

Informe Anual de Calidad Ambiental  
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 .....	4
1. Introducción. ....	6
2. Marco Teórico .....	10
Contaminación de cuerpos de agua e índice de calidad del aire (ICA).....	11
Contaminación y Calidad del aire .....	13
Contaminantes Criterio .....	15
3. Metodología.....	19
Monitoreo de la calidad del aire.....	20
Equipo de muestreo .....	22
Controles de Calidad.....	24
Calibración de la velocidad de flujo de muestreo para el muestreador de alto volumen PM10 para la red manual. ....	24
Análisis de disolución patrón para la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en aire ambiente por el método de difusión pasiva .....	25
Monitoreo de cuerpos de agua superficiales .....	26
Análisis Químico.....	28
4. Análisis de Resultados .....	31
Análisis PM10 .....	32
Análisis de NO2 .....	39
Análisis de Desfogues .....	49
Análisis de datos cuerpos de aguas superficiales.....	53
Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del Agua .....	60
Quebrada Seca.....	67
Río Bermúdez .....	71

Río Segundo .....	75
5. Conclusiones y Recomendaciones .....	79
6. Bibliografía.....	83

## 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. Por lo tanto, para el 2015, utilizando la Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-química del Agua se obtuvo de los puntos muestreados, una clasificación de contaminación entre moderada (clasificación 3) y muy severa (clasificación 5). Aunado a lo anterior el 57,14 % de los desfogues evaluados cumplen con los límites permitidos según la legislación. De igual manera con respecto a los datos de calidad de aire, el punto de monitoreo de  $PM_{10}$ , la concentración promedio anual 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).

Adicional a lo anterior, en la actualidad no es seguro el agua proveniente de las fuentes superficiales naturales o subterráneas, por lo que es requerido que estas sean tratadas antes de que sean aptos para el consumo humano (Gil-Marín, Vizcaino y Montaño-Mata, 2018).

Asimismo, 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 de cuerpos de agua e índice de calidad del aire (ICA)

Los cuerpos de agua (tanto superficiales como subterráneos) son vulnerables a diversas fuentes de contaminación por sustancias químicas y microorganismos, ya sean de origen natural o por la intervención de los seres humanos debido a las actividades productivas que desarrollan (Zhen-Wu, 2010).

Los principales contaminantes del recurso hídrico son: bacterias, hongos, virus, parásitos y sustancias químicas. Dentro de las sustancias químicas, las de mayor riesgo son: metales pesados, sustancias radiactivas, plaguicidas, fertilizantes, derivados del petróleo, jabones, drogas lícitas e ilícitas, entre otros (Gómez-Duarte, 2018).

Asimismo, los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en los cuerpos de agua son grasas y aceites, hidratos de carbono y proteínas. La descomposición de estos compuestos se desarrolla mientras que en el agua exista materia orgánica y oxígeno disuelto, degradando de los compuestos más simples a los más complejos (Fernández-Labrada et al., 2015).

Las aguas contaminadas al entrar en contacto con el ser humano son responsables de provocar diferentes tipos de enfermedades agudas y crónicas (Baque-Mite et al., 2016). Adicional a esto, la contaminación altera la flora y fauna existente, superando en la mayoría de los casos la capacidad de autodepuración del sistema hídrico (Simbaña et al., 2019).

Por lo tanto, debido a la complejidad de la variedad de agentes contaminantes que afectan la calidad del recurso hídrico, es que se han creado diferentes modelos de Índices de Calidad del Agua (ICA) para la evaluación de la calidad del agua (Rodríguez-Miranda et al, 2016).

El ICA es un número que atribuye un valor cualitativo a un conjunto de parámetros medidos y que fueron agregados de manera matemática. Dicho de otra manera, es un número que expresa la calidad de un cuerpo de agua considerando una serie de factores, permitiendo la rápida interpretación y análisis de la tendencia a lo largo del espacio y el tiempo (García-Quevedo, 2012).

Por ende, la evaluación de la calidad de agua es un proceso continuo de las condiciones físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico en relación con la calidad natural, los impactos humanos y los usos deseados. La evaluación se define en función de un conjunto de parámetros fisicoquímicos o biológicos que se comparan con normas internacionales o nacionales (Zhen-Wu, 2010). De esta manera, las instituciones toman en cuenta modelos de ICA existentes y los adaptan según las necesidades específicas de cada contexto.

En Costa Rica, el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S (2007) Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales establece dos metodologías oficiales: el Índice Biológico (BMWP-CR) y el Índice de Clasificación Holandés.

El BMWP-CR es un índice de calidad de agua adaptado para el país que consiste en la sumatoria de puntuaciones asignadas a partir de los diferentes taxones en muestras de macroinvertebrados, estas puntuaciones se establecen según el grado de sensibilidad a la contaminación que va de 1 a 9. A partir de los valores obtenidos, se clasifican las aguas en seis niveles de calidad para el recurso hídrico que va desde “aguas de calidad excelente” hasta “aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas” (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

Por otra parte, el Índice Holandés de Valoración de Calidad para los cuerpos de agua superficiales contempla una serie de parámetros físicos-químicos para la clasificación de un cuerpo receptor. De esta manera, este índice considera el porcentaje de saturación de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el nitrógeno amoniacal (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

El oxígeno disuelto (OD) es expresado por medio del porcentaje de saturación, el cual es un indicador que determina el grado de contaminación del cuerpo de agua. Generalmente un nivel alto de OD indica un mejor nivel de calidad, permitiendo un mejor grado de supervivencia de la flora y fauna; y un nivel bajo provoca que muchos organismos de fauna acuática no pueden sobrevivir por las condiciones en las que se presentan (Peña, 2007).

La DBO es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable, esta se define por la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos presentes en el agua para oxidar la materia orgánica (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

Asimismo, el nitrógeno amoniacal proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en el ambiente. De esta manera, determinar su valor es de alta importancia dado que el resultado obtenido permite verificar la eficiencia de las plantas de tratamiento que vierten sus aguas a los cuerpos de agua superficiales (González, 2016).

Aunado a lo anterior, se establecen parámetros físicos, químicos y biológicos de análisis complementarios, siendo estos: turbiedad, temperatura, potencial de hidrógeno (pH), nitratos, demanda química de oxígeno, cloruros, fluoruros, color, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno, arsénico, boro, cadmio, cianuro, cobre, cromo total, magnesio, mercurio, níquel, plomo, selenio, sulfatos, compuestos organoclorados, compuestos organofosforados y coliformes fecales (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

Por lo tanto, para determinar el grado de contaminación del cuerpo receptor, es necesario sumar los puntos correspondientes en los ámbitos de concentración para cada uno de los parámetros fisicoquímicos medidos. De esta manera, una vez determinado los valores, se traslada estos puntajes a una categoría de colores de acuerdo con el grado de contaminación, siendo la escala de 1 a 5, en donde 1 es “sin contaminación” y 5 “contaminación muy severa (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

### 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 ellas 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 ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), 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 atmósfera (Agirre, A ; Sánchez, L ; Menéndez, M, 2006). Dentro de esta clasificación es normal encontrar algunos contaminantes como ozono ( $\text{O}_3$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) 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 inglés) 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 límite 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 ácida 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 ( $\text{NO}_x$ ;  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), así como el monóxido de carbono (CO) y el metano ( $\text{CH}_4$ ) (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 ( $\text{SO}_2$ ), 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 pérdida de ecosistemas y en gran cantidad provoca el enfriamiento de la atmósfera debido a la acumulación de partículas de sulfato (Briceño et al. 2014).

El material particulado ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ); 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  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  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 pérdida 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 atmósfera (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 atmósfera. 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<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> (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.

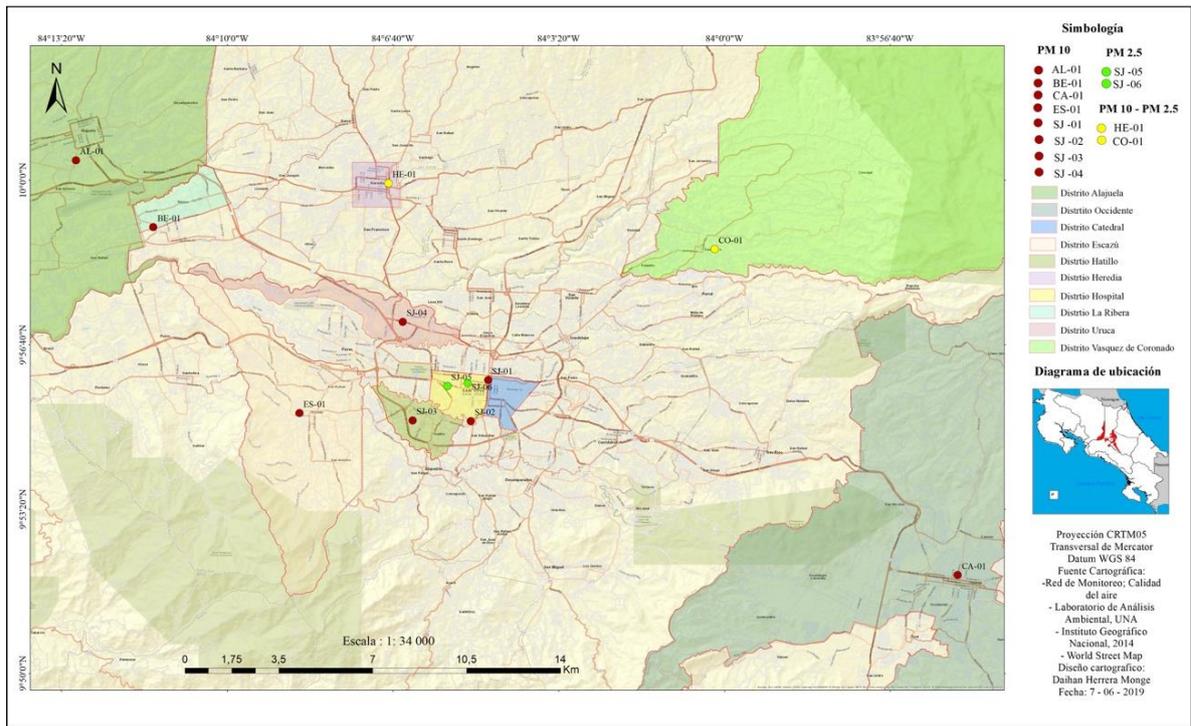
La labor de monitoreo continuo de la calidad de aire se ejecuta mediante distintos métodos, entre los cuales están el muestreo manual de partículas  $PM_{10}$  así como la utilización de muestreo mediante difusión pasiva para dióxido de nitrógeno. El Cuadro 1 indica el sitio de la red manual de monitoreo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

