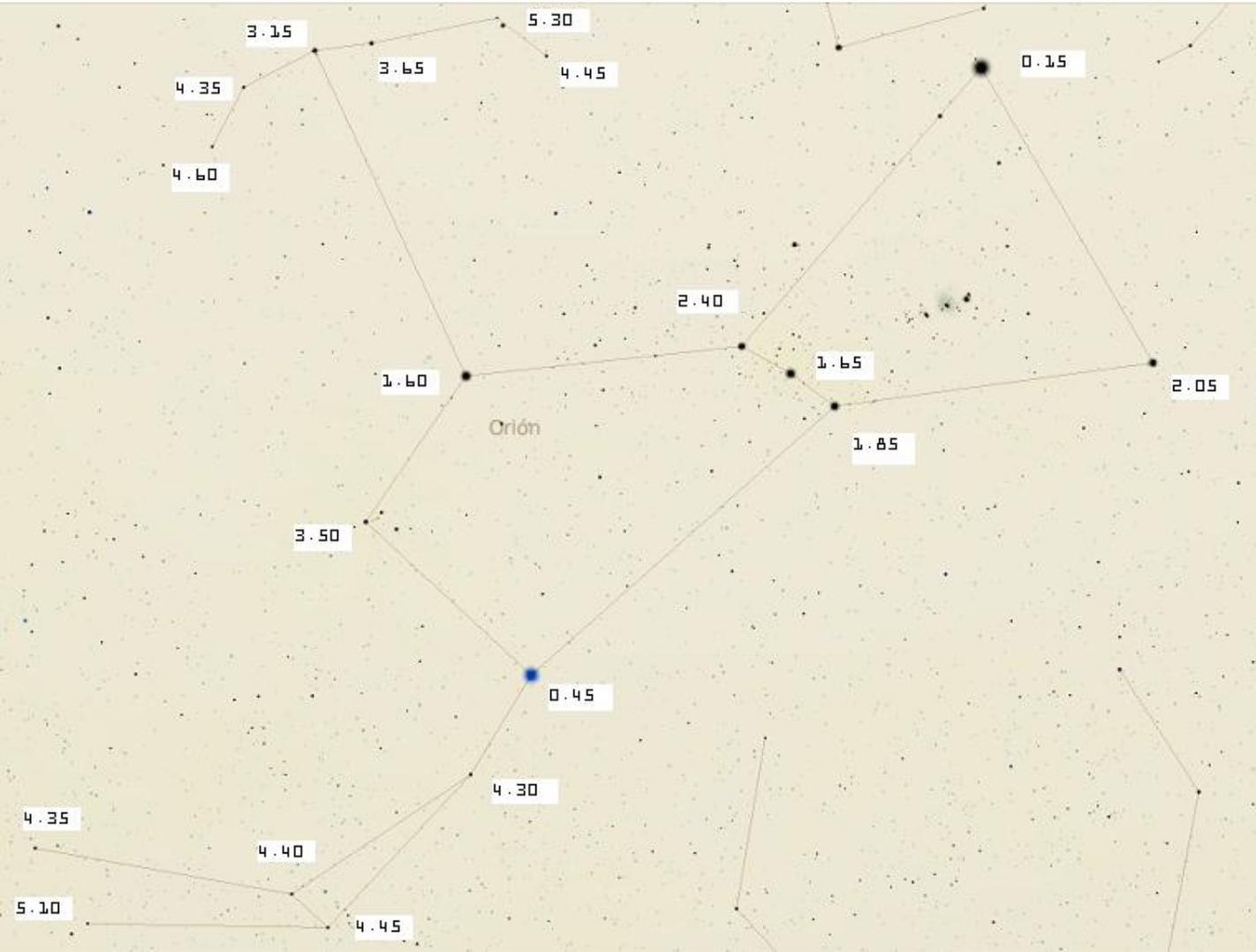
Para la toma de datos tomamos en cuenta la magnitud relativa de las estrellas, no la magnitud absoluta; la magnitud absoluta toma en cuenta el valor verdadero de brillo que emite una estrella a una distancia predeterminada; mientras que la magnitud relativa toma en cuenta el valor aparente del brillo que emite la estrella vista desde la Tierra. Por ejemplo si tenemos dos focos uno de 100 watts a 700 metros de distancia, y otro de 50 watts a 30 metros de distancia, el que aparentemente brilla mas es el de 50 watts, aun cuando el que tiene mas potencia es el de 100 watts. Entonces tomamos en cuenta la magnitud relativa porque lo que se pierde con la contaminación lumínica es el brillo aparente de las estrellas.

Las magnitudes relativas de las estrellas de cada constelación se obtuvieron con el software Stellarium.

