



## INFORME ANUAL DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA MATRIZ AGUA 2020

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 para la Municipalidad de Belén



**Elaborado por:**

Laboratorio de Análisis Ambiental  
Escuela de Ciencias Ambientales  
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Julio, 2021

Heredia, Costa Rica

## Índice General

Índice General	1
Índice de Figuras	2
Índice de Cuadros	7
Presentación	8
1. Introducción	10
2. Marco Teórico	14
2.1. Contaminación de cuerpos de agua	15
2.2. Índices de calidad del agua (ICA)	15
3. Metodología	18
3.1. Ubicación de los sitios de muestreo	19
3.2. Frecuencia de muestreo	20
3.3. Muestreo de aguas superficiales	21
3.4. Análisis de muestras de aguas superficiales	22
4. Resultados	28
4.1. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el Río Quebrada Seca	37
4.2. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el Río Segundo	48
4.3. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el Río Bermúdez	59
4.4. Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del Agua	70
5. Conclusiones y recomendaciones	83
5.1. Conclusiones	84
5.2. Recomendaciones	87
6. Bibliografía	88

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de cuerpos de agua superficiales en el cantón de Belén, 2020. ....	20
<b>Figura 2.</b> Valores promedio mensuales de pH, turbiedad, DBO, SST, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	37
<b>Figura 3.</b> Valores promedio mensuales de amonio, nitrito y aluminio en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	38
<b>Figura 4.</b> Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato y porcentaje de saturación en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	38
<b>Figura 5.</b> Valores promedio mensuales de SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	39
<b>Figura 6.</b> Valores promedio mensuales de calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	39
<b>Figura 7.</b> Valores promedio mensuales de manganeso, sodio y zinc en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	40
<b>Figura 8.</b> Valores promedio mensuales de fósforo total, cromo y níquel en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	40
<b>Figura 9.</b> Valores promedio anuales por sitio para pH, turbiedad, DBO, SST, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	42
<b>Figura 10.</b> Valores promedio anuales por sitio para amonio, nitrito y aluminio en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	42
<b>Figura 11.</b> Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato y porcentaje de saturación en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	43

<b>Figura 12.</b> Valores promedio anuales por sitio para SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	43
<b>Figura 13.</b> Valores promedio anuales por sitio para calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	44
<b>Figura 14.</b> Valores promedio anuales por sitio para manganeso, sodio y zinc en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	44
<b>Figura 15.</b> Valores promedio anuales por sitio para fósforo total, cromo y níquel en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	45
<b>Figura 16.</b> Valores promedio mensuales de pH, turbiedad, DBO, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	48
<b>Figura 17.</b> Valores promedio mensuales de amonio, nitrito y aluminio en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	49
<b>Figura 18.</b> Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación y SST en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	49
<b>Figura 19.</b> Valores promedio mensuales de SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	50
<b>Figura 20.</b> Valores promedio mensuales de calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	50
<b>Figura 21.</b> Valores promedio mensuales de manganeso, sodio y zinc en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	51
<b>Figura 22.</b> Valores promedio mensuales de fósforo total, cromo y níquel en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	51
<b>Figura 23.</b> Valores promedio anuales por sitio para pH, turbiedad, DBO, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	53
<b>Figura 24.</b> Valores promedio anuales por sitio para amonio, nitrito y aluminio en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	53

<b>Figura 25.</b> Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación y SST en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	54
<b>Figura 26.</b> Valores promedio anuales por sitio para SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	54
<b>Figura 27.</b> Valores promedio anuales por sitio para calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	55
<b>Figura 28.</b> Valores promedio anuales por sitio para manganeso, sodio y zinc en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	55
<b>Figura 29.</b> Valores promedio anuales por sitio para fósforo total, cromo y níquel en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	56
<b>Figura 30.</b> Valores promedio mensuales de pH, DBO, SST, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	59
<b>Figura 31.</b> Valores promedio mensuales de amonio, nitrito y aluminio en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	60
<b>Figura 32.</b> Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación y turbiedad en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	60
<b>Figura 33.</b> Valores promedio mensuales de SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	61
<b>Figura 34.</b> Valores promedio mensuales de calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	61
<b>Figura 35.</b> Valores promedio mensuales de manganeso, sodio y zinc en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	62
<b>Figura 36.</b> Valores promedio mensuales de fósforo total, cromo y níquel en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	62
<b>Figura 37.</b> Valores promedio anuales por sitio para pH, DBO, SST, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	64

<b>Figura 38.</b> Valores promedio anuales por sitio para amonio, nitrito y aluminio en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	65
<b>Figura 39.</b> Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación y turbiedad en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	65
<b>Figura 40.</b> Valores promedio anuales por sitio para SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	66
<b>Figura 41.</b> Valores promedio anuales por sitio para calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	66
<b>Figura 42.</b> Valores promedio anuales por sitio para manganeso, sodio y zinc en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.....	67
<b>Figura 43.</b> Valores promedio anuales por sitio para fósforo total, cromo y níquel en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020. ....	67
<b>Figura 44.</b> Interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de marzo 2020 (época seca).....	73
<b>Figura 45.</b> Interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de octubre 2020 (época lluviosa). ....	74
<b>Figura 46.</b> Porcentaje de sitios clasificados según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para cada campaña de muestreo en el Río Quebrada Seca, 2020. ....	76
<b>Figura 47.</b> Cantidad de clasificaciones según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para las diferentes partes de la microcuenca en el Río Quebrada Seca, 2020. ....	76
<b>Figura 48.</b> Síntesis de la clasificación espacio-temporal del Río Quebrada Seca según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.....	77
<b>Figura 49.</b> Porcentaje de sitios clasificados según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para cada campaña de muestreo en el Río Segundo.....	78
<b>Figura 50.</b> Cantidad de clasificaciones según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para las diferentes partes de la microcuenca en el Río Segundo, 2020.....	78
<b>Figura 35.</b> Síntesis de la clasificación espacio-temporal del Río Segundo según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.....	79

<b>Figura 52.</b> Porcentaje de sitios clasificados según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para cada campaña de muestreo en el Río Bermúdez. ....	80
<b>Figura 53.</b> Cantidad de clasificaciones según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para las diferentes partes de la microcuenca en el Río Bermúdez, 2020. ....	80
<b>Figura 54.</b> Síntesis de la clasificación espacio-temporal del Río Bermúdez según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés. ....	81

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Descripción y coordenadas de los sitios de muestreo del monitoreo de calidad de cuerpos de agua superficiales del cantón de Belén. ....	19
<b>Cuadro 2</b> Fechas de los muestreos realizados en las diferentes microcuencas que atraviesan el cantón de Belén. ....	20
<b>Cuadro 3.</b> Detalle de procedimientos de análisis de ensayo, incluyendo límites de detección, cuantificación y referencia del método de análisis. ....	22
<b>Cuadro 4.</b> Promedios anuales de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el cantón de Belén durante el año 2020. ....	29
<b>Cuadro 5.</b> Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de los cuerpos superficiales para las clases establecidas en el D.E. 33903-MINAE-S. ....	33
<b>Cuadro 6.</b> Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera de acuerdo con lo establecido en el D.E. 33903-MINAE-S. ....	34
<b>Cuadro 7.</b> Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Quebrada Seca, 2020. ....	46
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Segundo, 2020. ....	57
<b>Cuadro 9.</b> Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Bermúdez, 2020. ...	69
<b>Cuadro 10.</b> Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua. ....	71
<b>Cuadro 11.</b> Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua por codificación de colores. ....	71
<b>Cuadro 12.</b> Clasificación de los puntos muestreados según el Sistema Holandés. ....	72

## Presentación

Ante las problemáticas que sufre el mundo como consecuencia del cambio climático y la acción humana sobre el ambiente y buscando mejorar la calidad de vida de los habitantes del cantón, la Municipalidad de Belén con el apoyo del Laboratorio de Análisis Ambiental cuenta con un Observatorio Ambiental desde el año 2007 que establece una serie de muestreos en cuerpos de agua superficiales y calidad del aire con el fin de contar con datos objetivos y científicos en diferentes puntos de interés del cantón para la adecuada toma de decisiones en esta materia.

De esta manera, en el marco del contrato UNA-CVE-813-2017 sostenido entre la Municipalidad de Belén y la Universidad Nacional (UNA), se presenta el informe anual de calidad ambiental para la matriz agua 2020, donde se presentan los principales resultados y tendencias observadas en el monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón, durante el año de análisis.

Para ello se realizaron 2 campañas de muestreo con el propósito de caracterizar dos épocas climáticas distintas (seca y lluviosa), donde se tomaron muestras simples de agua en diferentes partes de la microcuenca de los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Río Bermúdez de manera que se cuente con información de los ríos en su paso por el cantón a la entrada, medio y salida de este.

Las muestras fueron trasladadas en frío al Laboratorio de Análisis Ambiental, donde se llevaron a cabo los análisis de los parámetros requeridos para la obtención del Índice Holandés de Valoración de Calidad para los Cuerpos de Agua Superficiales, así como los parámetros complementarios.

De los resultados obtenidos se concluye que el Río Bermúdez corresponde al más contaminado de los tres cuerpos de agua estudiados, seguido del Río Quebrada Seca y el Río Segundo respectivamente. De igual manera, la época seca correspondiente a la campaña del mes de marzo es la que presenta los niveles de contaminación más altos en el Río Bermúdez, aunque también algunos de los más bajos en el Río Segundo.

Según las clasificaciones obtenidas para los cuerpos de agua en cuestión, con base en los parámetros complementarios, el uso que se puede hacer del recurso hídrico de acuerdo con lo establecido en el Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S es amplio pues la mayoría de las variables

clasifican en tipo 1 o 2, aunque los parámetros asociados a la contaminación orgánica obtuvieron clasificaciones entre 3 y 5 que limitan significativamente su uso según el destino que se le vaya a dar al agua.

Finalmente se recomienda complementar el análisis con estudios del uso de suelo en las cercanías de las microcuencas con el objetivo de conocer las principales actividades económicas en los distintos sitios de monitoreo y cómo estas afectan las características de los vertidos que incrementan la carga contaminante de los cuerpos de agua.

**M.Sc. Victor Hugo Beita Guerrero**

**Coordinador del Laboratorio de Análisis Ambiental**

**Universidad Nacional**



# 1. Introducción

El mundo ha experimentado un crecimiento poblacional con tendencia exponencial en los últimos siglos que ha ocasionado un cambio importante en los hábitos de consumo, repercutiendo sobre la explotación de los recursos naturales y ocasionando problemas sociales, económicos y ambientales que en conjunto han llevado a una crisis ambiental producto de los efectos de las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas, los cuales no cuentan con la capacidad de regenerarse al mismo ritmo al que se extraen sus recursos, resultando en una degeneración o deterioro del medio (Perevochtchikova, 2009 & Mercado-Maldonado & Ruiz-González, 2006).

El crecimiento económico acelerado y la globalización han sido factores que han propiciado la aparición de problemáticas a nivel social y ambiental, tanto a escala mundial como regional y local (Vargas-Marcos, 2005). Por tales motivos, tanto entes internacionales como nacionales en diferentes partes del mundo han identificado que la única forma sensata de desarrollo desde todos los puntos de vista es a través del desarrollo sostenible, ya que, los modelos que se han ejecutado durante décadas han conllevado no solo la pérdida de especies, sino un impacto directo sobre la salud de las personas (UNEP, 2017).

La contaminación ambiental continúa siendo una gran problemática que tiende a agravarse más como resultado de los cambios en los patrones de consumo de la población. Los contaminantes, especialmente los productos químicos sintéticos, las emisiones antropogénicas y la generación de residuos sólidos están degradando la calidad del aire, del recurso hídrico y del suelo. Este deterioro va limitando cada día más la disponibilidad de recursos para las generaciones actuales y futuras (UNEP, 2017).

Según Foladori (2001, citado por Mercado-Maldonado y Ruiz-González, 2006) las principales problemáticas ambientales que han sido enlistadas por los organismos internacionales son: la deforestación de bosques, la contaminación del recurso hídrico, la contaminación de costas y mares, la sobreexplotación de mantos acuíferos, la erosión de suelos, la destrucción de la capa de ozono, el calentamiento global, entre otros.

En el caso particular del recurso hídrico, la problemática socio ambiental desprendida de la escasez de agua potable, producto de su contaminación, es crítica, pues afecta la salud de las personas y su capacidad para cubrir las necesidades básicas. Aunado a esto, la carencia de sistemas de

alcantarillado sanitario, infraestructura adecuada y en buen estado para el manejo de las aguas residuales o la falta de mecanismos de control para asegurar el tratamiento de dichas aguas se suma a la problemática que ocasionan el deterioro de la calidad de los cuerpos de agua y afecta la utilidad de dicho recurso ya sea para consumo humano, riego, u otros usos (Solano-Arce, 2011).

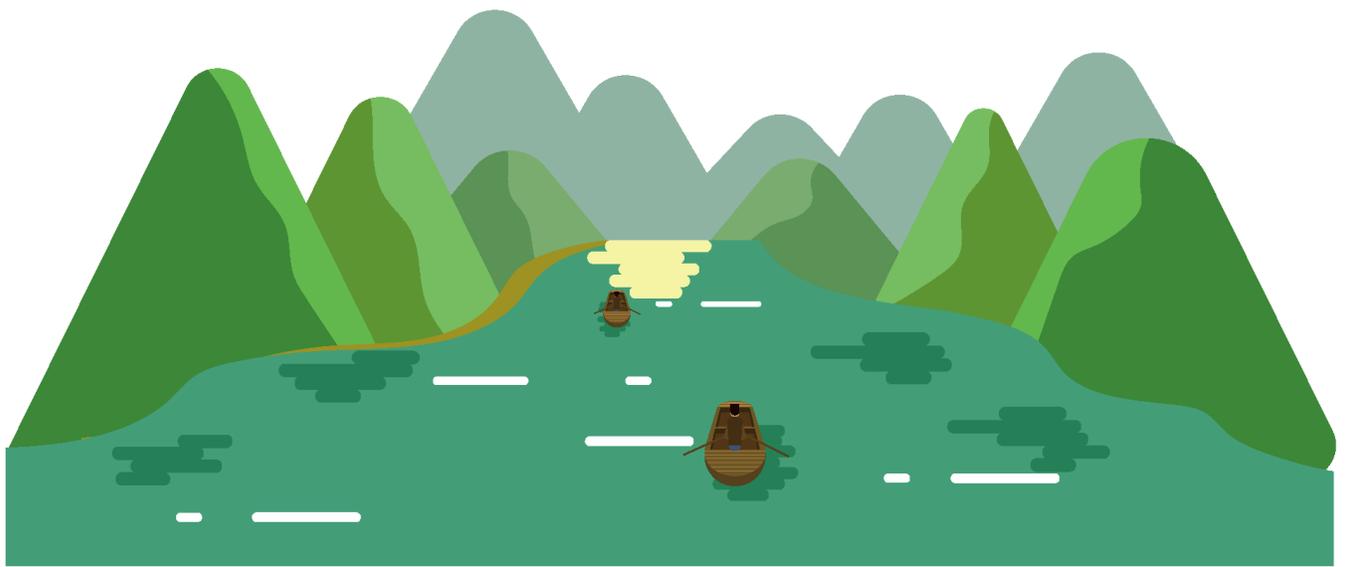
Los problemas derivados de la mala calidad del agua no solo afectan a los usos de esta, sino que también causan impactos en los ecosistemas acuáticos, debido a la capacidad del agua para transportar agentes contaminantes, los cuales interactúan con biota acuática y limitan el desarrollo de múltiples especies. De igual manera, agentes contaminantes de naturaleza biológica introducidos al medio acuático pueden ser transportados por el agua y ocasionar enfermedades en los consumidores (Nivelo-Nivelo, 2015 & Romeu-Álvarez et al., 2015).

