Informe Anual de Calidad Ambiental

Matriz Aire, 2016

"Contratación de Vinculación Externa entre la Universidad Nacional y la Municipalidad de Belén, para el establecimiento del Programa de Observatorio Ambiental en el cantón de Belén"

Grupo Técnico Encargado de la Elaboración del Informe

Ing. Tomás Soto Murillo

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Dr. Jorge Herrera Murillo

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Bach. Jose Mario Hidalgo Lobo

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Bach. Daihan Herrera Monge

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Bach. Pablo Salas Jiménez

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Bach. Minor Vargas Rojas

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Colaboradores en trabajo de campo

Víctor Hugo Beita

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

José Ramírez

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Jorge Chavarría

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

David Solórzano

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Marlon Cruz

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Rosebel Sevilla

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Contenido

Resumen Ejecutivo 3

1. Introducción. 5

2. Marco Teórico 9

Contaminación y Calidad del aire 10

Contaminantes Criterio 11

3. Metodología 16

Monitoreo de la calidad del aire. 17

Equipo de muestreo 20

Controles de Calidad 22

Calibración de la velocidad de flujo de muestreo para el muestreador de alto volumen PM_{10} para la red manual. 22

Análisis de disolución patrón para la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en aire ambiente por el método de difusión pasiva 23

4. Análisis de Resultados 25

Análisis PM_{10} 26

Análisis de NO_2 29

5. Conclusiones y Recomendaciones 41

6. Bibliografía. 44

Resumen Ejecutivo

El monitoreo ambiental es una herramienta en la planificación territorial, incorporando la variable ambiental como uno de los ejes para la toma de decisiones de los gobiernos locales. Por tal motivo, la Municipalidad de Belén desde el 2007 cuenta con un Observatorio Ambiental que establece una serie de muestreos en cuerpos de agua superficiales y calidad del aire con el fin de contar con datos objetivos en diferentes puntos de interés del cantón. La metodología utilizada para ejecutar el monitoreo de la calidad del aire consistió en un muestreo manual de partículas PM_{10}, mediante un muestreador de alto volumen, y un muestreo mediante difusión pasiva para determinar concentración de dióxido de nitrógeno. De esto se pudo obtener que la concentración promedio anual del punto de monitoreo de PM_{10}, no cumple, según los límites de concentración máximos permitidos por la legislación vigente. Asimismo, en los resultados de NO_2, la concentración promedio anual para los sitios BEN-01, BEN-03, BEN-04, BEN-06 y BEN-09 supera el valor establecidos por la OMS de 40 $\mu g/m^3$ y ocurre en los sitios ubicados en zonas comerciales e industriales del cantón.

1. Introducción.

El crecimiento económico y la globalización han originado evidentes beneficios para la sociedad, pero al mismo tiempo han provocado la aparición de nuevas amenazas, entre ellas, la contaminación ambiental (Vargas-Marcos, 2005). Se entiende por contaminación la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones que afectan el bienestar y la salud de las personas, así como el uso de estos recursos. Estos contaminantes pasan fácilmente de un medio a otro, complicando la solución ante esta problemática (Encinas-Malagón, 2011).

Existen diferentes tipos de contaminación, entre ellas: contaminación del agua, contaminación del aire, contaminación del suelo, contaminación lumínica, contaminación sonora y contaminación visual. Entre las alteraciones en el ambiente más graves relacionadas con los fenómenos de contaminación son: escapes radiactivos, smog, efecto invernadero, lluvia ácida y eutrofización de las aguas (Bermúdez, 2010).

la contaminación atmosférica es una de las problemáticas que se presentan con mayor frecuencia en el mundo. Es por tal razón que grupos de investigadores y diferentes organismos han prestado su atención para formular medidas de mitigación o eliminación (Valdés-García, 2019). De esta manera, la protección de la calidad del aire es fundamental ante la problemática de salud ambiental por motivo de la interacción que tiene el aire sobre los demás componentes de la biosfera, cumpliendo un rol protector en las diferentes funciones ecológicas (Kachurin, Komashchenko, & Morkun, 2015).

Por lo tanto, ante la crisis ambiental a la que se enfrenta los diferentes países debido a la contaminación y el agotamiento de los recursos naturales, surge la necesidad en las autoridades ambientales en desarrollar políticas para mejorar la situación (Rodríguez-Miranda et al, 2016).

Como resultado, se debe de brindar un adecuado control en búsqueda de la reducción del grado de contaminación ambiental por medio de un monitoreo ambiental, permitiendo evaluar objetivamente el impacto con el fin de analizar los cambios a partir de un plan de acción para la mitigación y remediación ambiental (Puliafito, 2014). Los planes de monitoreo ambiental son un instrumento que

permiten conocer las tendencias de las diferentes variables ambientales de interés para identificar los límites de resiliencia, estabilidad o cambios de estado en las diferentes matrices ambientales a analizar (Chiappa-Carrara, y otros, 2017).

Por lo tanto, para la formulación de un Plan Estratégico de Gestión ambiental es vital considerar los resultados obtenidos a partir del monitoreo ambiental. Este plan es un instrumento que permite orientar las acciones y criterios hacia la mejora de la calidad ambiental en el territorio a través de los plazos definidos (Rodríguez-Miranda et al, 2016).

Ante dicho panorama, la Municipalidad de Belén como ente gubernamental del cantón, busca monitorear la calidad de los cuerpos de agua y de calidad del aire a través del Observatorio Ambiental establecido en conjunto con el Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA) de la Universidad Nacional (UNA). Tal alianza establece un sistema de monitoreo ambiental que permite cuantificar el grado de contaminación con el fin de obtener insumos para la formulación de estrategias de mitigación y remediación ambiental.

2. Marco Teórico

Contaminación y Calidad del aire

Una de las principales problemáticas ambientales del siglo XXI es la contaminación atmosférica, la cual es definida como " el deterioro de la pureza de la atmósfera por la presencia de agentes de contaminación, tales como partículas sólidas, polvo, humo, vapor, gases, materias radioactivas y otros que el Ministerio de Salud defina como tales, en concentraciones superiores a las permitidas por las normas de pureza del aire aceptadas internacionalmente y declaradas oficiales por el Ministerio" (Ley 5395, 1974).

Si bien es cierto la contaminación atmosférica puede desarrollarse por medio de actividades de origen natural; como erupciones volcánicas y partículas biológicas arrastradas por el viento; es importante destacar que el elevado número de contaminantes utilizados en la generación de procesos antrópicos como la agroindustria, el incremento automotriz, las actividades agropecuarias, así como un crecimiento económico y el acelerado proceso de urbanización han influenciado significativamente en el aumento de gases y partículas en el medio ambiente (Romero, 2016), generando así un incremento en la contaminación atmosférica y la calidad del aire.

Es importante señalar que los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en dos categorías. La primera de ella corresponde a los contaminantes primarios que son aquellas partículas que pueden ser emitidas como tales a la atmósfera; entre los contaminantes primarios se pueden encontrar dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), material particulado (PM) hidrocarburos, entre otros (Carnicer, 2011).

Por otra parte, se pueden encontrar los contaminantes secundarios los cuales se desarrollan por medio de reacciones químicas, dichas reacciones suceden de la interacción entre gases precursores en la atmósfera para formar una nueva partícula por condensación emitiéndose directamente a la atmosfera (Agirre, A ; Sánchez, L ; Menéndez, M, 2006). Dentro de esta clasificación es normal encontrar algunos contaminantes como ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2) producto de

la oxidación del monóxido de nitrógeno (NO) entre otros (Sanchez, Ramirez, Huertas, & Cervantes, 2015).

Para medir los contaminantes anteriores, se crea el Índice de Calidad del Aire (AQI por sus siglas en ingles) el cual indica el grado de pureza o contaminación atmosférica y los efectos para la salud conexos, calculando así los efectos nocivos de cinco contaminantes atmosféricos; ozono a nivel del suelo, contaminación por partículas, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno (NOW, 2016). Los anteriores clasificados en una escala de 0 a 500 entre bueno y peligroso respectivamente.

Cabe señalar que la calidad del aire es causante de múltiples enfermedades respiratorias y vasculares cada año, según datos de la Organización Mundial para la Salud (OMS) para el año 2018, la contaminación del aire representa uno de los principales problemas de la década, además señala que para el año 2012 se produjeron alrededor de 3 millones de muerte a nivel mundial a causa de problemas relacionados con la contaminación ambiental, esto debido al aumento de contaminantes criterio en el aire.