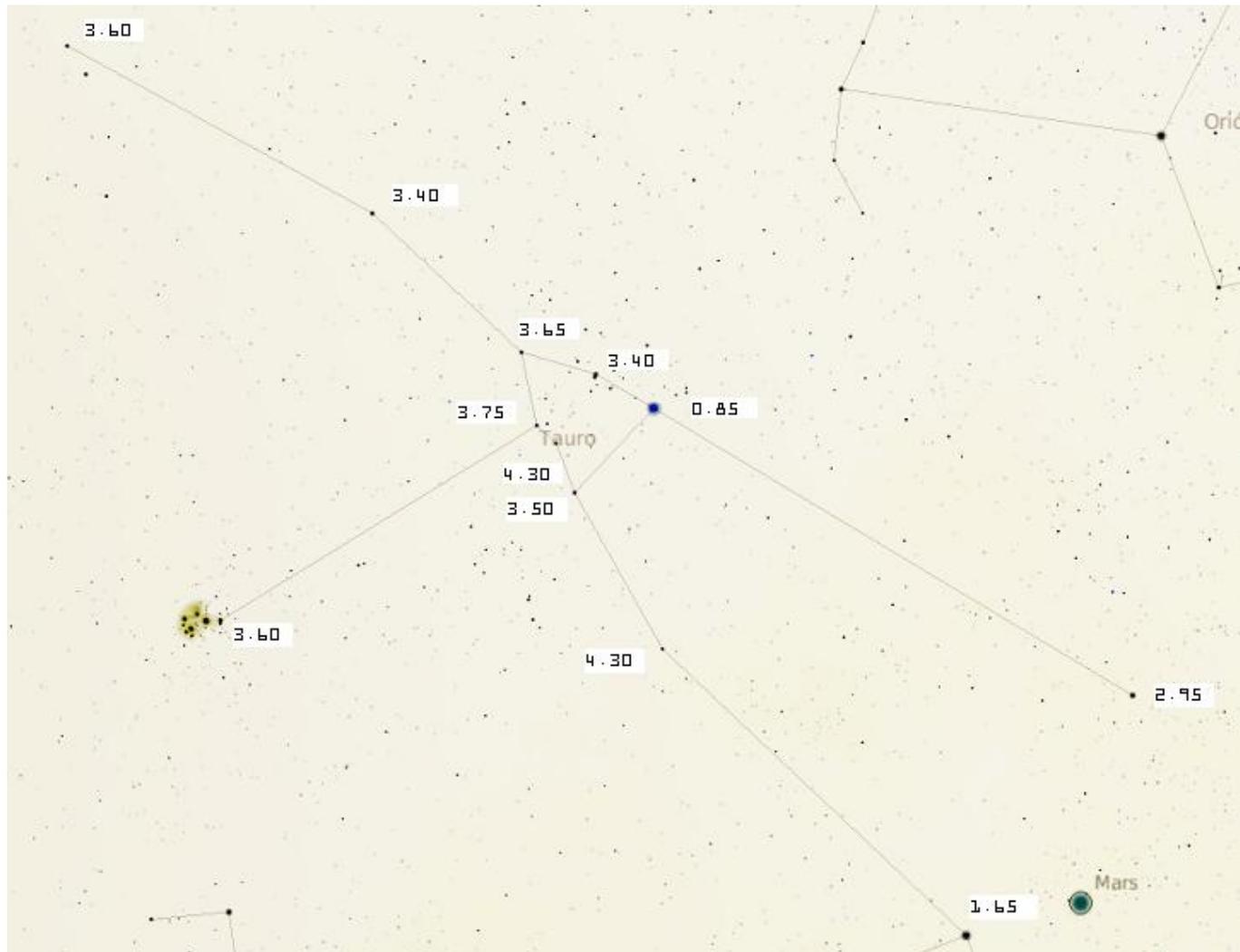
ANEXO N° 02. CONSTELACIONES TOMADAS COMO REFERENCIA