Ante la problemática expuesta anteriormente, la única manera de saber con certeza si existen cambios en la calidad ambiental de las diferentes matrices, es mediante la medición de los contaminantes a través del monitoreo ambiental (CEPIS, OPS y OMS, 1999). Este se define como una serie de mediciones de variables físicas, químicas y biológicas diseñadas para responder preguntas con respecto a los cambios que han existido en el ambiente (Lovett et al., 2007).

El monitoreo ambiental no solo proporciona la información base para formular políticas ambientales, sino que un monitoreo constante permite evaluar los resultados de la implementación de estas políticas. Por lo tanto, los gobiernos requieren los Planes de Monitoreo Ambiental para el diseño e implementación de medidas que busquen la mejora de la calidad ambiental (Lovett et al., 2007).

La reducción de la contaminación es fundamental para proteger los ecosistemas de los que dependen los seres humanos y toda forma de vida del planeta (UNEP, 2017). La responsabilidad de impulsar el cambio en un frente tan amplio debe repartirse entre todas las naciones, involucrando los diferentes sectores y a la población en general (UNEP, 2017). Para ello se debe de contar con un monitoreo sistemático que contribuya a tomar medidas urgentes para prevenir y proteger la calidad de los recursos naturales (Romeu-Álvarez, y otros, 2015).

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



## 2. Marco Teórico

## 2.1. Contaminación de cuerpos de agua

El agua es un elemento esencial para la vida de todos los seres vivos del planeta y es considerado como un derecho humano fundamental (Gómez-Duarte, 2018). El recurso hídrico es considerado como el más vulnerable de los recursos naturales, siendo este un factor limitante en la realización de las diferentes actividades antrópicas a nivel domiciliario, comercial e industrial (Sánchez-Herrera, 2005).

Según Rand (1995 citado por Orta-Arrazcaeta, 2002) el ambiente acuático es complejo, este incluye diferentes tipos de ecosistemas, entre ellos: corrientes de agua, ríos, lagos, estuarios, costas marinas y aguas profundas en los océanos. Todos ellos tienen diferentes componentes bióticos y abióticos con características únicas.

En la actualidad, los cuerpos de agua superficiales presentan una alteración en su calidad debido a los vertidos de las actividades domésticas e industriales, que impactan directa o indirectamente en la salud humana y en aspectos socioeconómicos de las poblaciones adyacentes (Rodríguez-Miranda et al., 2016).

Según Gómez-Duarte (2018) los principales contaminantes del recurso hídrico son bacterias, virus, hongos, parásitos, sustancias químicas simples y complejas. Dentro de las sustancias químicas de mayor riesgo se encuentran: los metales pesados, sustancias radiactivas, plaguicidas, fertilizantes, los derivados del petróleo (hidrocarburos), residuos tóxicos industriales, jabones, drogas lícitas e ilícitas, entre otros.

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

## 2.2. Índices de calidad del agua (ICA)

Según Damo (2013, citado por Rodríguez-Miranda et al, 2016) debido a la variedad de agentes contaminantes que afectan la calidad del recurso hídrico es que existen amplias dificultades en la

planificación del uso de los cuerpos receptores en las cuencas hidrográficas debido a la limitada aplicabilidad de los Índices de Calidad del Agua (ICA) en la toma de decisiones.

Los ICA fueron propuestos por Horton en 1965, sin embargo, no fueron aceptados sino hasta la década de los setenta cuando adquirieron relevancia para la evaluación del recurso hídrico. En los siguientes años se propusieron diferentes métodos para el cálculo de un ICA, entre ellos, el elaborado por la Fundación de Saneamiento Nacional de los Estados Unidos (NSF, por sus siglas en inglés), Water Quality Index (WQI), Biological Monitoring Working Party Score (BMWP), entre otros (García-Quevedo, 2012).

El ICA es un número adimensional que atribuye un valor cualitativo a un conjunto de parámetros medidos y que fueron agregados matemáticamente. En otras palabras, es un número que expresa la calidad de un cuerpo de agua considerando una serie de factores, permitiendo una rápida interpretación y análisis de la tendencia a lo largo del espacio y el tiempo (García-Quevedo, 2012). No obstante, a pesar de ser una herramienta para la toma de decisiones de las autoridades ambientales, la información que suministran no es muy detallada, dado que no se pueden evaluar todos los riesgos o niveles de contaminación de agua (Torres, Hernán-Cruz, & Patiño, 2009).

De esta manera, al existir una variedad de modelos de evaluación de la calidad del agua diseñados por diferentes organismos, cada país adapta un ICA según las necesidades específicas. 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 Holandés de Valoración de la Calidad para los Cuerpos de Agua Superficiales.

El BMWP-CR es un índice de calidad de agua adaptado para el país que consiste en la sumatoria de puntuaciones asignadas a partir de los diferentes taxones en muestras de macroinvertebrados, estas puntuaciones se establecen según el grado de sensibilidad a la contaminación que va de 1 a 9. A partir de los valores obtenidos, se clasifican las aguas en seis niveles de calidad para el recurso hídrico que va desde “aguas de calidad excelente” hasta “aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas” (Decreto Ejecutivo 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 Ejecutivo 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 Ejecutivo 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 sedimentables, grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno, arsénico, boro, cadmio, cianuro, cobre, cromo total, magnesio, mercurio, níquel, plomo, selenio, sulfatos, compuestos organoclorados, compuestos organofosforados y coliformes fecales (Decreto Ejecutivo 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 Ejecutivo 33903-MINAE-S, 2007).



### 3. Metodología

En esta sección se describen los aspectos relacionados con los sitios de muestreo de cada microcuenca, coordenadas de referencias geográficas, mapas de distribución de los puntos de muestreos, parámetros monitoreados en las campañas realizadas, técnicas de muestreo y métodos de análisis utilizados.

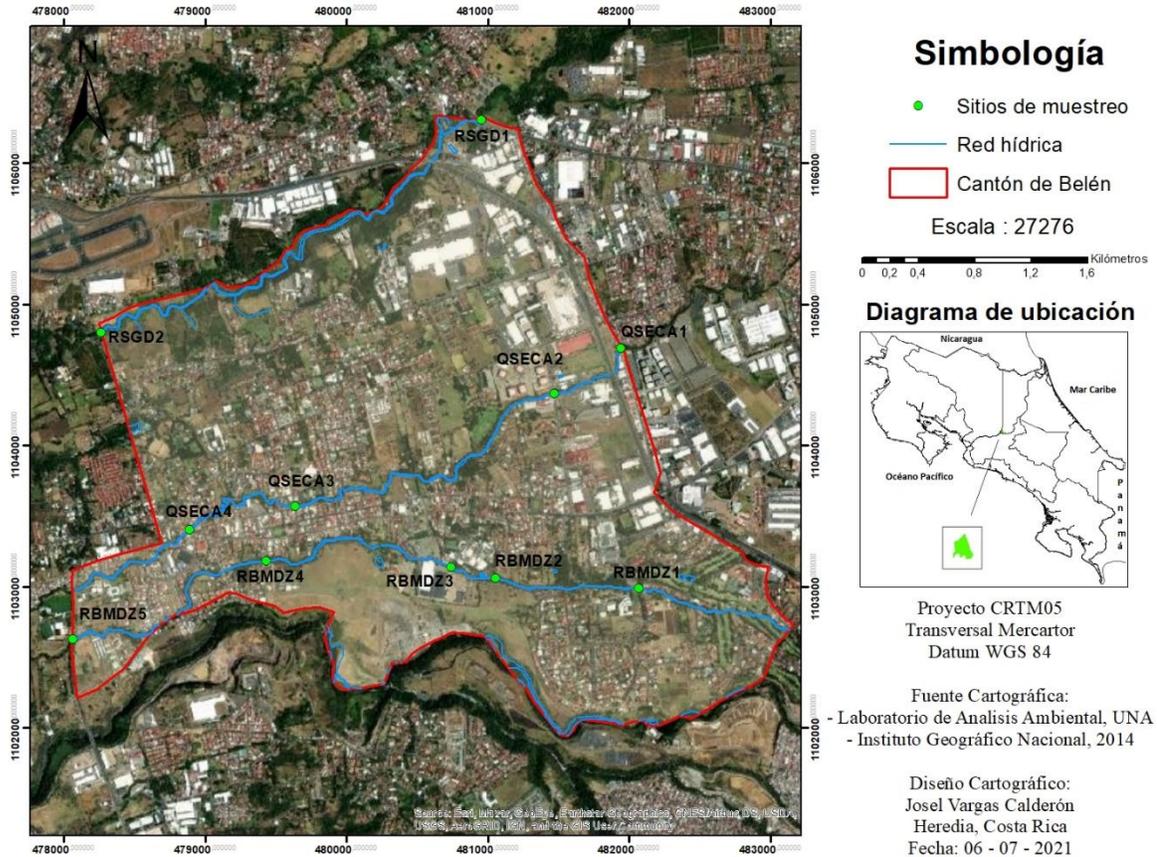
### 3.1. Ubicación de los sitios de muestreo

El monitoreo ambiental de la calidad de los cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén está compuesto por once puntos, los cuales se encuentran ubicados en la entra, medio y salida del cantón sobre los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Río Bermúdez, los cuales forma parte de la sección media de la cuenca del Río Grande de Tárcos. En el Cuadro 1 se describe la ubicación de cada uno de los puntos con sus respectivas coordenadas geográficas y en la Figura 1 se muestran el mapa con la ubicación espacial de los sitios de muestreo.

**Cuadro 1.** Descripción y coordenadas de los sitios de muestreo del monitoreo de calidad de cuerpos de agua superficiales del cantón de Belén.

Microcuenca	Código	Coordenadas		Descripción del sitio
		Latitud	Longitud	
Quebrada Seca	QSECA1	-84,16469413	9,990440689	Puente frente a empresa HP
	QSECA2	-84,16898795	9,987502877	Puente contiguo a empresa Unilever
	QSECA3			Puente contiguo a Industria Rodillos Industriales
	QSECA4	-84,18572363	9,980314995	Puente La Amistad (Puente Tribu) carretera Belén-Santa Ana
Río Segundo	RSGD1	-84,19256249	9,978772434	Puente contiguo a Cervecería de Costa Rica
	RSGD2	-84,17371269	10,00509032	Puente Casona del Pollo (entre Aeropuerto Juan Santamaría y Ojo de Agua)
Río Bermúdez	RBMDZ1	-84,19829752	9,991399597	Puente Los Golfistas
	RBMDZ2	-84,16351396	9,975024725	Calle Tilianos
	RBMDZ3	-84,17278416	9,975702244	Calle Chompipe
	RBMDZ4	-84,1755617	9,9762655	Puente Pekis
	RBMDZ5	-84,18761329	9,976779307	Puente Radial
		-84,20007198	9,971753118	

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de cuerpos de agua superficiales en el cantón de Belén, 2020.

### 3.2. Frecuencia de muestreo

En este informe se contempla un total de 2 campañas de muestreo efectuadas en marzo y octubre del 2020. Lo anterior con el objetivo de caracterizar la variabilidad temporal de cada microcuenca según la época del año. En el Cuadro 2 se muestran las fechas de los muestreos ejecutados.

**Cuadro 2** Fechas de los muestreos realizados en las diferentes microcuencas que atraviesan el cantón de Belén.

Campaña	Fecha de muestreo
1	11 de marzo, 2020
2	14 de octubre, 2020

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Muestreo de aguas superficiales

La toma de muestras de aguas superficiales sigue los procedimientos establecidos en el PRT-012 modificado por el laboratorio y que se basa en lo establecido para la recolección de muestras en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

La recolección de las muestras responde a las características del sitio de muestreo. En todos los casos, las muestras son recolectadas y transportadas en frío, a una temperatura menor a 6 °C sin llegar al congelamiento. Cada una es identificada adecuadamente con una etiqueta donde se le asigna un número de consecutivo asociado al plan de muestreo correspondiente.

Las botellas utilizadas para la toma de las muestras corresponden a botellas de polietileno de alta densidad. En el caso de las muestras para análisis de metales, el envase fue previamente tratado con ácido nítrico al 10 %. Así mismo las muestras de grasas y aceites se recolectaron en frascos de vidrio.

Las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el muestreo de aguas superficiales son las siguientes:

- Se debe sumergir la botella en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 cm a 30 cm, destapar y girar ligeramente el frasco permitiendo el llenado. Realizar al menos tres lavados del recipiente con pequeñas porciones del agua a muestrear.
- Debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo ya que puede haber natas o sedimentos, tampoco se recomienda muy cerca de la orilla o muy distantes del punto de extracción.
- Si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco a contracorriente.
- Efectuada la toma de la muestra se coloca la tapa y se saca el recipiente del agua. Se almacena en frío y se envía al laboratorio para su análisis.

### 3.4. Análisis de muestras de aguas superficiales

Los procedimientos para análisis de factores fisicoquímicos se muestran en el Cuadro 3. Los ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) se encuentran señalados con un asterisco (\*) y aquellos que no se encuentran acreditados se identifican con un doble asterisco (\*\*).

**Cuadro 3.** Detalle de procedimientos de análisis de ensayo, incluyendo límites de detección, cuantificación y referencia del método de análisis.

Matriz	Procedimiento	Límite de detección (LD) y cuantificación (LC)	Referencia
Aguas	*PMA-012: Nitrito	LD: 3,6 µg/L LC: 10,3 µg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500 NO2- B (2017)/Espectrofotometría UV-Vis
Aguas	*PMA-007: Cloruro	LD: 0,57 mg/L LC: 0,73 mg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4110 B (2017) /Cromatografía de iones
Aguas	*PMA-007: Nitrato	LD: 0,48 mg/L LC: 0,92 mg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4110 B (2017) /Cromatografía de iones
Aguas	*PMA-007: Sulfato	LD: 0,25 mg/L LC: 0,49 mg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4110 B (2017) /Cromatografía de iones
Aguas	*PMA-030: Amonio	LD: 0,1 µg/L LC: 14 µg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-NH3 A (2017) / Espectrofotometría UV-Vis
Aguas	*PMA-014: DQO Total	LD: 6,3 mg/L LC: 19,4 mg/L	Método modificado a partir de SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5220 D (2017) / Espectrofotometría UV-Vis

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3 (Continuación).** Detalle de procedimientos de análisis de ensayo, incluyendo límites de detección, cuantificación y referencia del método de análisis.

Matriz	Procedimiento	Límite de detección (LD) y cuantificación (LC)	Referencia
Aguas	*PMA-005: DBO	LD: NA LC: 2 mg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5210 D (2017) Y 5510 B (2017), HACH 10360 (2015) Y OXITOP BA31107DE02/ 11-04/AS/OxiTop IS-6_IS-12, conforme al reglamento para vertido y reuso de aguas residuales N° 33601-MINAE-S / Electrodo
Aguas	*PMA-013: Fósforo Total	LD: 0,4 mg/L LC: 0,5 mg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-P C (2017), conforme al reglamento para vertido y reuso de aguas residuales N° 33601-MINAE-S/ Espectrofotometría UV-Vis
Aguas	*PMA-019: Sólidos Suspendidos	LD: 3,4 mg/L LC: 6,0 mg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 2540 D (2017) / Gravimétrico
Aguas	*PMA-021: Grasas y Aceites	LD: 2,9 mg/L LC: 5,0 mg/L	Método modificado a partir de SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5520 A (2017) y 5520 B (2017) / Gravimétrico
Aguas	*PMA-028: SAAM	LD: 0,2 mg/L LC: 0,4 mg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5540 A (2017) y 5540 C (2017) / Espectrofotometría UV-Vis
Aguas	*PMA-054: Hidrocarburos totales	LD: 2,9 mg/L LC: 5,0 mg/L	Método modificado a partir de SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5520 B (2017) / Gravimetría

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3 (Continuación).** Detalle de procedimientos de análisis de ensayo, incluyendo límites de detección, cuantificación y referencia del método de análisis.