Contaminantes Criterio

Si bien es cierto existen distintos contaminantes que pueden afectar la calidad del aire tanto primarios como secundarios; son estos últimos los que generan mayores problemas desde el campo de la salud. A este tipo de agentes se les denomina contaminantes criterio y se refiere a sustancias representativas que han sido normadas estableciendo un limité máximo aceptable de concentración en el aire del total de las emisiones que se presentan en áreas industriales, urbanas o rurales. Por lo cual, se realiza una medición periódica y constante, para determinar la calidad del aire para una zona determinada (Mogrovejo, 2015).

Los contaminantes criterios normados son constituidos por ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y plomo (Pb) (Decreto Ejecutivo N° 39951-S, 2016). A continuación, se presenta una descripción sobre los contaminantes anteriores.

El óxido de nitrógeno (NO_2) es un gas corrosivo, oxidante que contiene un olor irritante, se produce cuando el oxígeno (O_2) y el nitrógeno (N_2) presentes en el aire se combinan químicamente a altas temperaturas (CEMCAQ, 2019). Se presenta en gran medida debido a la quema de combustibles fósiles (industria y automotrices). El NO_2 produce graves condiciones en la salud afectando principalmente órganos como los pulmones generando enfermedades infecciosas, el bazo y problemas cardiovasculares. Por otra parte contribuye en los cambios en la diversidad de especies debido a la eutrofización presente en el suelo y agua; además de contribuir a la formación de lluvia acida y de partículas (Briceño ; Herrera ; Solorzano; Beita ; Rojas, 2014).

Respecto al ozono (O_3), un gas incoloro formado por tres átomos de oxígeno que existe a nivel de la superficie de la tierra (ozono troposférico) y a nivel estratosférico (ozono estratosférico). El ozono troposférico es considerado dañino para la salud y se forma partir de reacciones químicas entre otros contaminantes presentes en la atmósfera específicamente de la reacción entre óxidos de nitrógeno (NO_x; NO y NO_2) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), así como el monóxido de carbono (CO) y el metano (CH_4) (CEMCAQ, 2019).

El ozono troposférico es el causante del smog, por lo tanto, tiene graves repercusiones en la salud; afectando principalmente los pulmones y promoviendo enfermedades como el asma e infecciones. Algunos de los efectos ambientales se encuentran asociados a la fotosíntesis, debido a que disminuye el rendimiento y la capacidad de reproducción de especies tanto de flora reduciendo la biodiversidad y contribuyendo al calentamiento global (Garcia ; Ramírez ; Ulloa ; Garcia ; Meulenert ; Alcalá, 2013).

El dióxido de azufre (SO_2), es considerado un gas incoloro e irritante que se encuentra en el aire que proviene principalmente de fuentes antropogénicas como la quema de combustibles en plantas eléctricas e industriales y en menor medida de fuentes naturales como erupciones volcánicas (Environmental Protection Agency, 2019). Algunos efectos en la salud que pueden presentarse como asma, dolores de cabeza, ansiedad e inflamación en el tracto respiratorio. Al igual que los

contaminantes anteriores contribuye a la perdida de ecosistemas y en gran cantidad provoca el enfriamiento de la atmosfera debido a la acumulación de partículas de sulfato (Briceño et al. 2014).

El material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$); es un contaminante atmosférico que incluye gran variedad de pequeñas partículas de sólidos, líquidos o sólidos y líquidos, tanto orgánicos como inorgánicos, naturales y antropogénicas, de composición variable suspendidos en el aire, emitido principalmente de contaminantes primarios que se forman en la atmósfera a través de conversiones de gas a sólido y que posee una composición diversa según el tiempo y espacio en el que se desarrolle (CEMCAQ, 2019).

El PM_{10} y $PM_{2.5}$ provienen de diferentes fuentes, las principales son la quema de combustibles fósiles, pavimento, erosión del suelo, polvo mineral y erupciones volcánicas. Las enfermedades asociadas pueden ser múltiples cardiovasculares, cáncer de varios tipos, daños en el sistema respiratorio y reproductivo. Algunos efectos ambientales son asociados a la perdida de ecosistemas, mientras que el tamaño de las partículas contribuye puede afectar el patrón de las lluvias (Echeverri ; Maya, 2008).

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro, el cual se puede encontrar de forma natural en la atmósfera, no obstante, este gas puede catalogarse como un agente contaminante del aire al desarrollarse de forma secundaria en la atmosfera (Carnicer, 2011). Algunas de las fuentes principales de emisión de CO es la quema de combustibles fósiles, mediante la desaceleración de los vehículos se producen grandes cantidades de CO a la atmosfera. Las enfermedades asociadas al CO son fuertes dolores de cabeza, mareos, fatiga y problemas cardiacos, así mismo el CO contribuye a la formación de CO_2 y O_3 (Briceño et al. 2014).

El plomo (Pb) es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre que suele usarse como aditivo para algunos combustibles, así como para la fabricación de algunas baterías, pinturas y pigmentos, soldadura, joyería y cosméticos ocasionando que su uso tenga un impacto ambiental importante, así

como un nivel de exposición humana considerables con sus respectivas consecuencias a la salud (Organización Mundial de la Salud, 2018).

3. Metodología

Monitoreo de la calidad del aire.

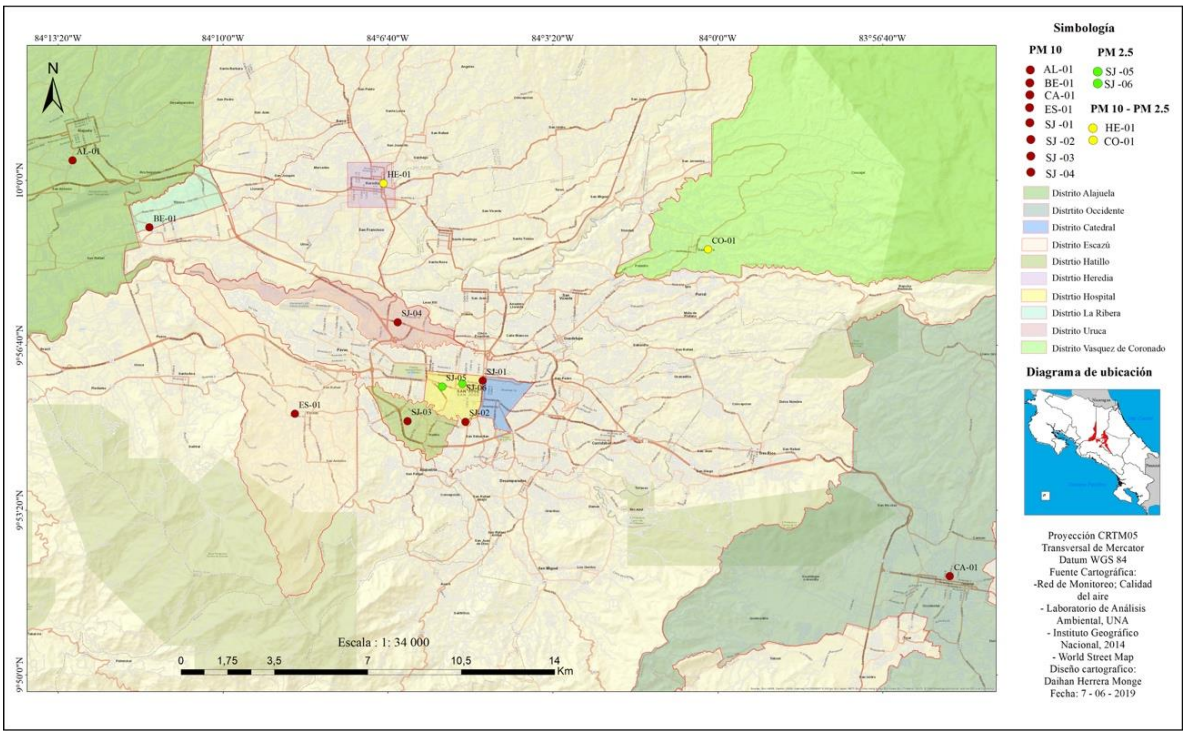
La labor de monitoreo continuo de la calidad de aire se ejecuta mediante distintos métodos, entre los cuales están el muestreo manual de partículas PM_{10} así como la utilización de muestreo mediante difusión pasiva para dióxido de nitrógeno. El Cuadro 1 indica el sitio de la red manual de monitoreo del Cantón de Belén.