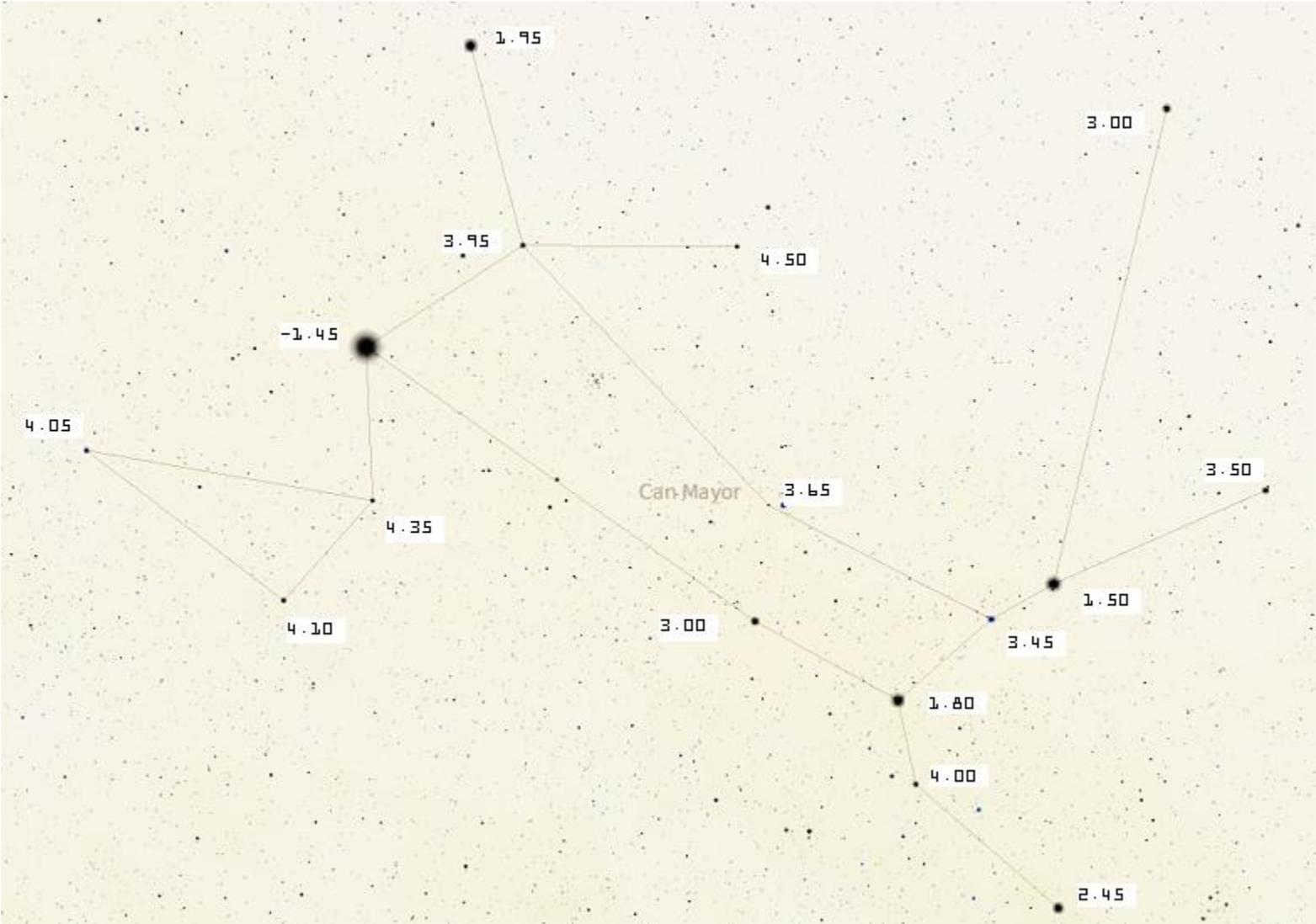
Orión y las magnitudes relativas de sus estrellas