Matriz	Procedimiento	Límite de detección (LD) y cuantificación (LC)	Referencia
Aguas	*PMA-055: Nitrógeno Total	LD: 4,0 mg/L LC: 11,3 mg/L	Método basado en: HACH 10072 (2015)/ Espectrofotometría UV-Vis
Aguas	*PMA-010: pH	(0-14) Unidades de pH	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 4500-H+ B (2017), conforme al reglamento para calidad de agua potable N° 38924-S, vertido y resuo de aguas residuales N° 33601-MINAE-S y manejo de piscinas N° 35309-S / Electrométrico
Aguas	*PMA-016: Turbiedad	(1 1 000) NTU	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 2130 B (2017), conforme al reglamento para calidad de agua potable N° 38924-S y manejo de piscinas N° 35309-S /Nefelométrico
Aguas	*PMA-020: Sólidos sedimentables	LD: NA LC: 0,1 mL/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 2540 F (2017)
Aguas	*PMA-018: Temperatura	(15 °C a 50 °C)	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 2550 (2017)
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Aluminio	LD: 1,60 µg/L LC: 2,00 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3 (Continuación).** Detalle de procedimientos de análisis de ensayo, incluyendo límites de detección, cuantificación y referencia del método de análisis.

Matriz	Procedimiento	Límite de detección (LD) y cuantificación (LC)	Referencia
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Calcio	LD: 0,31 mg/L LC: 0,48 mg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Cobre	LD: 0,48 µg/L LC: 0,60 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Manganeso	LD: 0,24 µg/L LC: 0,69 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Potasio	LD: 0,47 mg/L LC: 0,55 mg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Plomo	LD: 0,47 µg/L LC: 0,66 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3 (Continuación).** Detalle de procedimientos de análisis de ensayo, incluyendo límites de detección, cuantificación y referencia del método de análisis.

Matriz	Procedimiento	Límite de detección (LD) y cuantificación (LC)	Referencia
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Sodio	LD: 0,48 mg/L LC: 0,81 mg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Zinc	LD: 0,27 µg/L LC: 0,44 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Cadmio	LD: 0,53 µg/L LC: 0,58 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Cromo	LD: 0,40 µg/L LC: 0,56 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Níquel	LD: 0,49 µg/L LC: 0,53 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3 (Continuación).** Detalle de procedimientos de análisis de ensayo, incluyendo límites de detección, cuantificación y referencia del método de análisis.

Matriz	Procedimiento	Límite de detección (LD) y cuantificación (LC)	Referencia
Aguas	*PMA-091: Determinación de la concentración de metales: Arsénico	LD: 0,50 µg/L LC: 0,58 µg/L	Método modificado a partir de: APHA-AWWA-WEF 3125 A y B Espectrofotometría de masas por acoplado inductivamente. Tratamiento de muestra: digestión en microondas

Fuente: Elaboración propia



## 4. Resultados

El monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén se compone de 11 sitios de muestreo ubicados a la entrada, medio y salida del cantón sobre los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Río Bermúdez. El Cuadro 4 muestra los resultados promedio anuales obtenidos para los parámetros fisicoquímicos analizados.

**Cuadro 4.** Promedios anuales de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el cantón de Belén durante el año 2020.

Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)
QSECA1	7,36 (0,48)	10,00 (4,67)	16,00 (7,64)	17,73 (8,00)
QSECA2	7,49 (0,16)	16,55 (1,34)	15,35 (9,40)	17,39 (0,13)
QSECA3	7,38 (0,04)	5,89 (3,10)	13,95 (8,27)	12,01 (8,50)
QSECA4	7,45 (0,21)	4,29 (1,34)	11,75 (5,73)	6,72 (1,01)
RSGD1	7,45 (0,07)	3,89 (2,52)	5,30 (4,67)	8,15 (7,04)
RSGD2	7,18 (0,04)	25,03 (22,02)	10,95 (7,57)	39,52 (35,89)
RBMDZ1	7,26 (0,06)	211,45 (270,89)	67,25 (32,17)	24,65 (30,05)
RBMDZ2	7,50 (-)	22,70 (-)	48,90 (-)	30,64 (-)
RBMDZ3	7,48 (0,04)	12,67 (13,48)	38,10 (43,56)	8,49 (3,52)
RBMDZ4	7,28 (0,11)	16,00 (5,09)	32,40 (5,09)	7,24 (8,40)
RBMDZ5	7,31 (0,30)	9,43 (1,80)	18,10 (8,91)	10,50 (13,16)
	Amonio (µg/L)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	% Saturación
QSECA1	2539,90(2325,11)	23,15 (0,64)	6,86 (1,56)	44,90 (54,59)
QSECA2	2176,45(1857,64)	23,85 (0,49)	6,47 (0,13)	70,90 (1,70)
QSECA3	2123,80(2272,92)	23,90 (0,99)	6,67 (0,47)	71,80 (6,22)
QSECA4	1260,45(1116,59)	24,30 (1,41)	6,77 (0,52)	72,55 (6,86)
RSGD1	174,05 (47,16)	22,60 (0,99)	7,80 (0,06)	83,60 (1,70)
RSGD2	1242,85(1015,62)	22,80 (0,99)	6,30 (0,88)	65,70 (12,30)
RBMDZ1	2805,25(2096,93)	22,30 (1,56)	4,44 (2,16)	50,90 (16,12)
RBMDZ2	4138,00 (-)	23,60 (-)	1,01 (-)	10,70 (-)
RBMDZ3	2240,70(3100,38)	23,55 (0,21)	4,05 (4,65)	44,10 (51,05)
RBMDZ4	2435,30(2839,32)	23,95 (1,06)	2,37 (2,70)	27,15 (31,04)
RBMDZ5	3973,00(311,13)	23,90 (0,57)	5,60 (0,32)	58,25 (0,21)

\*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 del análisis.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4 (Continuación).** Promedios anuales de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el cantón de Belén durante el año 2020.

Código	DQO (mg/L)	S.Sed (mL/L)	SAAM (mg/L)	Fósforo total (mg/L)
QSECA1	58,25 (26,06)	0,20 (0,14)	1,07 (0,91)	4,17 (4,88)
QSECA2	52,06 (22,54)	0,10 (-)	0,69 (0,42)	3,75 (3,70)
QSECA3	28,67 (13,11)	0,10 (-)	0,30 (0,14)	1,27 (1,23)
QSECA4	23,59 (5,92)	0,10 (-)	0,40 (-)	2,93 (3,25)
RSGD1	12,85 (9,26)	0,10 (-)	0,30 (0,14)	1,72 (1,87)
RSGD2	31,40 (16,96)	0,30 (0,28)	0,30 (0,14)	14,36 (17,97)
RBMDZ1	200,35 (8,70)	2,30 (2,40)	0,63 (0,61)	7,76 (8,55)
RBMDZ2	165,40 (-)	0,10 (-)	0,76 (-)	6,61 (-)
RBMDZ3	81,40 (87,68)	0,10 (-)	0,65 (0,35)	5,19 (6,12)
RBMDZ4	174,35 (132,58)	0,20 (0,14)	0,97 (0,46)	4,87 (4,97)
RBMDZ5	61,61 (20,13)	0,20 (0,14)	0,86 (0,47)	4,23 (4,94)
	Nitrito (µg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Cloruro (µg/L)	Nitrato (µg/L)
QSECA1	5148,00(5052,99)	7,65 (5,16)	31,25 (7,28)	7,25 (0,45)
QSECA2	1542,50(344,36)	12,97 (2,35)	23,25 (3,75)	10,49 (3,03)
QSECA3	1363,05(1124,23)	7,65 (5,16)	16,22 (6,63)	18,48 (3,57)
QSECA4	688,85 (89,31)	7,65 (5,16)	21,20 (5,52)	21,00 (3,39)
RSGD1	46,00 (29,70)	4,00 (-)	8,84 (0,01)	9,17 (0,29)
RSGD2	768,75 (946,46)	7,65 (5,16)	21,10 (20,51)	9,66 (0,46)
RBMDZ1	247,50 (109,74)	7,65 (5,16)	16,20 (16,84)	1,36 (1,24)
RBMDZ2	271,60 (-)	4,00 (-)	28,50 (-)	0,48 (-)
RBMDZ3	245,25 (109,96)	11,30 (-)	21,77 (10,37)	17,04 (23,42)
RBMDZ4	1048,55(1089,58)	7,65 (5,16)	24,50 (7,78)	0,48 (-)
RBMDZ5	692,55 (229,88)	13,66 (3,33)	26,05 (9,97)	3,57 (4,36)

\*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 del análisis.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4 (Continuación).** Promedios anuales de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el cantón de Belén durante el año 2020.

Código	Sulfato (µg/L)	Hidrocarburos (mg/L)	Aluminio (µg/L)	Calcio (mg/L)
QSECA1	39,15 (9,97)	2,90 (-)	749,00 (384,67)	19,40 (1,98)
QSECA2	33,65 (4,03)	3,95 (1,48)	1607,00(311,13)	20,90 (0,14)
QSECA3	20,95 (10,96)	2,90 (-)	605,50 (103,94)	24,25 (2,19)
QSECA4	26,35 (3,32)	2,90 (-)	506,50 (65,76)	24,85 (2,19)
RSGD1	21,86 (7,69)	2,90 (-)	1063 (563,56)	14,35 (3,04)
RSGD2	15,91 (1,12)	2,90 (-)	6667,50(1625,65)	14,50 (0,71)
RBMDZ1	21,33 (11,84)	2,90 (-)	52219,00(73181,31)	19,90 (3,54)
RBMDZ2	30,00 (-)	2,90 (-)	228,00 (-)	23,90 (-)
RBMDZ3	23,65 (10,25)	2,90 (-)	331,50 (53,03)	25,70 (2,55)
RBMDZ4	29,30 (8,91)	3,95 (1,48)	579,50 (324,56)	22,80 (0,57)
RBMDZ5	30,55 (8,13)	3,95 (1,48)	808,00 (299,81)	23,20 (0,28)
	Cobre (mg/L)	Manganeso (µg/L)	Potasio (mg/L)	Plomo (µg/L)
QSECA1	15,76 (11,51)	82,45 (34,72)	9,20 (2,69)	6,39 (1,45)
QSECA2	16,15 (4,17)	89,95 (35,43)	9,50 (2,69)	1,95 (0,15)
QSECA3	11,14 (4,76)	63,65 (49,99)	7,74 (2,88)	1,29 (0,10)
QSECA4	13,40 (5,37)	58,75 (42,78)	7,92 (3,37)	1,44 (0,02)
RSGD1	16,35 (8,98)	30,40 (1,41)	3,32 (0,88)	3,27 (0,05)
RSGD2	16,25 (4,45)	101,55 (55,79)	4,11 (1,20)	3,18 (0,11)
RBMDZ1	93,25 (105,71)	534,50 (519,72)	10,20 (6,51)	22,24 (27,94)
RBMDZ2	15,20 (-)	196,00 (-)	16,10 (-)	1,49 (-)
RBMDZ3	13,25 (3,18)	112,15 (121,41)	10,26 (7,69)	2,63 (1,48)
RBMDZ4	33,20 (25,17)	234,50 (101,12)	10,80 (3,54)	3,13 (0,27)
RBMDZ5	15,95 (2,19)	165,00 (28,28)	10,95 (3,75)	2,74 (2,11)

\*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 del análisis.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4 (Continuación).** Promedios anuales de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el cantón de Belén durante el año 2020.

<b>Código</b>	<b>Sodio (mg/L)</b>	<b>Zinc (mg/L)</b>	<b>Cadmio (µg/L)</b>
QSECA1	43,80 (13,15)	70,45 (9,26)	0,12 (0,02)
QSECA2	46,40 (12,59)	67,35 (14,64)	0,08 (0,01)
QSECA3	31,85 (15,49)	53,40 (4,81)	0,08 (0,002)
QSECA4	32,90 (17,11)	51,40 (8,34)	0,09 (0,004)
RSGD1	10,47 (4,29)	45,50 (3,68)	0,13 (0,06)
RSGD2	33,25 (25,39)	46,50 (3,96)	0,11 (0,04)
RBMDZ1	33,70 (33,94)	332,05 (359,14)	0,38 (0,30)
RBMDZ2	60,80 (-)	59,80 (-)	0,64 (-)
RBMDZ3	36,65 (34,44)	50,90 (24,47)	0,50 (0,64)
RBMDZ4	46,10 (23,19)	43,15 (26,23)	0,25 (0,12)
RBMDZ5	46,45 (18,60)	44,90 (9,90)	0,10 (0,06)
	<b>Cromo (µg/L)</b>	<b>Níquel (µg/L)</b>	<b>Arsénico (µg/L)</b>
QSECA1	2,38 (0,17)	3,86 (1,84)	0,81 (0,27)
QSECA2	2,38 (0,69)	5,52 (3,15)	0,64 (0,05)
QSECA3	1,89 (0,93)	3,62 (0,29)	0,50 (-)
QSECA4	2,32 (0,98)	3,46 (1,04)	0,54 (0,06)
RSGD1	1,60 (0,08)	4,50 (0,84)	0,50 (-)
RSGD2	2,75 (0,13)	3,96 (0,11)	0,62 (0,05)
RBMDZ1	23,83 (29,66)	25,68 (31,00)	3,21 (3,41)
RBMDZ2	3,81 (-)	6,85 (-)	0,64 (-)
RBMDZ3	2,65 (2,06)	5,74 (1,96)	0,62 (0,06)
RBMDZ4	1,95 (0,82)	34,20 (41,44)	0,72 (0,12)
RBMDZ5	1,80 (0,65)	21,36 (22,54)	0,79 (0,20)

\*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 del análisis.

Fuente: Elaboración propia

El Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S (2007) establece los parámetros de análisis requeridos para la clasificación de los cuerpos de agua por medio del Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los Cuerpos de Agua Superficiales, sin embargo, también establece una serie de parámetros complementarios, los cuales se utilizan para la clasificación del uso que se le puede dar a los cuerpos de agua según consta en los Cuadros 5 y 6 extraídos de los artículos 5 y 7 de dicho reglamento.

**Cuadro 5.** Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de los cuerpos superficiales para las clases establecidas en el D.E. 33903-MINAE-S.