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

Localización	Sitio de muestreo
La Ribera, Belén	BE-01

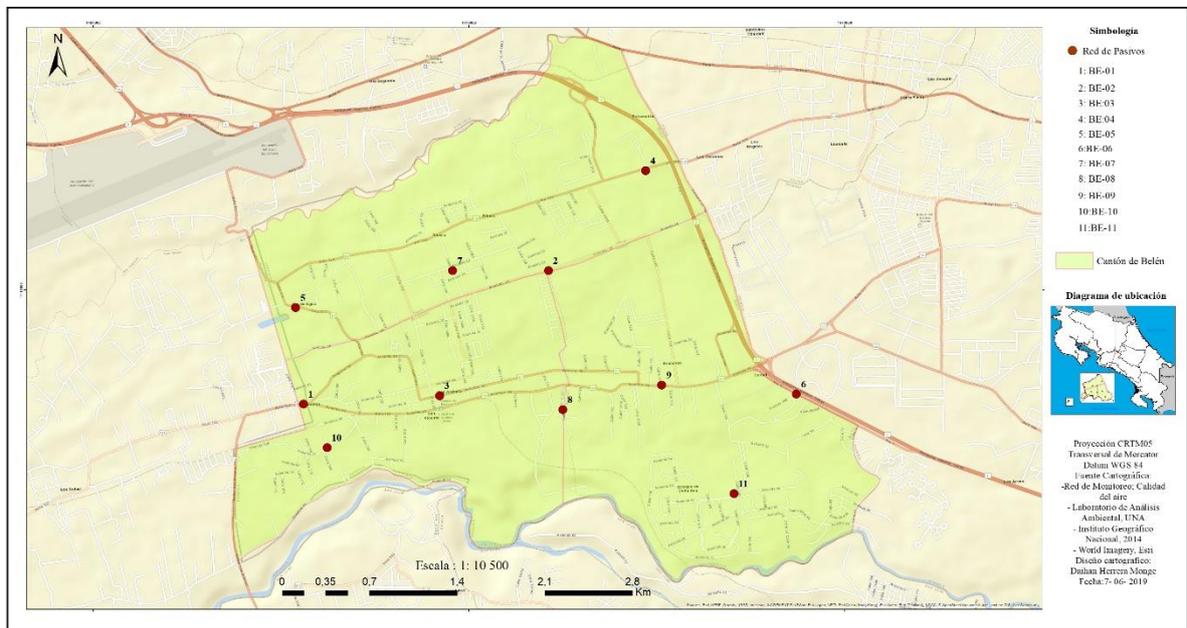
Fuente: Elaboración propia.

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 Belén.

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

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

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 2015.

**Cuadro 3.** Frecuencias de muestreo para la red manual y pasiva durante el año 2015.

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

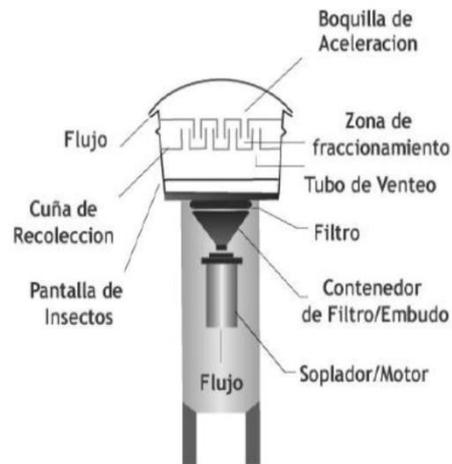
Fuente: Elaboración propia

#### 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 acarreado a través de la cámara de impactación únicamente las partículas PM<sub>10</sub>.

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 el flujo de aire de  $(1,13 \pm 10 \%) \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  durante  $(24 \pm 1) \text{ h}$ .

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<sub>2</sub>) que entra en el tubo. Los tubos se ponen en campo por 21 días, permitiendo la permeación del NO<sub>2</sub> 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 concentraciones 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<sub>10</sub> 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 manómetro a la manguera que conduce al medidor de flujo del equipo y se realiza la lectura correspondiente. 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.

## Monitoreo de cuerpos de agua superficiales

El monitoreo ambiental de la calidad de cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén está compuesto por once puntos, los cuales se encuentran ubicados en la cuenca alta, media y baja de los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Río Bermúdez. En el cuadro 5 se describe la ubicación cada uno de los puntos y en la figura 4 se muestra la ubicación espacial de estos.

**Cuadro 5.** Descripción de los sitios de muestreo del monitoreo de calidad de cuerpos de agua superficiales del cantón de Belén

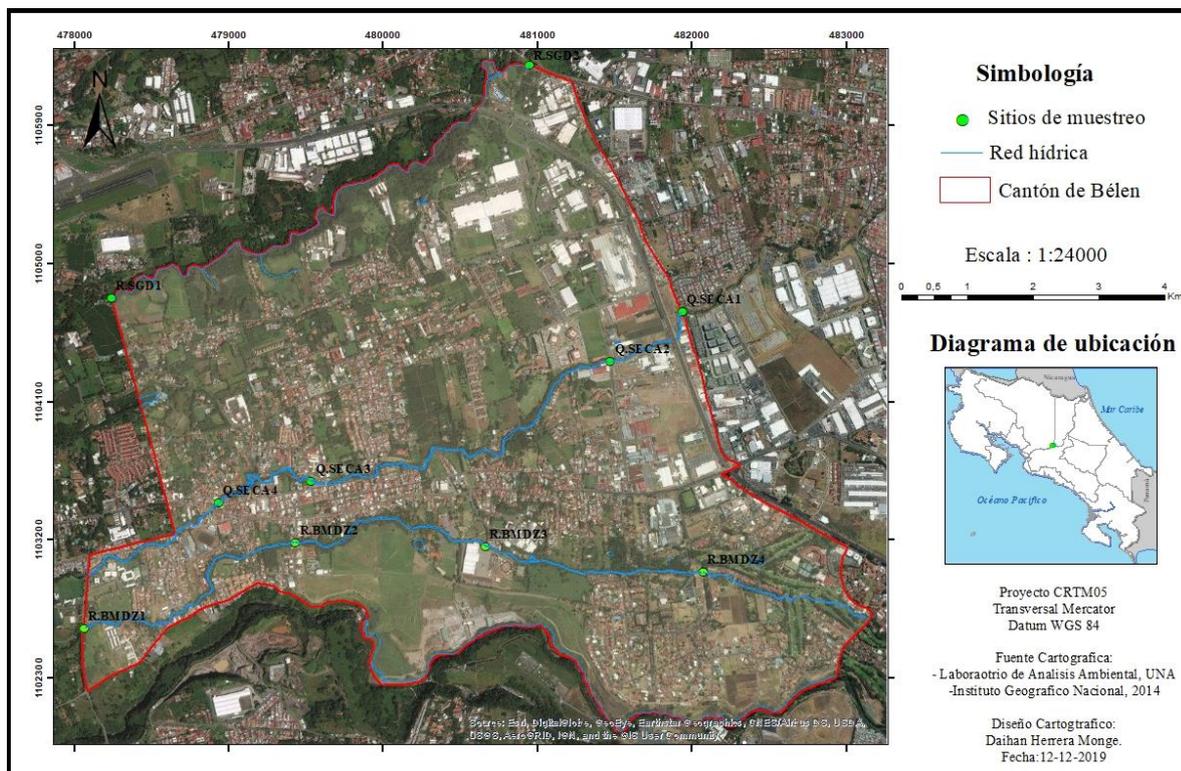
Nombre del cuerpo de agua	Código mapa	Descripción del sitio de muestreo
Quebrada Seca	Q.SECA1	Puente localizado frente a la empresa HP en Zona Franca American Free Zone
	Q.SECA2	Puente localizado contiguo a la empresa UNILEVER
	Q.SECA3	Puente localizado contiguo a la industria Rodillos Industriales, San Antonio
	Q.SECA4	Puente La Amistad, carretera Belén-Santa Ana
Río Segundo	R.SGD1	Puente localizado entre el Aeropuerto Juan Santamaría y el centro Recreativo Ojo de Agua
	R.SGD2	Puente localizado contiguo a la Cervecería Costa Rica

Fuente: elaboración propia

Cuadro 5 (Continuación). Descripción de los sitios de muestreo del monitoreo de calidad de cuerpos de agua superficiales del cantón de Belén

Nombre del cuerpo de agua	Código mapa	Descripción del sitio de muestreo
	R.BMDZ1	Puente Radial
	R.BMDZ2	Puente Pekis
Bermúdez	R.BMDZ3	Puente contiguo a la industria Kimberly Clark
	R.BMDZ4	Puente Los Golfistas
	R.BMDZ5	Puente ubicado en Calle Los Tilianos

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 4. Puntos de muestreo de cuerpos de agua superficiales en el cantón de Belén.

Se definieron tres campañas de muestreo anuales, esto con el fin de poder analizar los resultados por cuerpo receptor en diferentes momentos del año.

Durante cada campaña se recolectaron muestras de agua simples. Las muestras se recolectaron en botellas de polietileno de alta densidad y se conservaron a 4 °C en hieleras para ser transportadas al laboratorio para sus respectivos análisis. Además, para el análisis de metales pesados se utilizaron botellas adicionales.

Para el año 2015 se realizaron tres campañas de muestreo (junio, agosto y octubre) tomando en cuenta los once puntos previamente definidos.

### Análisis Químico

Las mediciones de temperatura, pH y oxígeno disuelto se realizaron *in situ* en cada uno de los puntos de muestreo. Para ello se utilizó un equipo portátil marca *Hanna Instruments* que toma los datos del pH y de temperatura. Además, se utilizó un oxímetro marca *Hach*.

Los equipos mencionados anteriormente son calibrados antes de cada muestreo, esto con el fin de tener seguridad que los datos son confiables. Adicional a esto, en el cuadro 6 se muestra los métodos de referencia y los límites de detección para cada una de las variables que se analizaron en el laboratorio.

**Cuadro 6.** Métodos analíticos de las muestras de agua

Variable	Método	Límite de detección
pH (25 °C)	SM 4500-H	-
Turbiedad	SM 2130 B	-
DQO	SM 5220 D	0,5 mg/l
DBO	SM 5120 B	NA
Sólidos Sedimentables	SM 2540 F	NA
Sólidos Suspendidos Totales	SM 2150 B	NA
Fósforo total	SM 4500 P	0,4 mg/l
Nitrógeno total	Hach Company 10072	4,0 mg/l

Fuente: elaboración propia

Cuadro 6 (Continuación). Métodos analíticos de las muestras de agua

Variable	Método	Límite de detección
SAAM	SM 5540 A	0,2 mg/l
Nitrato	SM 4110 B	0,09 mg/l
Nitrito	SM 4500 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	2 µg/l
Cloruro	SM 4110 B	0,2 mg/l
Sulfato	SM 4110 B	0,3 mg/l
Amonio	SM 4500 NH <sub>4</sub>	4 µg/l
Aluminio	SM 3113 B	0,9 µg/l
Arsénico	SM 3113 B	1 µg/l
Cadmio	SM 3113 B	0,8 µg/l
Calcio	SM 3113 B	0,01 mg/l
Cobre	SM 3113 B	0,4 µg/l
Cromo	SM 3113 B	3 µg/l
Manganeso	SM 3113 B	2 µg/l
Níquel	SM 3113 B	0,9 µg/l
Potasio	SM 3113 B	0,1 mg/l
Plomo	SM 3113 B	2 µg/l
Sodio	SM 3113 B	0,02 mg/l
Zinc	SM 3113 B	0,06 mg/l
Hidrocarburos	SM 5520 B	2,9 mg/l
Oxígeno disuelto	Método 4500 O-C	-
% Saturación	Método 4500 O-C	-
Temperatura	SM 2550	-

Fuente: elaboración propia



# 4. Análisis de Resultados

## Análisis PM<sub>10</sub>

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<sub>10</sub> de manera continua a lo largo del año. En el Cuadro 7 se pueden observar los resultados de la concentración de PM<sub>10</sub> en este sitio para el año 2016 así como el promedio anual correspondiente.