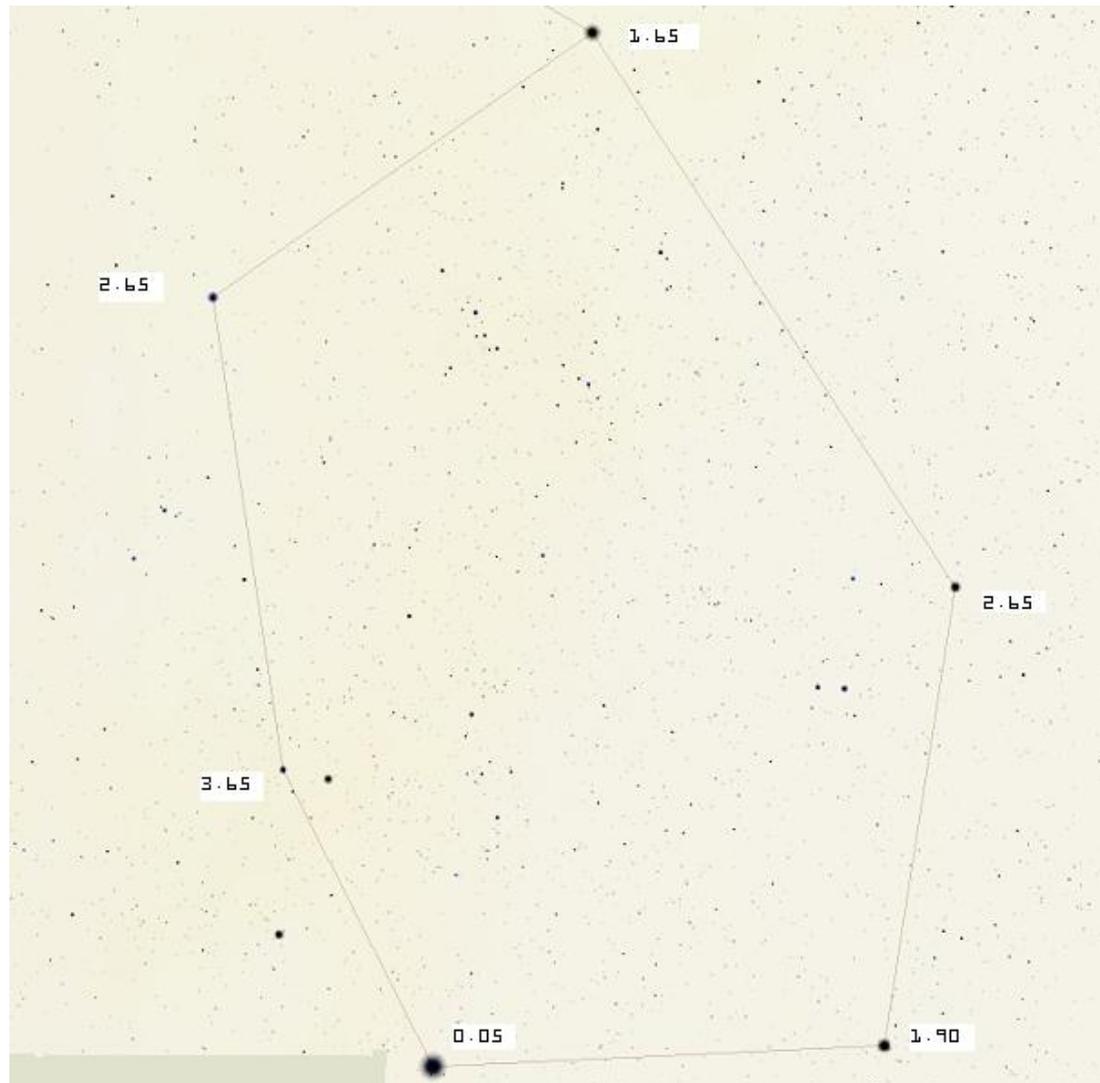
Tauro y las magnitudes relativas de sus estrellas



Can Mayor y las magnitudes relativas de sus estrellas



Cochero y las magnitudes relativas de sus estrellas



Magnitudes relativas de las estrellas de referencia

Aquí están ordenadas las estrellas desde la mas perceptible a la menos perceptible.

MAG-REL	NOMBRE	CONSTELACION
-1.45	SIRIUS	CAN MAYOR
0.05	CAPELLA	COCHERO
0.15	RIGEL	ORION
0.45	BETELGEUSE	ORION
0.85	ALDEBARAN	TAURO
1.5	ADARA	CAN MAYOR
1.6	BELLATRIX	ORION
1.65	ALNILAM	ORION
1.65	ALNATH	TAURO
1.65	ALNATH	COCHERO
1.8	WEZEN	CAN MAYOR
1.85	ALNITAK	ORION
1.9	MENKALINAM	COCHERO
1.95	MIRZAM	CAN MAYOR
2.05	SAIPH	ORION
2.4	MINTAKA	ORION
2.45	ALUDRA	CAN MAYOR
2.65	AUR 2,65	COCHERO
2.65	3 AUR	COCHERO
2.95	12 TAU	TAURO
3	2 CMA 3,45	CAN MAYOR
3	FARUD	CAN MAYOR
3.15	ORI 3,15	ORION
3.4	7 TAU	TAURO
3.4	3 TAU	TAURO
3.45	2 CMA 3,45	CAN MAYOR
3.5	MEISSA	ORION
3.5	1 CMA 3,5	CAN MAYOR
3.5	AIN	TAURO
3.6	TAU	TAURO
3.6	ATLAS	TAURO
3.65	ORI 3,65	ORION
3.65	5 TAU	TAURO
3.65	AUR 3,65	COCHERO
3.75	6 TAU 3,75	TAURO

MAG-REL	NOMBRE	CONSTELACION
4	2 CMA 4	CAN MAYOR
4.05	1 CMA 4,05	CAN MAYOR
4.1	MULIPHEIN	CAN MAYOR
4.3	6 ORI 3,40	ORION
4.3	9 TAU	TAURO
4.3	6 TAU 4,3	TAURO
4.35	ORI 4,35	ORION
4.35	5 ORI	ORION
4.35	2CMA 4,35	CAN MAYOR
4.4	6 ORI 4,40	ORION
4.45	1 ORI	ORION
4.45	7 ORI	ORION
4.5	CMA 4,5	CAN MAYOR
4.6	ORI 4,60	ORION
5.1	6 ORI 5,1	ORION
5.3	ORI 5,3	ORION

