

Informe Anual de Calidad Ambiental
2015

“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”

Elaborado por
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

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 y Calidad del aire	11
Contaminantes Criterio	12
Contaminación de cuerpos de agua	15
Índices de Calidad del Agua (ICA).....	17
3. Metodología	22
Monitoreo de la calidad del aire.....	23
Equipo de muestreo.....	26
Controles de Calidad	28
Calibración de la velocidad de flujo de muestreo para el muestreador de alto volumen PM10 para la red manual	28
Análisis de disolución patrón para la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en aire ambiente por el método de difusión pasiva.....	29
Monitoreo de cuerpos de agua superficiales	29
Análisis Químico	32
4. Análisis de Resultados.....	35
Análisis PM10.....	36
Análisis de NO2	43
Análisis de Desfogues.....	53
Análisis de datos cuerpos de aguas superficiales.....	56

Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del Agua	63
Quebrada Seca	70
Río Bermúdez	74
Río Segundo	78
5. Conclusiones y Recomendaciones	83
6. Bibliografía.	87

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} , cumplen 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-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.

Las actividades que desarrollan los seres humanos, tales como las domésticas, industriales, comerciales y agrícolas, han provocado una serie de impactos ambientales originando múltiples problemáticas de índole ambiental, siendo uno de ellos la insostenibilidad de los recursos naturales debido a la explotación desmedida de estos (Hernández, López y Moya, 2019).

El incremento poblacional ha ocasionado una presión sobre los recursos naturales, provocando que no puedan regenerarse debido a la demanda creciente para su extracción. Las consecuencias provocan no solo un deterioro sobre los ecosistemas, sino que compromete desde una perspectiva ambiental, social y económica la calidad ambiental para las generaciones actuales y futuras (Gil-Marín, Vizcaino y Montaña-Mata, 2018).

La contaminación atmosférica es una de las problemáticas ambientales mayoritariamente presentes en las comunidades, regiones y países. Por tal motivo, los investigadores y tomadores de decisiones han prestado su atención para buscar medidas de mitigación o eliminación (Valdés-García, 2019).

La protección de la calidad del aire es clave ante la problemática del saneamiento ambiental, el motivo se debe a la interacción existente entre el aire sobre los demás componentes de la biosfera, cumpliendo un rol protector de diferentes funciones ecológicas, o en su caso, un factor que disminuya la calidad sobre estos otros componentes ambientales (Kachurin, Komashchenko y Morkun, 2015).

Según la UNICEF (2014, citado por Ramírez-Arcila y Jaramillo-Peralta, 2015) la calidad del agua es una preocupación creciente en todas partes del mundo. Las fuentes se encuentran bajo una amenaza creciente debido al grado de contaminantes al que se expone el recurso hídrico.

La carencia de agua apta para consumo humano, saneamiento e higiene es uno de los principales problemas relacionados con la salud. Prácticamente la décima parte de la

carga global de enfermedades podrían prevenirse mejorando la gestión del recurso hídrico (Ramírez-Arcila y Jaramillo-Peralta, 2015).

Los daños en las fuentes de agua suelen vincularse con una pérdida evidente en la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos, afectándolos e inclusive ocasionando la muerte masiva de los mismos (Gutierrez y Medrano, 2017).

Dicho lo anterior, las medidas que se deben de tomar para descontaminar los efluentes deben ser tomados como una prioridad, siendo necesario la búsqueda de nuevas alternativas que se encuentren basadas en investigaciones sobre diferentes tratamientos de agua que faciliten una mejora en la calidad y que proteja adecuadamente el recurso hídrico (Ramírez-Arcila y Jaramillo-Peralta, 2015).

Un aspecto para lograr mitigar la contaminación es la realización sistemática de diagnósticos ambientales con el fin de identificar los impactos generados por las diferentes actividades que realizan los seres humanos (Valdés-García, 2019).

De tal manera, para llevar a cabo una vigilancia y control es necesario realizar un seguimiento de la calidad de las diferentes matrices ambientales con el fin de comparar con valores normativos y tener las bases para la propuesta de medidas de mitigación (Barrera y Reinstag, 2004, citado por Simanca, Álvarez y Paternina, 2010).

Para ello es necesario contar con un monitoreo ambiental como una herramienta que permite dar el seguimiento a las condiciones en las diferentes matrices ambientales para la identificación de los impactos generados, con el objetivo de tomar acciones correctivas o de mitigación que permitan la conservación y protección del ambiente, permitiendo la continuidad de las actividades humanas sin que comprometa los recursos para las generaciones futuras (Hernández, López y Moya, 2019).

Cabe resaltar que el monitoreo ambiental permite la verificación del cumplimiento de las medidas propuestas en la evaluación del impacto ambiental. De esta manera aporta información periódicamente sobre los logros alcanzados y las dificultades encontradas al analizar y evaluar las acciones correctivas (Hernández, López y Moya, 2019).



2. Marco Teórico

Contaminación y Calidad del aire

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

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

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

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

contaminantes como ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2) producto de la oxidación del monóxido de nitrógeno (NO) entre otros (Sanchez, Ramirez, Huertas, & Cervantes, 2015).

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

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

El dióxido de azufre (SO_2), es considerado un gas incoloro e irritante que se encuentra en el aire que proviene principalmente de fuentes antropogénicas como la quema de combustibles en plantas eléctricas e industriales y en menor medida de fuentes naturales como erupciones volcánicas (Environmental Protection Agency, 2019). Algunos efectos en la salud que pueden presentarse como asma, dolores de cabeza, ansiedad e inflamación en el tracto respiratorio. Al igual que los contaminantes anteriores contribuye a la 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 (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 material particulado proviene 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 incluyendo padecimientos cardiovasculares, cáncer de varios tipos, daños en el sistema respiratorio y reproductivo entre otros. Algunos efectos ambientales son asociados a la pérdida de ecosistemas, mientras que el tamaño de las partículas 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. Las enfermedades asociadas a este contaminante son fuertes dolores de cabeza, mareos, fatiga y problemas cardiacos, así mismo, contribuye a la formación de CO₂ y O₃ (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).

Contaminación de cuerpos de agua

A lo largo de la historia se ha conocido que aproximadamente el 71 % de la superficie de la Tierra está cubierta de agua, de la cual el 0,75 % es agua dulce, distribuida en fuentes superficiales y subterráneas y que el 0,2 % se encuentra en la atmósfera. Es por tal motivo que este recurso finito es un factor determinante para el desarrollo y bienestar de los seres humanos y todos los seres vivos (Baque-Mite et al., 2016).

El recurso hídrico del planeta está sometido a contaminación física, química o biológica. El avance de las actividades antrópicas, el crecimiento demográfico, el desarrollo en las ciudades y la falta de programas para dar respuestas han generado un ambiente que favorece el avance en la contaminación.

Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (2003, citado por Zhen-Wu, 2010) los cuerpos de agua superficiales y subterráneas son vulnerables a diversas fuentes de contaminación por sustancias químicas o microorganismos patógenos, ya sean de origen natural o por intervención de los seres humanos.

Las fuentes contaminantes proceden del sector industrial, de la agricultura o de la escorrentía. Al mismo tiempo, los seres humanos hacen uso de los cuerpos de agua

como medio para la eliminación de aguas residuales, degradando la calidad de los cuerpos superficiales (Gil-Marín, Vizcaino y Montaña-Mata, 2018).

Estas aguas contaminadas al entrar en contacto con el ser humano son causantes de enfermedades agudas y crónicas (Baque-Mite et al., 2016). De tal manera, estos contaminantes destruyen o alteran la fauna y flora existente, superando en la mayoría de los casos la capacidad de autodepuración del sistema hídrico (Simbaña et al., 2019).

Según Cartwright (2009, citado por Ramírez-Arcila y Jaramillo-Peralta, 2015) los contaminantes del agua se clasifican en sólidos suspendidos, orgánicos disueltos, iónicos disueltos, microorganismos y sales. Con respecto a los sólidos suspendidos, entre ellos se encuentran materiales coloidales, polvo, óxidos de metales insolubles e hidróxidos; los orgánicos disueltos se clasifican en químicos orgánicos sintéticos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos; los iónicos disueltos se componen de metales pesados, sílice, arsénico, nitrato, cloruros y carbonatos; los microorganismos se clasifican en bacterias, virus, quistes protozoarios, hongos y algas; y algunos ejemplos de gases contaminantes son sulfuro de hidrógeno, metano, radón y dióxido de carbono.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), clasifica los indicadores de calidad del agua para consumo humano entre indicadores primarios y secundarios. Los primarios los componen los productos químicos inorgánicos (metales), los químicos orgánicos (plaguicidas), sustancias radioactivas y microorganismos. Por otra parte, los indicadores secundarios hacen referencia a aspectos estéticos como el color, turbidez, olor, sustancias en suspensión, entre otros (Simanca, Álvarez y Paternina, 2010).

Según la EPA (2013, citado por Baque-Mite et al., 2016) los parámetros (físicos, químicos o biológicos) como indicadores de calidad del agua presentan una serie de ventajas, entre ellos: que se encuentran en la mayoría de los sistemas acuáticos continentales, la simplicidad metodológica y la alta confiabilidad, lo que hace de estos

métodos sean una herramienta para la vigilancia del estado de la calidad del recurso hídrico.

Índices de Calidad del Agua (ICA)

Aunado a lo anterior, diversos autores han definido la calidad del agua como las propiedades químicas, físicas y biológicas que afectan su uso (González-Pérez et al., 2019). La caracterización de la calidad de un cuerpo superficial implica determinar el grado, nivel o intensidad de la contaminación que posee y la capacidad del sistema hídrico de restituir de manera natural las condiciones que poseía antes de ser afectado por los agentes contaminantes (Quiroz-Fernández et al., 2017).

De tal manera, la evaluación de la calidad es el proceso de valoración de las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua en relación con la calidad natural, los efectos humanos y los usos deseados. Esta se define en función de un conjunto de parámetros fisicoquímicos o biológicos, así como de los valores de aceptación o de rechazo según se ha establecido en normas internacionales o nacionales (Zhen-Wu, 2010).

Esta evaluación permite la comunicación y representación de la calidad del agua en los cuerpos de agua, así como la comparación entre diversos cuerpos superficiales o entre diferentes localizaciones para un mismo río. Esto permite aumentar la capacidad de comprensión de las problemáticas del recurso hídrico de los responsables políticos, así como a otras entidades gubernamentales y a la población en general (Gil-Marín, Vizcaino y Montaña-Mata, 2018).

Para realizar esta evaluación se hace uso de los índices de calidad del agua, los cuales son herramientas rápidas para conocer en forma general el estado de un cuerpo de agua y observar la tendencia evolutiva (Sancha y Espinoza, 2001, citado por Zhen-Wu, 2010).