Cuadro 1. Sitio de muestreo manual de material particulado PM_{10} en el Cantón de Bélen de Costa Rica.

Localización	Sitio de muestreo
La Ribera, Belén	BE-01

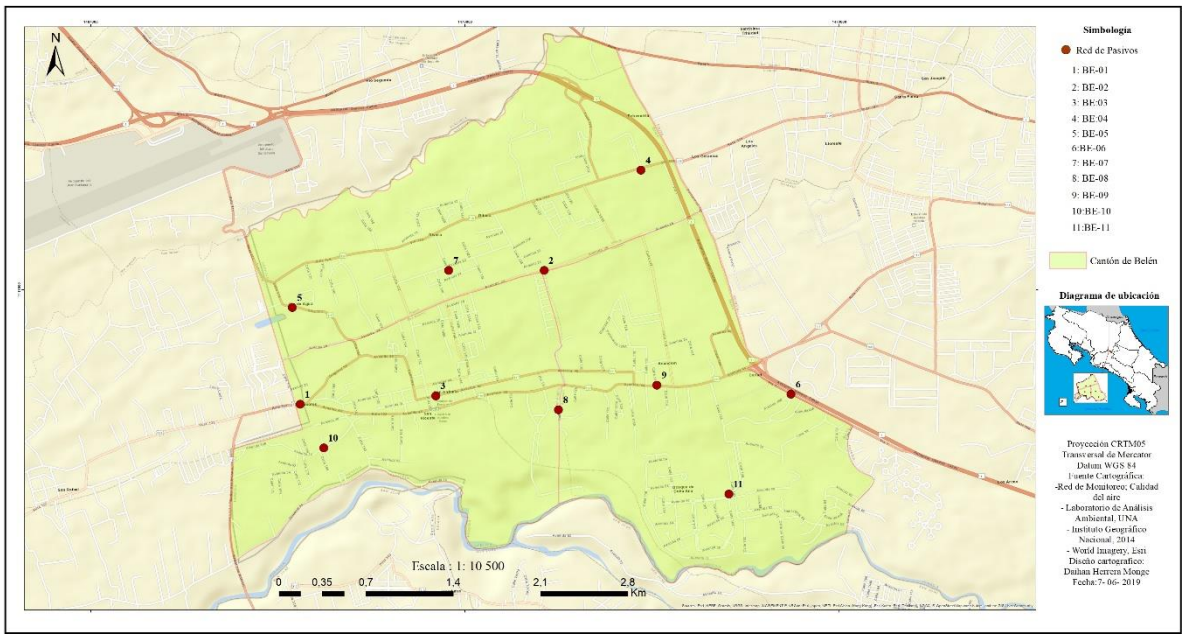
Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, el Cuadro 2 muestra los sitios de muestreo de la red pasiva de Belén. Así mismo la Figura 1 muestra la distribución espacial de los puntos de muestreo de la red manual de monitoreo de la GAM, dentro de la cual se encuentra el cantón de Belén; mientras que la Figura 2 detalla los puntos de muestreo para pasivos dentro del cantón de Belén la cual es compuesta por 11 sitios.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Distribución Espacial de la Red Manual de Monitoreo



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Distribución Espacial de la Red Manual de Monitoreo cantón de Bélen.

Cuadro 2. Sitios de muestreo de la red pasiva de Belén.

Ubicación del sitio	Código	Tipo de sitio	Ubicación del sitio	Código	Tipo de sitio
Frente a Centro Comercial Plaza Belén	BEN-01	Comercial	Centro Pedagógico Belén, frente al Hotel Marriot	BEN-02	Comercial
Costado norte de la Municipalidad de Belén	BEN-03	Comercial	Costado norte de la Firestone	BEN-04	Industrial
Parque Recreativo Ojo de Agua	BEN-05	Comercial	Antiguo Hotel Herradura	BEN-06	Comercial
Frente a iglesia católida de La Ribera	BEN-07	Residencial	Frente al Colegio Técnico Profesional Privado CIT	BEN-08	Residencial
50 m este de la plaza La Asunción	BEN-09	Comercial	Polideportivo Belén	BEN-10	Residencial
Residencial Cariari Rotonda	BEN-11	Residencia			

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, el Cuadro 3 resume las frecuencias con la que se ejecutan los muestreos para cada una de las técnicas durante el año 2016.

Cuadro 3. Frecuencias de muestreo para la red manual y pasiva durante el año 2016.

Muestreo	Frecuencia de muestreo
Red Manual de Monitoreo	3 veces a la semana
Red Pasiva*	Cada 22 días

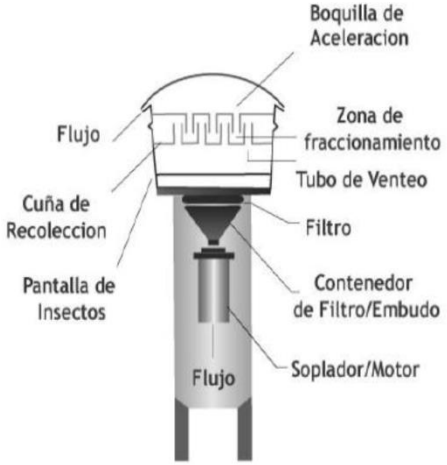
*Una campaña corresponde a ciclo de 22 días.

Fuente: Elaboración propia

Equipo de muestreo

El equipo utilizado para este propósito es un muestreador de aire de alto volumen. Este dispositivo cuenta con un motor que ejecuta una succión de aire ambiente a través de la parte superior, el aire atraviesa las boquillas y los tubos de ventilación donde se hace una separación de partículas gruesas. Luego se continúa acarreando a través de la cámara de impactación únicamente las partículas PM_{10}. Pasada la cámara de impactación, el aire atraviesa transversalmente el filtro, y todas las partículas que vienen arrastradas por él son retenidas en este medio. Finalmente, el aire sale por la parte inferior del motor, y se mezcla nuevamente con el aire ambiente.

La Figura 3 muestra un esquema del muestreador de alto volumen donde se señalan sus partes principales detalladas anteriormente.



Fuente: Elaboración: propia

Figura 3. Esquema de un medidor de alto volumen

El proceso para medir material particulado comienza con la preparación de los filtros que serán colocados en campo. Estos pasan por una etapa de acondicionamiento en una desecadora por 24h, para reducir la cantidad de humedad que contienen, y transcurrido este tiempo se pesan en balanza analítica. Luego los filtros son transportados a campo garantizando que no se contaminen previamente a colocarse en el muestreador de alto volumen, para lo que se colocan en sobres de manila. Cada filtro se coloca en el equipo utilizando guantes y pinzas, de modo que se manipule lo menos posible. El equipo se enciende y se permite pasar el flujo de aire de (1,13 ± 10 %) m^3 min^{-1} durante (24 ± 1) h.

Transcurrido el tiempo de muestreo, se recolectan los filtros siguiendo nuevamente todas las recomendaciones en cuanto a su manipulación. Una vez en el Laboratorio, se vuelven a colocar en una desecadora por 24 h y se pesan en balanza analítica, de modo que por diferencia se conozca la masa colectada en cada uno, y con el volumen de muestreo se conozca la concentración de partículas de ese día para cada sitio. Posteriormente se almacenan los filtros para la ejecución de los análisis de aniones y metales presentes.

El procedimiento seguido para estas redes consiste en que se colocan tubos, en estos sitios, con mallas tratadas con una mezcla de trietanolamina/acetona en proporción 1:8, que permite la fijación del dióxido de nitrógeno (NO_2) que entra en el tubo. Los tubos se ponen en campo por 21 días, permitiendo la permeación del NO_2 en las mallas.

Luego, los tubos se transportan al Laboratorio y las mallas se procesan con el reactivo de Griess-Saltzman para analizar la concentración de nitritos por la técnica de espectrofotometría ultravioleta-visible a una longitud de onda de 543 nm. Para esto se elabora una curva de calibración con 7 puntos de concentraciónes distintas del patrón de nitrito a partir de una disolución intermedia de 2000 μg/L, la cual debe hallarse en el ámbito lineal y tener un coeficiente de correlación mayor a 0,9950. El Cuadro 4 muestra las concentraciones para la curva de calibración del nitrito.

Cuadro 4. Concentraciones utilizadas para la elaboración de la curva de calibración de nitrito con el espectrofotómetro ultravioleta-visible.