ANEXO N° 03. PUNTOS DE MONITOREO

DISTRITOS	Sector	PUNTOS DE MONITOREO				Cruces
		CODIGO	COORDENADAS UTM			
			este	norte		
EL TAMBO	Junta Vecinal 01 y 17	NH	1	475,287.55	8,671,270.68	Ca. 24 de Mayo con Av. Jorge Chávez
	Junta Vecinal 01 y 17	NH	2	474,129.91	8,670,614.82	Av. Mariscal Castilla con Av. Circunvalación
	Junta Vecinal 15 y 16	NG	3	475,366.60	8,670,543.81	Av. Universitaria con 09 de Octubre
	Junta Vecinal 15 y 16	NG	4	476,542.13	8,670,061.46	Av. La esperanza con Camino a Hualahoyo
	Junta Vecinal 02 y 03	NG	5	475,407.32	8,669,728.02	Ca. La cantuta con Ca. Pachacútec
	Junta Vecinal 02 y 03	NF	6	474,376.95	8,668,634.04	Psje. Los Guindales con Ca. Alhelí
	Junta Vecinal 09, 10 y 11	NF	7	474,830.40	8,667,901.49	Ca. Atalaya con Ca. Alhelí
	Junta Vecinal 09, 10 y 11	NA	8	476,055.16	8,668,423.31	Av. Progreso con Ca. Argentina
	Junta Vecinal 13 y 14	NA	9	475,754.86	8,667,422.80	Ca. Libertad con Ca. Manzanos
	Junta Vecinal 13 y 14	ND	10	477,781.46	8,668,601.15	Prlog. Mariátegui con Av. Francisco de la Calle
	Junta Vecinal 04 y 05	ND	11	476,861.43	8,667,867.53	Prlog. Mariátegui con Prlog. Cajatambo
	Junta Vecinal 08 y 12	NE	12	474,479.42	8,666,969.54	Ca. José Martí con Ca. Los Insurgentes
	Junta Vecinal 06 y 07	NB	13	476,624.00	8,666,664.17	Av. Calle Real con Av. Trujillo
	Junta Vecinal 06 y 07	NC	14	475,582.01	8,666,223.55	Prlog. Juan Parra del Riego con Ca. Unanue
HUANCAYO	Palián, Uñas	CF	15	479,020.74	8,670,818.48	Av. La Victoria con Ca. El Sol
	Palián, Uñas	CF	16	479,220.14	8,669,477.11	Ca. José Olaya con Av. Palián
	Chorrillos	CA-1	17	479,027.68	8,668,022.91	Ca. Santa Lucía con Ca. Los Sauces
	Torre Torre, Libertadores	CE	18	479,498.87	8,666,961.92	Ca. Hidra con Av. Orión
	San Carlos, Pichcus	CA	19	477,888.74	8,666,619.72	Psje. San Antonio con Av. Centenario
	San Carlos, Pichcus	CA	20	477,665.40	8,666,156.62	Ca. Guido con Av. Giraldez
	Ocopilla, Cerrito La Libertad	CB	21	478,976.36	8,665,802.66	Jr. Sánchez Cerro con Ca. Inca Pachacútec
	El Carmen, Sr de los Milagros, etc.	CC	22	477,332.50	8,665,500.88	Av. Calle Real con Ca. Piura
	Yauris, Cajas Chico, Yanama, Solidaridad	CD	23	475,156.62	8,664,870.50	Av. Daniel Alcides Carrión con Ca. Las Dalias
	Yauris, Cajas Chico, Yanama, Solidaridad	CD	24	476,563.62	8,664,669.88	Av. Yanama con Ca. Angaraes
CHILCA	Esperanza, Sntsma Cruz de Chilca, Ancala	SA	25	478,314.89	8,664,701.80	Av. Jacinto Barra con Ca. Ricardo Palma
	Esperanza, Sntsma Cruz de Chilca, Ancala	SA	26	479,015.65	8,663,896.95	Ca. José Olaya con Ca. 14 de Julio
	Azapampa	SD	27	475,766.23	8,663,703.35	Av. Leoncio Prado con Psje. Progreso
	Puzo, José Gálvez, Auray, Auquimarca	SC	28	476,449.19	8,662,410.26	Av. Progreso con Av. Panamericana Sur
	Puzo, José Gálvez, Auray, Auquimarca	SC	29	477,353.95	8,663,495.14	Av. Los Próceres con Av. Huancavelica
	Chilca Cercado, Sr de Los Milagros, etc	SB	30	478,476.21	8,662,864.44	Prlog. Arequipa con Psje. s/n
	Chilca Cercado, Sr de Los Milagros, etc	SB	31	479,382.15	8,662,108.75	Av. Héroes de Azapampa con Av. Calle Real

ANEXO N° 04.
RECORRIDO DE LOS PUNTOS DE MONITOREO
POR DÍAS

A continuación se detalla el orden del itinerario, las horas de toma de datos, y los días en que se fue a dichas zonas.