Según Fernández y Solano (2005, citado por Quiroz-Fernández, Izquierdo-Kulich y Menéndez-Gutiérrez, 2017), se conocen más de 30 índices de calidad de agua que son de uso común y estos consideran entre 3 a 72 variables. La mayoría de los índices incluyen al menos tres de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno amoniacal y nitrógeno en forma de nitrato (N-NH_4^+ y N-NO_3^-), fósforo en forma de ortofosfato (P-PO_4^{3-}), potencial de hidrógeno (pH) y sólidos disueltos totales (STD). De tal manera, la aplicación y seguimiento continuo de cada parámetro permite adecuar el índice a nivel regional y local, permitiendo la adaptabilidad de un índice de calidad a las necesidades específicas (Zhen-Wu, 2010).

Entre los índices de calidad de agua más empleados se destaca el propuesto por Brown et al. en 1970, el cual es una versión modificada del *Water Quality Index*, desarrollada por la *National Sanitation Foundation* (NSF) (Quiroz-Fernández, Izquierdo-Kulich y Menéndez-Gutiérrez, 2017).

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 macro-invertebrados, 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 órgano-clorados, 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).



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 sitios de muestreo de la red manual de monitoreo del Área Metropolitana, 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 se compone por 11 sitios.

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

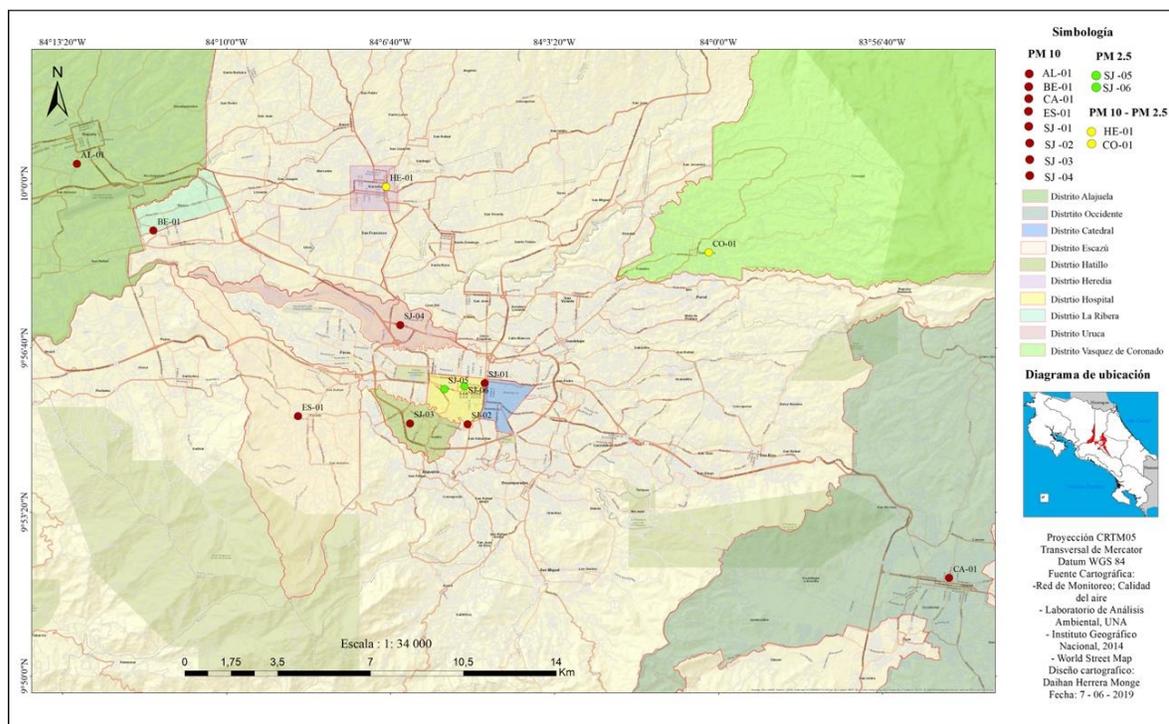
Ubicación del sitio	Código	Ubicación del sitio	Código
Frente a Centro Comercial Plaza Belén	BEN-01	Centro Pedagógico Belén, frente al Hotel Marriot	BEN-02
Costado norte de la Municipalidad de Belén	BEN-03	Costado norte de la Firestone	BEN-04
Parque Recreativo Ojo de Agua	BEN-05	Antiguo Hotel Herradura	BEN-06

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2 (Continuación). Sitios de muestreo de la red pasiva de Belén.

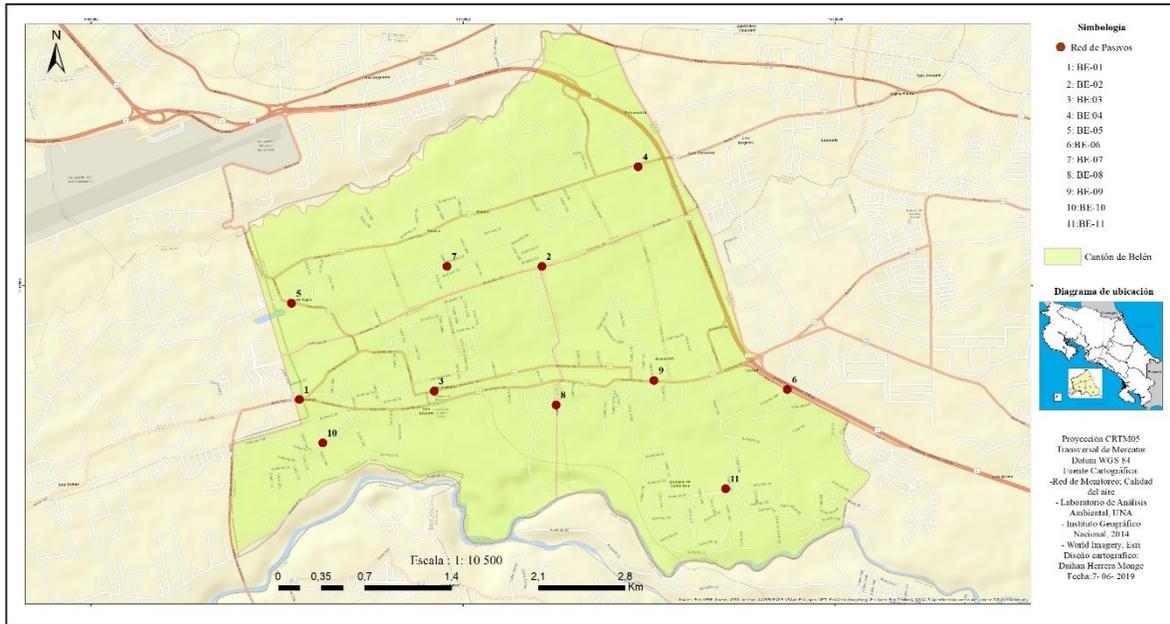
Ubicación del sitio	Código	Ubicación del sitio	Código
Frente a iglesia católica de La Ribera	BEN-07	Frente al Colegio Técnico Profesional Privado CIT	BEN-08
50 m este de la plaza La Asunción	BEN-09	Polideportivo Belén	BEN-10
Residencial Cariari Rotonda	BEN-11		

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Distribución Espacial de la Red Manual de Monitoreo



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Distribución Espacial de la Red Pasiva de Monitoreo cantón de Belén.

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.

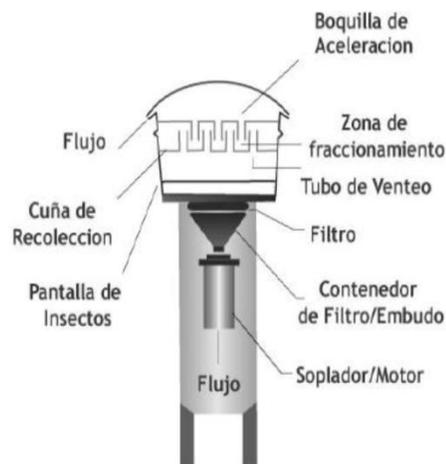
Muestreo	Frecuencia de muestreo
Red Manual de Monitoreo	3 veces a la semana
Red Pasiva	Cada 22 días

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_{10} .

Pasada la cámara de impactación, el aire atraviesa transversalmente el filtro, y todas las partículas que vienen arrastradas por él son retenidas en este medio. Finalmente, el aire sale por la parte inferior del motor, y se mezcla nuevamente con el aire ambiente. La Figura 3 muestra un esquema del muestreador de alto volumen donde se señalan sus partes principales detalladas anteriormente.



Fuente: Elaboración: propia

Figura 3. Esquema de un medidor de alto volumen

El proceso para medir material particulado comienza con la preparación de los filtros que serán colocados en campo. Estos pasan por una etapa de acondicionamiento en una desecadora por 24 horas, 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 horas 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 posteriores análisis.

El procedimiento seguido para la red pasiva consiste en que se colocan tubos, en los sitios de muestreo, con mallas tratadas con una mezcla de trietanolamina/acetona en proporción 1:8, que permite la fijación del dióxido de nitrógeno (NO_2) que entra en el tubo. Los tubos se ponen en campo por 22 días, permitiendo la permeación del NO_2 en las mallas.

Luego, los tubos se transportan al Laboratorio y las mallas se procesan con el reactivo de Griess-Saltzman para analizar la concentración de nitritos por la técnica de espectrofotometría ultravioleta-visible a una longitud de onda de 543 nm. Para esto se elabora una curva de calibración con 7 puntos de concentraciones distintas del patrón de nitrito a partir de una disolución intermedia de $2000 \mu\text{g/L}$, 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 ($\mu\text{g/L}$)
1	0 (blanco)
2	100,0
3	200,0

Fuente: Elaboración propia

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

Punto de la curva	Concentración del patrón ($\mu\text{g/L}$)
4	300,0
5	500,0
6	640,0
7	750,0

Fuente: Elaboración propia

Controles de Calidad

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

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

El procedimiento consiste en primero desconectar el motor del equipo del controlador de flujo y conectarlo a una fuente de poder estable de corriente. Luego se retira el portafiltros y se coloca el sujetador de platos del kit, asegurándose de que no hayan fugas. Una vez ajustado el sujetador, se coloca el plato correspondiente entre el cilindro metálico y el sujetado y se enciende el motor. Se deja que el equipo opere por 5 minutos para que alcance equilibrio térmico y transcurrido este tiempo se coloca el manómetro diferencial de agua previamente nivelado con la manguera del kit. Se mide la temperatura ambiente y la presión barométrica, y se anota la lectura del manómetro. Luego se conecta el 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.