**Cuadro 7.** Concentración de partículas PM<sub>10</sub> y concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2016.

Fecha	Concentración de partículas PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
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

**Cuadro 7 (Continuación).** Concentración de partículas PM<sub>10</sub> y concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2016.

Fecha	Concentración de partículas PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
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

**Cuadro 7 (Continuación).** Concentración de partículas PM<sub>10</sub> y concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2015.

Fecha	Concentración de partículas PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
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

**Cuadro 7 (Continuación).** Concentración de partículas PM<sub>10</sub> y concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2015.

Fecha	Concentración de partículas PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
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

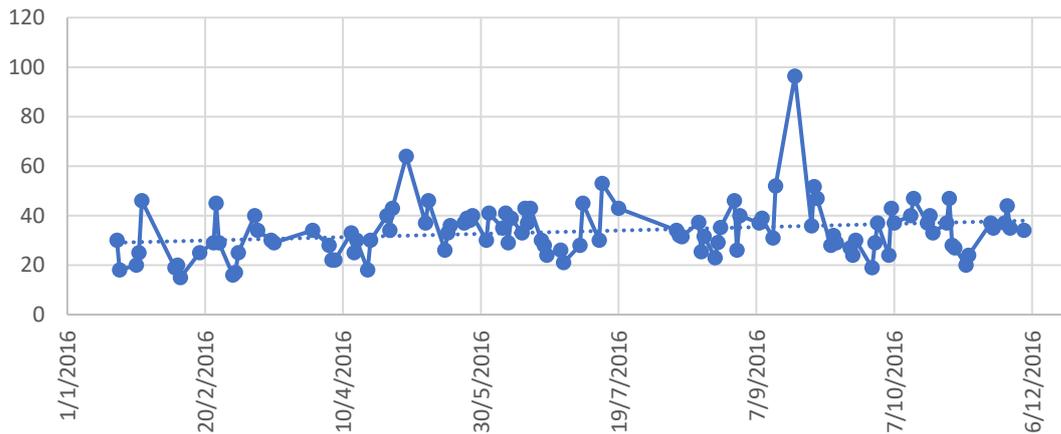
**Cuadro 7 (Continuación).** Concentración de partículas PM<sub>10</sub> y concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2015.

Fecha	Concentración de partículas PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
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

Se observa del cuadro anterior que para el año 2016 ningún valor sobrepasa los 100 µg/m<sup>3</sup> definidos como límite máximo de concentración de PM<sub>10</sub> en 24 horas, según consta en el Decreto Ejecutivo N° 39951-S. Sin embargo, se aprecia que el promedio anual corresponde a 34 µg/m<sup>3</sup> el cual es ligeramente superior al límite anual definido en el mismo reglamento para este contaminante que corresponde a 30 µg/m<sup>3</sup>.

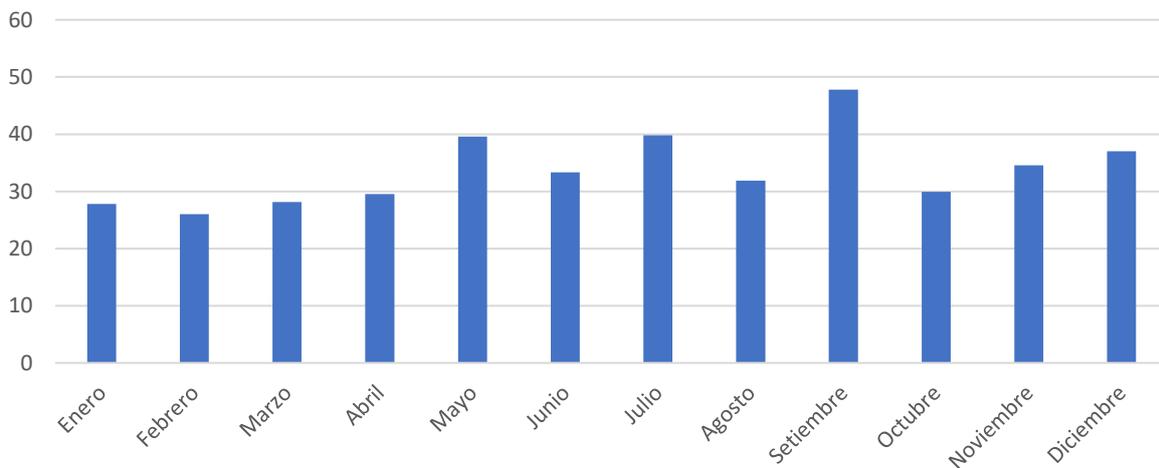
La Figura 5 muestra una representación gráfica del cuadro anterior donde puede observarse que los valores oscilan alrededor del valor promedio sin apreciarse una tendencia definida en los datos, aunque la línea de tendencia para este gráfico muestra un ligero incremento a lo largo del año.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.** Concentración de PM<sub>10</sub> acomodada por fechas para el año 2016 en el sitio ubicado en la Ribera de Belén.

Igualmente, la Figura 6 muestra la concentración promedio de PM<sub>10</sub> mensual para el año 2016.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.** Concentración promedio mensual de PM<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> para cada uno de los sitios de la red de monitoreo durante el 2016.

**Cuadro 8.** Concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> para los distintos sitios de la red de monitoreo del Área Metropolitana durante el año 2016.

Sitio de muestreo	Concentración promedio anual de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Catedral Metropolitana (SJ-01)	23
Municipalidad de San José (SJ-02)	24
Centro de Reciclaje Hatillo (SJ-03)	26
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<sub>10</sub> de la red de monitoreo del Área Metropolitana.

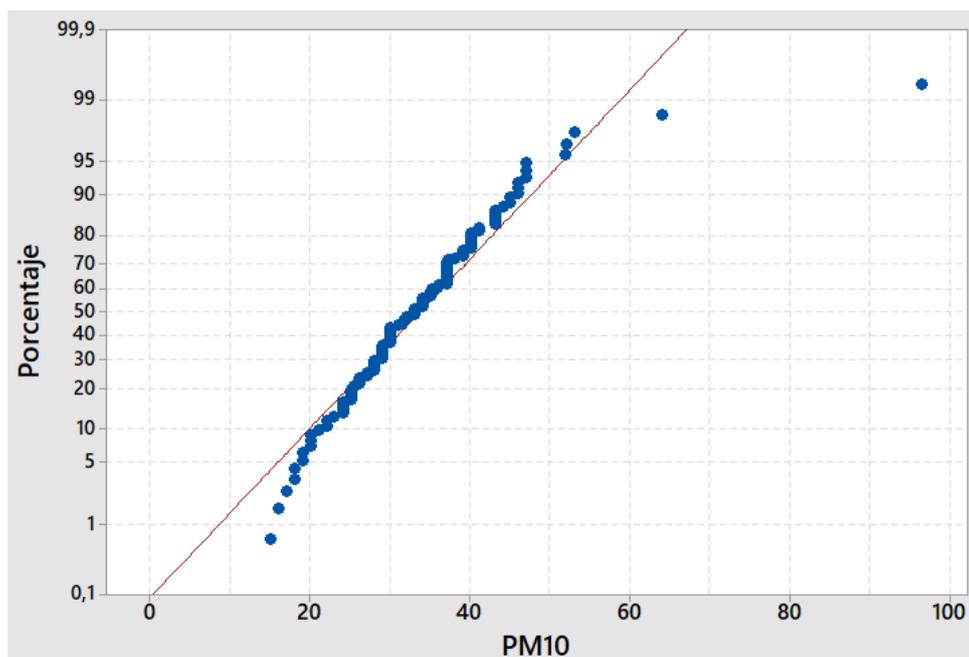
Finalmente, haciendo uso del software Minitab 18, se ejecuta un análisis de normalidad de los datos utilizando la prueba de Anderson-Darling de manera que pueda determinarse si los datos obtenidos siguen una distribución normal o no. Esta compara la función de distribución acumulada empírica de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Para ello se plantean dos hipótesis:

- H<sub>0</sub>: Los datos siguen una distribución normal
- H<sub>1</sub>: Los datos no siguen una distribución normal

El método genera un estadístico llamado valor-p el cual se compara con el valor de significancia ( $\alpha$ ) 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  $> \alpha$  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  $\alpha$  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<sub>2</sub>). 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<sub>2</sub> y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2016.

Concentración de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )				
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<sub>2</sub> y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2016.

Concentración de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )				
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
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<sub>2</sub> y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2016.

Concentración de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )				
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<sub>2</sub> y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2016.

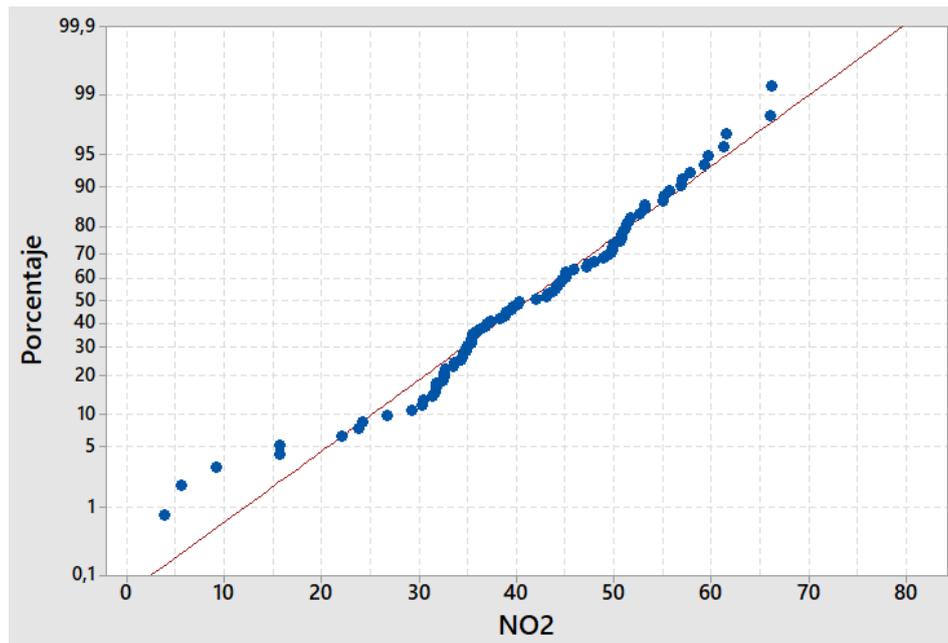
Concentración de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )				
Sitios de muestreo	Campaña 13 (Octubre)	Campaña 14 (Noviembre)	Campaña 15 (Diciembre)	Promedio por sitio
BEN-01	51	51	66	49
BEN-02	32	35	45	32
BEN-03	36	53	58	43
BEN-04	-	40	59	44
BEN-05	35	40	50	38
BEN-06	37	30	50	40
BEN-07	20	26	32	23
BEN-08	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 µg/m<sup>3</sup> para NO<sub>2</sub>. 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<sub>2</sub>.