DIAS	PUNTO	hora	hora	hora
	NH 1	19:56	19:47	19:38
	NH 2	20:15	20:09	20:01
	NG 3	20:41	20:33	20:25
	NG 4	21:14	21:07	20:58
	NG 5	21:38	21:30	21:21
20-ene	NF 6	22:13	22:01	21:47
16-feb	NF 7	22:44	22:31	22:14
07-mar	NA 8	19:56	19:47	19:44
	NA 9	20:33	20:22	20:18
	ND 10	21:07	20:54	20:49
	ND 11	21:29	21:16	21:13
	NE 12	21:59	21:44	21:42
	NB 13	22:45	22:29	22:26
	NC 14	23:36	23:10	23:05
	CF 15	19:57	19:46	19:38
	CF 16	20:27	20:15	20:06
	CA-1 17	20:43	20:28	20:20
22-ene	CE 18	21:04	20:49	20:42
18-feb	CA 19	21:20	21:04	20:56
08-mar	CA 20	21:51	21:36	21:26
	CB 21	22:17	22:01	21:52
	CC 22	23:05	22:40	22:29
	CD 23	23:26	23:02	22:51
	CD 24	19:56	19:46	19:37
	SA 25	20:27	20:15	20:04
	SA 26	20:51	20:38	20:26
25-ene	SD 27	21:13	20:59	20:48
21-feb	SC 28	21:30	21:18	21:07
09-mar	SC 29	22:05	21:51	21:41
	SB 30	22:39	22:26	22:17
	SB 31	19:55	19:45	19:37

ANEXO N° 05. DATOS OBTENIDOS EN EL MONITOREO

DIAS	PUNTO		COORDENADAS		DATO PRELIMINAR 1		DATO PRELIMINAR 2		DATO PRELIMINAR 3		DATO FINAL A PROCESAR	
			este	norte	MAG - LIM	NUBOSIDAD	MAG - LIM	NUBOSIDAD	MAG - LIM	NUBOSIDAD	MAG - LIM	NUBOSIDAD
	NH	1	475,287.55	8,671,270.68	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(5/8)	5.30	(5/8)
	NH	2	474,129.91	8,670,614.82	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(3/8)	5.30	(4/8)
	NG	3	475,366.60	8,670,543.81	5.30	(3/8)	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)
	NG	4	476,542.13	8,670,061.46	5.30	(3/8)	5.30	(4/8)	5.30	(3/8)	5.30	(3/8)
	NG	5	475,407.32	8,669,728.02	5.10	(5/8)	5.30	(4/8)	5.10	(3/8)	5.30	(5/8)
20-ene	NF	6	474,376.95	8,668,634.04	4.60	(3/8)	5.10	(5/8)	4.60	(4/8)	5.10	(5/8)
16-feb	NF	7	474,830.40	8,667,901.49	5.10	(5/8)	4.60	(4/8)	4.60	(4/8)	5.10	(5/8)
07-mar	NA	8	476,055.16	8,668,423.31	4.60	(3/8)	5.10	(4/8)	5.10	(3/8)	5.10	(4/8)
	NA	9	475,754.86	8,667,422.80	4.30	(3/8)	4.35	(4/8)	4.40	(3/8)	4.40	(5/8)
	ND	10	477,781.46	8,668,601.15	5.30	(5/8)	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(3/8)
	ND	11	476,861.43	8,667,867.53	4.60	(5/8)	4.60	(3/8)	4.60	(5/8)	4.60	(4/8)
	NE	12	474,479.42	8,666,969.54	5.10	(3/8)	5.10	(4/8)	5.10	(3/8)	5.10	(4/8)
	NB	13	476,624.00	8,666,664.17	5.10	(3/8)	4.60	(3/8)	5.10	(3/8)	5.10	(4/8)
	NC	14	475,582.01	8,666,223.55	5.10	(4/8)	4.60	(4/8)	5.10	(4/8)	5.10	(5/8)
	CF	15	479,020.74	8,670,818.48	5.30	(5/8)	5.30	(3/8)	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)
	CF	16	479,220.14	8,669,477.11	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)
	CA-1	17	479,027.68	8,668,022.91	5.30	(4/8)	5.30	(3/8)	5.30	(4/8)	5.30	(5/8)
22-ene	CE	18	479,498.87	8,666,961.92	5.10	(3/8)	5.10	(4/8)	5.30	(3/8)	5.30	(5/8)
18-feb	CA	19	477,888.74	8,666,619.72	4.30	(3/8)	4.30	(3/8)	4.50	(3/8)	4.50	(4/8)
08-mar	CA	20	477,665.40	8,666,156.62	4.45	(3/8)	4.35	(4/8)	4.30	(5/8)	4.45	(5/8)
	CB	21	478,976.36	8,665,802.66	4.10	(5/8)	4.30	(5/8)	4.10	(3/8)	4.30	(5/8)
	CC	22	477,332.50	8,665,500.88	5.10	(4/8)	5.30	(5/8)	5.10	(3/8)	5.30	(4/8)
	CD	23	475,156.62	8,664,870.50	5.10	(4/8)	5.10	(5/8)	5.10	(4/8)	5.10	(4/8)
	CD	24	476,563.62	8,664,669.88	4.10	(4/8)	4.05	(4/8)	4.30	(3/8)	4.30	(4/8)
	SA	25	478,314.89	8,664,701.80	4.60	(4/8)	5.10	(4/8)	5.10	(4/8)	5.10	(5/8)
	SA	26	479,015.65	8,663,896.95	5.30	(4/8)	5.10	(4/8)	5.30	(3/8)	5.30	(5/8)
25-ene	SD	27	475,766.23	8,663,703.35	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)
21-feb	SC	28	476,449.19	8,662,410.26	5.30	(4/8)	5.30	(4/8)	5.30	(5/8)	5.30	(4/8)
09-mar	SC	29	477,353.95	8,663,495.14	4.60	(4/8)	4.60	(4/8)	4.60	(3/8)	4.60	(4/8)
	SB	30	478,476.21	8,662,864.44	5.10	(5/8)	5.10	(4/8)	5.10	(5/8)	5.10	(5/8)
	SB	31	479,382.15	8,662,108.75	5.30	(3/8)	5.30	(4/8)	5.30	(5/8)	5.30	(5/8)