Punto de la curva	Concentración del patrón (µg/L)
1	0 (blanco)
2	100,0
3	200,0
4	300,0
5	500,0
6	640,0
7	750,0

Fuente: Elaboración propia

Controles de Calidad

Calibración de la velocidad de flujo de muestreo para el muestreador de alto volumen PM_{10} para la red manual.

El equipo se calibra cada seis muestreos. Para realizar esta calibración se utiliza un kit que contiene tres platos provistos de agujeros que varían en número (10, 13 y 18) y que generan una caída de presión conocida que luego se verifica mediante una recta de calibración.

El procedimiento consiste en primero desconectar el motor del equipo del controlador de flujo y conectarlo a una fuente de poder estable de corriente. Luego se retira el portafiltros y se coloca el sujetador de platos del kit, asegurándose de que no hayan fugas. Una vez ajustado el sujetador, se coloca el plato correspondiente entre el cilindro metálico y el sujetado y se enciende el motor. Se deja que el equipo opere por 5 minutos para que alcance equilibrio térmico y transcurrido este tiempo se coloca el manómetro diferencial de agua previamente nivelado con la manguera del kit. Se mide la temperatura ambiente y la presión barométrica, y se anota la lectura del manómetro. Luego se conecta el manómtro a la manguera que conduce al medidor de flujo del equipo y se realiza la lectura correspondinete. Este procedimiento se repite para cada uno de los 3 platos y finalmente con las lecturas del manómetro y las temperaturas y presiones barométricas se calcula la velocidad de flujo en condiciones estándar y la presión

manométrica transformada para luego elaborar la curva de calibración, donde el coeficiente de correlación obtenido debe ser mayor a 0,9950.

Adicionalmente el cronómetro, balanza analítica, balanza semimicroanalítica, calibrador de flujo, termómetro y barómetro utilizados para la medición de PM_{10} están debidamente calibrados por un laboratorio acreditado para estas magnitudes, según el plan anual de calibración del Laboratorio.

Análisis de disolución patrón para la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en aire ambiente por el método de difusión pasiva

Se prepara una disolución madre de nitrito de sodio ya sea a partir del pesado y disolución del reactivo en agua desionizada o bien mediante el uso de una alícuota de una disolución estandar trazable. Luego se elabora una disolución intermedia y con esta se genera una curva de calibración de 6 patrones y un blanco en el ámbito lineal, los cuales se leen por triplicado. La curva resultante debe tener un coeficiente de correlación de 0,9950.

De igual manera la balanza analítica y el espectrofotómetro UV-visible que se utilizan para este análisis están debidamente calibrados por un laboratorio acreditado para estas magnitudes, de acuerdo al plan anual de calibración del Laboratorio.

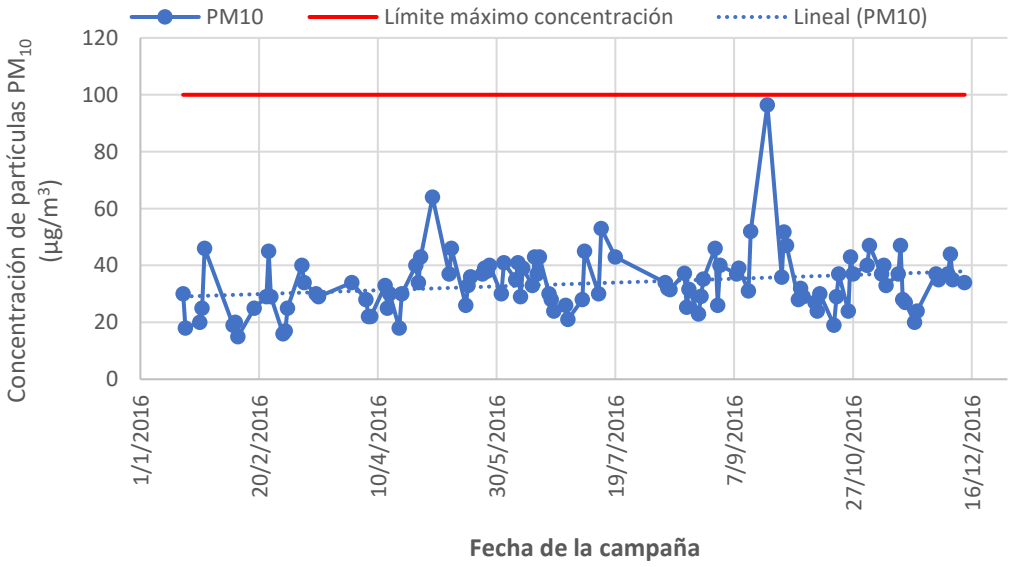
4. Análisis de Resultados

Análisis PM_{10}

La Municipalidad de Belén cuenta con un sitio monitoreo que forma parte de la red de la calidad del aire del Área Metropolitana, el cual se encuentra ubicado en la Ribera de Belén monitoreando la concentración de partículas PM_{10} de manera continua a lo largo del año. En el Anexo 1 se pueden observar los resultados de la concentración de PM_{10} en este sitio para el año 2016 así como el promedio anual de 33, 70 $\mu g/m^3$.

Se observa del cuadro anterior que para el año 2016 ningún valor sobrepasa los 100 $\mu g/m^3$ definidos como límite máximo de concentración de PM_{10} en 24 horas, según consta en el Decreto Ejecutivo N° 39951-S (Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio). Sin embargo, se aprecia que el promedio anual corresponde a 34 $\mu g/m^3$ el cual es ligeramente superior al límite anual definido en el mismo reglamento para este contaminante que corresponde a 30 $\mu g/m^3$.

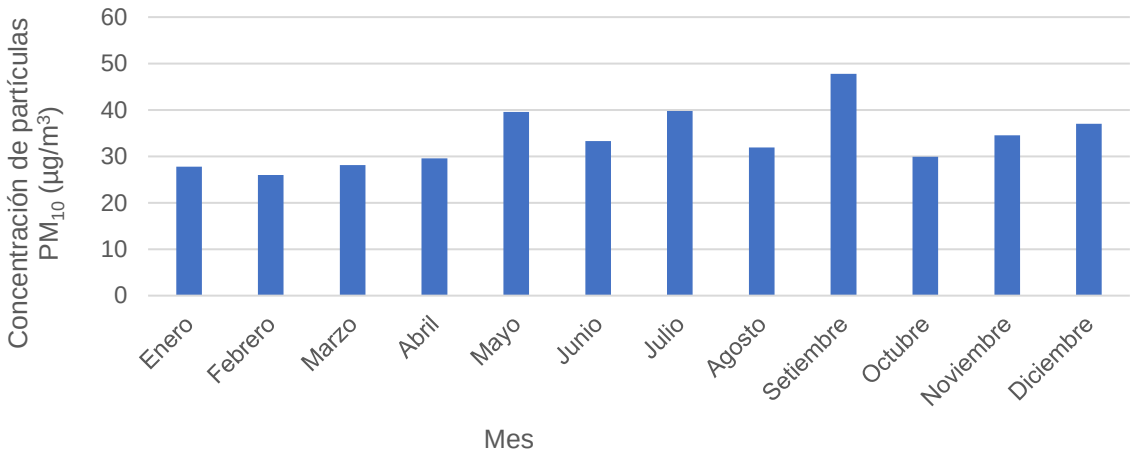
La Figura 5 muestra una representación gráfica del cuadro anterior donde puede observarse que los valores oscilan alrededor del valor promedio sin apreciarse una tendencia definida en los datos, aunque la línea de tendencia para este gráfico muestra un ligero incremento a lo largo del año.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Concentración de PM_{10} acomodada por fechas para el año 2016 en el sitio ubicado en la Ribera de Belén.

También no se observó para el año de monitoreo una tendencia estacional de material particulado. Sin embargo, los meses de mayo, julio y septiembre registraron eventos con los niveles más alto de este contaminante, con una concentración entre 40-48 µg/m^3 (ver figura 6).



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Concentración promedio mensual de PM_{10} para el año 2016 en el sitio ubicado en la Ribera de Belén.

Para poner en perspectiva el resultado obtenido para la concentración anual de PM_{10} en el sitio ubicado en la Ribera de Belén, resulta de utilidad comparar este resultado con los obtenidos para otros sitios de la red de monitoreo de calidad del aire del Área Metropolitana en el mismo año. De esta manera el Cuadro 8 muestra las concentraciones promedio anuales de PM_{10} para cada uno de los sitios de la red de monitoreo durante el 2016.