Parámetros complementarios	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Turbiedad (NTU)	< 25	25 a < 100	100 a 300	(1)	(1)
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,0 a 9,0	5,5 a 9,5	5,5 a 9,5
Nitratos (mg N/L)	< 5	5 a < 10	10 a < 15	15 a < 20	> 20
DQO (mg/L)	< 20	20 a < 25	25 a < 50	50 a < 100	100 a 300
Cloruros (como Cl) (mg/L)	< 100	100 a 200	NA	NA	NA
Fluoruros (como F) (mg/L)	< 1,0	1,0 a 1,5	NA	NA	NA
Color (Pt-Co)	2,5 a 10	10 a 100	(1)	(1)	(1)
SST (mg/L)	< 10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	> 300
Sólidos disueltos (mg/L)	< 250	250 a < 500	500 a 1000	> 1000	> 1000
Grasas y aceites (mg/L)	ND	ND	ND	ND	15 a 20
SAAM (mg/L)	ND	ND	ND a 1	1 a 2	2 a 5
Arsénico (mg/L)	< 0,01	< 0,01	0,01 a 0,05	> 0,05	> 0,05
Boro (mg/L)	0,1	0,2	0,5	1	1
Cadmio (mg/L)	< 0,005	0,005	0,01	0,02	0,02
Cianuro (mg CN/L)	< 0,1	0,1 a < 0,2	0,2	> 0,2	> 0,2
Cobre (mg/L)	< 0,5	0,5 a < 1	1,0 a 1,5	1,5 a 2,0	2,0 a 2,5
Cromo total (mg/L)	< 0,05	0,05	0,20	0,50	> 0,5

\*ND: no detectable, NA: no aplica, (1): natural o que no afecta el uso indicado

Fuente: (Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S, 2007)

**Cuadro 5 (Continuación).** Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de los cuerpos superficiales para las clases establecidas en el D.E. 33903-MINAE-S.

Parámetros complementarios	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Magnesio (como mg MgCO <sub>3</sub> /L)	< 30	30 a 50	> 50	> 50	> 50
Mercurio (mg/L)	< 0,001	0,001	0,002	0,004	0,005
Níquel (mg/L)	< 0,05	0,05	0,1	0,2	0,3
Plomo (mg/L)	< 0,03	0,03 a < 0,05	0,05 a < 0,10	0,10 a < 0,20	0,20
Selenio (mg/L)	< 0,005	0,005 a < 0,010	0,010 a < 0,020	0,020 a < 0,050	0,050
Sulfatos (mg/L)	< 150	150 a 250	> 250	> 250	> 250
<b>Orgánicos</b>					
Sumatoria de compuestos organoclorados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
Sumatoria de compuestos organofosforados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
<b>Biológicos</b>					
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	ND	ND	ND	0,01	0,01

\*ND: no detectable, NA: no aplica, (1): natural o que no afecta el uso indicado

Fuente: (Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S, 2007)

**Cuadro 6.** Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera de acuerdo con lo establecido en el D.E. 33903-MINAE-S.

Usos	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Tratamiento simple con desinfección	Tratamiento convencional	Tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable

Fuente: (Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S, 2007)

**Cuadro 6 (Continuación).** Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera de acuerdo con lo establecido en el D.E. 33903-MINAE-S.

Usos	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Abastecimiento de agua para actividades destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Tratamiento convencional	Tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin 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
Navegación	No Utilizable	No Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable

Fuente: (Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S, 2007)

**Cuadro 6 (Continuación).** Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera de acuerdo con lo establecido en el D.E. 33903-MINAE-S.

Usos	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No Utilizable	No Utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de cáscara	Utilizable	Utilizable	No Utilizable	No Utilizable	No Utilizable

Fuente: (Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S, 2007)

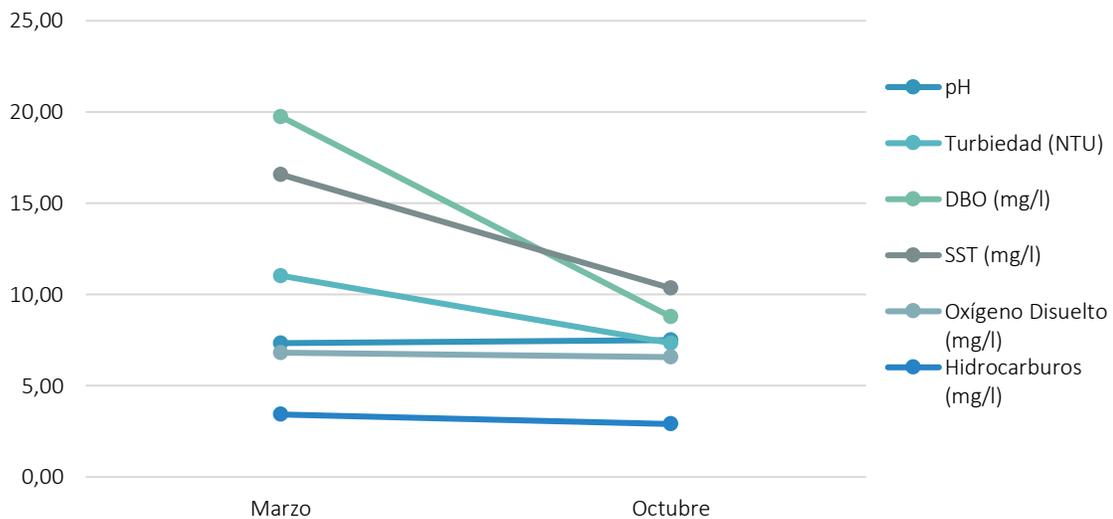
De los cuadros anteriores y los resultados observados para los cuerpos de agua estudiados mostrados en el Cuadro 4, se aprecia que según el parámetro que se utilice, la clasificación del cuerpo y sus posibles usos varían. Aun así en la mayoría de los sitios y para la mayoría de las variables analizadas en las tres microcuencas, la clasificación que más se presenta es la clase I con la mayor posibilidad de usos, aunque los resultados señalan clasificaciones altas para DQO, SAAM y SST especialmente para el Río Bermúdez, señalando la presencia de aguas jabonosas y con alta carga orgánica que limitan el uso requiriendo tratamientos avanzados y en algunos casos su uso no es posible.

Es importante acompañar este análisis con el tipo de uso que se le pretenda dar al agua, ya que, según este, se puede determinar cuáles son las variables de mayor interés para definir si la calidad del agua es apta para dicho uso o no.

Por otro lado, las principales tendencias de estos parámetros complementarios permiten observar mejor el comportamiento de los cuerpos de agua, tanto por estaciones como por regiones de la microcuenca dentro del cantón para cada una de ellas, de manera que se pueda determinar de forma más específica el comportamiento de los principales parámetros. Se procede entonces a analizar las principales tendencias para cada una de las microcuencas en estudio

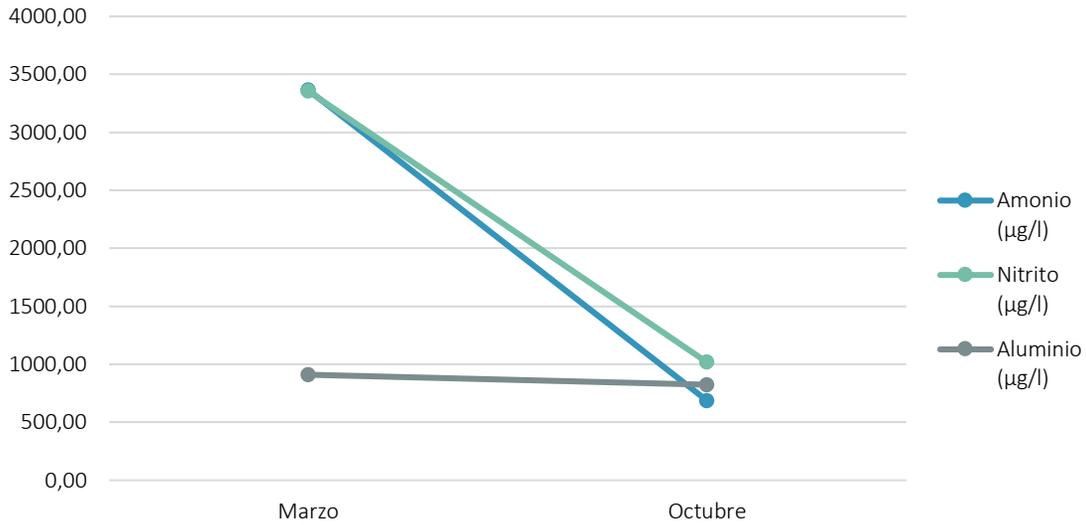
#### 4.1. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el Río Quebrada Seca

Las Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 muestran de manera gráfica los valores promedio mensuales para cada parámetro analizado durante el año de estudio en el Río Quebrada Seca, con la intención de observar el comportamiento estacional y temporal de las variables.



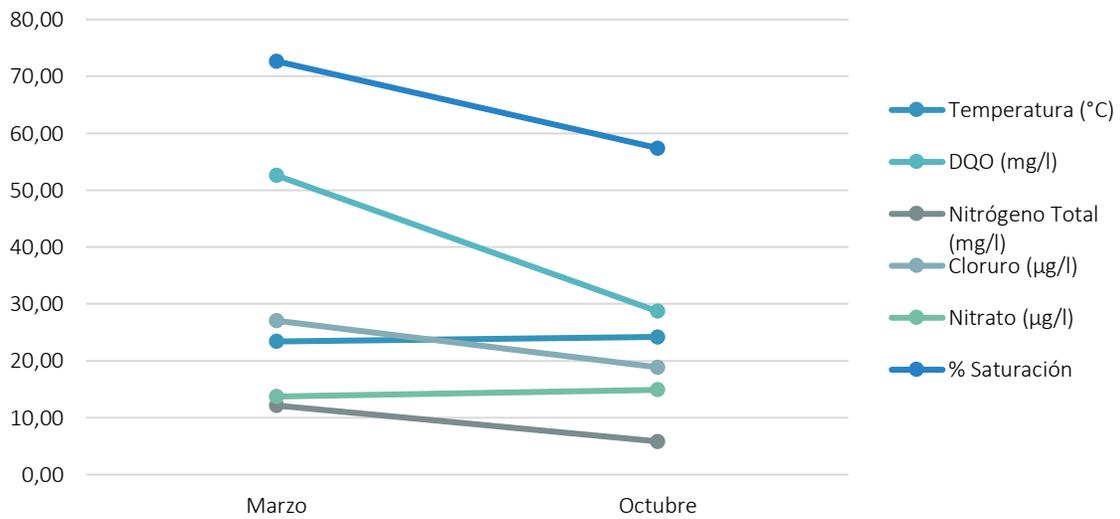
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2.** Valores promedio mensuales de pH, turbiedad, DBO, SST, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



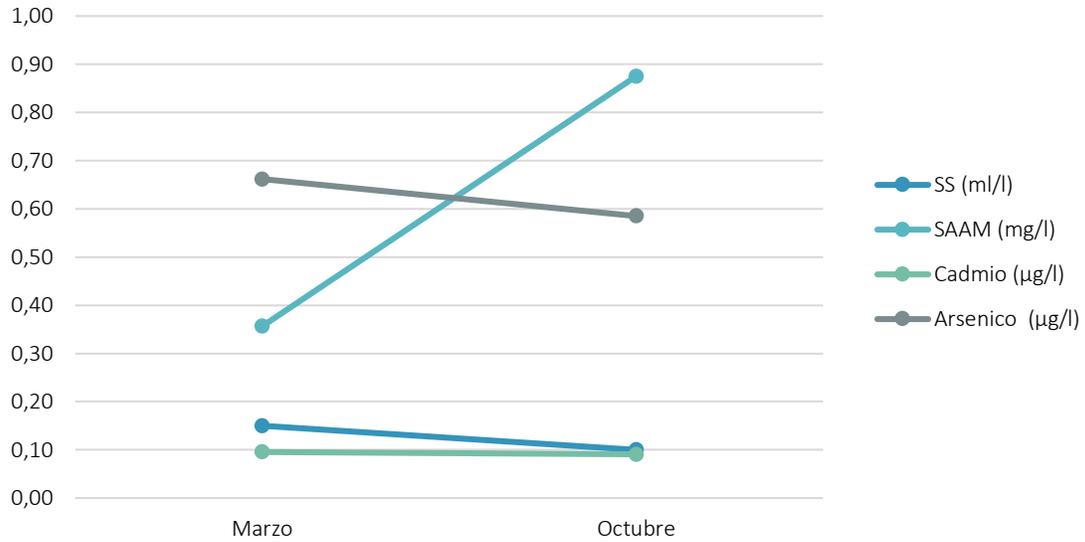
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.** Valores promedio mensuales de amonio, nitrito y aluminio en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



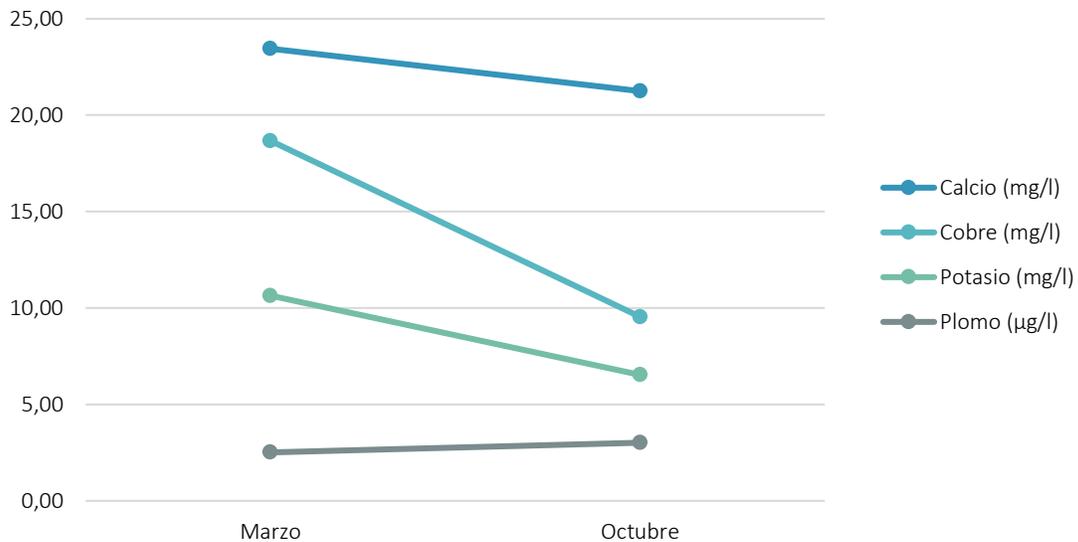
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.** Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato y porcentaje de saturación en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



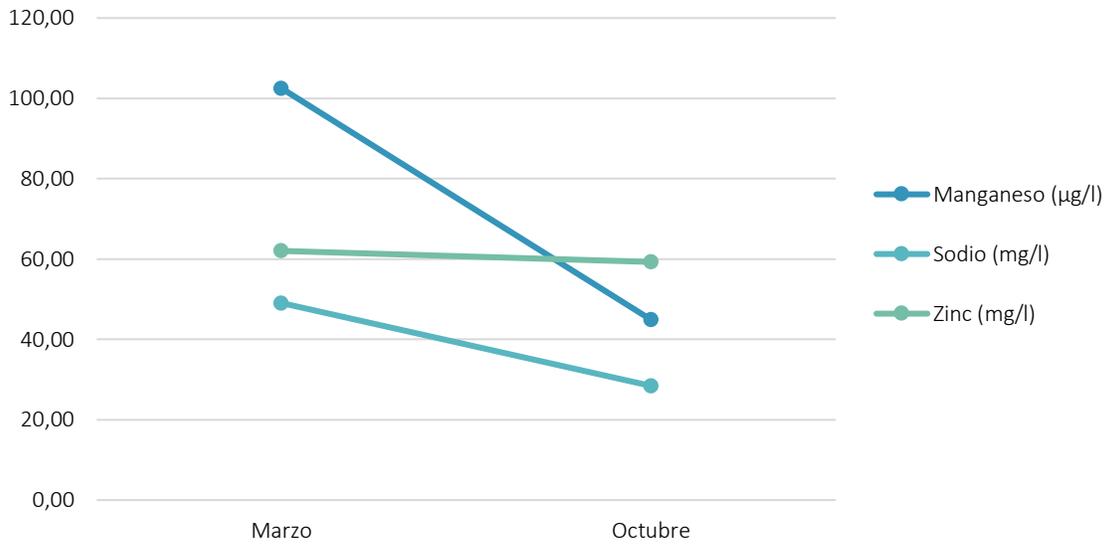
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5.** Valores promedio mensuales de SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