ANEXO N° 06

CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

A. Determinación del índice de correlación procesado en minitab

Correlations: magnitud, nubosidad

magnitud
límite
nubosidad -0.11771526

Cell Contents: Pearson correlation

B. Determinación del coeficiente de variabilidad procesado en excell

S	X	CV
0.000	5.30	0.000
0.000	5.30	0.000
0.000	5.30	0.000
0.000	5.30	0.000
0.115	5.17	2.235
0.289	4.77	6.056
0.289	4.77	6.056
0.289	4.93	5.852
0.050	4.35	1.149
0.000	5.30	0.000
0.000	4.60	0.000
0.000	5.10	0.000
0.289	4.93	5.852
0.289	4.93	5.852
0.000	5.30	0.000
0.000	5.30	0.000
0.000	5.30	0.000
0.115	5.17	2.235
0.115	4.37	2.644
0.076	4.37	1.749
0.115	4.17	2.771
0.115	5.17	2.235
0.000	5.10	0.000
0.132	4.15	3.188
0.289	4.93	5.852
0.115	5.23	2.206
0.000	5.30	0.000
0.000	5.30	0.000
0.000	4.60	0.000
0.000	5.10	0.000
0.000	5.30	0.000

S = Desviación estándar

X = Promedio

CV= Coeficiente de variabilidad

ANEXO N° 07. GALERIA DE IMÁGENES.



Luminarias direccionadas hacia arriba, lo cual su flujo debe ser hacia abajo.



Contraste de luminarias.

ANEXO N° 07. (Continuación)