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.

A estos datos también se les realizó una prueba de normalidad de Anderson-Darling haciendo uso del software Minitab 18. Al ejecutar la prueba se obtiene que el valor-p para los datos de concentración de NO<sub>2</sub> en los sitios comerciales del cantón de Belén corresponde a 0,068 valor superior al de  $\alpha$  de 0,05 para una confianza del 95 %. Esto quiere decir que al ser el valor-p  $>$   $\alpha$ , los datos para los sitios comerciales siguen una distribución normal, lo que se confirma con la Figura 10.

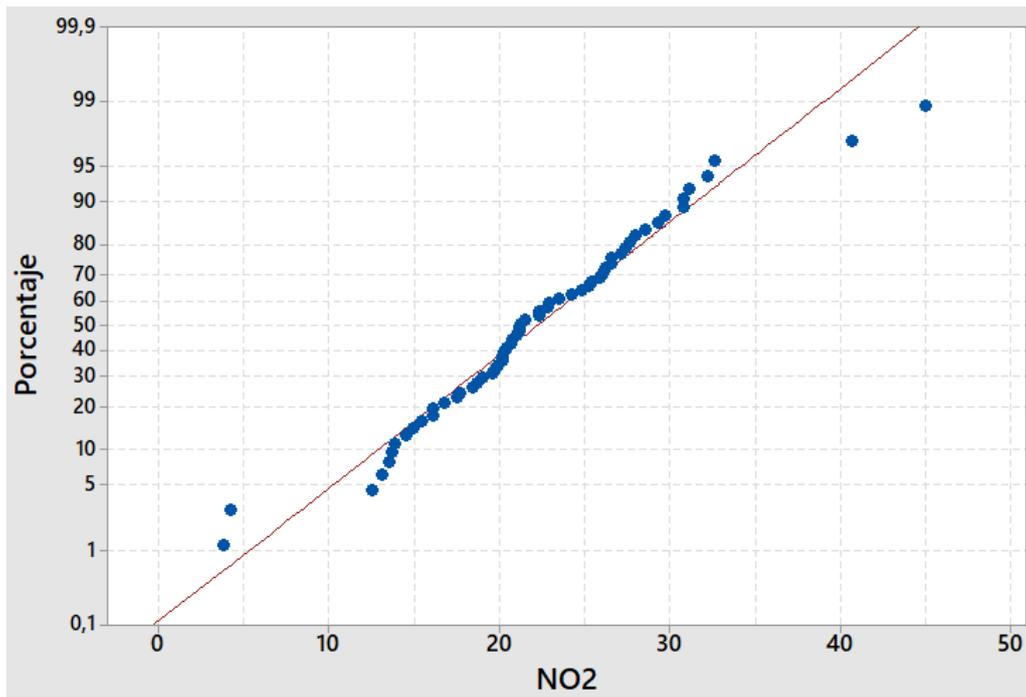


Fuente: Elaboración propia

**Figura 10.** Gráfica de probabilidad normal para los datos de concentración de NO<sub>2</sub> 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  $>$   $\alpha$  los datos para los sitios residenciales también siguen una distribución normal, tal como se evidencia con la Figura 11.

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<sub>2</sub> entre campañas.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 11.** Gráfica de probabilidad normal para los datos de concentración de NO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> son iguales para todas las campañas y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) de que existe diferencia entre las medias de concentración de NO<sub>2</sub> 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  $\alpha$  que para este caso corresponde a 0,05 para una confianza del 95 %. Si al compararlos el valor-p  $\leq \alpha$  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<sub>2</sub> difieren entre campañas.

Por el contrario, si el valor-p  $> \alpha$  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- $p \leq \alpha$  existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias de concentración de NO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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  $\leq \alpha$  existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias de concentración de NO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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 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<sub>2</sub> para las redes pasivas de Belén y San José en el año 2016.

**Cuadro 12.** Concentraciones promedio anuales de NO<sub>2</sub> para las redes pasivas de Belén y San José en el año 2016.

Sitio de Muestreo	Concentración promedio anual de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
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

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 12 (Continuación).** Concentraciones promedio anuales de NO<sub>2</sub> para las redes pasivas de Belén y San José en el año 2016.

Sitio de Muestreo	Concentración promedio anual de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
SJN-13	35
SJN-14	36
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
BEN-01	49
BEN-02	32
BEN-03	43
BEN-04	44
BEN-05	38
BEN-06	40
BEN-07	23
BEN-08	22
BEN-09	45
BEN-10	23
BEN-11	21

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<sub>2</sub>, muchas incluso por encima del límite establecido por la OMS. Para los sitios de Belén, puede observarse 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.

### Análisis de Desfogues

Los desfuegos son aquellas obras que transportan las aguas residuales una vez tratadas a un cauce de flujo permanente, por ejemplo, un río. Por tal motivo, es importante realizar los análisis respectivos con el fin de verificar que las aguas vertidas no superan los límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorios establecidos en el Decreto Ejecutivo N° 33601 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Para el año 2016, se realizó el muestreo de 18 desfuegos. En el Cuadro 13 se observan los resultados de cada uno de los parámetros analizados

**Cuadro 13.** Resultado de los análisis de los desfogues muestreados en el cantón de Belén.

Ente	Ubicación	Descripción	pH (25 °C)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Grasas y Aceites (mg/l)	SAAM (mg/l)	Temperatura (°C)
Ente 1	San Antonio	Sitio Final del sistema de tratamiento	7,26	10	77	51,56	2	2	1,66	25,28
Ente 2	San Antonio	Punto de salida aguas residuales	6,88	106	822	342,12	100	44	0,73	30,26
	San Antonio	Punto de salida aguas residuales	7,56	10	156	155,36	5	39	0,19	25,36
Ente 3	San Antonio	Salida de la planta de tratamiento	6,5	10	20,7	16	0,43	2	0,26	26,1
Ente 4	San Antonio	PTAR	6,1	10	60	9,88	0,1	2,9	0,21	27,4
Ente 5	La Ribera	Desfogue a Quebrada Seca	6,71	20	50	18	0,1	2	1,29	27,7
Ente 6	La Ribera	Desfogue a Río Segundo	7,584	23,7	39,6	42	0,1	23	0,14	24,64
Ente 7	San Antonio	-	6,27	163	256	41,36	0,1	22	0,504	34,4
	San Antonio	Alcantarilla	9,59	112	303	123,65	0,1	77	8,97	37,3
	San Antonio	-	8,03	510	643	113,1	0,1	16	0,265	28,1
Ente 8	La Ribera	Desfogue PTAR	5,98	150	182	36	0,1	73	14,6	26
Ente 9	La Ribera	Desfogue al Río Segundo	7,61	144	174,1	48	0,1	27	0,14	32,96

Fuente: Elaboración propia

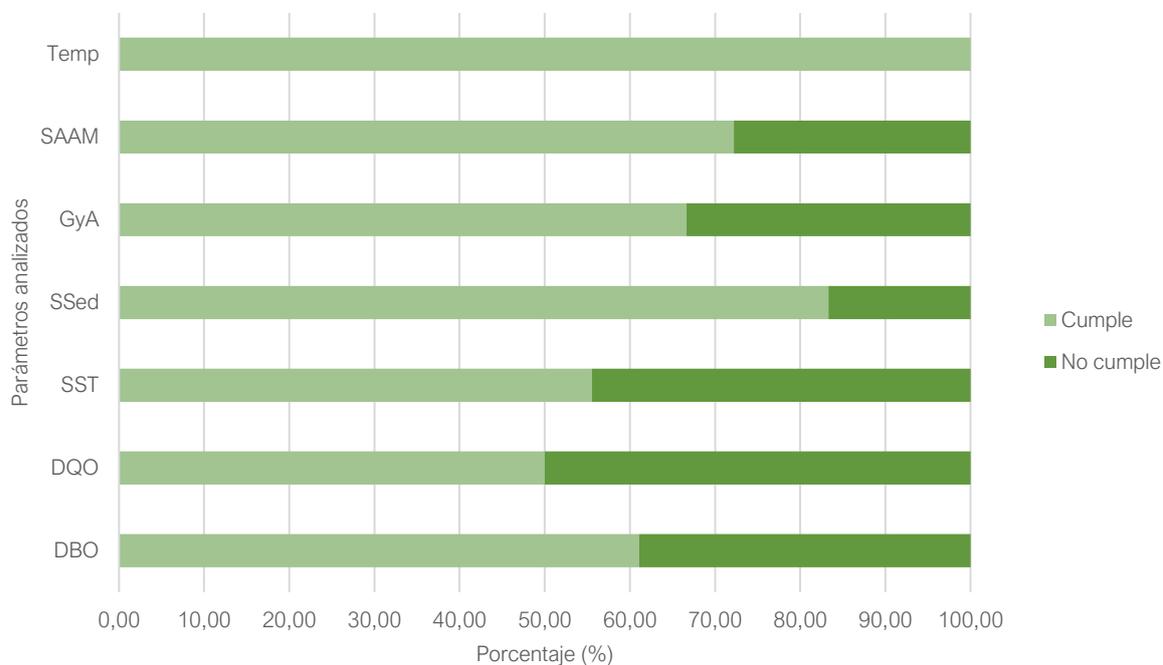
**Cuadro 13 (Continuación).** Resultado de los análisis de los desfogues muestreados en el cantón de Belén.