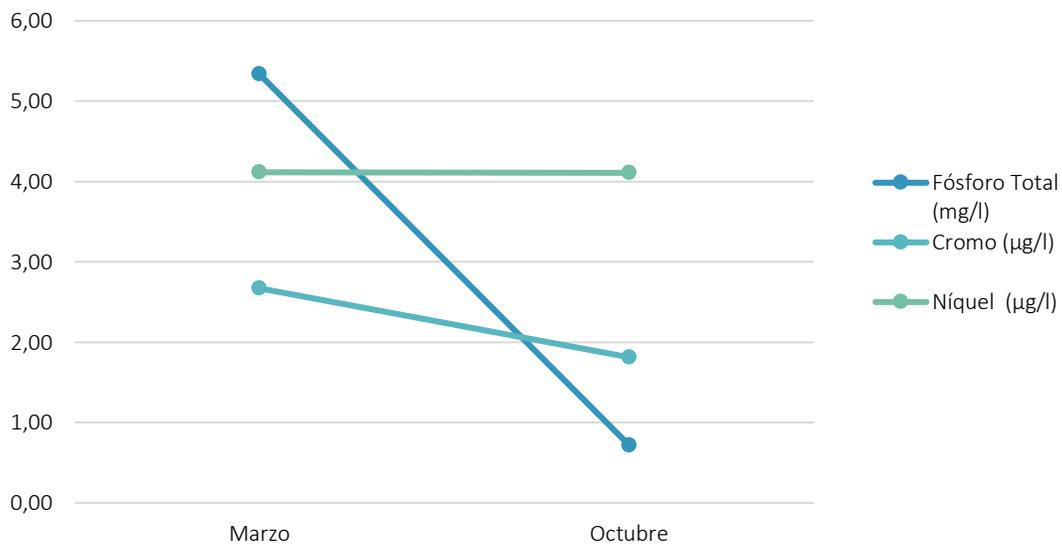
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6.** Valores promedio mensuales de calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7.** Valores promedio mensuales de manganeso, sodio y zinc en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

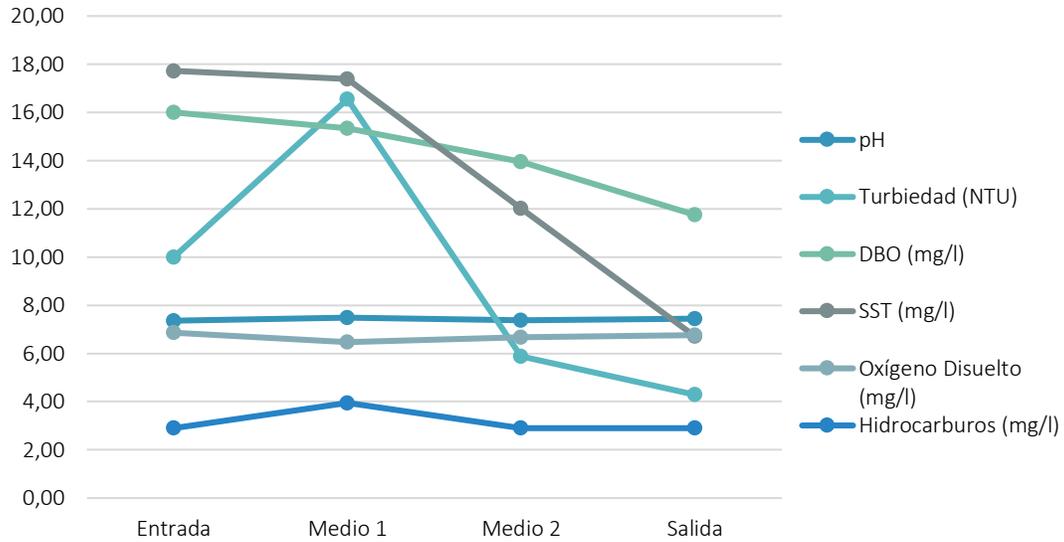
**Figura 8.** Valores promedio mensuales de fósforo total, cromo y níquel en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.

De las figuras anteriores se puede observar que, en el Río Quebrada Seca, la mayoría de los parámetros complementarios analizados presentan un comportamiento decreciente hacia la campaña de octubre correspondiente a la época lluviosa y son pocos los parámetros que presentan un comportamiento contrario, siendo que solo las sustancias activas al azul de metileno presentan un marcado aumento hacia la época de lluvias. Algunos pocos parámetros como el oxígeno disuelto, nitrato, cadmio, zinc o níquel presentan un comportamiento bastante constante en campañas, con muy poca variación entre los resultados de ambas.

En general se puede identificar que las concentraciones más elevadas se observan en la época seca (marzo) y disminuyen para la época lluviosa (octubre), lo que marca la tendencia decreciente antes mencionada.

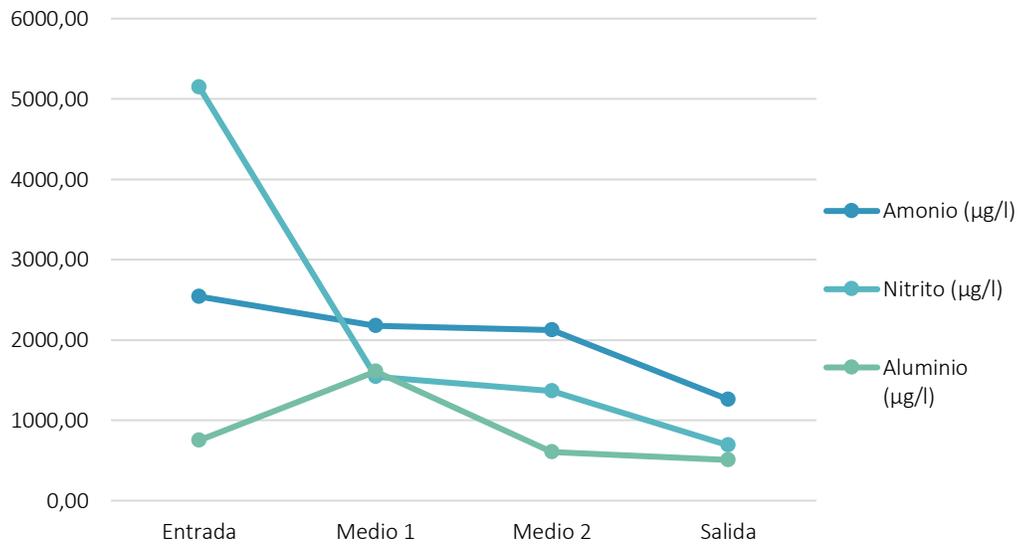
Este comportamiento puede responder al hecho de que, durante la época lluviosa, el incremento en la frecuencia e intensidad de las lluvias, si bien ocasiona un mayor arrastre de contaminante y una mayor inestabilidad del sistema, produce también un aumento en el caudal del río y por ende en su nivel, este incremento en el nivel del agua y caudal del río pueden ocasionar un efecto de dilución de los contaminantes vertidos o arrastrados, de manera que la concentración aparente de estos disminuye debido a la mayor cantidad de agua que circula por el cauce.

Otro análisis de tendencia que arroja información útil es en el que se compara el comportamiento de las variables en las distintas partes de la microcuenca en las que se llevan a cabo las mediciones (entrada, medio y salida del cantón) recordando que el cantón de Belén se ubica en la parte media de la cuenca. En este caso, las aguas entran al cantón por la parte alta de este y salen por la parte baja siguiendo el curso de las aguas en la microcuenca. Las Figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 muestra los promedios anuales por sitio dentro de la microcuenca observados para cada una de las variables analizadas.



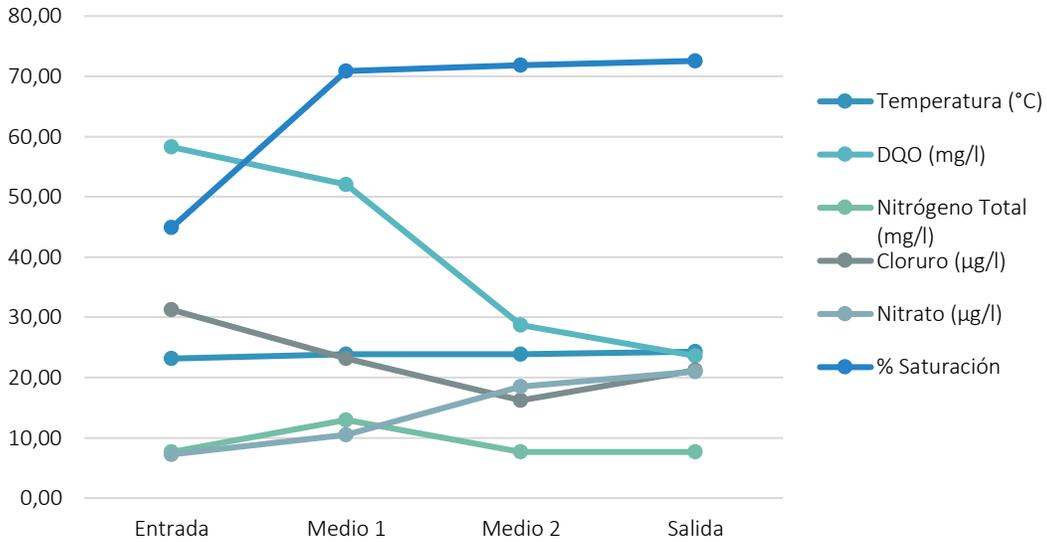
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9.** Valores promedio anuales por sitio para pH, turbiedad, DBO, SST, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



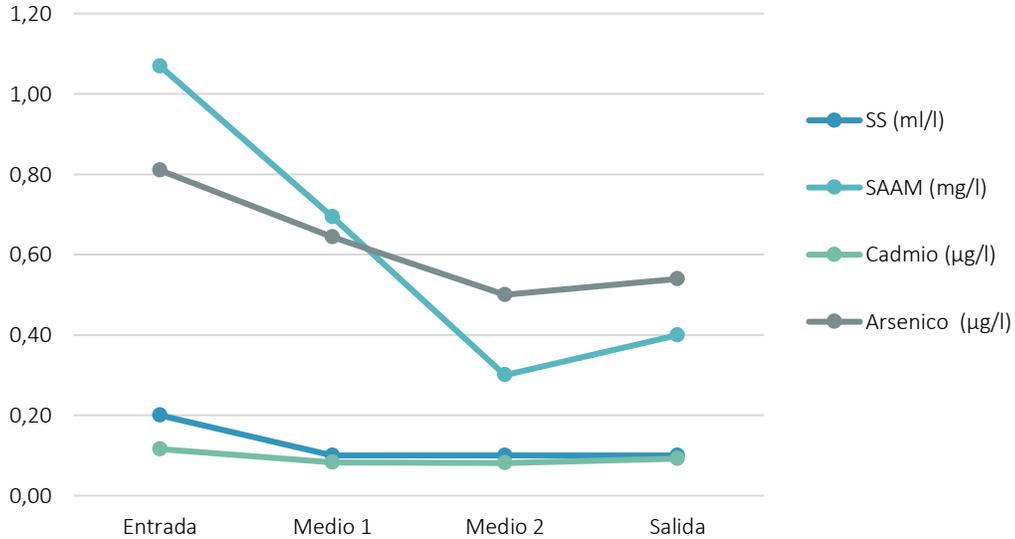
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 10.** Valores promedio anuales por sitio para amonio, nitrito y aluminio en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



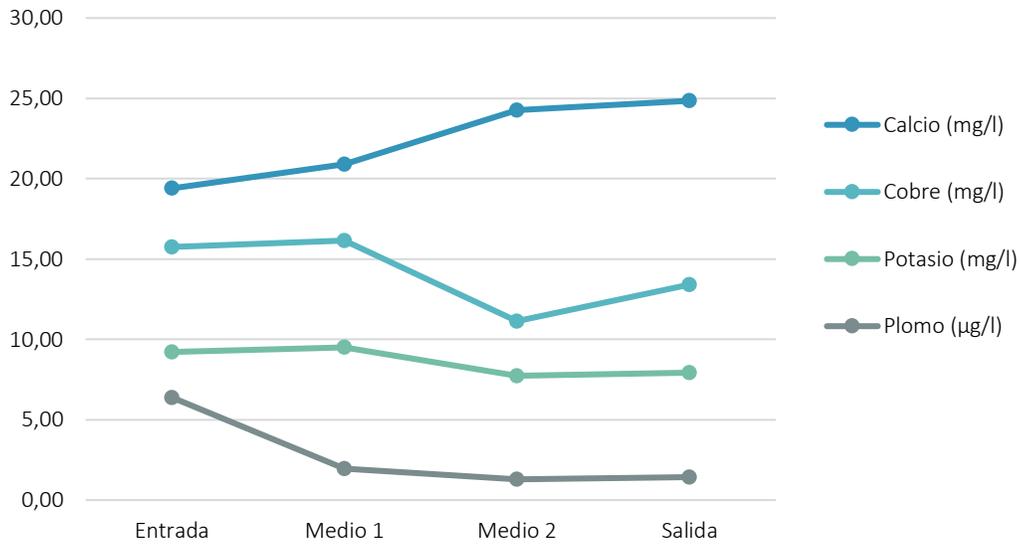
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 11.** Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato y porcentaje de saturación en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



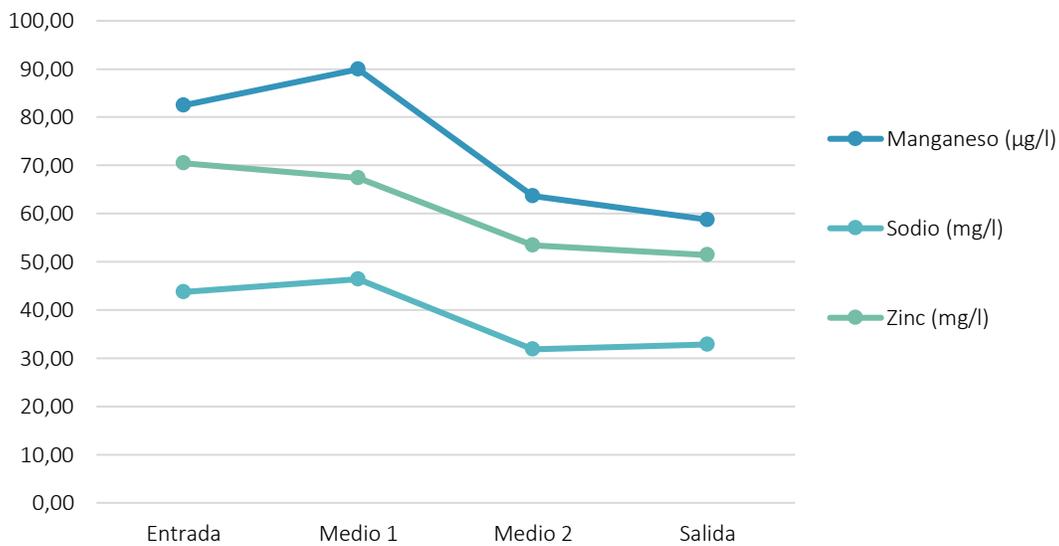
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12.** Valores promedio anuales por sitio para SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



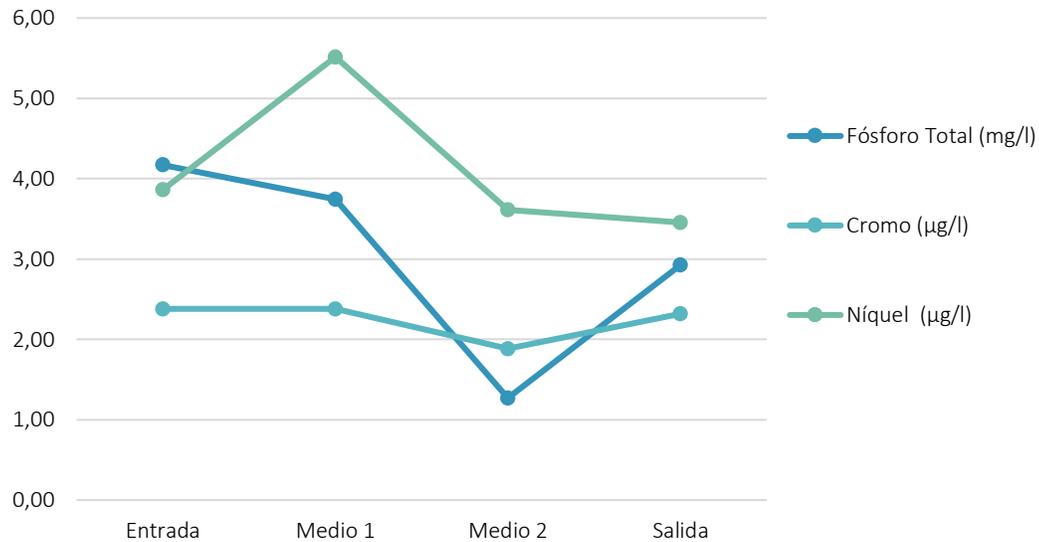
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 13.** Valores promedio anuales por sitio para calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 14.** Valores promedio anuales por sitio para manganeso, sodio y zinc en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 15.** Valores promedio anuales por sitio para fósforo total, cromo y níquel en el Río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.