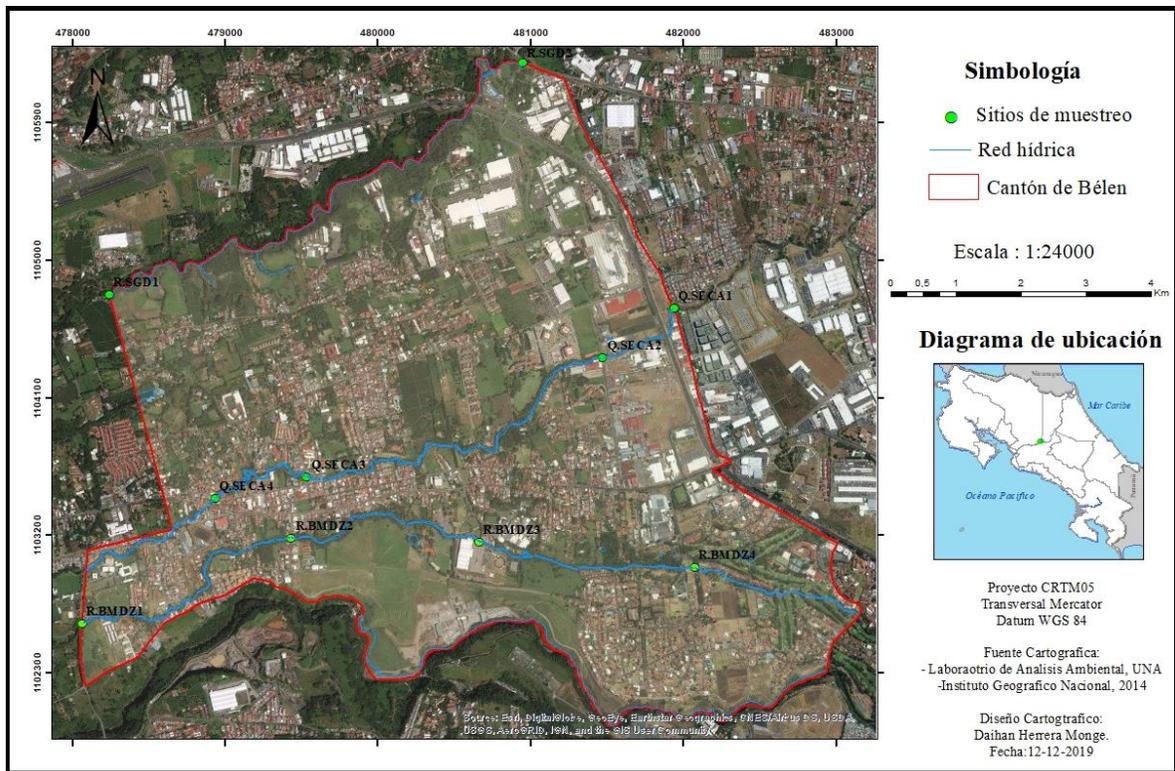
Monitoreo de cuerpos de agua superficiales

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
Bermúdez	R.BMDZ1	Puente Radial
	R.BMDZ2	Puente Pekis
	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
SAAM	SM 5540 A	0,02 mg/l
Nitrato	SM 4110 B	0,09 mg/l
Nitrito	SM 4500 NO ₂ ⁻	2 µg/l

Fuente: elaboración propia

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

Variable	Método	Límite de detección
Cloruro	SM 4110 B	0,2 mg/l
Sulfato	SM 4110 B	0,3 mg/l
Amonio	SM 4500 NH ₄	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 PM10

La Municipalidad de Belén cuenta con un sitio muestreo que forma parte de la red de monitoreo de la calidad del aire del Área Metropolitana, mismo que se encuentra ubicado en la Ribera de Belén y el cual mide partículas PM₁₀ de manera continua a lo largo del año. En el Cuadro 7 se pueden observar los resultados de la concentración de PM₁₀ en este sitio para el año 2015 así como el promedio anual correspondiente.

Cuadro 7. Concentración de partículas PM₁₀ y concentración promedio anual de PM₁₀ registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2015.

Fecha	Concentración de partículas PM ₁₀ (µg/m ³)
14/1/2015	14
15/1/2015	20
21/1/2015	21
22/1/2015	25
3/2/2015	22
4/2/2015	25
5/2/2015	22
11/2/2015	36
12/2/2015	19
13/2/2015	15
17/2/2015	21
18/2/2015	26
19/2/2015	26
24/2/2015	20
25/2/2015	23
26/2/2015	34
3/3/2015	24
4/3/2015	18

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 7 (Continuación). Concentración de partículas PM₁₀ y concentración promedio anual de PM₁₀ registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2015.

Fecha	Concentración de partículas PM ₁₀ (µg/m ³)
5/3/2015	1
24/3/2015	29
7/4/2015	29
8/4/2015	29
14/4/2015	26
15/4/2015	29
21/4/2015	47
5/5/2015	53
6/5/2015	44
12/5/2015	22
13/5/2015	30
19/5/2015	24
20/5/2015	23
21/5/2015	54
26/5/2015	25
2/6/2015	35
3/6/2015	42
4/6/2015	32
9/6/2015	29
10/6/2015	28
11/6/2015	24
16/6/2015	27
4/8/2015	16
5/8/2015	16

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 7 (Continuación). Concentración de partículas PM₁₀ y concentración promedio anual de PM₁₀ registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2015.

Fecha	Concentración de partículas PM ₁₀ (µg/m ³)
12/8/2015	22
13/8/2015	19
14/8/2015	26
18/8/2015	21
19/8/2015	20
25/8/2015	42
26/8/2015	37
27/8/2015	31
1/9/2015	28
8/9/2015	31
9/9/2015	28
10/9/2015	31
17/9/2015	30
18/9/2015	37
22/9/2015	15
29/9/2015	37
6/10/2015	32
15/10/2015	27
16/10/2015	27
20/10/2015	36
22/10/2015	37
27/10/2015	18
28/10/2015	19

Fuente: Elaboración propia

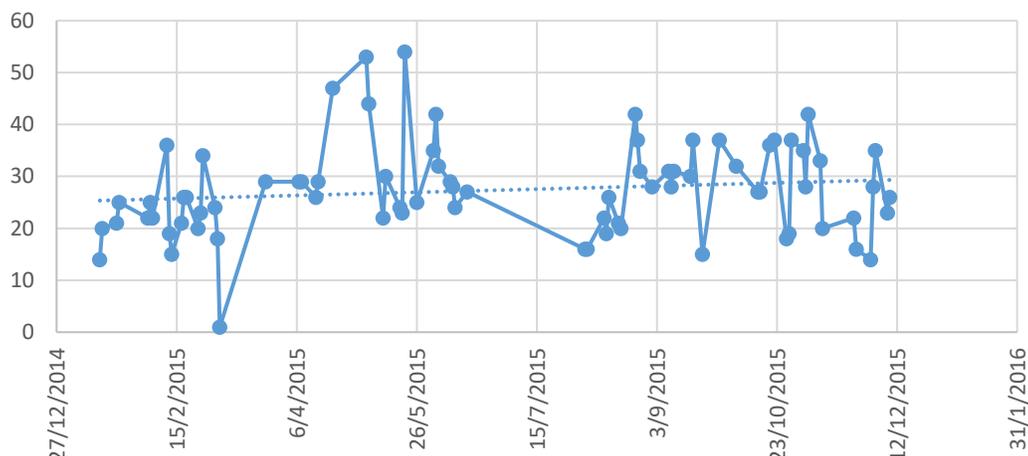
Cuadro 7 (Continuación). Concentración de partículas PM₁₀ y concentración promedio anual de PM₁₀ registradas en el sitio de muestreo ubicado en la Ribera de Belén durante el año 2015.

Fecha	Concentración de partículas PM ₁₀ (µg/m ³)
29/10/2015	37
3/11/2015	35
4/11/2015	28
5/11/2015	42
10/11/2015	33
11/11/2015	20
24/11/2015	22
25/11/2015	16
1/12/2015	14
2/12/2015	28
3/12/2015	35
8/12/2015	23
9/12/2015	26
Promedio anual	27

Fuente: Elaboración propia

Se observa del cuadro anterior que para el año 2015 ningún valor sobrepasa los 100 µg/m³ definidos como límite máximo de concentración de PM₁₀ en 24 horas, según consta en el Decreto Ejecutivo N° 39951-S De igual manera se aprecia que el promedio anual corresponde a 27 µg/m³ el cual es ligeramente inferior al límite anual definido en el mismo reglamento para este contaminante que corresponde a 30 µg/m³.

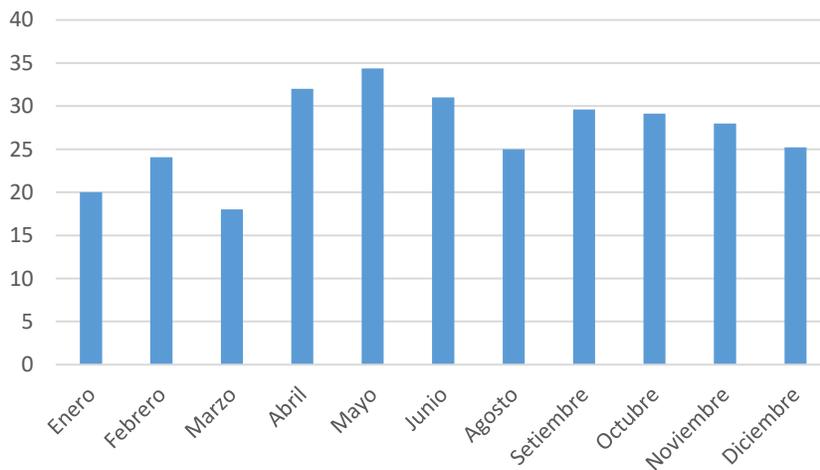
La Figura 5 muestra una representación gráfica del cuadro anterior donde puede observarse que los valores oscilan alrededor del valor promedio sin apreciarse una tendencia definida en los datos, aunque la línea de tendencia para este gráfico muestra un ligero incremento a lo largo del año.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Concentración de PM₁₀ acomodada por fechas para el año 2015 en el sitio ubicado en la Ribera de Belén.

Igualmente, la Figura 6 muestra la concentración promedio de PM₁₀ mensual para el año 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Concentración promedio mensual de PM₁₀ para el año 2015 en el sitio ubicado en la Ribera de Belén.

Para poner en perspectiva el resultado obtenido para la concentración anual de PM₁₀ 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 PM₁₀ para cada uno de los sitios de la red de monitoreo durante el 2015.

Cuadro 8. Concentración promedio anual de PM₁₀ para los distintos sitios de la red de monitoreo del Área Metropolitana durante el año 2015.

Sitio de muestreo	Concentración promedio anual de PM ₁₀ (µg/m ³)
Catedral Metropolitana (SJ-01)	23
Municipalidad de San José (SJ-02)	24
Centro de Reciclaje Hatillo (SJ-03)	26
CNFL La Uruca (SJ-04)	33
Municipalidad de Escazú (ES-01)	26
La Ribera (BE-01)	27
Rectoría UNA Heredia (HE-01)	35
Estación del Ferrocarril Cartago (CA-01)	26
Sede UTN Alajuela (AL-01)	30

Fuente: Elaboración propia

Puede observarse del cuadro anterior que para los sitios de Rectoría de la UNA en Heredia y CNFL en la Uruca, 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. Para el caso del sitio de la Ribera de Belén, si bien la concentración no sobre pasa el límite establecido por el Decreto, se halla entre los valores más altos y cercanos a este, ya que constituye el sitio con la cuarta concentración promedio anual más alta después del de la UTN.