Ente	Ubicación	Descripción	pH (25 °C)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Grasas y Aceites (mg/l)	SAAM (mg/l)	Temperatura (°C)
Ente 10	La Ribera	PTAR	6,6	10	60	82,02	0,1	5	0,17	22,3
	La Ribera	Tubo de aspersión	6,76	250	274,2	208	3	31	0,17	24,8
Ente 11	Asunción	Salida hacia Quebrada Seca	6,79	77	400,5	60	0,3	50	0,59	27,8
Ente 12	Asunción	Sitio de Salida del sistema de tratamiento	7,04	25	60	26,06	0,86	2	0,14	27,6
Ente 13	San Antonio	Punto de desfogue sistema de tratamiento municipal	6,86	19	45	23,46	0,1	2	0,37	26,6
Ente 14	San Antonio	Salida del sistema de tratamiento de la planta de tratamiento municipal	7,09	37	82	41,44	0,1	2	2,78	28,1

\*El color rojo representa un incumplimiento según los límites establecidos en el artículo 20 del Decreto Ejecutivo N° 33601.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 12 se observa el porcentaje de cumplimiento de los desfuegos muestreados por parámetro universal establecido por el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

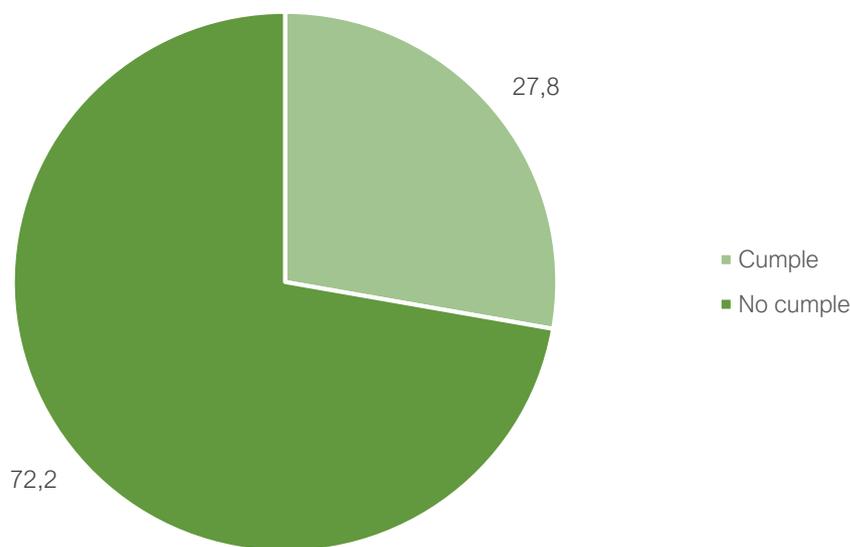


Fuente: elaboración propia

**Figura 12.** Porcentaje de cumplimiento de los desfuegos muestreados por parámetro universal analizado en el cantón de Belén.

Tal y como se observa en la Figura 12, lo que respecta al parámetro de temperatura, la totalidad de los desfuegos cumplen con los límites establecidos por el decreto ejecutivo. No obstante, en DBO, el 38,89 % no cumplió; en DQO el 50,00 % no cumplió; en Sólidos Suspendidos Totales (SST) el 44,44 % no cumplió; en Sólidos Sedimentables (SSed) el 16,67 % no cumplió; Grasas y Aceites, el 33,33 % no cumplió y en SAAM, el 27,78 % no cumplió.

Aunado a lo anterior, en la Figura 13 se muestra los resultados del cumplimiento de los desfuegos con respecto al decreto ejecutivo.



Fuente: elaboración propia

**Figura 13** Porcentaje de cumplimiento de los desfogues muestreados en el cantón de Belén.

Considerando el análisis integral de los parámetros universales establecidos por el reglamento, con tan solo que uno de los valores supere los límites máximos permitidos, categoriza el desfogue en la categoría de incumplimiento. Por lo tanto, de los 18 puntos muestreados, el 27,8 % cumple con la normativa, mientras que el 72,2 % incumple con los valores máximos permisibles.

### **Análisis de datos cuerpos de aguas superficiales**

El monitoreo ambiental de la calidad de cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén está compuesto por once puntos, los cuales se encuentran ubicados en la cuenca alta, media y baja de los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Bermúdez. Para ello se realizaron los análisis de los parámetros fisicoquímicos para la clasificación inicial del cuerpo receptor y adicional a esto se realizaron análisis de parámetros complementarios establecidos por el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S. En el Cuadro 14 se muestran las medias y la desviación estándar de cada uno de los parámetros.

**Cuadro 14.** Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2016.

Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SSed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Q.SECA1	8,03 (0,38)	8,89 (3,79)	19,33 (7,09)	48,27 (17,97)	11,63 (1,91)	0,21 (0,19)	20,00 (4,40)	14,71 (1,75)	21,04 (0,70)	1572,67 (602,07)	3860,00 (1246,21)	8,57 (4,46)	10,20 (2,08)
Q.SECA2	7,8 (0,20)	11,81 (7,70)	14,00 (3,61)	59,10 (23,78)	35,47 (29,82)	0,80 (0,70)	49,37 (37,88)	9,58 (0,29)	29,02 (20,70)	1767,00 (497,90)	2655,67 (732,38)	9,93 (7,26)	10,40 (2,25)
Q.SECA3	7,57 (0,21)	330,27 (567,01)	16,33 (10,97)	50,00 (26,98)	371,67 (620,36)	0,26 (0,15)	16,39 (3,25)	24,93 (4,35)	19,51 (2,43)	1201,33 (681,99)	1238,67 (883,94)	10,20 (14,64)	10,23 (2,14)
Q.SECA4	7,40 (0,61)	18,23 (26,31)	10,00 (- )	31,70, (10,06)	25,13 (26,70)	0,10 (0,00)	16,09 (2,89)	22,47 (1,19)	20,36 (3,24)	847,00 (982,34)	667,33 (363,33)	9,73 (7,09)	9,00 (-)
R.BMDZ1	7,97 (0,31)	13,07 (3,17)	16,33 (6,03)	55,47 (20,10)	26,43 (5,73)	0,23 (0,23)	16,47 (7,08)	15,76 (13,29)	21,00 (2,36)	680,67 (204,81)	2278,33 (2084,72)	10,63 (6,55)	9,00 (-)
R.BMDZ2	7,77 (0,25)	12,19 (7,58)	21,33 (9,24)	61,47 (33,59)	24,47 (12,57)	0,61 (0,77)	12,99 (1,93)	10,80 (11,13)	17,72 (2,04)	1526,67 (682,89)	1770,00 (2261,21)	7,10 (8,28)	9,00 (-)
R.BMDZ3	7,73 (0,12)	19,01 (9,11)	36,33 (18,77)	84,23 (27,19)	29,30 (17,01)	0,39 (0,18)	13,02 (1,46)	8,78 (10,29)	20,60 (4,60)	1714,33 (1025,70)	1226,00 (1424,63)	10,70 (8,23)	6,67 (4,04)
R.BMDZ4	7,60 (0,17)	17,17 (6,46)	28,00 (10,39)	83,43 (10,85)	30,97 (6,09)	0,61 (0,44)	17,88 (3,22)	21,20 (29,79)	24,87 (0,12)	1724,00 (1411,62)	5881,00 (4912,10)	7,53 (4,56)	9,00 (-)

\* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar. El signo – entre paréntesis indica que no se logra calcular la desviación estándar debido a los resultados de análisis

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 14 ( continuación).** Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2016

Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SSed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
R.BMDZ5	7,73 (0,45)	21,00 (12,15)	38,33 (7,77)	71,37 (31,73)	40,86 (14,66)	0,43 (0,31)	13,28 (2,83)	6,92 (10,88)	22,77 (6,31)	962,00 (1497,50)	1571,00 (606,64)	6,80 (5,99)	6,67 (4,04)
R.SGD1	7,73 (0,38)	12,20 (7,45)	10,00 (-)	33,47 (18,53)	41,13 (6,18)	1,91 (1,81)	9,75 (2,64)	8,08 (2,38)	17,08 (6,74)	170,00 (100,96)	536,67 (303,01)	3,20 (4,38)	6,67 (4,04)
R.SGD2	7,87 (0,12)	9,05 (5,53)	10,00 (-)	22,67 (8,08)	20,44 (7,81)	0,13 (0,02)	7,79 (6,24)	12,98 (8,07)	15,68 (3,92)	32,67 (15,82)	173,00 (104,17)	8,30 (5,02)	2,00 (-)

\* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar. El signo – entre paréntesis indica que no se logra calcular la desviación estándar debido a los resultados de análisis

Fuente: elaboración propia

Cuadro 14 (Continuación). Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos.

Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Q.SECA1	1,30 (0,95)	22,63 (4,15)	8,85 (2,48)	5,84 (0,77)	3,50 (2,60)	0,70 (-)	9,37 (7,33)	2,00 (-)	905,30 (1033,75)	43,17 (45,49)
Q.SECA2	1,00 (0,77)	26,23 (4,66)	8,88 (1,17)	5,39 (1,83)	2,00 (-)	0,70 (-)	36,17 (42,67)	8,43 (11,14)	1144,00 (130,77)	46,50 (45,01)
Q.SECA3	0,64 (0,57)	18,17 (5,23)	13,09 (5,27)	5,82 (0,79)	12,03 (17,38)	0,70 (-)	31,07 (10,92)	2,00 (-)	2646,67 (3877,84)	57,80 (59,84)
Q.SECA4	0,67 (0,50)	19,53 (12,44)	16,83 (0,32)	4,79 (0,63)	2,89 (1,55)	0,70 (-)	11,13 (17,12)	2,00 (-)	2402,67 (2965,06)	33,67 (31,75)
R.BMDZ1	0,82 (0,67)	18,77 (7,17)	14,43 (9,80)	5,22 (0,80)	3,00 (1,74)	0,70 (-)	35,30 (53,14)	2,00 (-)	1498,33 (557,49)	134,00 (121,45)
R.BMDZ2	0,98 (0,51)	16,07 (6,19)	10,31 (1,14)	5,46 (0,85)	3,48 (2,56)	0,70 (-)	3,47 (4,45)	2,00 (-)	1240,00 (152,42)	111,67 (114,25)

\* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar. El signo – entre paréntesis indica que no se logra calcular la desviación estándar debido a los resultados de análisis

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 14 (Continuación). Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos.

Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Q.SECA1	3,33 (0,58)	1,67 (1,15)	0,06 (-)	0,80 (-)	2,00 (-)	22,67 (2,25)	6,53 (0,50)	87,47 (4,45)
Q.SECA2	48,00 (77,94)	87,00 (147,23)	0,06 (-)	0,80 (-)	2,00 (-)	22,97 (2,01)	7,07 (0,26)	91,13 (0,47)
Q.SECA3	13,07 (17,44)	1,67 (1,15)	0,17 (0,12)	1,20 (0,69)	2,00 (-)	23,70 (1,61)	6,90 (0,31)	90,07 (4,07)
Q.SECA4	4,13 (1,96)	1,67 (1,15)	0,10 (0,07)	0,80 (-)	7,00 (8,66)	24,73 (2,86)	7,28 (0,10)	96,27 (3,42)
R.BMDZ1	5,73 (2,80)	1,67 (1,15)	0,10 (0,07)	2,54 (3,01)	10,67 (10,97)	23,23 (1,57)	6,28 (0,81)	81,87 (9,64)
R.BMDZ2	4,10 (1,15)	1,67 (1,15)	0,07 (0,02)	1,21 (0,72)	2,00 (-)	23,10 (1,49)	6,31 (0,25)	82,43 (4,05)

\* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar. El signo – entre paréntesis indica que no se logra calcular la desviación estándar debido a los resultados de análisis

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 14 (Continuación). Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos.

Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
R.BMDZ3	1,09 (0,10)	19,17 (7,40)	10,27 (1,04)	6,42 (0,70)	3,68 (2,92)	0,77 (0,12)	29,10 (24,64)	2,00 (-)	1848,33 (1222,26)	173,00 (155,83)
R.BMDZ4	1,87 (0,57)	25,80 (5,48)	10,48 (3,00)	6,60 (1,53)	3,53 (2,66)	0,70 (-)	11,37 (18,13)	2,00 (-)	1083,33 (509,14)	156,67 (151,13)
R.BMDZ5	1,51 (0,16)	19,27 (7,40)	15,89 (9,82)	7,04 (1,72)	4,30 (3,98)	2,80 (3,64)	5,97 (8,78)	5,47 (6,00)	2147,67 (803,39)	131,33 (112,08)
R.SGD1	0,21 (0,09)	14,28 (6,88)	7,63 (3,35)	2,98 (0,75)	4,67 (4,62)	0,70 (-)	13,93 (14,16)	2,67 (1,15)	2109,33 (725,10)	73,93 (79,94)
R.SGD2	0,20 (0,04)	7,15 (2,82)	7,27 (1,75)	2,73 (0,53)	2,00 (-)	0,70 (-)	12,43 (19,98)	2,00 (-)	1760,00 (365,05)	135,17 (204,81)

\* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar. El signo – entre paréntesis indica que no se logra calcular la desviación estándar debido a los resultados de análisis

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 14 (Continuación). Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos.

Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
R.BMDZ3	3,67 (0,58)	1,00 (-)	0,06 (-)	1,60 (0,69)	2,00 (-)	22,80 (1,25)	6,04 (0,34)	78,77 (3,21)
R.BMDZ4	4,40 (1,64)	1,00 (-)	0,10 (0,07)	0,80 (-)	2,67 (1,15)	23,40 (1,91)	5,68 (1,39)	41,70 (11,60)
R.BMDZ5	5,63 (3,20)	1,67 (1,15)	0,10 (0,07)	1,20 (0,69)	2,00 (-)	22,93 (1,76)	6,29 (0,87)	81,97 (9,63)
R.SGD1	3,50 (0,87)	1,00 (-)	0,06 (-)	1680,61 (2908,45)	2,00 (-)	21,67 (1,42)	6,98 (0,85)	89,00 (9,11)
R.SGD2	3,33 (0,58)	1,00 (-)	0,07 (0,02)	0,80 (-)	7,67 (9,81)	20,87 (1,36)	7,57 (0,28)	95,77 (2,04)

\* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar. El signo – entre paréntesis indica que no se logra calcular la desviación estándar debido a los resultados de análisis

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S en el artículo 5, existe una tabla de clasificación de la calidad de las aguas superficiales según los parámetros complementarios. Esta clasificación se compone de 5 categorías, para las cuales se definen límites máximos permitidos (ver cuadro 18).

De tal manera, para los puntos muestreados, a pesar de que parámetros como el pH, cuyos valores rondan entre 7,40 – 8,03, siendo estos límites permitidos dentro de la clase I, existe un incumplimiento en otros parámetros que no permitirían categorizar este cuerpo receptor dentro de esta categoría. De tal manera, a la hora de realizar un análisis con esta clasificación dividida en cinco clases, es importante velar por cada uno de los rangos por parámetro

### Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua

Para la evaluación y clasificación de los cuerpos superficiales se utilizó la Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del agua, esta permite establecer un código de colores asignado a cada una de las clases a partir de los parámetros: DBO, nitrógeno amoniacal y oxígeno disuelto (expresado en porcentaje de saturación de oxígeno).

Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos de estos tres parámetros, se procede a asignar una puntuación a cada uno de los valores, según lo establece el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S. El Cuadro 15 muestra el puntaje asignado a cada uno de los valores de los parámetros.

**Cuadro 15.** Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés.

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/l)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
1	91 - 100	< = 3	< 0,50
2	71 - 90 111 - 120	3,1 - 6,0	0,50 - 1,0
3	51 - 70 121 - 130	6,1 - 9,0	1,1 - 2,0
4	31 - 50	9,1 - 15	2,1 - 5,0
5	< = 30 y > 130	> 15	> 5,0

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S, 2007.

Por lo tanto, tal y como se muestra en el Cuadro 16, se realiza la puntuación de los valores y la sumatoria. Una vez obtenido el valor final, se categoriza según las 5 clases y

cada una de ellas se representa por medio de una escala de colores que establece el grado de contaminación del cuerpo de agua superficial.

**Cuadro 16.** Clasificación de los puntos muestreados según el Sistema Holandés.

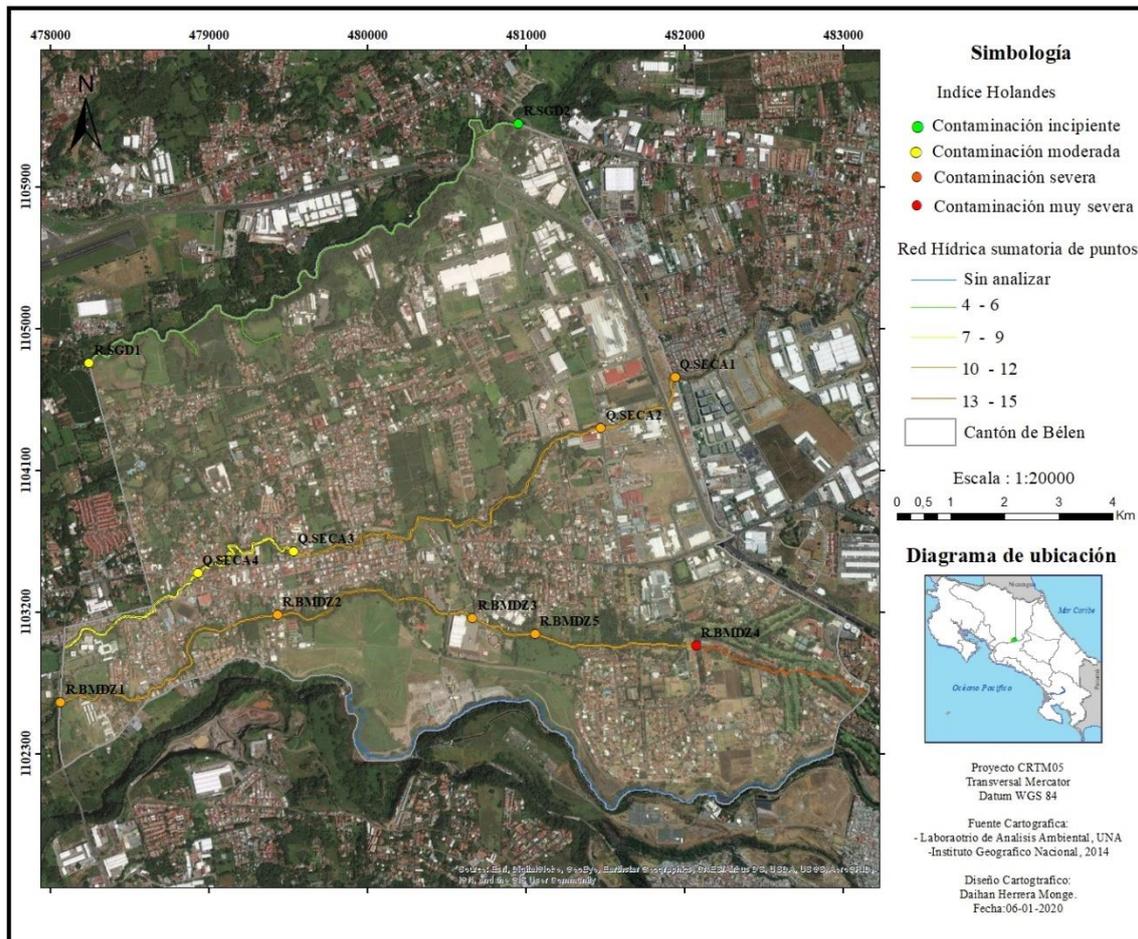
Época	Código	PSO (%)	Asignación de puntos del % saturación	DBO del agua para cuerpos receptores.	Asignación puntos para DBO	N amoniacal	Asignación de puntaje N amoniacal	Sumatoria Total	Clase	Interpretación de calidad
Lluviosa	Q.SECA1	82,70	2	18,0	5	4,09	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA1	91,50	1	27,0	5	2,68	4	10,00	4	Severa
Transición	Q.SECA1	88,20	2	13,0	4	2,24	4	10,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA2	90,60	2	15,0	5	2,39	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA2	91,50	1	10,0	4	2,40	4	9,00	3	Moderada
Transición	Q.SECA2	91,30	1	17,0	5	1,41	3	9,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA3	90,50	2	10,0	4	0,72	2	8,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA3	93,90	1	10,0	4	0,43	1	6,00	2	Incipiente
Transición	Q.SECA3	85,80	2	29,0	5	1,74	3	10,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA4	100,00	1	10,0	4	0,61	2	7,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA4	93,30	1	10,0	4	0,20	1	6,00	2	Incipiente
Transición	Q.SECA4	95,50	1	10,0	4	0,75	2	7,00	3	Moderada
Lluviosa	R.BMDZ1	76,50	2	17,0	5	3,55	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ1	93,00	1	10,0	4	1,40	3	8,00	3	Moderada
Transición	R.BMDZ1	76,10	2	22,0	5	0,37	1	8,00	3	Moderada
Lluviosa	R.BMDZ2	84,20	2	16,0	5	3,38	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ2	85,30	2	16,0	5	0,08	1	8,00	3	Moderada
Transición	R.BMDZ2	77,80	2	32,0	5	0,68	2	9,00	3	Moderada
Lluviosa	R.BMDZ3	75,10	2	16,0	5	2,20	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ3	81,10	2	40,0	5	0,59	2	9,00	3	Moderada
Transición	R.BMDZ3	80,10	2	53,0	5	0,07	1	8,00	3	Moderada
Lluviosa	R.BMDZ4	55,10	3	40,0	5	8,99	5	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ4	35,00	4	22,0	5	2,37	4	13,00	5	Muy Severa
Transición	R.BMDZ4	35,00	4	22,0	5	2,37	4	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ5	70,90	3	32,0	5	1,73	3	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ5	86,60	2	36,0	5	1,15	3	10,00	4	Severa
Transición	R.BMDZ5	88,40	2	47,0	5	0,79	2	9,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD1	78,60	2	10,0	4	0,58	2	8,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD1	92,80	1	10,0	4	0,15	1	6,00	2	Incipiente
Transición	R.SGD1	95,60	1	10,0	4	0,52	2	7,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD2	94,30	1	10,0	4	0,12	1	6,00	2	Incipiente
Lluviosa	R.SGD2	94,90	1	10,0	4	0,06	1	6,00	2	Incipiente
Transición	R.SGD2	98,10	1	10,0	4	0,22	1	6,00	2	Incipiente