De estas figuras se puede observar que, a diferencia del comportamiento por época climática, el comportamiento de los parámetros por sitios es más variable y resulta más difícil definir o establecer un patrón claro de comportamiento, aun así, la tendencia más generalizada para el Río Quebrada Seca muestra valores altos a la entrada, que se mantienen o incrementan ligeramente hacia la sección media, particularmente en el primer sitio de muestreo de esta sección, para posteriormente disminuir hacia la salida.

Este comportamiento resulta interesante, pues lo común es esperar que conforme el río pasa por las zonas urbanas del cantón, los vertidos que se generan producto de las actividades humanas en este, incrementen la carga de contaminantes hacia la salida, sin embargo, en el caso particular del Río Quebrada Seca, es importante rescatar que desde las partes altas de la microcuenca en el cantón de Barva, dicho río presenta los índices de contaminación más elevados y posterior al cantón de Barva, el río discurre por algunas zonas altamente pobladas del cantón de Heredia como el distrito de Mercedes, así como por algunas zonas altamente industrializadas en el distrito de San Francisco antes de ingresar al cantón de Belén. Esto podría explicar por qué las concentraciones de contaminantes a la entrada del cantón son altas, debido a los vertidos especiales y

domésticos que recibe el cuerpo de agua previo a su ingreso al cantón. Además, pese a la naturaleza urbana del cantón de Belén, las concentraciones pueden tender a disminuir hacia la salida, si la naturaleza de las aguas vertidas en su recorrido previo establece niveles de contaminación muy elevados, como ocurre en este caso y los vertidos sobre el río en su paso por Belén son pocos o aportan poca carga contaminante.

Los comportamientos señalados previamente se confirman con los resultados observados en el Cuadro 7 que muestra los valores de los parámetros a la entrada y salida del cantón para el Río Quebrada Seca en cada una de las épocas climáticas, señalando en rojo cuando el valor a la salida es mayor que en la entrada, indicativo del aporte de contaminación antrópico.

**Cuadro 7.** Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Quebrada Seca, 2020.

Época	Sitio	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Amonio (µg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	7,02	13,3	21,4	23,38	4184
	Salida	QSECA4	7,6	5,24	15,8	7,43	2050
Lluviosa	Entrada	QSECA1	7,7	6,7	10,6	12,07	895,8
	Salida	QSECA4	7,3	3,34	7,7	6	470,9
Época	Sitio	Código	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	% Saturación	DQO (mg/L)	SS (mL/L)
Seca	Entrada	QSECA1	23,6	7,96	83,5	76,67	0,3
	Salida	QSECA4	23,3	6,4	67,7	27,77	0,1
Lluviosa	Entrada	QSECA1	22,7	5,76	6,3	39,82	0,1
	Salida	QSECA4	25,3	7,13	77,4	19,4	0,1
Época	Sitio	Código	SAAM (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrato (µg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Cloruro (µg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	0,426	7,62	8721	11,3	36,4
	Salida	QSECA4	0,4	5,22	752	11,3	25,1
Lluviosa	Entrada	QSECA1	1,713	0,72	1575	4	26,1
	Salida	QSECA4	0,4	0,63	625,7	4	17,29

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 7 (Continuación).** Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Quebrada Seca, 2020.

Época	Sitio	Código	Nitrato (µg/L)	Sulfato (µg/L)	Hidrocarburos (mg/L)	Aluminio (µg/L)	Calcio (mg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	6,93	46,2	2,9	1021	20,8
	Salida	QSECA4	18,6	28,7	2,9	553	26,4
Lluviosa	Entrada	QSECA1	7,57	32,1	2,9	477	18
	Salida	QSECA4	23,4	24	2,9	460	23,3
Época	Sitio	Código	Cobre (mg/L)	Manganeso (µg/L)	Potasio (mg/L)	Plomo (µg/L)	Sodio (mg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	23,9	107	11,1	5,36	53,1
	Salida	QSECA4	17,2	89	10,3	1,42	45
Lluviosa	Entrada	QSECA1	7,62	57,9	7,3	7,41	34,5
	Salida	QSECA4	9,6	28,5	5,54	1,45	20,8
Época	Sitio	Código	Zinc (mg/L)	Cadmio (µg/L)	Cromo (µg/L)	Níquel (µg/L)	Arsénico (µg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	77	0,133	2,26	5,16	1
	Salida	QSECA4	57,3	0,095	3,01	4,19	0,5
Lluviosa	Entrada	QSECA1	63,9	0,0989	2,5	2,56	0,62
	Salida	QSECA4	45,5	0,0894	1,63	2,72	0,58

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver del cuadro anterior que en la época seca (marzo), hubo un incremento en los parámetros de pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, nitrato, calcio y cromo, mientras que en la época lluviosa (octubre) hubo un incremento en los parámetros de temperatura, nitrato, calcio, cobre y níquel.

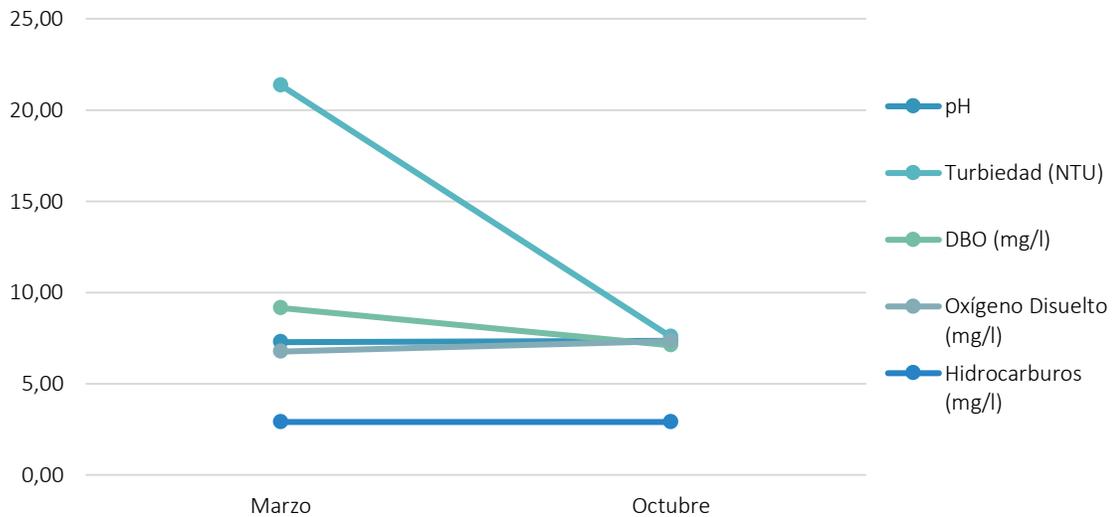
De todos los parámetros analizados, el nitrato y el calcio son los únicos que presentan incrementos consistentes en ambas épocas climáticas.

Estos resultados respaldan los comportamientos que se aprecian en las figuras anteriores, y que ya fueron explicados.

## 4.2. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el Río Segundo

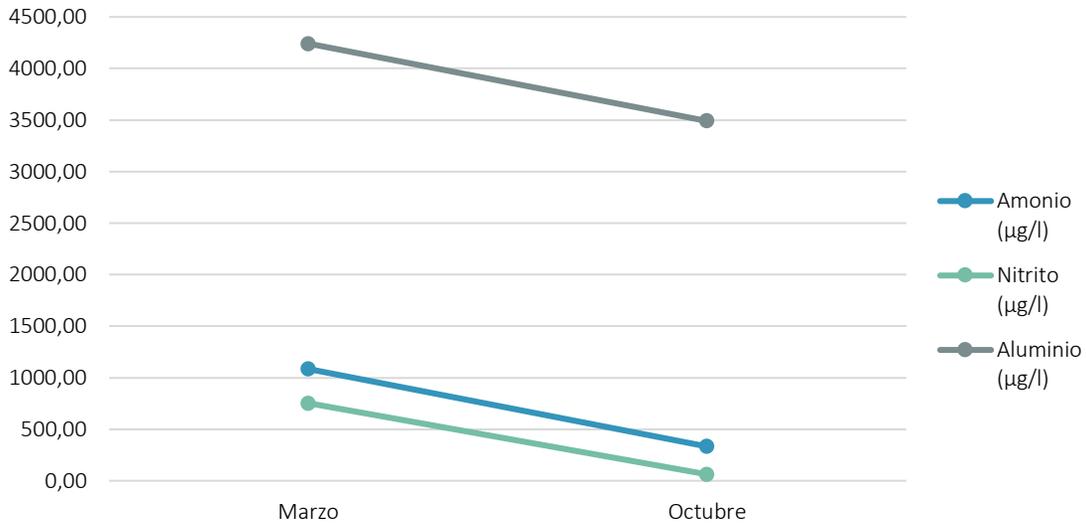
### Segundo

Las Figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22 muestran de manera gráfica los valores promedio mensuales para cada parámetro analizado durante el año de estudio en el Río Segundo, con la intención de observar el comportamiento estacional y temporal de las variables.



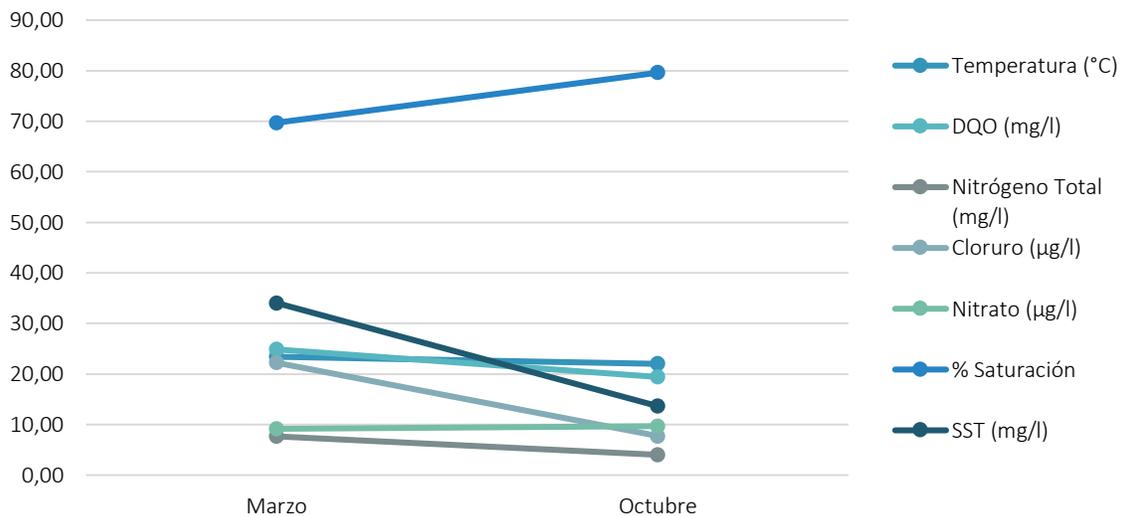
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 16.** Valores promedio mensuales de pH, turbiedad, DBO, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



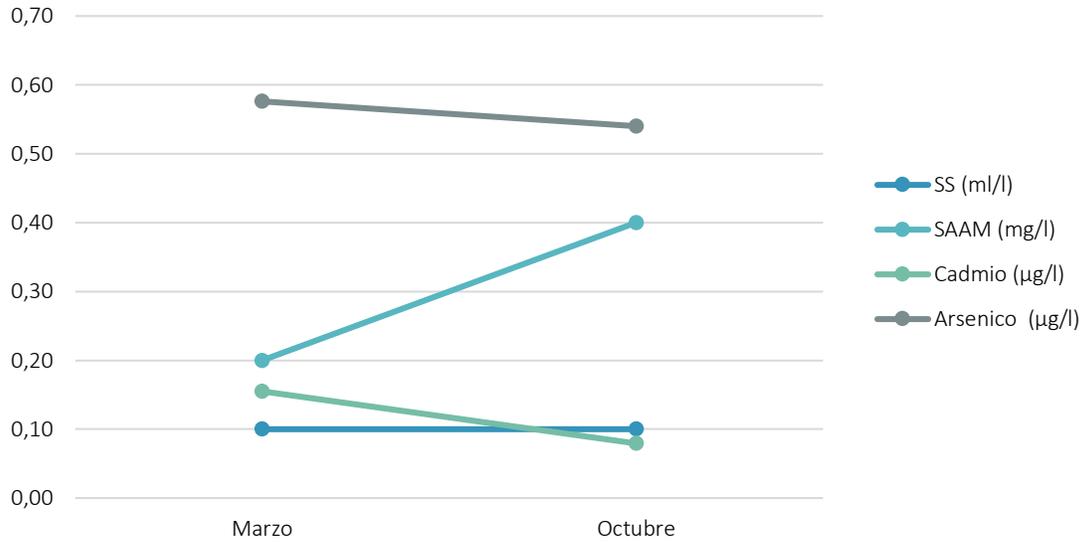
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 17.** Valores promedio mensuales de amonio, nitrito y aluminio en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