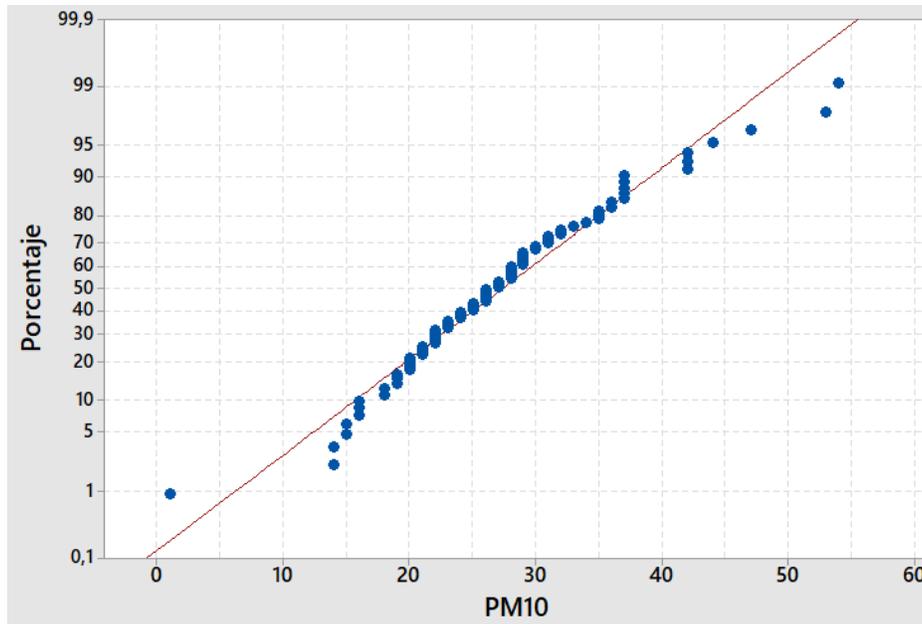
Finalmente, haciendo uso del software Minitab 18, se ejecuta un análisis de normalidad de los datos utilizando la prueba de Anderson-Darling de manera que pueda determinarse si los datos obtenidos siguen una distribución normal o no. Esta compara la función de distribución acumulada empírica de los datos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

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

El método genera un estadístico llamado valor-p el cual se compara con el valor de significancia (α) que para la prueba ejecutada es de 0,05. Si el valor-p $\leq \alpha$ se rechaza la hipótesis nula (H_0) de que los datos siguen una distribución normal y se acepta la hipótesis alternativa (H_1) de que los datos no siguen una distribución normal. Por el contrario, si el valor-p $> \alpha$ 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 corresponde a 0,073 el cual es mayor al valor de α de 0,05 lo que indica que se acepta H_0 y los datos de PM_{10} para el año 2015 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 la mayoría de los datos se ajustan a la linealidad de la gráfica de probabilidad esperada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Gráfica de probabilidad normal para los datos de PM₁₀ del año 2015 en el sitio de la Ribera de Belén.

Análisis de NO₂

Como parte del monitoreo de la calidad del aire, además del PM₁₀, 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 (NO₂). 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 2015.

Cuadro 9. Concentración de NO₂ y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2015.

Sitios de muestreo	Concentración de NO ₂ (µg/m ³)			
	Campaña 1 (Febrero)	Campaña 2 (Marzo)	Campaña 3 (Marzo)	Campaña 4 (Abril)
BEN-01	37	36	39	36
BEN-02	30	21	24	26
BEN-03	-	29	33	34
BEN-04	38	37	41	37
BEN-05	33	31	32	29
BEN-06	35	38	37	40
BEN-07	18	16	17	14
BEN-08	15	16	14	11
BEN-09	39	43	45	47
BEN-10	17	16	15	17
BEN-11	16	14	15	18

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9 (Continuación). Concentración de NO₂ y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2015.

Sitios de muestreo	Concentración de NO ₂ (µg/m ³)			
	Campaña 5 (Mayo)	Campaña 6 (Junio)	Campaña 7 (Junio)	Campaña 8 (Julio)
BEN-01	54	52	51	41
BEN-02	42	26	31	28
BEN-03	43	40	33	36
BEN-04	47	37	40	39
BEN-05	58	45	35	35
BEN-06	65	33	53	36
BEN-07	46	22	25	21
BEN-08	24	16	32	17
BEN-09	50	40	50	48
BEN-10	83	20	26	19
BEN-11	34	17	23	18

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9 (Continuación). Concentración de NO₂ y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2015.

Sitios de muestreo	Concentración de NO ₂ (µg/m ³)			
	Campaña 9 (Agosto)	Campaña 10 (Agosto)	Campaña 11 (Septiembre)	Campaña 12 (Octubre)
BEN-01	41	31	47	60
BEN-02	24	20	35	37
BEN-03	33	25	42	46
BEN-04	41	32	48	53
BEN-05	31	16	-	42
BEN-06	40	58	44	44
BEN-07	12	16	24	32
BEN-08	18	24	19	21
BEN-09	43	37	49	-
BEN-10	18	20	43	-
BEN-11	19	14	24	26

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9 (Continuación). Concentración de NO₂ y concentración promedio anual registradas por sitio de muestreo durante el año 2015.

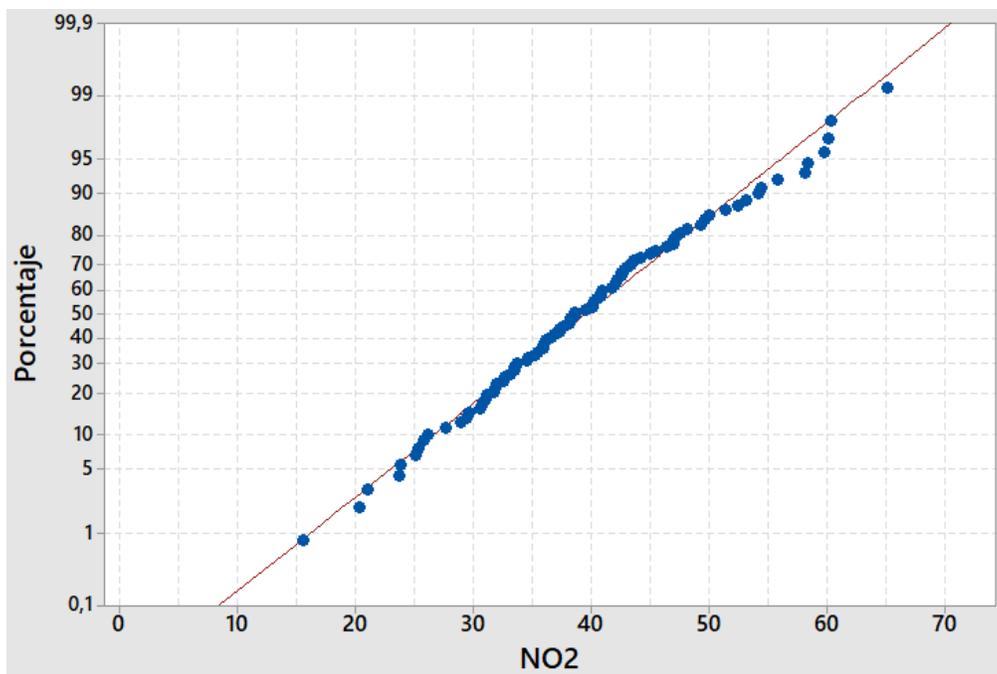
Sitios de muestreo	Concentración de NO ₂ (µg/m ³)			Promedio por sitio
	Campaña 13 (Octubre)	Campaña 14 (Noviembre)	Campaña 15 (Noviembre)	
BEN-01	56	54	38	45
BEN-02	32	38	25	29
BEN-03	48	60	32	38
BEN-04	50	55	44	43
BEN-05	40	42	38	36
BEN-06	43	47	41	44
BEN-07	31	29	22	23
BEN-08	22	20	18	19
BEN-09	-	42	60	46
BEN-10	-	30	17	26
BEN-11	27	27	17	21

Fuente: Elaboración propia

Del Cuadro 9 se observa que con excepción de los sitios BEN-08 y BEN-11 todos los demás sitios incumplen al menos en una campaña el criterio de concentración máxima de la OMS que sitúa el límite en $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_2 . Los dos 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-04, BEN-06 y BEN-09 los cuales se ubican en zonas comerciales e industrial para el caso de BEN-04. Estos resultados son consistentes con lo esperado para el comportamiento de cada uno de los sitios, pues las zonas comerciales e industriales tienden a tener un mayor flujo vehicular que las zonas residenciales, lo que repercute en la concentración observada de NO_2 .

En cuanto a las campañas, todas con excepción de la primera presentan al menos un incumplimiento, donde la campaña con mayor cantidad de incumplimientos corresponde a la campaña 5 del mes de mayo, y si se observan las concentraciones promedio anuales por sitio se aprecia que solo 4 incumplen el límite de la OMS lo que representa un 36 % 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_2 en los sitios comerciales del cantón de Belén corresponde a 0,519 valor superior al de α 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 8.

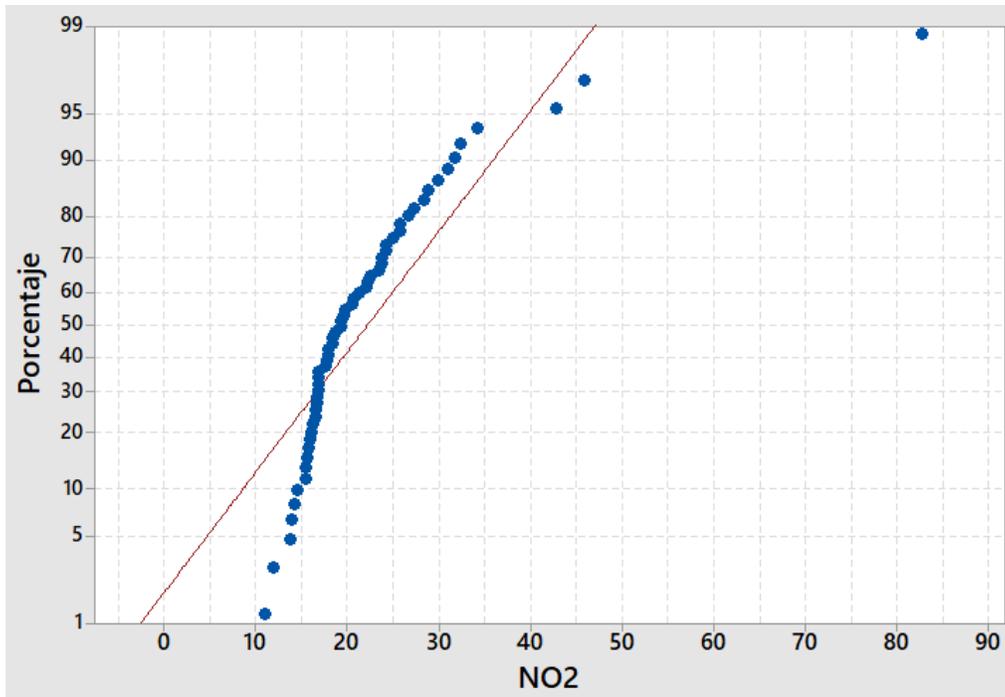


Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Gráfica de probabilidad normal para los datos de concentración de NO₂ en sitios comerciales del cantón de Belén en el año 2015.