Fuente: elaboración propia

Del cuadro anterior es importante mencionar que se realiza una clasificación por cada uno de los puntos de muestreo en las tres campañas. Esto quiere decir que existe una

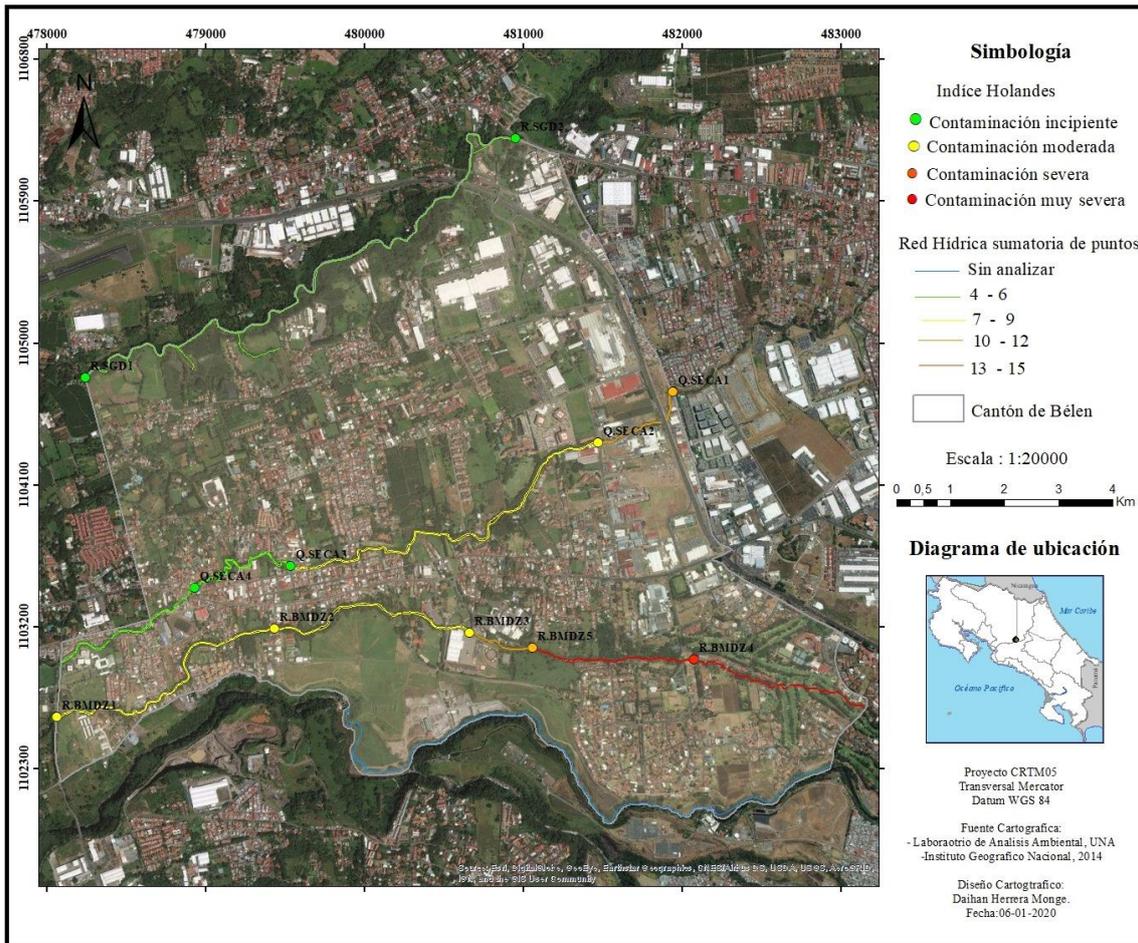
categorización para el mismo punto, dos para la época lluviosa y una para transición. Esto con el fin de determinar si existe diferencias en el grado de contaminación.

Aunado a lo anterior, en las Figuras 14, 15 y 16 se muestra la interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua.



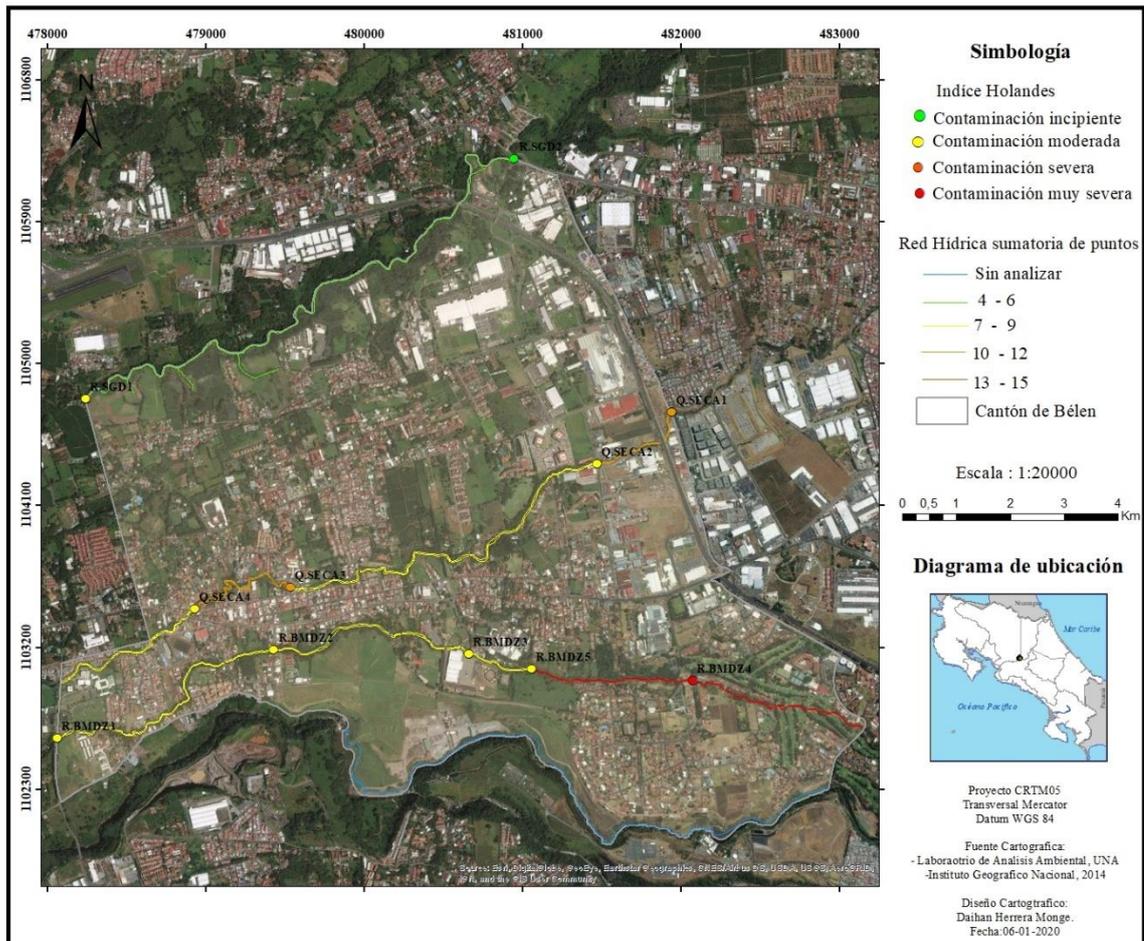
Fuente: elaboración propia

Figura 14 Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de agosto de 2016.



Fuente: elaboración propia

Figura 15 Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de octubre de 2016.



Fuente: elaboración propia

**Figura 16** Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de diciembre de 2016.

Tal y como se observa en el cuadro y las figuras anteriores, existe un cambio en el grado de contaminación en los tres cuerpos receptores durante las tres campañas de muestreo. De tal manera, el grado de contaminación va disminuyendo en la segunda campaña de muestreo, esto debido al incremento en la frecuencia y la intensidad de las lluvias, al aumentar el volumen de agua y, por ende, la dilución de la carga contaminante. No obstante, al llegar a la época de transición, el grado de contaminación empieza a aumentar nuevamente, debido a la reducción del volumen en el cuerpo de agua.

Además, de acuerdo con el artículo 7 del Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, se establecen cinco categorías de usos del agua, las cuales se visualizan en el Cuadro 17.

**Cuadro 17.** Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera.

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Con tratamiento simple con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para actividades destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
Actividades recreativas de contacto primario	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Acuicultura	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Generación hidroeléctrica	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones
Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Fuente: decreto ejecutivo N° 33903, 2007.

De tal manera, analizando la categorización de los cuerpos de agua superficiales muestreados para el 2016, existe una limitante en los usos de Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo debido al grado de contaminación existente. A pesar de que en una época del año Río Segundo se categoriza como clase 2 y cuenta con mayores oportunidades de uso, es importante valorar el uso no solo desde los parámetros que analiza el Sistema Holandés, sino también considerar los otros parámetros fisicoquímicos analizados en el cuadro 15.

De esta manera, es importante tomar en cuenta el estado del cuerpo de agua superficial al ingresar al cantón y a la salida, con el fin de determinar el aporte contaminante del cantón. Para ello se muestra a continuación la clasificación según el Índice Holandés para Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo.

## Quebrada Seca

En el Cuadro 18 se muestra la comparación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en época de transición y lluviosa, considerando el punto de entrada y de salida de este cuerpo receptor al cantón.

**Cuadro 18.** Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2016.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SSed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	7,6	7,44	18	37,2	12	0,1	19,8	14,82	20,9	2211	5261	10,3	9
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	7,7	3,69	10	23,7	8	0,1	18,2	22,12	19,9	1960	784	16,1	9
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	8,3	6,04	27	38,6	9,56	0,43	24,5	12,9	21,8	1015	3444	11,9	12,6
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	6,7	2,4	10	28,4	11,5	0,1	17,28	21,5	23,8	480	260	2,1	9
Transición	Entrada	Q.SECA1	8,2	13,2	13	69	13,32	0,1	15,7	16,4	20,42	1492	2875	3,5	9
Transición	Salida	Q.SECA4	7,8	48,6	10	43	55,9	0,1	12,8	23,8	17,37	101	958	11	9

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 18 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2016.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	0,40	26,7	8,73	6,72	2	0,7	13,6	2	2039	92
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,48	33,9	17,2	5,46	2	0,7	1,6	2	209	33,5
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	2,3	22,8	6,44	5,52	2	0,7	13,6	2	662	2
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	1,237	12,2	16,6	4,22	2	0,7	30,9	2	1223	2
Transición	Entrada	Q.SECA1	1,2	18,4	11,39	5,29	6,5	0,7	0,9	2	14,9	35,5
Transición	Salida	Q.SECA4	0,28	12,5	16,7	4,68	4,68	0,7	0,9	2	5776	65,5

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 18 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2016.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	4	3	0,06	0,8	2	24,9	5,96	82,7
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	3	1	0,06	0,8	17	28	7,28	100
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	3	1	0,06	0,8	2	22,7	6,72	91,5
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	3	1	0,06	0,8	2	23,5	7,18	93,3
Transición	Entrada	Q.SECA1	3	1	0,06	0,8	2	20,4	6,9	88,2
Transición	Salida	Q.SECA4	6,4	3	0,18	0,8	2	22,7	7,37	95,5

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto en la primera campaña de muestreo de la época lluviosa, hubo un aumento en los parámetros: pH, nitrato, fósforo total, SAAM, sodio, calcio, hidrocarburos, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una disminución en: turbiedad, DBO, DQO, SST, cloruro, sulfato, nitrito, amonio, potasio, níquel, aluminio, manganeso, cromo y arsénico.