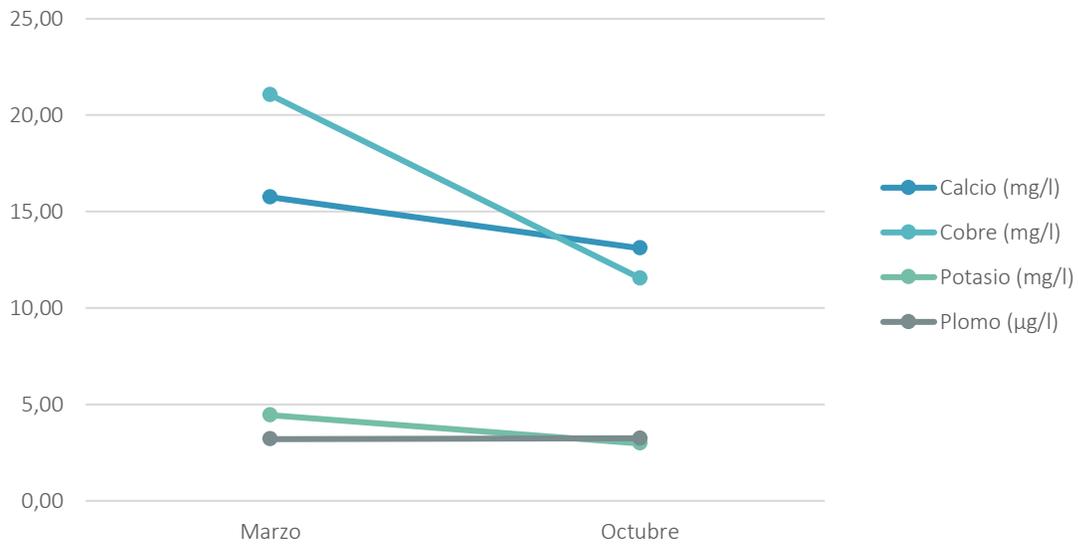
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 18.** Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación y SST en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



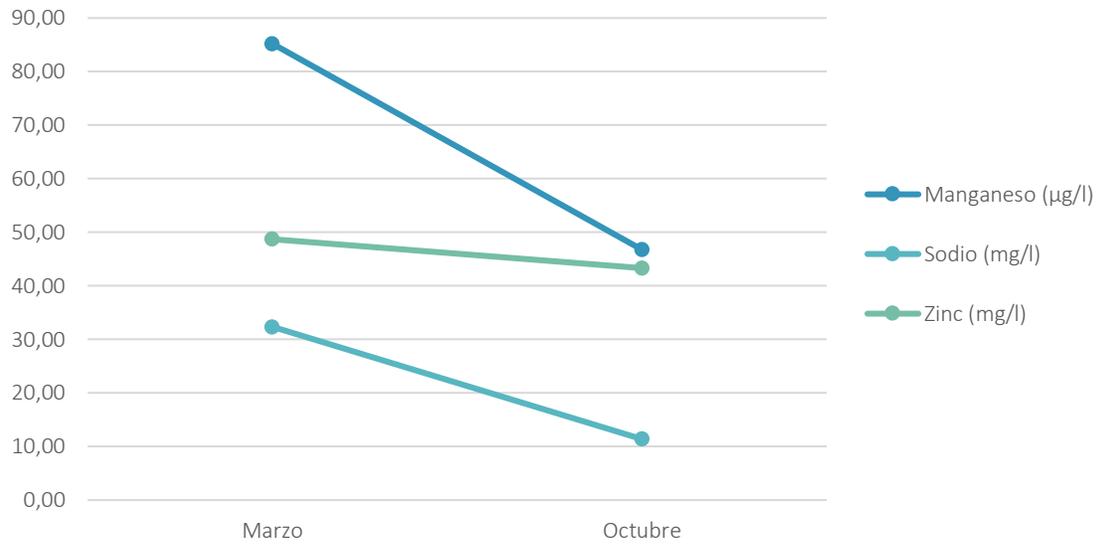
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 19.** Valores promedio mensuales de SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



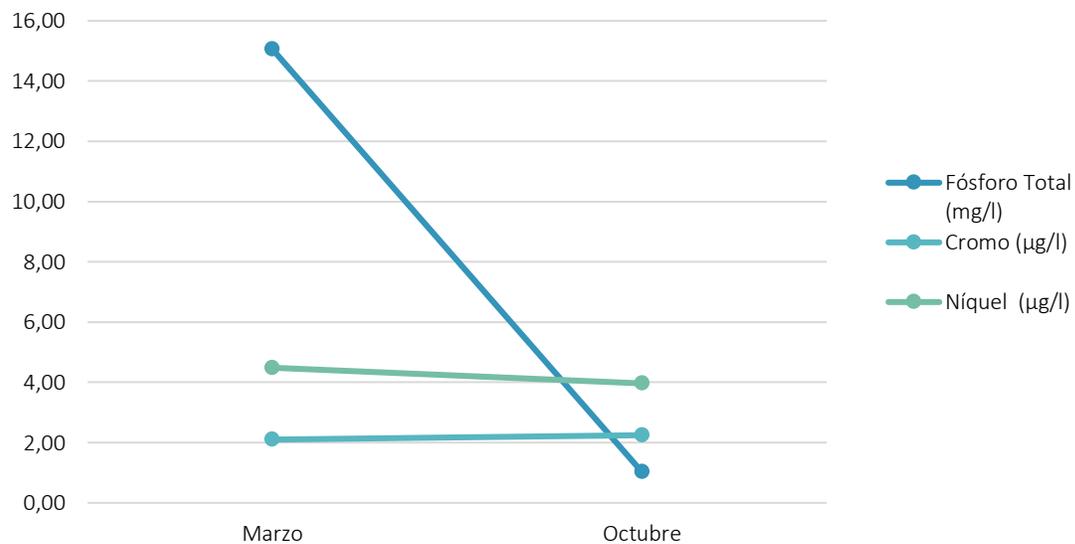
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 20.** Valores promedio mensuales de calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 21.** Valores promedio mensuales de manganeso, sodio y zinc en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

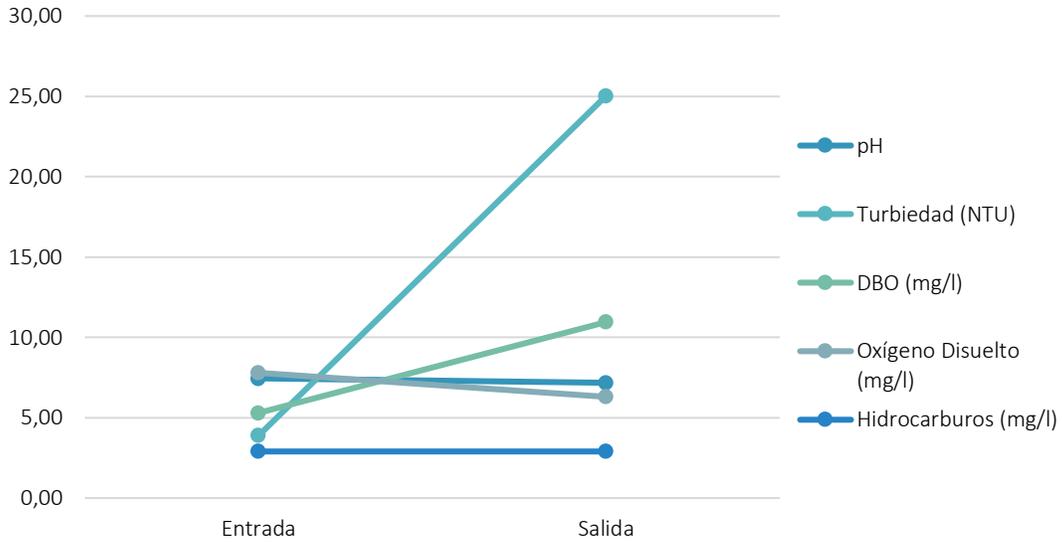
**Figura 22.** Valores promedio mensuales de fósforo total, cromo y níquel en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.

De las figuras anteriores se puede observar que, en el Río Segundo, la mayoría de los parámetros complementarios analizados presentan un comportamiento decreciente hacia la campaña de octubre correspondiente a la época lluviosa y solo unos pocos parámetros presentan un comportamiento contrario, siendo que las sustancias activas al azul de metileno y el porcentaje de saturación son los únicos dos que presentan un marcado aumento hacia la época lluviosa. Algunos otros parámetros como los hidrocarburos, oxígeno disuelto, pH, temperatura, DQO, nitrato, nitrógeno total, sólidos sedimentables, plomo, cromo o níquel presentan un comportamiento bastante constante entre campañas, con muy poca variación entre los resultados de ambas, aunque para varios de ellos se puede apreciar una muy ligera tendencia a disminuir hacia el mes de octubre.

En general se puede identificar que las concentraciones más elevadas se observan en la época seca (marzo) y disminuyen para la época lluviosa (octubre), lo que marca la tendencia decreciente antes mencionada.

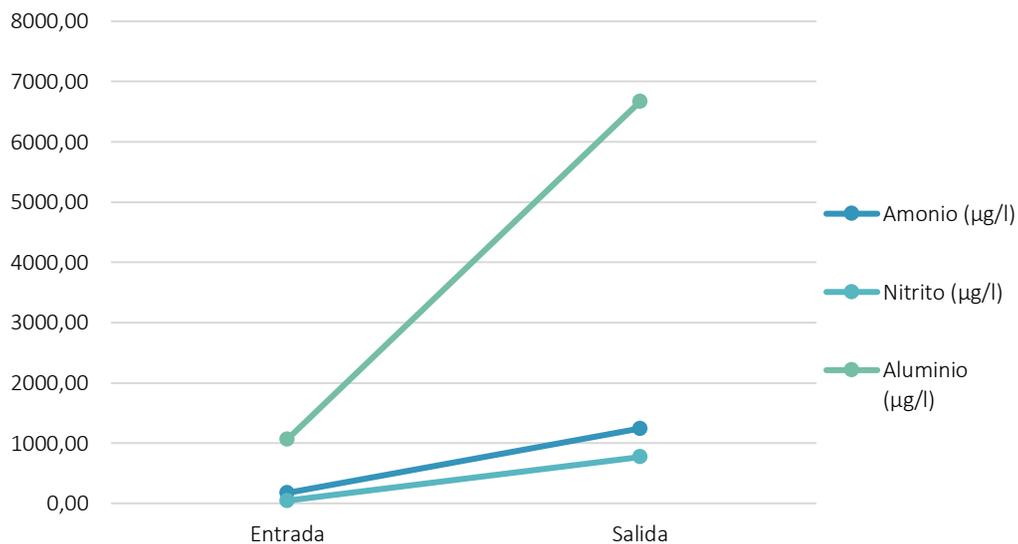
Este comportamiento, como se explicó anteriormente, responde al hecho de que, durante la época lluviosa, el incremento en la frecuencia e intensidad de las lluvias produce un aumento en el caudal del río y su nivel, lo que a su vez genera un efecto de dilución de las concentraciones aparentes de los contaminantes en el cuerpo de agua.

Por otro lado, se procede a realizar el análisis de las tendencias de las variables analizadas y su comportamiento en las distintas partes de la microcuenca. Para ello las Figuras 23, 24, 25, 26, 27, 28 y 29 muestran los promedios anuales por sitio de la microcuenca para cada variable en cuestión.



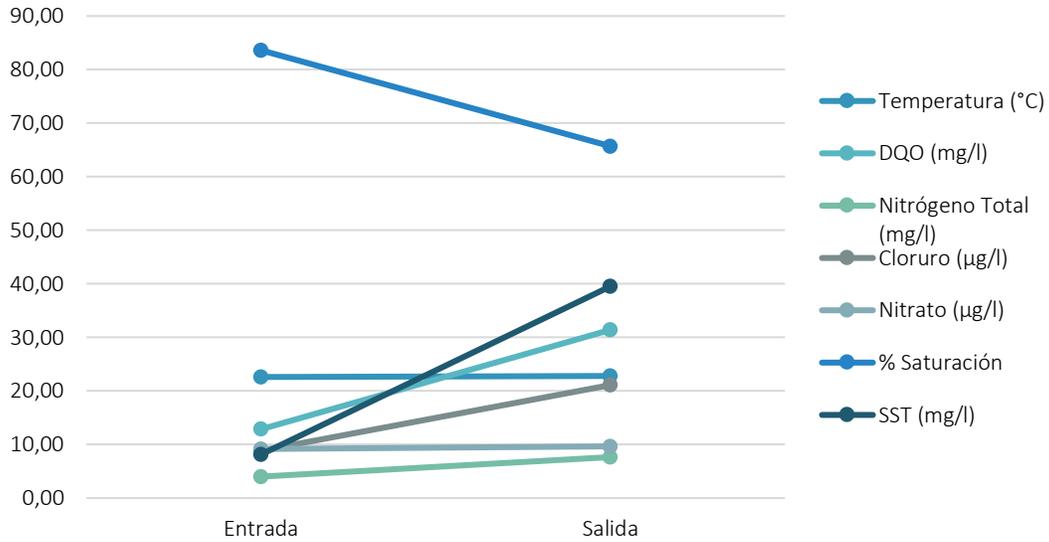
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23.** Valores promedio anuales por sitio para pH, turbiedad, DBO, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



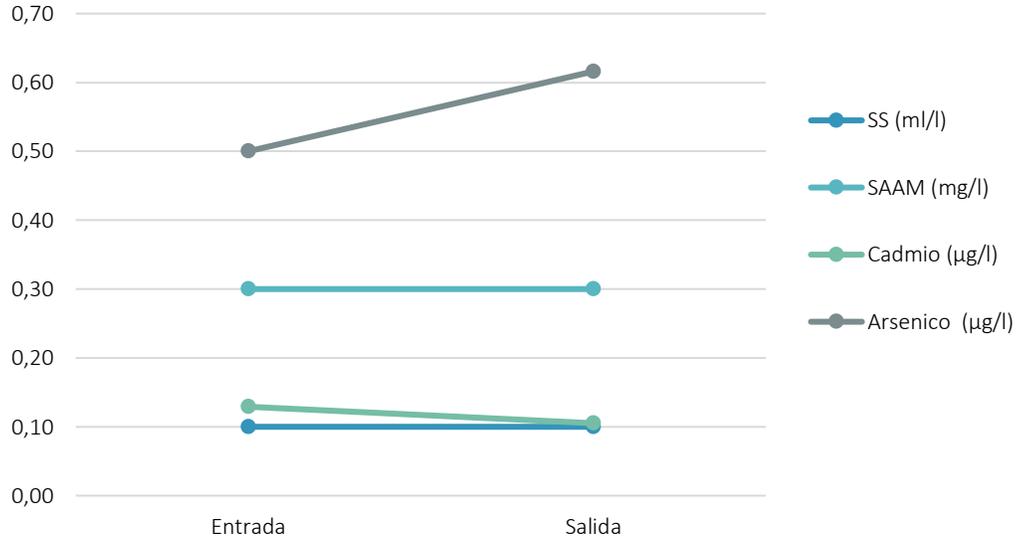
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 24.** Valores promedio anuales por sitio para amonio, nitrito y aluminio en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