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 inferior a 0,005. Esto quiere decir que al ser el valor-p $\leq \alpha$ los datos para los sitios residenciales no siguen una distribución normal, tal como se evidencia con la Figura 9.

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 NO₂ entre campañas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Gráfica de probabilidad normal para los datos de concentración de NO₂ en sitios residenciales del cantón de Belén en el año 2015.

El ANOVA parte de la hipótesis nula (H_0) de que las medias de la concentración de NO₂ son iguales para todas las campañas y la hipótesis alternativa (H_1) de que existe diferencia entre las medias de concentración de NO₂ de las campañas

Al igual que con la prueba de normalidad, el ANOVA genera el estadístico valor-p el cual se compara con el valor de significancia α que para este caso corresponde a 0,05 para una confianza del 95 %. Si al compararlos el valor-p $\leq \alpha$ 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 NO₂ 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 corresponde a 0,005. Al ser el valor-p $\leq \alpha$ existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medias de concentración de NO₂ 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 NO₂ de los sitios comerciales del cantón de Belén en el año 2015.

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

Fuente: Elaboración propia

Para el cuadro anterior, todas las campañas que no compartan una letra en común presentan diferencias estadísticamente significativas entre sus medias, de manera que para este caso existe diferencia entre las medias de la campaña 5 con la campaña 2 y 10. Las demás campañas comparten al menos una letra de manera que no puede afirmarse que sus medias sean diferentes con este método.

Para el caso de los sitios residenciales, la prueba de normalidad arrojó que los datos no siguen una distribución de probabilidad normal, por lo que no es posible realizar un ANOVA para comparar las medias entre las campañas, ya que los ANOVA parten del supuesto de que los datos siguen dicha distribución.

Ante estas circunstancias se puede utilizar algún método no paramétrico para realizar comparaciones entre los factores que en este caso corresponden a las campañas. De esta manera se procede a realizar una prueba de mediana de Mood la cual compara las medianas de las campañas y determina si existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medianas son iguales (H_0) o si no lo son (H_1).

Esta prueba genera el estadístico valor-p, el cual al igual que en otros métodos de análisis estadístico se compara con el valor de significancia α . Si el valor-p $\leq \alpha$ entonces se rechaza H_0 , lo que quiere decir que las diferencias entre las medianas son estadísticamente significativas, o lo que es lo mismo, las medianas son estadísticamente diferentes. Por el contrario, si el valor-p $> \alpha$ no se puede rechazar H_0 , lo que significa que las diferencias entre las medianas no son estadísticamente significativas.

Al correr la prueba de mediana de Mood para los datos de concentración de NO_2 para los sitios residenciales con un nivel de significancia de 0,05 para un nivel de confianza del 95 % se obtiene que el valor-p corresponde a 0,001 valor inferior al de α . Esto quiere decir que al ser el valor-p $\leq \alpha$ se rechaza H_0 y se afirma que no existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medianas de las campañas son estadísticamente iguales.

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 11 muestra las concentraciones promedio anuales de NO₂ para las redes pasivas de Belén y San José en el año 2015.

Cuadro 11. Concentraciones promedio anuales de NO₂ para las redes pasivas de Belén y San José en el año 2015.

Sitio de Muestreo	Concentración promedio anual de NO ₂ (µg/m ³)
SJN-01	65
SJN-02	50
SJN-03	54
SJN-04	40
SJN-05	32
SJN-06	43
SJN-07	27
SJN-08	28
SJN-09	29
SJN-10	47
SJN-11	38
SJN-12	35
SJN-13	29
SJN-14	33
SJN-15	19
SJN-17	18
SJN-16	37
SJN-18	31

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11 (Continuación). Concentraciones promedio anuales de NO₂ para las redes pasivas de Belén y San José en el año 2015.

Sitio de Muestreo	Concentración promedio anual de NO ₂ (µg/m ³)
SJN-19	29
SJN-20	33
SJN-21	43
SJN-22	29
SJN-23	30
SJN-24	45
SJN-25	27
SJN-26	46
SJN-27	38
SJN-28	55
BEN-01	45
BEN-02	29
BEN-03	38
BEN-04	43
BEN-05	36
BEN-06	44
BEN-07	23
BEN-08	19
BEN-09	46
BEN-10	26
BEN-11	21

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior se puede apreciar que, para los sitios de San José, la mayoría presentan concentraciones elevadas de NO₂, lo cual es esperable al considerar que

muchos de estos son comerciales. Para el caso de los sitios de Belén, algunos también presentan concentraciones altas similares a las observadas en San José, sin embargo, las concentraciones más altas de Belén coinciden con los sitios comerciales, 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 2015, se realizó el muestreo de 11 desfuegos. En el Cuadro 12 se observan los resultados de cada uno de los parámetros analizados.

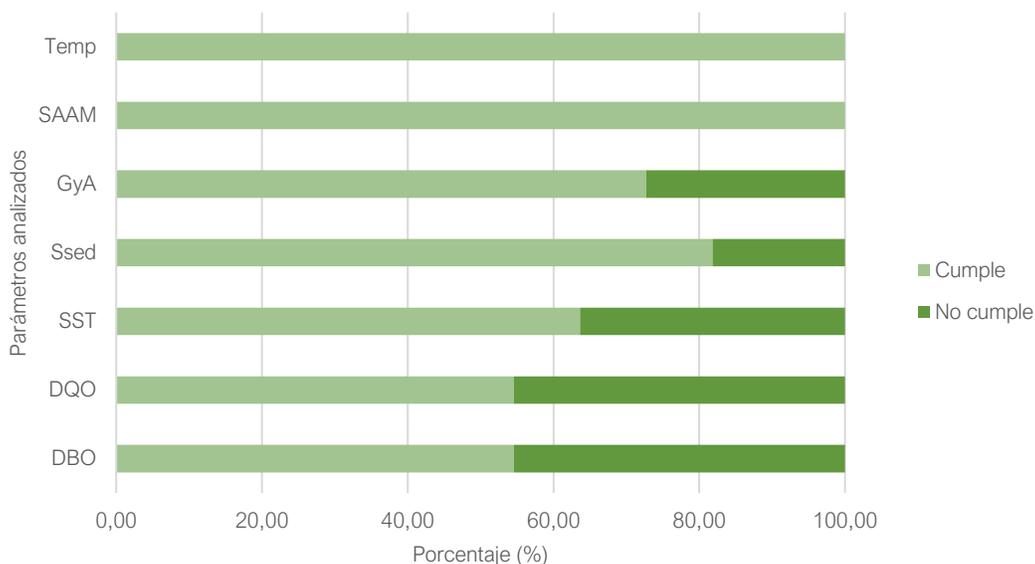
Cuadro 12. Resultado de los análisis de los desfogues muestreados en el cantón de Belén.

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 1	La Ribera	Salida de la PTAR	7,22	22	40	5,4	0,1	16	0,1	31,2
	La Ribera	Desfogue al Río Quebrada Seca	7,04	30	86,9	52,5	1,2	20	0,23	30,9
Ente 2	La Ribera	Salida de la PTAR al cuerpo receptor	6,31	205	257	73	0,9	28	0,1	31,2
	Asunción	Desfogue al Río Quebrada Seca	8,12	0,1	44,9	6,5	0,1	22	0,06	24
Ente 3	Asunción	Desfogue al río Quebrada Seca	6,83	39	58,9	9,6	0,1	34	0,131	25,5
	Asunción	Salida del último reactor hacia cuerpo receptor	7,03	800	1147	68,6	0,1	23	0,4	29,1
Ente 4	San Antonio	Punto de desfogue de PTAR a Quebrada Seca	7,52	300	1142	454,4	700	72	0,15	29,14
Ente 5	Asunción	Desfogue al Río Bermúdez	3,11	21	66	15,3	0,1	2	0,02	25,6
Ente 6	Asunción	Desfogue al Río Bermúdez	7,67	122	197	17,2	0,1	65	0,1	25,5
Ente 7	Asunción	Salida final de sistema de tratamiento (clorada)	8,02	0,1	40	0,7	0,1	19	0,2	29,1
	Asunción	Desfogue al Río Quebrada Seca	7,03	60	471,9	3	0,1	21	0,208	27,6

*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 10 se observa el porcentaje de cumplimiento de los desfogues muestrados por parámetro universal establecido por el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

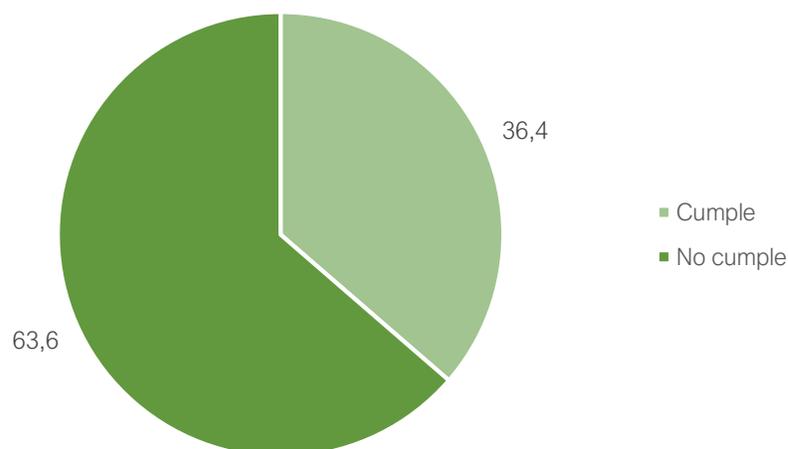


Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Porcentaje de cumplimiento de los desfogues muestrados por parámetro universal analizado en el cantón de Belén.

Tal y como se observa en la Figura 10, lo que respecta a los parámetros de temperatura y Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), la totalidad de los desfogues cumplen con los valores establecidos por el reglamento. No obstante, en DBO, el 45,45 % no cumplió; en DQO el 45,45 % no cumplió; en Sólidos Suspendidos Totales (SST) el 36,36 % no cumplió; en Sólidos Sedimentables (SSed) el 18,18 % no cumplió y Grasas y Aceites, el 27,27 % no cumplió.

Aunado a lo anterior, en la Figura 11 se muestra los resultados del cumplimiento de los desfogues con respecto al decreto ejecutivo.



Fuente: elaboración propia, 2019.

Figura 11. 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 11 puntos muestreados, el 36,4 % cumple con la normativa, mientras que el 63,6 % incumple.

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 13 se muestran las medias y la desviación estándar de cada uno de los parámetros.