Cuadro 8. Concentración promedio anual de PM_{10} para los distintos sitios de la red de monitoreo del Área Metropolitana durante el año 2016.

Sitio de muestreo	Concentración promedio anual de PM_{10} (µg/m^3)
Catedral Metropolitana (SJ-01)	23
Municipalidad de San José (SJ-02)	24
Centro de Reciclaje Hatillo (SJ-03)	26

Sitio de muestreo	Concentración promedio anual de PM_{10} ($\mu g/m^3$)
CNFL La Uruca (SJ-04)	31
Municipalidad de Escazú (ES-01)	24
La Ribera (BE-01)	34
Rectoría UNA Heredia (HE-01)	50
Estación del Ferrocarril Cartago (CA-01)	27
Sede UTN Alajuela (AL-01)	25

Fuente: Elaboración propia

Puede observarse del cuadro anterior que, para los sitios de Rectoría de la UNA en Heredia, CNFL en la Uruca y la Ribera de Belén que corresponde al sitio de interés para este informe, la concentración promedio anual sobrepasa el límite establecido en el Decreto Ejecutivo N° 39951-S. Así mismo la concentración observada en la UTN está justo en el límite definido en el decreto. Cabe mencionar que el sitio no solo sobrepasa el límite establecido en el decreto, sino que además es el segundo sitio con mayor concentración de PM_{10} de la red de monitoreo del Área Metropolitana.

Finalmente, haciendo uso del software Minitab 18, se ejecuta un análisis de normalidad de los datos utilizando la prueba de Anderson-Darling de manera que pueda determinarse si los datos obtenidos siguen una distribución normal o no. Esta prueba permite indicar eventos con alto niveles de PM_{10}, que tienden a ocasionar desviaciones positivas importantes con respecto al valor promedio. Además, compara la función de distribución acumulada empírica de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Para ello se plantean dos hipótesis:

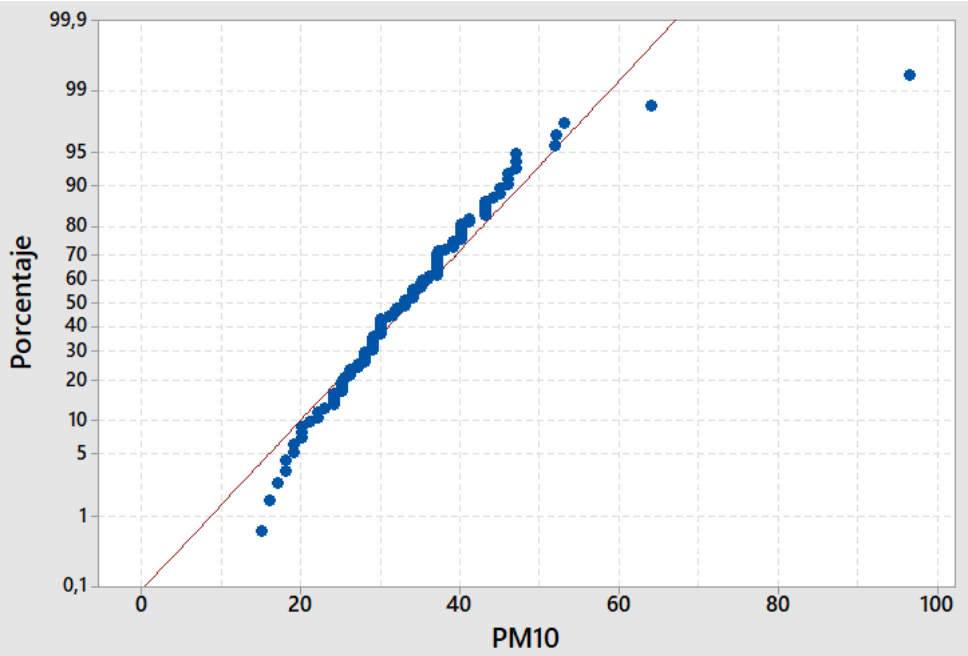
- H_0: Los datos siguen una distribución normal
- H_1: Los datos no siguen una distribución normal

El método genera un estadístico llamado valor-p el cual se compara con el valor de significancia (α) que para la prueba ejecutada es de 0,05. Si el valor-p $\leq \alpha$ se

rechaza la hipótesis nula (H_0) de que los datos siguen una distribución normal y se acepta la hipótesis alternativa (H_1) de que los datos no siguen una distribución normal. Por el contrario, si el valor-p > α entonces se acepta H_0 indicando que los datos siguen una distribución normal.

Al ejecutar la prueba con los datos de concentración de PM_{10} se obtiene que el valor-p es menor a 0,005 el cual es menor al valor de α de 0,05 lo que indica que se rechaza H_0 y los datos de PM_{10} para el año 2016 no siguen una distribución normal.

La Figura 7 muestra la gráfica de probabilidad normal para PM_{10} obtenida como parte de la prueba de Anderson-Darling, la cual confirma los resultados obtenidos al constatar que los datos en las colas se alejan de la normalidad esperada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Gráfica de probabilidad normal para los datos de PM_{10} del año 2016 en el sitio de la Ribera de Belén.

Análisis de NO_2

Como parte del monitoreo de la calidad del aire, la Municipalidad de Belén también cuenta con una red de monitoreo por difusión pasiva, la cual cuenta con 11 puntos distribuidos en todo el cantón según consta en el Cuadro 2 y en el mapa que se

muestra en la Figura 2. En esta red se monitorea la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2). Para ello se realizaron 15 campañas durante el año cada una con una duración de 22 días de exposición de los tubos pasivos. El Cuadro 9 muestra los resultados obtenidos para las campañas del 2016.

Cuadro 9. Concentración de NO_2 y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2016.

Concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$)				
Sitios de muestreo	Campaña 1 (Febrero)	Campaña 2 (Marzo)	Campaña 3 (Abril)	Campaña 4 (Mayo)
BEN-01	4	36	35	57
BEN-02	9	24	24	32
BEN-03	16	33	30	44
BEN-04	20	36	34	52
BEN-05	16	32	29	43
BEN-06	22	38	34	49
BEN-07	14	14	15	23
BEN-08	4	13	13	24
BEN-09	6	45	39	55
BEN-10	17	14	17	28
BEN-11	21	14	15	21

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9 (Continuación). Concentración de NO_2 y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2016.

Concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$)				
Sitios de muestreo	Campaña 5 (Mayo)	Campaña 6 (Junio)	Campaña 7 (Junio)	Campaña 8 (Julio)
BEN-01	62	59	60	34
BEN-02	35	39	37	27
BEN-03	51	52	51	35
BEN-04	46	54	56	39
BEN-05	44	49	47	33
BEN-06	44	53	46	35
BEN-07	23	29	31	18
BEN-08	20	41	45	16

Concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$)				
Sitios de muestreo	Campaña 5 (Mayo)	Campaña 6 (Junio)	Campaña 7 (Junio)	Campaña 8 (Julio)
BEN-09	51	56	61	37
BEN-10	30	4	31	19
BEN-11	21	28	27	16

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9 (Continuación). Concentración de NO_2 y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2016.

Concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$)				
Sitios de muestreo	Campaña 9 (Agosto)	Campaña 10 (Agosto)	Campaña 11 (Septiembre)	Campaña 12 (Octubre)
BEN-01	50	50	57	66
BEN-02	34	32	32	39
BEN-03	44	43	45	51
BEN-04	52	48	37	47
BEN-05	42	36	31	40
BEN-06	45	39	33	44
BEN-07	27	21	25	26
BEN-08	20	20	20	26
BEN-09	53	47	34	52
BEN-10	23	22	21	29
BEN-11	20	22	20	25

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9 (Continuación). Concentración de NO_2 y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2016.

Concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$)				
Sitios de muestreo	Campaña 13 (Octubre)	Campaña 14 (Noviembre)	Campaña 15 (Diciembre)	Promedio por sitio
BEN-01	51	51	66	49
BEN-02	32	35	45	32
BEN-03	36	53	58	43
BEN-04	-	40	59	44
BEN-05	35	40	50	38

Concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$)				
Sitios de muestreo	Campaña 13 (Octubre)	Campaña 14 (Noviembre)	Campaña 15 (Diciembre)	Promedio por sitio
BEN-06	37	30	50	40
BEN-07	20	26	32	23
BEN-08	19	21	27	22
BEN-09	40	48	55	45
BEN-10	21	31	33	23
BEN-11	18	25	27	21

Fuente: Elaboración propia

Del Cuadro 9 se observa que con excepción de los sitios BEN-07, BEN-10 y BEN-11 todos los demás sitios incumplen al menos en una campaña el criterio de concentración máxima de la OMS que sitúa el límite en 40 $\mu g/m^3$ para NO_2. Los sitios que no presentan concentraciones superiores al límite corresponden a zonas residenciales. Por otro lado, los sitios con mayor cantidad de incumplimientos en el año corresponden a BEN-01, BEN-03, BEN-04 y BEN-09 los cuales se ubican en zonas comerciales e industrial para el caso de BEN-04. Estos resultados son consistentes con lo esperado para el comportamiento de cada uno de los sitios, pues las zonas comerciales e industriales tienden a tener un mayor flujo vehicular que las zonas residenciales, lo que repercute en la concentración observada de NO_2.

En cuanto a las campañas, todas con excepción de la campaña 1, 3 y 8 presentan al menos un incumplimiento, donde las campañas con mayor cantidad de incumplimientos corresponden a las campañas 6, 7 y 15 de los meses de junio y diciembre. Si se observan las concentraciones promedio anuales por sitio se aprecia que 5 de los 11 sitios incumplen el límite de la OMS lo que representa un 45 % del total de sitios monitoreados y donde estos coinciden con los sitios que tienen mayor cantidad de incumplimientos.

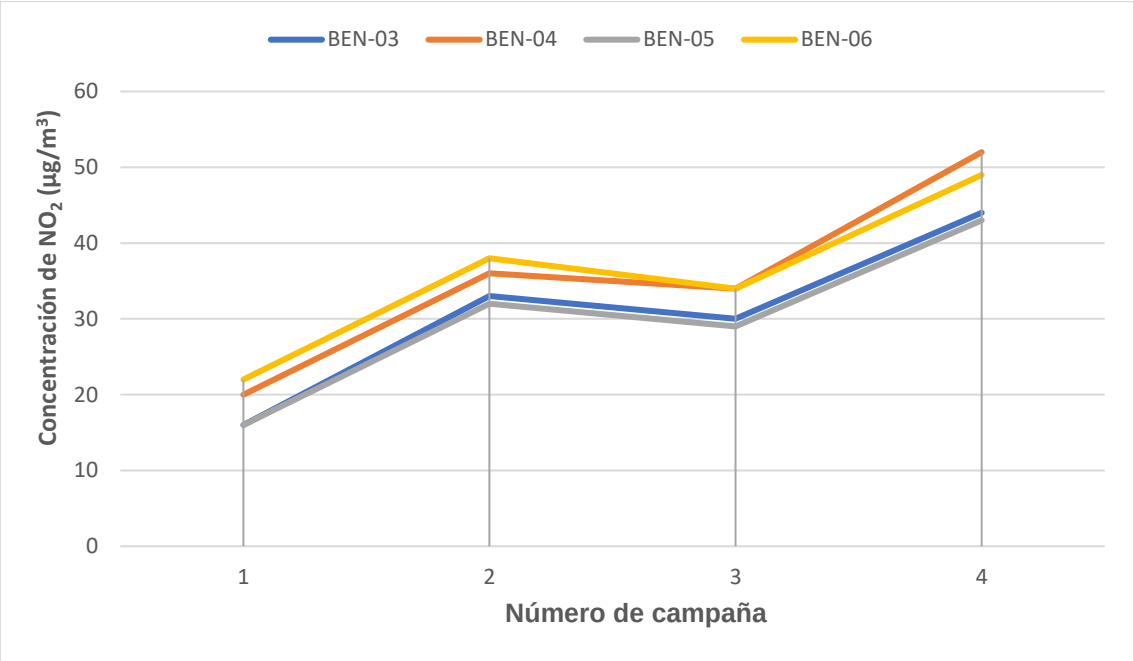
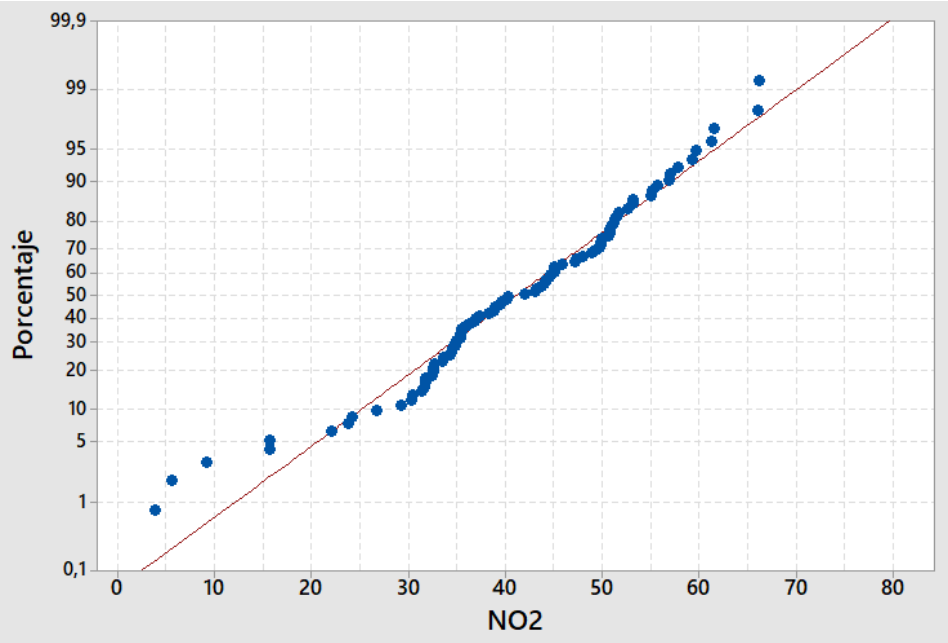


Figura 8. Comparación de la concentración del dióxido de nitrógeno en cuatro campañas.

Aunque la estacionalidad no tiene mucha incidencia en la variación en la totalidad de los resultados, se pudo observar que para la campaña 1, 2 ,3 y 4 las concentraciones se encuentran muy similares entre los puntos de muestreo (ver figura 8).

A estos datos también se les realizó una prueba de normalidad de Anderson-Darling haciendo uso del software Minitab 18, en la cual se mide qué tan bien siguen los datos una especifica distribución. Al ejecutar la prueba se obtiene que el valor-p para los datos de concentración de NO_2 en los sitios comerciales del cantón de Belén corresponde a 0,068 valor superior al de α de 0,05 para una confianza del 95%. Esto quiere decir que al ser el valor-p > α, los datos para los sitios comerciales siguen una distribución normal, lo que se confirma con la Figura 9.

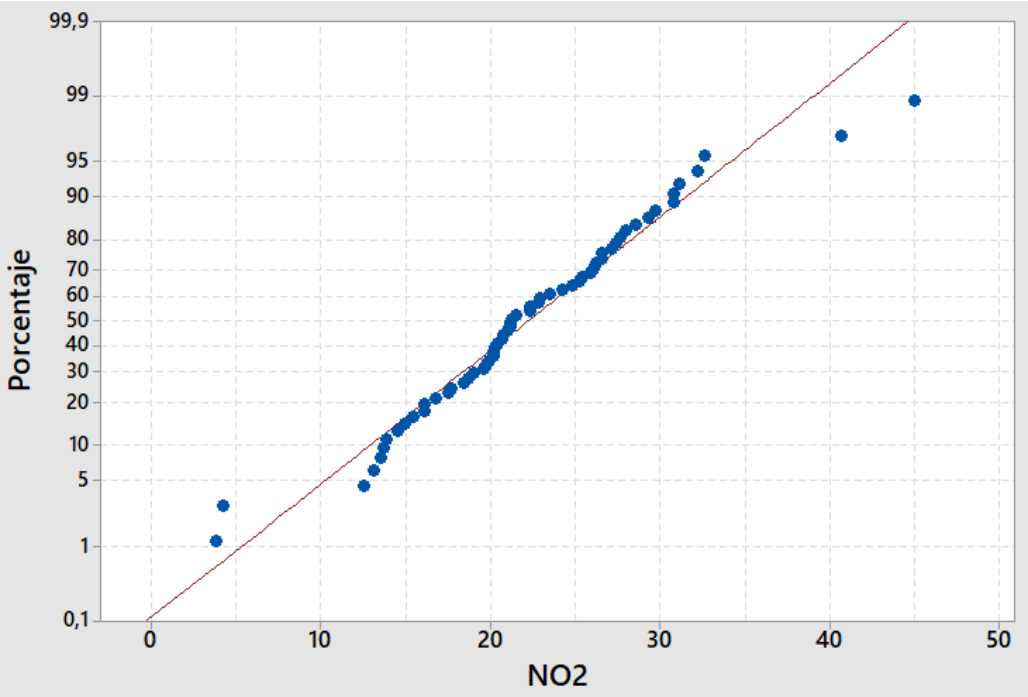


Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Gráfica de probabilidad normal para los datos de concentración de NO_2 en sitios comerciales del cantón de Belén en el año 2016.