Para el caso de la segunda campaña de muestreo en época lluviosa hubo un aumento en los parámetros: SST, nitrato, sulfato, calcio, níquel, aluminio, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. Por lo tanto, hubo una reducción en: pH, turbiedad, DBO, DQO, SSed, cloruro, nitrito, amonio, fósforo total, SAAM, sodio y potasio.

Finalmente, para la campaña de muestreo en época de transición, hubo un aumento en los parámetros: turbiedad, SST, nitrato, calcio, aluminio, manganeso, cromo, arsénico, zinc, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. Asimismo, hubo una reducción en los siguientes parámetros: pH, DBO, DQO, cloruro, sulfato, nitrito, amonio, fósforo total, SAAM, sodio, potasio y plomo.

## Río Bermúdez

En el cuadro 19 se muestra la comparación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en época seca y lluviosa, considerando el punto de entrada y de salida de este cuerpo receptor al cantón.

**Cuadro 19** Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2016.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SSed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	7,8	9,7	40	70,9	38	0,1	21,6	55,6	25	94	11553	12,8	9
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	8,3	9,7	17	37,2	20	0,1	14,9	30,9	21,1	868	4560	13,8	9
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	7,5	20,9	22	89,7	27,46	0,86	16,02	4	24,8	2539	3045	4,9	9
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	7,7	13,5	10	52,2	31	0,5	24,2	10,4	23,3	462	1802	15	9
Transición	Entrada	R.BMDZ4	7,5	20,9	22	89,7	27,46	0,86	16,02	4	24,8	2539	3045	4,9	9
Transición	Salida	R.BMDZ1	7,9	16	22	77	28,3	0,1	10,3	5,99	18,59	712	473	3,1	9

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 19 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2016.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	1,22	31,9	10,23	7,49	2	0,7	32,3	2	507	304
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	0,85	26,2	25,5	6,1	2	0,7	96,5	2	961	159
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	2,2	24,2	7,62	4,84	2	0,7	0,9	2	1271	2
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	1,473	18,2	6,84	4,55	2	0,7	8,5	2	1460	2
Transición	Entrada	R.BMDZ4	2,2	21,3	13,6	7,48	6,6	0,7	0,9	2	1472	164
Transición	Salida	R.BMDZ1	0,13	11,9	10,95	5,01	5,01	0,7	0,9	2	2074	241

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 19 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2016.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	6,2	1	0,06	0,8	4	25,6	4,08	55,1
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	5,6	3	0,06	0,8	7	25	5,73	76,5
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	3	1	0,06	0,8	2	22,3	6,48	35
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	3	1	0,06	0,8	23	22,7	7,21	93
Transición	Entrada	R.BMDZ4	4	1	0,18	0,8	2	22,3	6,48	35
Transición	Salida	R.BMDZ1	8,6	1	0,18	6,02	2	22	5,89	76,1

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto en la primera campaña de muestreo de la época lluviosa, hubo un aumento en los parámetros: pH, nitrito, fósforo total, cadmio, níquel, aluminio, arsénico, hidrocarburos, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una disminución en: DBO, DQO, SST, cloruro, nitrato, sulfato, amonio, DBO, DQO, SST, cloruro, sulfato, amonio, SAMM, sodio, potasio, manganeso, cromo y temperatura.

Para el caso de la segunda campaña de muestreo en época lluviosa hubo un aumento en los parámetros: pH, SST, cloruro, nitrato, fósforo total, níquel, aluminio, hidrocarburos, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. Por lo tanto, hubo una reducción en: turbiedad, DBO, DQO, SSed, sulfato, nitrito, amonio, SAAM, sodio, calcio y potasio.

Finalmente, para la campaña de muestreo en época de transición, hubo un aumento en los parámetros: pH, SST, nitrato, aluminio, manganeso, cromo, cadmio y porcentaje de saturación. Asimismo, hubo una reducción en los siguientes parámetros: turbiedad, DQO, SSed, cloruro, sulfato, nitrito, amonio, fósforo total, SAAM, sodio, calcio, potasio, plomo, temperatura y oxígeno disuelto.

## Río Segundo

En el Cuadro 20 se muestra la comparación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en época seca y lluviosa, considerando el punto de entrada y de salida de este cuerpo receptor al cantón.

**Cuadro 20.** Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Segundo para el 2016.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SSed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	7,8	6,43	10	18	12	0,1	15	22,29	18,7	50	155	14,1	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	8	11,9	10	18	34	0,86	11,7	5,42	23,6	254	751	0,01	2
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	7,8	15,4	10	18	27,4	0,14	4,27	8,1	17,1	19	79	5,5	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	7,3	4,91	10	28,4	44,9	0,86	6,75	10	17,5	58	190	8,2	9
Transición	Entrada	R.SGD2	8	5,31	10	32	21,92	0,14	4,1	8,55	11,25	29	285	5,3	2
Transición	Salida	R.SGD1	7,9	19,8	10	54	44,5	4	10,8	8,81	10,14	198	669	1,4	9

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 20 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Segundo para el 2016.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,22	10,4	5,56	3,12	2	0,7	35,5	2	2140	371
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,2	22,2	6,52	3,66	2	0,7	11,9	2	1792	160
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,229	5,75	7,18	2,94	2	0,7	0,9	2	1728	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,3	9,74	4,98	2,18	2	0,7	29	2	1597	2
Transición	Entrada	R.SGD2	0,15	5,3	9,06	2,13	2	0,7	0,9	2	1412	32,5
Transición	Salida	R.SGD1	0,13	10,9	11,39	3,09	10	0,7	0,9	4	2939	59,8

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 20 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Segundo para el 2016.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	3	1	0,06	0,8	19	22,3	7,33	94,3
Lluviosa	Salida	R.SGD1	4,5	1	0,06	0,8	2	23,2	6,02	78,6
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	3	1	0,06	0,8	2	20,7	7,49	94,9
Lluviosa	Salida	R.SGD1	3	1	0,06	5039	2	21,4	7,29	92,8
Transición	Entrada	R.SGD2	4	1	0,1	0,8	2	19,6	7,88	98,1
Transición	Salida	R.SGD1	3	1	0,06	2,02	2	20,4	7,63	95,6

\* Los datos marcados en rojo significan que hubo un aumento en comparación con el valor en el punto de entrada por época.

Fuente: elaboración propia.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto en la primera campaña de muestreo de la época lluviosa, hubo un aumento en los parámetros: pH, turbiedad, SST, SSed, sulfato, nitrito, amonio, sodio, calcio, potasio, cromo y temperatura. De tal manera, hubo una disminución en: cloruro, nitrato, fósforo total, SAAM, níquel, aluminio, manganeso, hidrocarburos, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

Para el caso de la segunda campaña de muestreo en época lluviosa hubo un aumento en los parámetros: DQO, SST, SSed, cloruro, nitrato, sulfato, nitrito, amonio, fósforo total, nitrógeno, SAAM, sodio, níquel, cadmio y temperatura. Por lo tanto, hubo una reducción en: pH, turbiedad, calcio, potasio, aluminio, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

Finalmente, para la campaña de muestreo en época de transición, hubo un aumento en los parámetros: turbiedad, DQO, SST, SSed, cloruro, nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno, sodio, calcio, potasio, plomo, cobalto, aluminio, manganeso, cadmio y temperatura. Asimismo, hubo una reducción en los siguientes parámetros: pH, sulfato, fósforo total, SAAM, zinc, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.



# 5. Conclusiones y Recomendaciones

- El Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua muestra que existe una disminución en el grado de contaminación de los cuerpos receptores del cantón de Belén. Sin embargo, al realizar la comparación entre los resultados de la segunda campaña y la tercera (época de transición), nuevamente los niveles empiezan a aumentar. Esto debido a la reducción en la frecuencia de lluvias, disminuyendo de igual manera el volumen de los ríos.
- Dicho lo anterior, existe una limitante en los usos que se les puede dar a los cuerpos receptores: Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo dado al grado de contaminación existente. No obstante, a pesar de que Río Segundo en una época del año según el sistema holandés lo categoriza como un río que cuenta con un grado de contaminación incipiente, es importante valorar otros parámetros fisicoquímicos complementarios para tomar una decisión sobre los posibles usos.
- De los 31 parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio para los tres cuerpos de agua, Río Bermúdez es aquel que reduce mayor cantidad de valores comparando las muestras de entrada y salida del cantón. En la primera campaña reduce 19 parámetros, en la segunda campaña reduce 11 parámetros y en la tercera campaña reduce 15 parámetros. Seguido se encuentra Quebrada Seca y de último se encuentra Río Segundo.
- De los 18 desfogues analizados en el 2016, solo el 27,8 % cumplía con los parámetros establecidos por la normativa nacional vigente. Esto es sumamente importante dado que se debe de mejorar los controles en cada uno de los puntos con fin de disminuir la carga contaminante que se está vertiendo a los cuerpos receptores que se encuentran dentro del cantón.
- Aunado a lo anterior, analizando el incumplimiento de los desfogues por parámetro fisicoquímicos, los de mayor incumplimiento fue por superar los límites máximos permitidos del DQO, con un 50,00 % y Sólidos Suspendidos Totales (SST) con un 44,44 %.
- Es importante considerar para siguientes años el realizar una campaña de muestreo que considere la época seca con el fin de determinar el grado de

contaminación de los cuerpos receptores del cantón de Belén. De esta manera se contaría con resultados tanto para la época seca, lluviosa y de transición.

- La concentración promedio anual de  $PM_{10}$  para sitio de monitoreo ubicado en la Ribera de Belén corresponde a  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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  $\text{NO}_2$  por encima del límite establecido por la OMS.
- Los sitios con concentraciones más altas de  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$  en los sitios 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  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$  en los sitios residenciales de la red pasiva se obtiene que

no existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias entre las campañas son iguales.

## 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](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. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.

García ; Ramírez ; Ulloa ; García ; Meulenert ; Alcalá. (2013). Concentración de contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y correlación con H<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub> 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., & Montaña-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>

González-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](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., Yáñez-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.