Cuadro 13. Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

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 ₄ ³⁻ /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Q.SECA1	7,29 (0,71)	15,91 (12,82)	16,03 (14,37)	104,47 (76,82)	14,37 (9,41)	0,17 (0,12)	29,57 (7,07)	6,41 (7,39)	37,08 (5,67)	1236,67 (336,23)	2850,67 (3575,32)	38,27 (37,59)	16,33 (3,79)
Q.SECA2	7,23 (0,53)	17,17 (9,27)	44,67 (43,66)	144,13 (57,48)	31,03 (8,69)	1,56 (1,15)	35,43 (9,15)	5,81 (5,73)	44,08 (10,78)	1704,00 (524,38)	1924,67 (2713,08)	17,94 (13,63)	11,00 (3,46)
Q.SECA3	7,51 (0,46)	5,40 (0,59)	11,67 (2,89)	81,47 (72,36)	7,40 (7,20)	0,37 (0,31)	33,03 (5,44)	14,71 (13,59)	30,09 (4,14)	1538,00 (1191,35)	1033,67 (606,33)	38,97 (18,57)	9,67 (1,15)
Q.SECA4	7,62 (0,51)	8,69 (5,74)	12,33 (4,04)	51,97 (28,17)	5,40 (4,87)	0,73 (1,10)	30,63 (6,04)	13,37 (11,28)	31,98 (4,56)	2123,33 (1565,37)	823,00 (545,13)	15,69 (14,70)	10,00 (8,00)
R.BMDZ 1	7,48 (0,20)	22,73 (14,24)	39,00 (14,53)	92,97 (17,64)	21,57 (7,66)	0,78 (0,68)	33,27 (5,14)	4,61 (6,67)	34,80 (7,90)	303,00 (137,10)	3646,67 (2912,42)	34,73 (30,77)	11,00 (10,15)
R.BMDZ 2	7,53 (0,07)	32,27 (19,89)	49,33 (7,57)	124,30 (61,13)	22,33 (17,45)	0,92 (0,62)	31,50 (3,72)	4,17 (5,92)	34,32 (7,50)	498,67 (334,82)	3881,67 (3156,48)	29,97 (43,43)	21,00 (13,75)
R.BMDZ 3	7,27 (0,46)	36,53 (22,98)	95,33 (87,76)	293,80 (282,77)	49,63 (45,38)	1,93 (2,25)	33,17 (4,51)	2,74 (3,44)	34,19 (4,63)	373,67 (247,33)	4383,33 (2829,53)	33,22 (44,09)	15,67 (5,86)

* 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 13 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

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 ₄ ³⁻ /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
R.BMDZ4	6,92 (0,32)	58,63 (32,72)	146,33 (49,22)	383,47 (215,57)	74,37 (51,85)	0,81 (0,69)	36,00 (0,87)	1,07 (0,59)	39,93 (4,98)	151,00 (63,66)	8370,00 (7781,88)	30,27 (40,66)	40,67 (27,06)
R.BMDZ5	7,35 (0,38)	42,37 (25,62)	107,33 (51,21)	237,30 (158,00)	47,17 (23,44)	1,35 (0,59)	31,87 (2,97)	2,30 (3,07)	34,31 (2,36)	365,67 (359,06)	5298,00 (4648,56)	38,04 (37,91)	18,00 (-)
R.SGD1	7,70 (0,35)	30,60 (30,44)	27,70 (34,23)	114,30 (87,80)	41,80 (42,17)	1,75 (1,39)	15,63 (7,32)	4,67 (4,53)	22,00 (11,41)	170,00 (116,16)	899,33 (1303,36)	28,77 (4,13)	5,67 (3,51)
R.SGD2	7,41 (0,69)	8,43 (1,71)	8,70 (8,03)	57,30 (34,61)	15,77 (2,32)	0,37 (0,31)	5,97 (0,84)	3,54 (2,82)	22,81 (10,03)	42,67 (7,64)	110,00 (89,62)	12,78 (18,24)	3,33 (2,31)

* 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 13 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

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	1,42 (1,16)	41,17 (12,97)	18,80 (2,14)	15,07 (4,13)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,36 (2,04)	4,54 (4,82)	355,79 (464,97)	74,35 (78,23)
Q.SECA2	0,84 (0,62)	46,49 (12,38)	26,19 (12,24)	16,03 (6,01)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,35 (2,06)	4,54 (2,82)	704,18 (862,93)	81,36 (89,33)
Q.SECA3	0,61 (0,27)	40,68 (21,20)	23,77 (2,40)	13,03 (3,78)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,39 (1,98)	4,54 (4,82)	129,11 (139,92)	57,02 (61,36)
Q.SECA4	0,62 (0,29)	30,48 (9,60)	23,78 (3,85)	13,11 (4,06)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,33 (2,08)	4,54 (4,82)	124,79 (181,46)	33,68 (33,98)
R.BMDZ1	0,95 (0,43)	60,19 (48,74)	26,85 (12,50)	20,93 (5,75)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,39 (1,99)	4,54 (4,82)	393,30 (348,12)	215,38 (233,73)
R.BMDZ2	0,60 (0,45)	42,10 (21,35)	19,35 (2,60)	17,11 (8,03)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	16,67 (26,31)	4,54 (4,82)	111,50 (191,82)	161,37 (270,79)

* 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 13 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

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	1,61 (0,72)	58,99 (37,83)	26,72 (12,50)	22,20 (6,56)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	3,39 (3,43)	4,54 (4,82)	197,53 (175,65)	264,38 (267,49)
R.BMDZ4	2,26 (0,87)	63,74 (45,97)	28,13 (15,70)	20,31 (6,68)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,36 (2,04)	4,54 (4,82)	781,30 (772,67)	211,39 (221,56)
R.BMDZ5	1,59 (0,27)	59,22 (35,75)	25,83 (10,08)	21,67 (5,50)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,34 (2,08)	4,54 (4,82)	841,10 (989,29)	222,05 (204,52)
R.SGD1	0,17 (0,12)	14,41 (3,84)	10,75 (3,79)	5,85 (3,34)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,33 (2,08)	4,54 (4,82)	1387,83 (1654,64)	48,36 (53,58)
R.SGD2	0,18 (0,11)	6,38 (0,53)	8,62 (3,50)	5,15 (2,21)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	3,00 (3,00)	4,54 (4,82)	603,59 (543,60)	20,02 (17,41)

* 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 13 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

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	5,34 (4,72)	2,00 (2,64)	27,02 (46,75)	2,33 (2,52)	2,00 (-)	26,73 (3,00)	4,82 (0,92)	59,43 (13,15)
Q.SECA2	5,00 (4,35)	2,00 (2,64)	44,74 (77,30)	4,00 (5,29)	12,00 (17,32)	27,73 (2,78)	5,08 (0,92)	59,47 (6,69)
Q.SECA3	4,00 (3,60)	2,00 (2,64)	20,04 (34,61)	4,70 (6,39)	2,00 (-)	27,10 (3,27)	6,31 (0,24)	76,70 (6,60)
Q.SECA4	4,67 (4,04)	2,00 (2,64)	21,07 (36,31)	4,00 (5,29)	2,00 (-)	29,20 (2,19)	6,74 (0,60)	79,67 (11,15)
R.BMDZ1	9,34 (10,69)	2,00 (2,64)	28,40 (49,01)	58,33 (99,31)	3,00 (1,73)	27,43 (3,65)	4,48 (3,36)	53,33 (39,23)
R.BMDZ2	9,34 (10,69)	2,00 (2,64)	7,40 (12,64)	35,00 (58,90)	3,00 (1,73)	26,87 (3,54)	2,99 (2,92)	36,40 (36,40)

* 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 13 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

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 (3,51)	2,00 (2,64)	33,07 (57,10)	62,67 (106,81)	10,00 (12,17)	27,27 (4,46)	3,42 (2,55)	41,67 (32,87)
R.BMDZ4	3,34 (3,51)	2,67 (2,51)	50,74 (87,70)	4,33 (5,86)	4,00 (3,46)	25,30 (0,95)	1,36 (1,11)	16,03 (12,95)
R.BMDZ5	3,67 (3,51)	2,00 (2,64)	62,75 (108,47)	56,00 (95,27)	2,00 (-)	27,17 (4,03)	2,57 (2,65)	32,53 (35,03)
R.SGD1	10,00 (11,79)	2,00 (2,64)	19,04 (32,87)	90,00 (154,16)	4,67 (4,62)	23,77 (2,89)	6,42 (0,61)	78,73 (12,51)
R.SGD2	9,67 (11,24)	3,34 (4,93)	17,71 (30,56)	87,67 (150,11)	2,67 (1,15)	24,80 (4,33)	7,39 (0,31)	89,93 (7,06)

* 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 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.

De tal manera, para los puntos muestreados, a pesar de que parámetros como el pH, cuyos valores rondan entre 6,92 – 7,70, 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, por ejemplo, en el parámetro de demanda química de oxígeno, obteniendo valores que clasificarían en la categoría 4.

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 14 muestra el puntaje asignado a cada uno de los valores de los parámetros.

Cuadro 14. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés.

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/l)	N-NH ₄ ⁺ (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 15, 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.

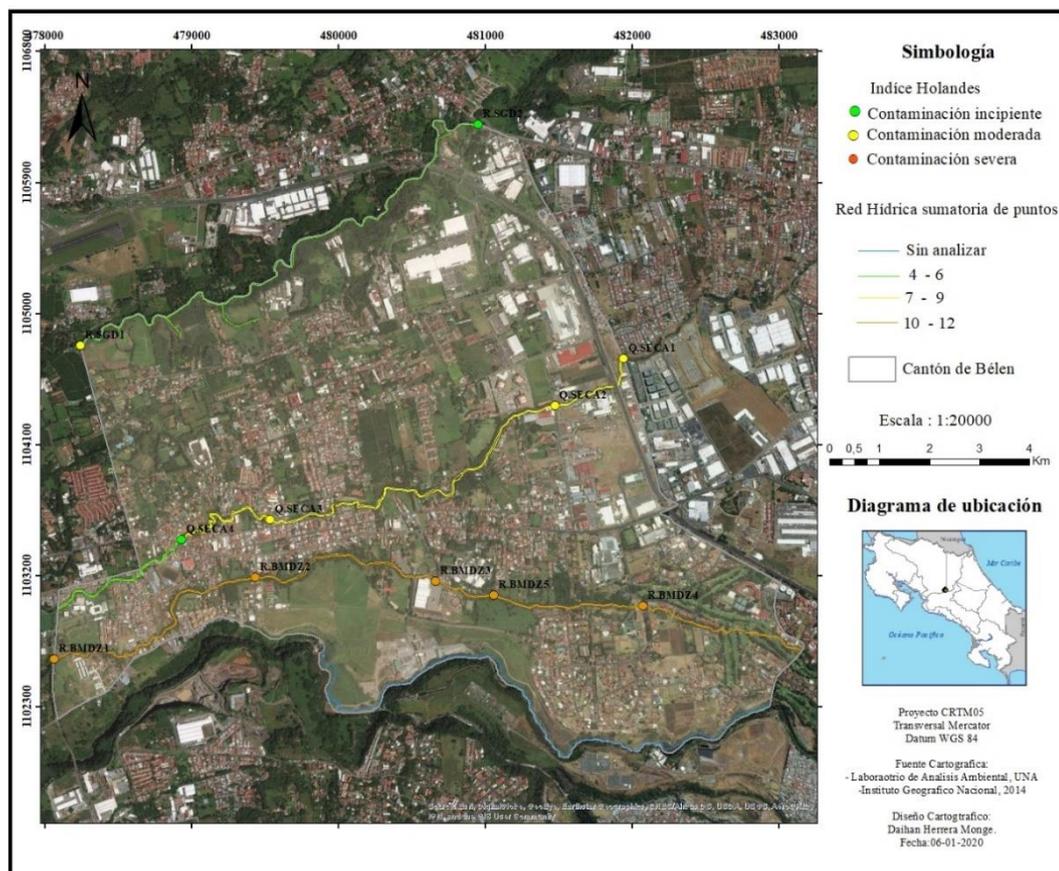
Cuadro 15. Clasificación de los puntos muestreados según el Sistema Holandés.