De igual manera se realiza el análisis de normalidad para los datos en los sitios residenciales, y en este caso se obtiene que el valor-p corresponde a un valor de 0,236. Esto quiere decir que al ser el valor-p > α los datos para los sitios residenciales también siguen una distribución normal, tal como se evidencia con la Figura 10.

Para el caso de los sitios comerciales, habiendo confirmado que los datos siguen una distribución de probabilidad normal, se puede realizar un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, con la finalidad de determinar si existe diferencia estadística entre las medias de concentración de NO_2 entre campañas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Gráfica de probabilidad normal para los datos de concentración de NO_2 en sitios residenciales del cantón de Belén en el año 2016.

El ANOVA parte de la hipótesis nula (H_0) de que las medias de la concentración de NO_2 son iguales para todas las campañas y la hipótesis alternativa (H_1) de que existe diferencia entre las medias de concentración de NO_2 de las campañas

Al igual que con la prueba de normalidad, el ANOVA genera el estadístico valor-p el cual se compara con el valor de significancia α que para este caso corresponde a 0,05 para una confianza del 95 %. Si al compararlos el valor-p ≤ α entonces se rechaza H_0 y se acepta H_1, es decir existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias de concentración de NO_2 difieren entre campañas.

Por el contrario, si el valor-p > α entonces se acepta H_0, comprobando que no existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias no sean iguales.

Al ejecutar el ANOVA para los sitios comerciales (BEN-01, BEN-02, BEN-03, BEN-05, BEN-06, BEN-09) se obtiene que el estadístico valor-p es menor que 0,005. Al

ser el valor-p ≤ α existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias de concentración de NO_2 difieren entre campañas.

De los resultados del ANOVA se obtiene entonces que las medias entre campañas no son estadísticamente iguales, sin embargo, no indica entre cuáles campañas sí existe diferencia y entre cuáles no. Para ello el software Minitab 18 permite ejecutar de manera simultánea con el ANOVA el análisis de Tukey el cual permite observar para las diferentes campañas, entre cuáles existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias. El Cuadro 10 muestra los resultados para dicho análisis.

Cuadro 10. Resultados para el análisis de Tukey con un 95% de confianza para los datos de concentración de NO_2 de los sitios comerciales del cantón de Belén en el año 2016.

Campaña	Agrupación				
Campaña 15	A				
Campaña 6	A				
Campaña 7	A	B			
Campaña 12	A	B	C		
Campaña 5	A	B	C		
Campaña 4	A	B	C	D	
Campaña 9	A	B	C	D	
Campaña 14	A	B	C	D	
Campaña 10	A	B	C	D	
Campaña 11	A	B	C	D	
Campaña 13	A	B	C	D	
Campaña 2		B	C	D	
Campaña 8			C	D	
Campaña 3				D	
Campaña 1					E

Fuente: Elaboración propia

Para el cuadro anterior, todas las campañas que no compartan una letra en común presentan diferencias estadísticamente significativas entre sus medias, así por

ejemplo se puede ver que para las campañas 15 y 6 (que poseen la letra A) no comparte letra con las campañas 2, 8, 3 y 1, de manera que existe diferencia de medias entre estas. La misma comparación puede realizarse para las demás campañas.

Para el caso de los sitios residenciales, la prueba de normalidad arrojó que los datos también siguen una distribución de probabilidad normal, por lo que se realiza un ANOVA para comparar las medias entre las campañas para estos sitios.

Al ejecutar el ANOVA para los sitios residenciales (BEN-07, BEN-08, BEN-10 y BEN-11) se obtiene que el estadístico valor-p es menor que 0,005. Al ser el valor-p ≤ α existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias de concentración de NO_2 difieren entre campañas.

Al igual que para el caso de los sitios comerciales, junto con el ANOVA se ejecuta el análisis de Tukey para determinar la diferencia de medias entre las campañas. El Cuadro 11 muestra los resultados para el análisis de Tukey para los sitios residenciales.

Cuadro 11. Resultados para el análisis de Tukey con un 95% de confianza para los datos de concentración de NO_2 de los sitios residenciales del cantón de Belén en el año 2016.

Campaña	Agrupación		
Campaña 7	A		
Campaña 15	A	B	
Campaña 12	A	B	C
Campaña 14	A	B	C
Campaña 6	A	B	C
Campaña 4	A	B	C
Campaña 5	A	B	C
Campaña 9	A	B	C
Campaña 11	A	B	C
Campaña 10	A	B	C
Campaña 13		B	C
Campaña 8		B	C

Campaña	Agrupación
Campaña 3	C
Campaña 1	C
Campaña 2	C

Fuente: Elaboración propia

El cuadro anterior se interpreta de la misma manera que el Cuadro 10 para los sitios comerciales, donde las campañas que no comparte una letra en común presentan medias estadísticamente diferentes.

Finalmente se comparan las concentraciones promedio anuales de los puntos de la red pasiva de Belén con los puntos de la red pasiva de San José, de manera que esto sirva como punto de comparación que facilite poner en perspectiva el estado para el cantón. Así el Cuadro 12 muestra las concentraciones promedio anuales de NO_2 para las redes pasivas de San José en el año 2016.

Cuadro 12. Concentraciones promedio anuales de NO_2 para las redes pasivas de Belén y San José en el año 2016.

Sitio de Muestreo	Concentración promedio anual de NO_2 ($\mu g/m^3$)
SJN-01	71
SJN-02	57
SJN-03	65
SJN-04	41
SJN-05	33
SJN-06	47
SJN-07	29
SJN-08	31
SJN-09	30
SJN-10	52
SJN-11	48
SJN-12	38
SJN-13	35
SJN-14	36

Sitio de Muestreo	Concentración promedio anual de NO_2 ($\mu g/m^3$)
SJN-15	23
SJN-17	21
SJN-16	40
SJN-18	39
SJN-19	33
SJN-20	38
SJN-21	50
SJN-22	33
SJN-23	33
SJN-24	50
SJN-25	30
SJN-26	56
SJN-27	42
SJN-28	61

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior se observa que, para los sitios de San José, los cuales son en su mayoría comerciales, presentan concentraciones elevadas de NO_2, muchas incluso por encima del límite establecido por la OMS. Para los sitios de Belén, puede observarse en el Cuadro 9, que algunos también presentan concentraciones altas similares a las observadas en San José y estos coinciden con los sitios comerciales de la red para el cantón, de manera que los resultados son consistentes con lo esperado.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La concentración promedio anual de PM_{10} para sitio de monitoreo ubicado en la Ribera de Belén corresponde a 34 µg/m^3, valor que se encuentra ligeramente por encima del límite establecido en el Decreto Ejecutivo N° 39951-S.
- No se observan tendencias definidas en cuanto al comportamiento anual de la concentración de PM_{10} en el sitio de monitoreo.
- El sitio de la Ribera de Belén presenta la segunda concentración más alta de PM_{10} dentro de la red de monitoreo para el año en cuestión.
- Los datos de PM_{10} para el sitio de la Ribera de Belén no presentan una distribución normal de acuerdo con la prueba estadística de Anderson-Darling con un 95 % de confianza.
- En la red pasiva de monitoreo 5 sitios que representan un 45 % del total de sitios de la red presentan concentraciones promedio anuales de NO_2 por encima del límite establecido por la OMS.
- Los sitios con concentraciones más altas de NO_2 y con mayor cantidad de incumplimientos a lo largo del año coinciden con los sitios de tipo comercial e industrial, mientras que las concentraciones más bajas se observan en los sitios residenciales.
- Los datos de concentración de NO_2 para los sitios comerciales de la red pasiva presentan una distribución normal de acuerdo con la prueba estadística de Anderson-Darling con un 95 % de confianza.
- Tras ejecutar un ANOVA con un 95 % de confianza para los datos de concentración de NO_2 en los sitos comerciales de la red pasiva se obtiene que no existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias entre las campañas son iguales.
- Los datos de concentración de NO_2 para los sitios residenciales de la red pasiva presentan una distribución normal de acuerdo con la prueba estadística de Anderson-Darling con un 95 % de confianza.
- Tras ejecutar un ANOVA con un 95 % de confianza para los datos de concentración de NO_2 en los sitos residenciales de la red pasiva se obtiene que no existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias entre las campañas son iguales.