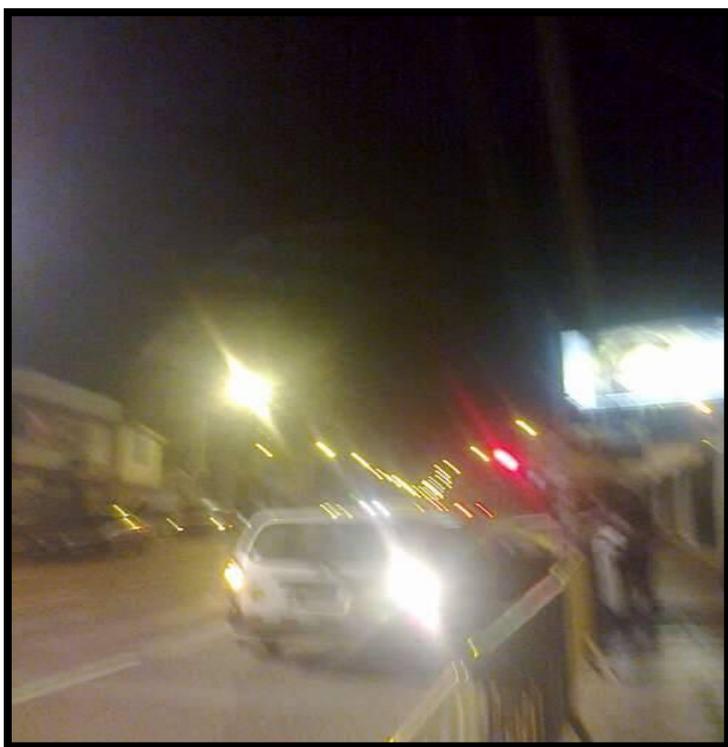


Orientación



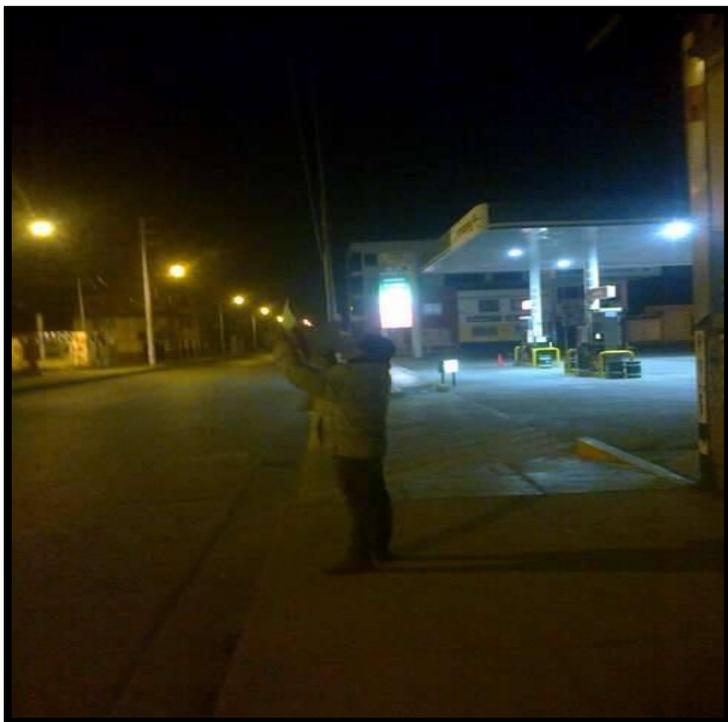
Muestreo, Chorillos.

ANEXO N° 07. (Continuación)



Contraste lumínico

ANEXO N° 07. (Continuación)



Iluminación apantallada correctamente.

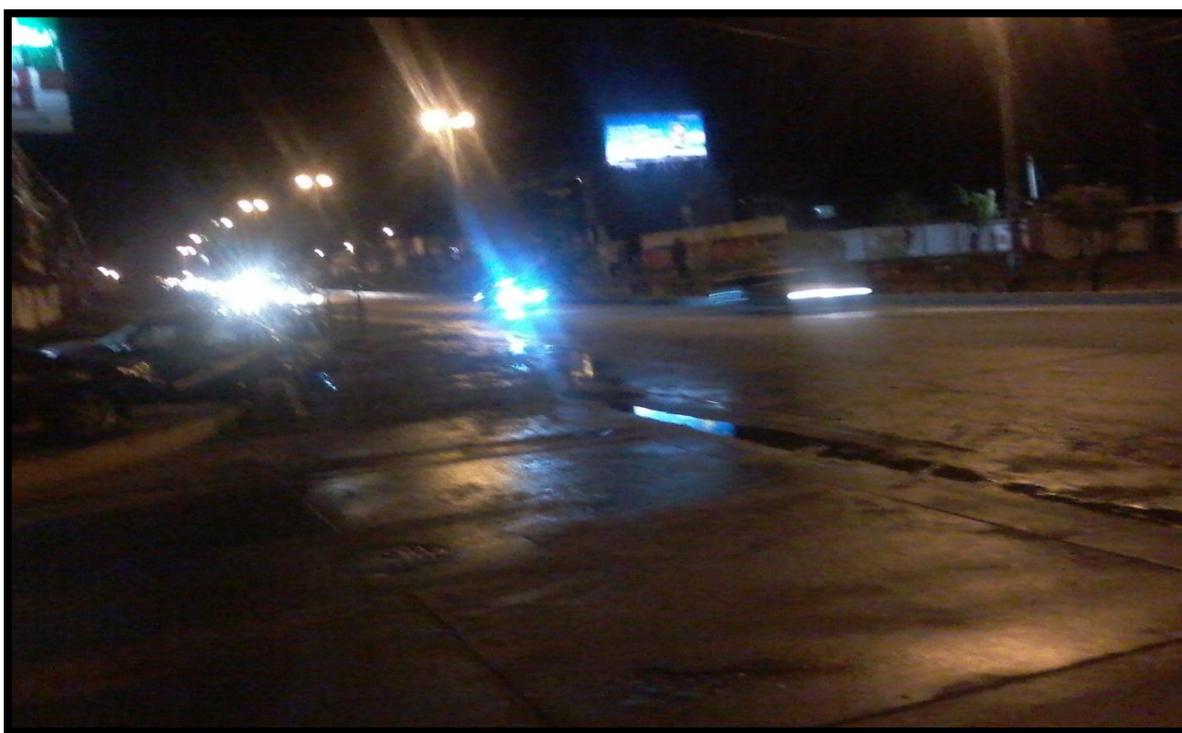


Iluminación apantallada, y hacia arriba.

ANEXO N° 07. (Continuación)



Luces de vehículos provocan deslumbramiento.



Intrusión lumínica.