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	Clase	Interpretación de calidad
Transición	Q.SECA1	49,00	4	0,1	4	0,22	1	9,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA1	55,10	3	28,0	5	5,39	5	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	Q.SECA1	74,20	2	20,0	5	1,04	3	10,00	4	Severa
Transición	Q.SECA2	52,00	3	22,0	5	0,21	1	9,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA2	61,50	3	17,0	5	3,93	4	12,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA2	64,90	3	95,0	5	0,34	1	9,00	3	Moderada
Transición	Q.SECA3	80,00	2	10,0	4	0,55	2	8,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA3	69,10	3	10,0	4	1,35	3	10,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA3	81,00	2	15,0	5	0,51	2	9,00	3	Moderada
Transición	Q.SECA4	92,00	1	10,0	4	0,29	1	6,00	2	Incipiente
Lluviosa	Q.SECA4	70,30	3	10,0	4	1,11	3	10,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA4	76,70	2	17,0	5	0,52	2	9,00	3	Moderada
Transición	R.BMDZ1	9,10	5	40,0	5	0,27	1	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ1	83,90	2	24,0	5	4,54	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ1	67,00	3	53,0	5	3,70	4	12,00	4	Severa
Transición	R.BMDZ2	7,10	5	44,0	5	0,18	1	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ2	24,90	5	58,0	5	4,42	4	14,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ2	77,20	2	46,0	5	4,46	4	11,00	4	Severa
Transición	R.BMDZ3	6,20	5	189,0	5	0,88	2	12,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ3	47,70	4	82,0	5	4,89	4	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ3	71,10	2	15,0	5	4,46	4	11,00	4	Severa
Transición	R.BMDZ4	6,60	5	168,0	5	0,42	1	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ4	10,70	5	181,0	5	12,53	5	15,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ4	30,80	5	90,0	5	6,58	5	15,00	5	Muy Severa
Transición	R.BMDZ5	7,70	5	161,0	5	0,12	1	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ5	17,30	5	102,0	5	5,09	5	15,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ5	72,60	2	59,0	5	7,15	5	12,00	4	Severa
Transición	R.SGD1	88,00	2	0,1	4	0,05	1	7,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD1	64,50	3	66,0	5	1,87	3	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.SGD1	83,70	2	17,0	5	0,18	1	8,00	3	Moderada
Transición	R.SGD2	98,00	1	0,1	4	0,03	1	6,00	2	Incipiente
Lluviosa	R.SGD2	84,90	2	16,0	5	0,16	1	8,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD2	86,90	2	10,0	4	0,06	1	7,00	3	Moderada

Fuente: elaboración propia

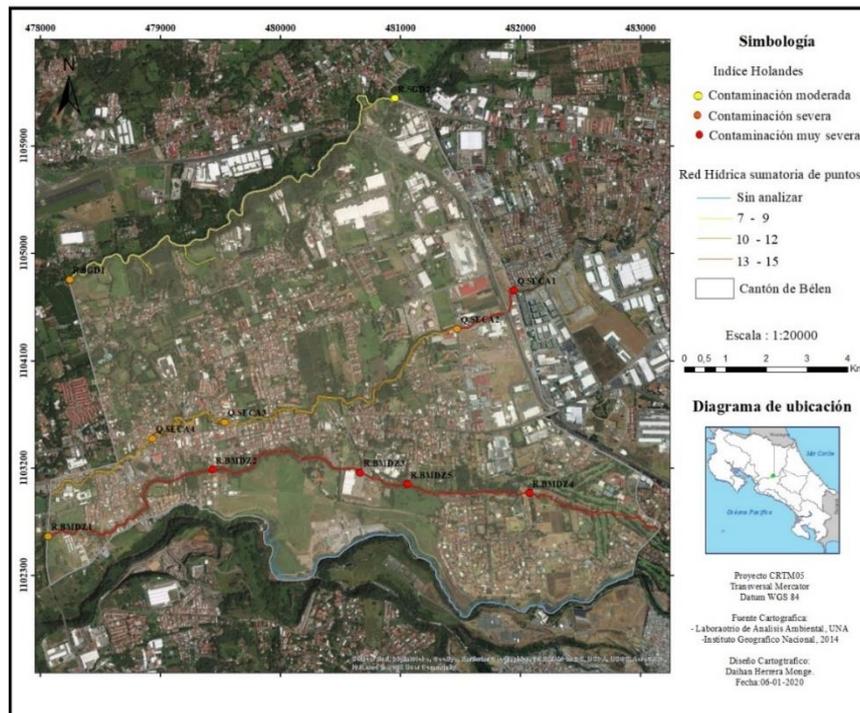
Del cuadro anterior es importante mencionar que se realiza una clasificación por cada uno de los puntos de muestreo en las tres campañas. Esto quiere decir que existe una categorización para el mismo punto, tanto en época de transición y dos resultados en época lluviosa. Esto con el fin de determinar si existe diferencias en el grado de contaminación.

Aunado a lo anterior, en las Figura 12, 13 y 14 se muestra la interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua.



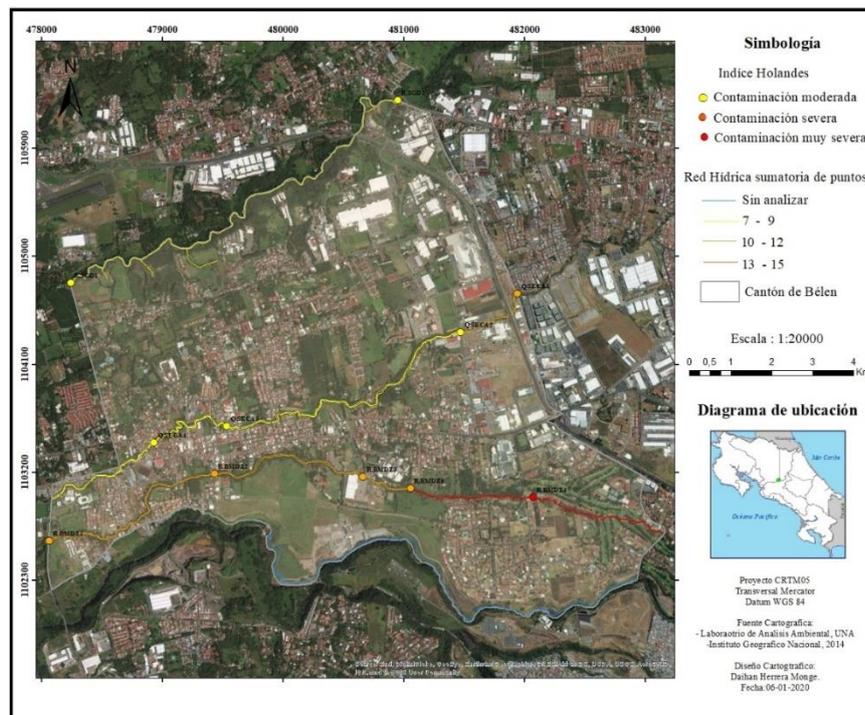
Fuente: elaboración propia

Figura 12 Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de junio de 2015.



Fuente: elaboración propia

Figura 13 Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de agosto de 2015.



Fuente: elaboración propia

Figura 14 Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de octubre de 2015.

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, existe un menor grado de contaminación en los tres ríos en la época de transición, seguidamente hubo un aumento en la carga contaminante para la siguiente campaña, la cual fue realizada en agosto y finalmente el nivel de contaminación disminuyó nuevamente en la tercera campaña (realizada en octubre). Esta última reducción puede deberse al proceso de dilución debido al incremento en la frecuencia e intensidad de las lluvias, aumentando el caudal de los cuerpos receptores y, por ende, las concentraciones de los contaminantes disminuir por haber aumentado el volumen del 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 16.

Cuadro 16. 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

Fuente: decreto ejecutivo N° 33903, 2007.

Cuadro 16 (Continuación). 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 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

Fuente: decreto ejecutivo N° 33903, 2007.

Cuadro 16 (Continuación). 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
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 2015, existe una limitante en los usos de Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo debido al grado de contaminación existente, dado que las clasificaciones se encuentran entre la 3 y la 5 (y en época de transición, específicamente para los puntos R.SGD2 y Q.SECA4, la categoría fue de 2).

En el análisis 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 17 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 17. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2015.

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 ₄ ³⁻ /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Transición	1Entrada	Q.SECA1	7,43	10,2	0,1	65	9,7	0,3	29	4	32	1612	282	32	12
Transición	1Salida	Q.SECA4	8,21	5	10	28	0,8	0,1	36	18	35	3896	370	14	10
Lluviosa	2Entrada	Q.SECA1	7,92	30,6	28	193	25,2	0,1	36,9	0,52	36,04	1135	6934	78,6	18
Lluviosa	2Salida	Q.SECA4	7,33	15,3	10	83	4,9	0,1	31,8	0,52	26,73	1543	1428	31,16	18
Lluviosa	3Entrada	Q.SECA1	6,52	6,94	20	55,4	8,2	0,1	22,8	14,7	43,2	963	1336	4,2	19
Lluviosa	3Salida	Q.SECA4	7,33	5,76	17	44,9	10,5	2	24,1	21,6	34,2	931	671	1,9	2

* 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 17 (Continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2015.

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)
Transición	Entrada	Q.SECA1	0,6	54	18	10,4	2	0,7	4	4	185	67
Transición	Salida	Q.SECA4	0,6	37	26	9,4	2	0,7	4	4	41	33
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	0,91	41,454	21,23	18,23	9	0,0039	3	9,6	882	156
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,33	34,99	26	17,45	9	0,0039	3	9,6	333	68
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	2,743	28,06	17,18	16,57	0,009	0,0039	0,072	0,0096	0,356	0,06
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,918	19,46	19,34	12,47	0,009	0,0039	0,003	0,0096	0,366	0,052

* 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 17 (Continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2015.