Recomendaciones

- Se recomienda aumentar los puntos de muestreo para aumentar la resolución espacial de las emisiones generadas.
- Se recomienda incluir otros parámetros en la medición, como lo es el dióxido de azufre (SO_2).

6. Bibliografía.

Agirre, A ; Sánchez, L ; Menéndez, M. (2006). ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PM10 Y PM2.5 EN UN ÁREA URBANA CON INFLUENCIA INDUSTRIAL SIDEROMETALÚRGICA (BEASAIN, GUIPÚZCOA).

Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, B., Suatunce, P., Díaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. Ciencia UNEMI, 9(20), 109-117.

Briceño; Herrera; Solórzano; Beita; Rojas. (2014). Calidad del aire de la Región Metropolitana de Costa Rica.

Carnicer. (2011). Módulo I: Contaminación Ambiental. http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases_Atmosfera/claseX_contamaire.pdf.

CEMCAQ. (2019). Centro de Monitoreo y Calidad del Aire del estado de Queretaro. Obtenido de http://www.cemcaq.mx/contaminacion/bioxido-de-nitrogeno-no2

Decreto Ejecutivo N° 39951-S. (noviembre de 2016). Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio.

Echeverri ; Maya. (2008). RELACIÓN ENTRE LAS PARTÍCULAS FINAS (PM2.5) Y RESPIRABLES (PM10) EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN. Revist a Ingenierías Univer sidad de Medellín.

Garcia ; Ramírez ; Ulloa ; Garcia ; Meulenert ; Alcalá. (2013). Concentración de contaminantes SO2, NO2 y correlación con H+, SO4 temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México . https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v29n2/art04.pdf.

Gil-Marín, J., Vizcaino, C., & Montaño-Mata, N. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. Anales Científicos, 79(1), 111-119. doi:http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146

Gonzáles-Pérez, E., Ortega-Escobar, H., Yáñez-Morales, M., & Rodríguez-Guillén, A. (2019). Diagnóstico de indicadores de calidad físico-química del agua en afluentes del río Atoyac. Tecnología y Ciencias del Agua, 10(1), 30-51. doi:10.24850/j-tyca-2019-01-02

González, L. (2016). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. Obtenido de Portal de Revistas Académicas de la Universidad Tecnológica de Panamá: http://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/viewFile/334/pdf

Gutierrez, V., & Medrano, N. (2017). Análisis de la Calidad del Agua y Factores de Contaminación Ambiental en el Lago San Jacinto de Tarija. Ventana Científica, 8(13), 13-19.

Hernández, Y., López, D., & Moya, F. (2019). Monitoreo ambiental como herramienta para el seguimiento continuo previsto en la evaluación de impacto ambiental. Espacios, 40(03), 17-24.

Mogrovejo, F. (2015). EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CALIDAD DEL AIRE DEL VALLE DE TOLUCA DURANTE LOS AÑOS 2000 – 2013". http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22410/1/TESIS.pdf.

NOW, A. (2016). Fundamentos del índice de la calidad del aire (AQI). https://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi_sp.

Peña, E. (2007). Calidad de Agua. Obtenido de Repositorio de ESPOL: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf

Quiroz-Fernández, L., Izquierdo-Kulich, E., & Menéndez-Gutiérrez, C. (2017). Aplicación del Índice de Calidad de Agua en el río Portoviejo, Ecuador. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, XXXVIII(3), 41-51.

Ramírez-Arcila, H., & Jaramillo-Peralta, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 11(2), 136-153. doi:http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303

Romero, M. (2016). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 5.

Sanchez, J., Ramirez, J., Huertas, J., & Cervantes, G. (2015). "EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA DURANTE LOS AÑOS 2000 – 2013". http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22410/1/TESIS.pdf.

Simanca, M., Álvarez, B., & Paternina, R. (2010). Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el Municipio de Montería. Temas Agrarios, 15(1), 71-83.

Simbaña, K., Farinango, Romero-Estévez, D., Yánez-Jácome, G., Benavides, D., & Navarrete, H. (2019). Evaluación de la calidad del agua del Río Pita (Ecuador), implicación para la conservación de la vida acuática y silvestre. infoANALÍTICA, 7(2), 71-93.

Valdés-García, C. (2019). Contaminación ambiental. Avances, 138.

Zhen-Wu, B. (2010). Índices de calidad del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica (2007-2008). Cuadernos de Investigación UNED, 45-61.

7. Anexos.

Anexo 1. Concentración de partículas PM_{10} y concentración promedio anual de PM_{10} registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2016.

Fecha	Concentración de partículas PM_{10} ($\mu g/m^3$)
19/1/2016	30
20/1/2016	18
26/1/2016	20
27/1/2016	25
28/1/2016	46
9/2/2016	19
10/2/2016	20
11/2/2016	15
18/2/2016	25
23/2/2016	29
24/2/2016	45
25/2/2016	29
1/3/2016	16
2/3/2016	17
3/3/2016	25
9/3/2016	40
10/3/2016	34
15/3/2016	30
16/3/2016	29
30/3/2016	34

Fuente: elaboración propia

Anexo 1 (Continuación). Concentración de partículas PM_{10} y concentración promedio anual de PM_{10} registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2016.

Fecha	Concentración de partículas PM_{10} ($\mu g/m^3$)
5/4/2016	28
6/4/2016	22
7/4/2016	22
13/4/2016	33
14/4/2016	25
15/4/2016	30
19/4/2016	18
20/4/2016	30
26/4/2016	40
27/4/2016	34
28/4/2016	43
3/5/2016	64
10/5/2016	37
11/5/2016	46
17/5/2016	26
18/5/2016	33
19/5/2016	36
24/5/2016	37
25/5/2016	39
26/5/2016	38
27/5/2016	40
1/6/2016	30
2/6/2016	41
7/6/2016	35
8/6/2016	41
9/6/2016	29

Fuente: Elaboración propia

Anexo 1 (Continuación). Concentración de partículas PM_{10} y concentración promedio anual de PM_{10} registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año2016.

Fecha	Concentración de partículas PM_{10} ($\mu g/m^3$)
10/6/2016	39
14/6/2016	33
15/6/2016	43
16/6/2016	37
17/6/2016	43
21/6/2016	30
22/6/2016	28
23/6/2016	24
28/6/2016	26
29/6/2016	21
5/7/2016	28
6/7/2016	45
12/7/2016	30
13/7/2016	53
19/7/2016	43
9/8/2016	34
10/8/2016	32
11/8/2016	31
17/8/2016	37
18/8/2016	25
19/8/2016	32
23/8/2016	23
24/8/2016	29
25/8/2016	35
30/8/2016	46

Fuente: Elaboración propia

Anexo 1 (Continuación). Concentración de partículas PM_{10} y concentración promedio anual de PM_{10} registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año2016.

Fecha	Concentración de partículas PM_{10} ($\mu g/m^3$)
31/8/2016	26
1/9/2016	40
8/9/2016	37
9/9/2016	39
13/9/2016	31
14/9/2016	52
21/9/2016	96
27/9/2016	36
28/9/2016	52
29/9/2016	47
4/10/2016	28
5/10/2016	32
6/10/2016	29
11/10/2016	27
12/10/2016	24
13/10/2016	30
19/10/2016	19
20/10/2016	29
21/10/2016	37
25/10/2016	24
26/10/2016	43
27/10/2016	37
2/11/2016	40
3/11/2016	47
8/11/2016	37
9/11/2016	40

Fuente: Elaboración propia

Anexo 1 (Continuación). Concentración de partículas PM_{10} y concentración promedio anual de PM_{10} registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2016.

Fecha	Concentración de partículas PM_{10} ($\mu g/m^3$)
10/11/2016	33
15/11/2016	37
16/11/2016	47
17/11/2016	28
18/11/2016	27
22/11/2016	20
23/11/2016	24
1/12/2016	37
2/12/2016	35
6/12/2016	37
7/12/2016	44
8/12/2016	35
13/12/2016	34
Promedio anual	34

Fuente: Elaboración propia