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
Transición	Entrada	Q.SECA1	9	1	0,06	5	2	25	3,87	49
Transición	Salida	Q.SECA4	7	1	0,06	10	2	27,6	7,39	92
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	7	5	81	2	d	25	4,89	55,1
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	7	5	63	2	2	28,3	6,2	70,3
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	0,007	0,005	0,005	0,002	2	30,2	5,7	74,2
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,007	0,005	0,161	0,002	2	31,7	6,62	76,7

* 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 época de transición hubo un aumento en los parámetros: pH, DBO, cloruro, nitrato, sulfato, nitrito, amonio, calcio, cadmio, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una disminución en: turbiedad, DQO, SST, SSed, fósforo total, nitrógeno, potasio, aluminio, manganeso y cromo.

Para el caso de la primera campaña de muestreo en época lluviosa hubo un aumento en los parámetros: nitrito, calcio, hidrocarburo, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una reducción en: pH, turbiedad, DBO, DQO, SST, cloruro, sulfato, amonio, fósforo total, SAAM, sodio, potasio, aluminio, manganeso y zinc.

Finalmente, para la tercera campaña de muestreo, hubo un aumento en los parámetros: pH, SST, SSed, cloruro, nitrato, calcio, aluminio, zinc, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una reducción en: turbiedad, DBO, DQO, sulfato, nitrito, amonio, fósforo total, nitrógeno, SAAM, sodio, potasio, níquel y manganeso (tanto en época de transición, como lluviosa) se demuestra que existe en algunos parámetros un aumento de carga contaminante y en otros una disminución.

Río Bermúdez

En el Cuadro 18 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 18. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2015.

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 (mgPO43-/l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Transición	Entrada	R.BMDZ4	6,8	92	168	605	131,5	1,5	37	1	39	224	544	8	71
Transición	Salida	R.BMDZ1	7,64	38,5	40	106	29	1,5	37	1	35	157	342	31	22
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	7,28	57,3	181	371	61,3	0,8	35,6	0,52	35,48	107	16107	77,2	32
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	7,54	18,9	24	100	22	0,7	27,4	0,52	26,81	323	5839	67,19	9
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	6,68	26,6	90	174,4	30,3	0,13	35,4	1,7	45,3	122	8459	5,6	19
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	7,26	10,8	53	72,9	13,7	0,14	35,4	12,3	42,6	429	4759	6	2

* 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 Río Bermúdez para el 2015.

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)
Transición	Entrada	R.BMDZ4	2,5	116	46	15	2	0,7	4	4	1546	442
Transición	Salida	R.BMDZ1	0,7	116	41	24	2	0,7	4	4	514	464
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	2,99	45,71	21,82	27,81	9	0,0039	3	9,6	797	192
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	0,71	38,61	22,26	24,49	9	0,0039	3	9,6	665	182
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	1,298	29,52	16,57	18,11	0,009	0,0039	0,079	0,0096	0,908	0,156
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	1,442	25,96	17,3	14,3	0,009	0,0039	0,159	0,0096	0,892	0,135

* 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 Río Bermúdez para el 2015.

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
Transición	Entrada	R.BMDZ4	3	3	0,06	11	2	25,4	0,52	6,6
Transición	Salida	R.BMDZ1	21	1	0,06	173	2	25,9	0,72	9,1
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	7	5	152	2	2	24,3	0,93	10,7
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	7	5	85	2	5	24,8	7,18	83,9
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	0,007	0,005	0,15	0,002	8	26,2	2,62	30,8
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	0,007	0,005	0,15	0,002	2	31,6	5,54	67

* 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 época de transición hubo un aumento en los parámetros: pH, fósforo total, potasio, manganeso, cromo, cadmio, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera que hubo una disminución en: turbiedad, DBO, DQO, SST, sulfato, nitrito, amonio, nitrógeno, SAAM, calcio y arsénico.

Para el caso de la primera campaña en la época lluviosa, hubo un aumento en los parámetros: pH, nitrito, calcio, hidrocarburos, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. Asimismo, hubo una reducción en: turbiedad, DBO, DQO, SST, SSed, cloruro, sulfato, amonio, fósforo total, nitrógeno, SAAM, sodio, potasio, aluminio y zinc.

Finalmente, para la segunda campaña de muestreo en la época lluviosa, aumentaron los siguientes parámetros: pH, SSed, nitrato, nitrito, fósforo total, SAAM, potasio, níquel, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una reducción en los siguientes parámetros: turbiedad, DBO, DQO, SST, sulfato, amonio, nitrógeno, sodio, potasio, aluminio, manganeso e hidrocarburos.

Río Segundo

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 Segundo para el 2015.

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 ₄ ³⁻ /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Transición	Entrada	R.SGD2	7,31	8,8	0,1	55	16,9	0,3	5	4	12	36	40	2	6
Transición	Salida	R.SGD1	7,93	11,4	0,1	85	21,3	0,5	8	4	10,3	108	62	24	6
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	8,14	6,57	16	93	17,3	0,1	6,5	0,52	24,64	51	211	33,84	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	7,88	65,7	66	213	90,3	3,25	16,3	0,52	22,47	304	2401	31,16	9
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	6,78	9,93	10	23,9	13,1	0,7	6,4	6,1	31,8	41	79	2,5	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	7,3	14,7	17	44,9	13,8	1,5	22,59	9,5	33,1	98	235	31,16	2

* 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 Segundo para el 2015.

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)
Transición	Entrada	R.SGD2	0,3	6,4	4,58	2,7	2	0,7	6	4	750	28
Transición	Salida	R.SGD1	0,3	10	6,4	3,2	2	0,7	4	4	941	39
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,16	6,899	10,79	5,745	9	0,0039	3	9,6	1059	32
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,16	17,03	13,31	4,745	9	0,0039	3	9,6	3220	106
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,087	5,844	10,5	7	0,009	0,0039	0,003	0,0096	1,784	0,048
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,06	16,19	12,54	9,596	0,009	0,0039	0,003	0,0096	2,48	0,081

* 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 Segundo para el 2015.

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
Transición	Entrada	R.SGD2	22	1	0,06	261	2	22,1	7,61	98
Transición	Salida	R.SGD1	23	1	0,06	268	2	22,2	6,95	88
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	7	9	53	2	4	22,5	7,53	84,9
Lluviosa	Salida	R.SGD1	7	5	57	2	10	22	5,75	64,5
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,007	0,005	0,063	0,002	2	29,8	7,04	86,9
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,007	0,005	0,069	0,002	2	27,1	6,57	83,7

* 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 época de transición hubo un aumento en los parámetros: pH, turbiedad, DQO, SST, SSed, cloruro, nitrito, amonio, fósforo, sodio, calcio, potasio, aluminio, manganeso, cromo, cadmio y temperatura. De tal manera que hubo una disminución en: sulfato, níquel, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

Para el caso de la primera campaña en la época lluviosa, hubo un aumento en los parámetros: turbiedad, DBO, DQO, SST, SSed, cloruro, nitrito, amonio, nitrógeno, sodio, calcio, aluminio, manganeso, zinc e hidrocarburos. Asimismo, hubo una reducción en: pH, sulfato, fósforo total, potasio, arsénico, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

Finalmente, para la segunda campaña de muestreo en la época lluviosa, aumentaron los siguientes parámetros: pH, turbiedad, DBO, DQO, SST, SSed, cloruro, nitrato, sulfato, nitrito, amonio, fósforo total, sodio, calcio, potasio, aluminio, manganeso y zinc. De tal manera, hubo una reducción en los siguientes parámetros: SAAM, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.



5. Conclusiones y Recomendaciones

- El Sistema Holandés, determina que la calidad de agua de los tres cuerpos receptores no es apta para consumo humano e inclusive, es muy limitado dado al grado de contaminación presente tanto en época de transición o lluviosa.
- Dado al aumento en la frecuencia e intensidad de las lluvias en la época lluviosa, se disminuye el grado de contaminación de los tres cuerpos receptores según lo analizado por medio del Sistema Holandés.
- Es de vital importancia considerar la realización de un muestreo que contemple la época seca, esto con el fin de poder comparar los valores de los parámetros fisicoquímicos en época seca, época de transición y época lluviosa.
- Es importante para futuros muestreos considerar la aplicación de los macroinvertebrados con el fin de obtener un índice de calidad del agua más integral.
- A pesar de que se aplica la Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua, es importante en el análisis complementarlo con los parámetros adicionales, con el fin de evaluar de una manera más integral la calidad de este recurso.
- Según el Sistema Holandés, Río Segundo es, de los tres cuerpos receptores muestreos, el que cuenta con un menor grado de contaminación en comparación con Quebrada Seca y Río Bermúdez.
- De los 11 desfuegos muestreados y analizados en el 2015, solamente el 36,4 % cumplen con la legislación nacional. Esto es de vital importancia dado que se deben de tomar medidas para disminuir las cargas de aguas residuales que son vertidas en los cuerpos receptores del cantón.
- De los parámetros fisicoquímicos analizados para evaluar el grado de cumplimiento de los desfuegos, el DBO y DQO fueron aquellos en donde los puntos muestreados incumplieron más veces. Dicho de otra manera, el 45,45 % de los desfuegos incumplieron por superar los límites máximos permisibles en dichos parámetros.

- Es de interés el diseñar planes de mitigación y remediación a partir de los datos obtenidos anualmente. Esto con el propósito de mejorar la calidad de los cuerpos receptores a corto, mediano y largo plazo. Así como la articulación de esfuerzos con los otros cantones.
- La concentración promedio anual de PM_{10} para sitio de monitoreo ubicado en la Ribera de Belén corresponde a $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor inferior al 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 cuarta 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 presentan una distribución normal de acuerdo con la prueba estadística de Anderson-Darling con un 95 % de confianza.
- En la red pasiva de monitoreo 4 sitios que representan un 36 % del total de sitios de la red presentan concentraciones promedio anuales de NO_2 por encima del límite establecido por la OMS.
- Los sitios con concentraciones más altas de NO_2 y con mayor cantidad de incumplimientos a lo largo del año coinciden con los sitios de tipo comercial e industrial, mientras que las concentraciones más bajas se observan en los sitios residenciales.
- Los datos de concentración de NO_2 para los sitios comerciales de la red pasiva presentan una distribución normal de acuerdo con la prueba estadística de Anderson-Darling con un 95 % de confianza.
- Tras ejecutar un ANOVA con un 95 % de confianza para los datos de concentración de NO_2 en los 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 NO_2 para los sitios residenciales de la red pasiva no presentan una distribución normal de acuerdo con la prueba estadística de Anderson- Darling con un 95 % de confianza.
- Tras ejecutar la prueba de medianas de Mood con un 95 % de confianza para los datos de concentración de NO_2 en los sitios residenciales de la red pasiva se obtiene que no existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las medianas de las campañas sean 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.

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*.

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

Gil-Marín, J., Vizcaino, C., & 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.

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.