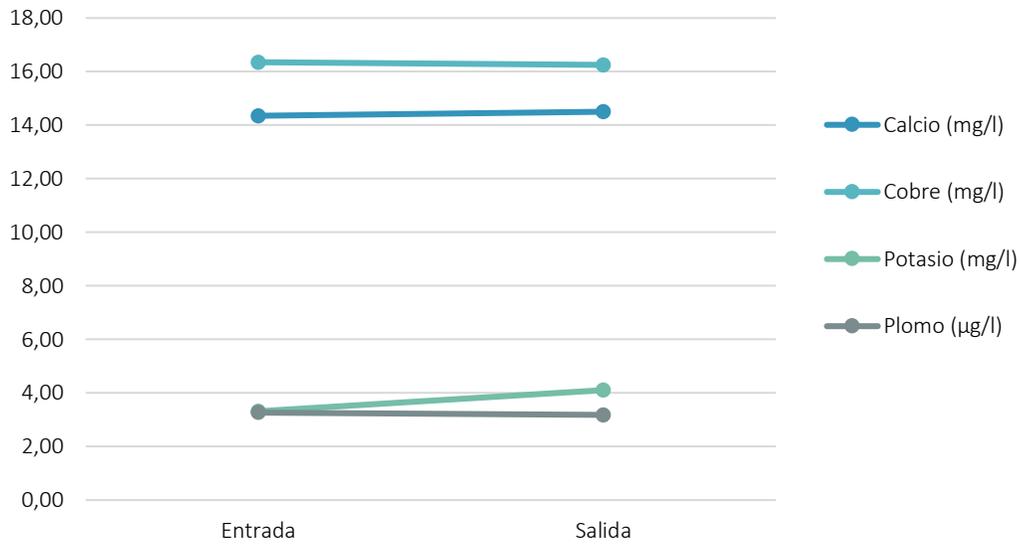
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 25.** Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación y SST en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



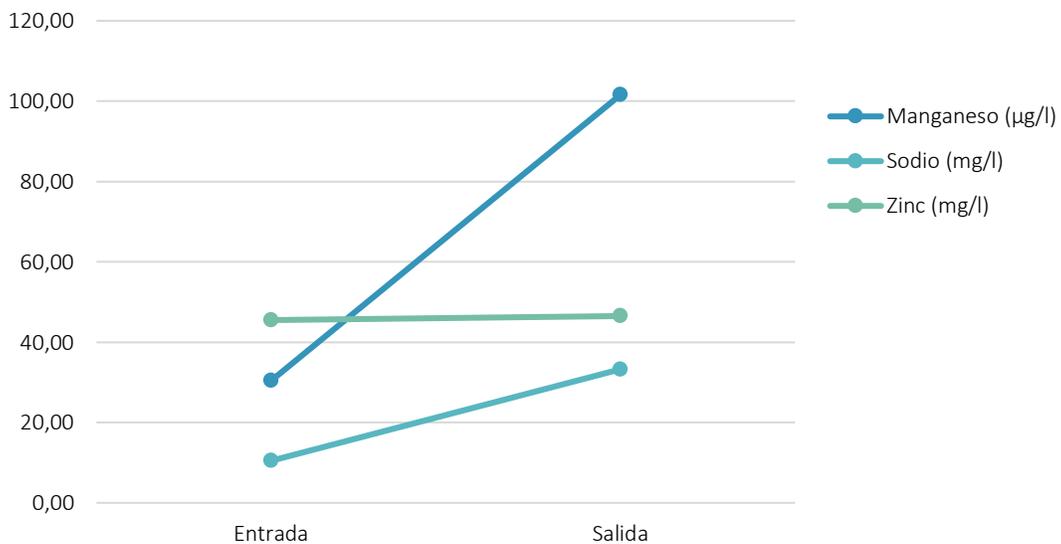
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 26.** Valores promedio anuales por sitio para SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



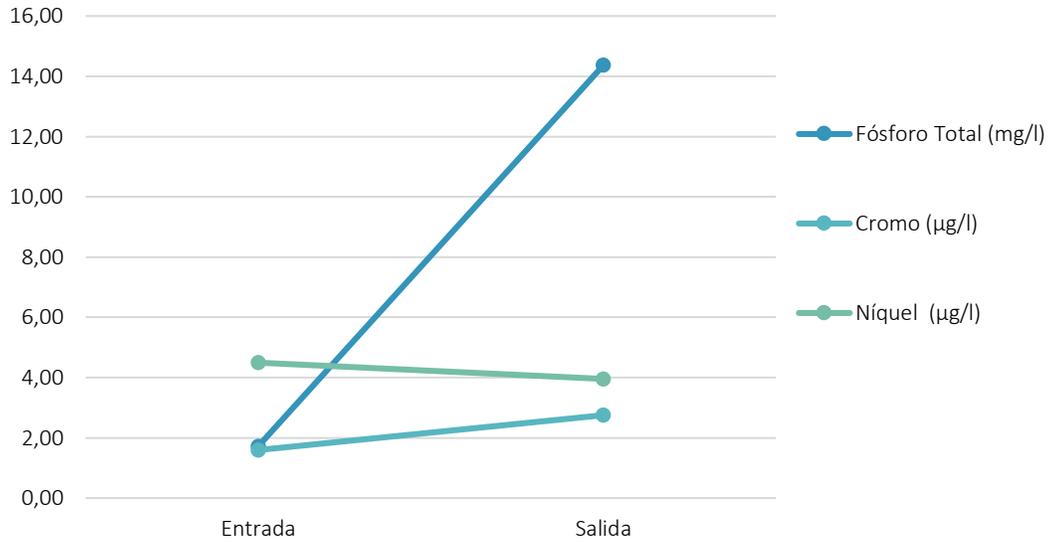
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 27.** Valores promedio anuales por sitio para calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 28.** Valores promedio anuales por sitio para manganeso, sodio y zinc en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 29.** Valores promedio anuales por sitio para fósforo total, cromo y níquel en el Río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.

De estas figuras se puede observar que, a diferencia de lo observado en el Río Quebrada Seca, para el Río Segundo el comportamiento de los parámetros por sitios muestra una tendencia general a incrementar hacia el sitio ubicado a la salida del cantón, siendo que pocos de los parámetros muestran una disminución hacia la salida, y para aquellos que lo hacen, la disminución tiende a ser leve, siendo el caso del porcentaje de saturación una de las más evidentes junto con la del oxígeno disuelto, lo cual también responde al incremento de los niveles de contaminación hacia la salida, especialmente materia orgánica que en su descomposición consume el oxígeno disponible en el agua.

Los comportamientos señalados previamente se confirman con los resultados observados en el Cuadro 8 que muestra los valores de los parámetros a la entrada y salida del cantón para el Río Segundo en cada una de las épocas climáticas, señalando en rojo cuando el valor a la salida es mayor que en la entrada, indicativo del aporte de contaminación antrópico.

**Cuadro 8.** Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Segundo, 2020.

Época	Sitio	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Amonio (µg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	7,4	2,11	2	3,17	207,4
	Salida	RSGD2	7,15	40,6	16,3	64,9	1961
Lluviosa	Entrada	RSGD1	7,5	5,67	8,6	13,12	140,7
	Salida	RSGD2	7,2	9,46	5,6	14,14	524,7
Época	Sitio	Código	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	% Saturación	DQO (mg/L)	SS (mL/L)
Seca	Entrada	RSGD1	23,3	7,84	82,4	6,3	0,1
	Salida	RSGD2	23,5	5,68	57	43,39	0,5
Lluviosa	Entrada	RSGD1	21,9	7,75	84,8	19,4	0,1
	Salida	RSGD2	22,1	6,92	74,4	19,4	0,1
Época	Sitio	Código	SAAM (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrito (µg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Cloruro (µg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	0,2	3,04	67	4	8,83
	Salida	RSGD2	0,2	27,07	1438	11,3	35,6
Lluviosa	Entrada	RSGD1	0,4	0,4	25	4	8,85
	Salida	RSGD2	0,4	1,65	99,5	4	6,6
Época	Sitio	Código	Nitrato (µg/L)	Sulfato (µg/L)	Hidrocarburos (mg/L)	Aluminio (µg/L)	Calcio (mg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	8,96	27,3	2,9	665	16,5
	Salida	RSGD2	9,33	16,7	2,9	7817	15
Lluviosa	Entrada	RSGD1	9,37	16,42	2,9	1462	12,2
	Salida	RSGD2	9,98	15,11	2,9	5518	14
Época	Sitio	Código	Cobre (mg/L)	Manganeso (µg/L)	Potasio (mg/L)	Plomo (µg/L)	Sodio (mg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	22,7	29,4	3,94	3,3	13,5
	Salida	RSGD2	19,4	141	4,95	3,1	51,2
Lluviosa	Entrada	RSGD1	10	31,4	2,69	3,23	7,44
	Salida	RSGD2	13,1	62,1	3,26	3,26	15,3

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 8 (Continuación).** Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Segundo, 2020.

Época	Sitio	Código	Zinc (mg/L)	Cadmio (µg/L)	Cromo (µg/L)	Níquel (µg/L)	Arsénico (µg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	48,1	0,173	1,54	5,09	0,5
	Salida	RSGD2	49,3	0,137	2,66	3,88	0,652
Lluviosa	Entrada	RSGD1	42,9	0,0852	1,65	3,9	0,5
	Salida	RSGD2	43,7	0,0734	2,84	4,03	0,58

Fuente: Elaboración propia

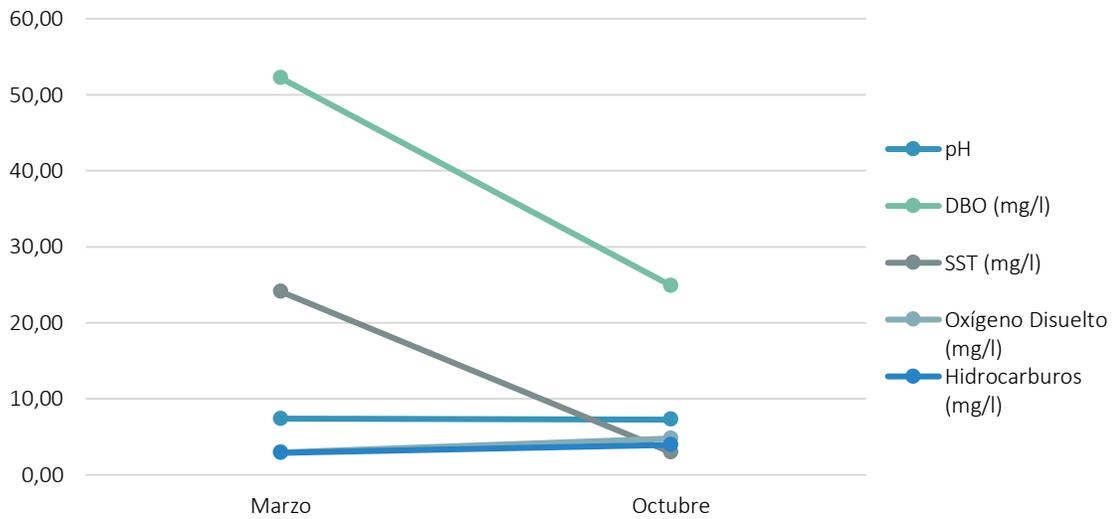
Se puede ver del cuadro anterior que en la época seca (marzo), hubo un incremento en los parámetros de turbiedad, DBO, SST, amonio, temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, DQO, SS, fósforo total, nitrito, nitrógeno total, cloruro, nitrato, aluminio, manganeso, potasio, sodio, zinc, cromo y arsénico, siendo esta la época climática con más incrementos hacia la salida.

En la época lluviosa (octubre) hubo un incremento en los parámetros de turbiedad, SST, amonio, temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, fósforo total, nitrito, nitrato, aluminio, calcio, cobre, manganeso, potasio, plomo, sodio, zinc, cromo, níquel y arsénico.

De todos los parámetros analizados, la turbiedad, SST, amonio, temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, fósforo total, nitrito, nitrato, aluminio, manganeso, potasio, sodio, zinc, cromo y arsénico presentan incrementos consistentes en ambas épocas climáticas, lo respalda los comportamientos señalados en las figuras anteriores pues una parte importante de los parámetros muestra dicho incremento hacia la salida del cantón en ambas épocas.

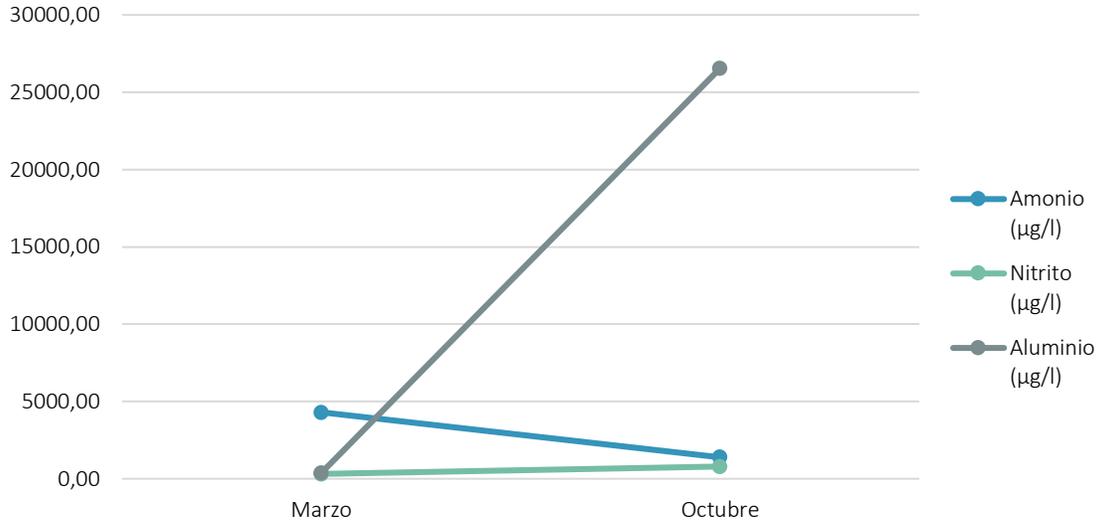
### 4.3. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el Río Bermúdez

Las Figuras 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36 muestran de manera gráfica los valores promedio mensuales para cada parámetro analizado durante el año de estudio en el Río Bermúdez, con la intención de observar el comportamiento estacional y temporal de las variables.



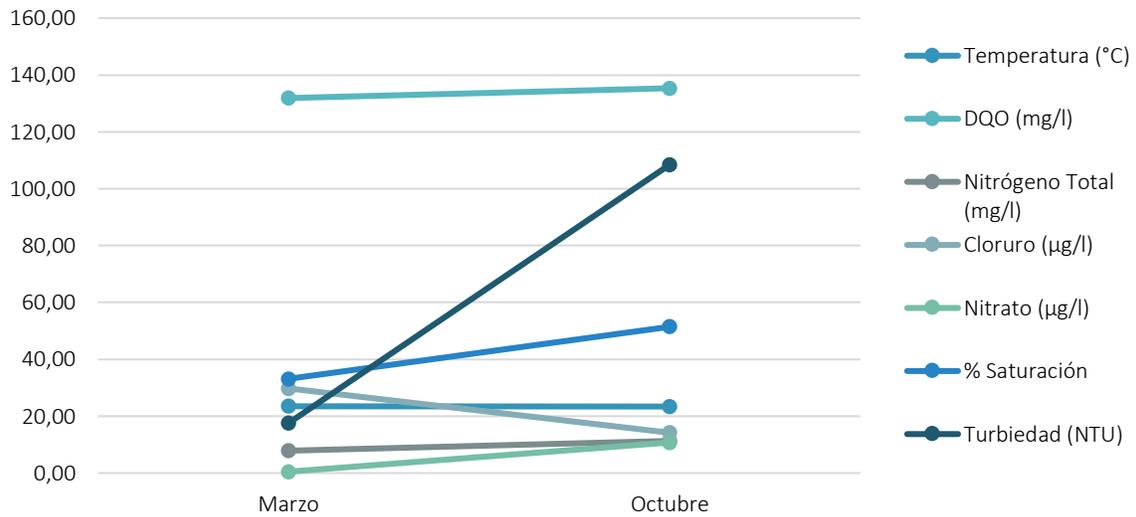
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 30.** Valores promedio mensuales de pH, DBO, SST, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



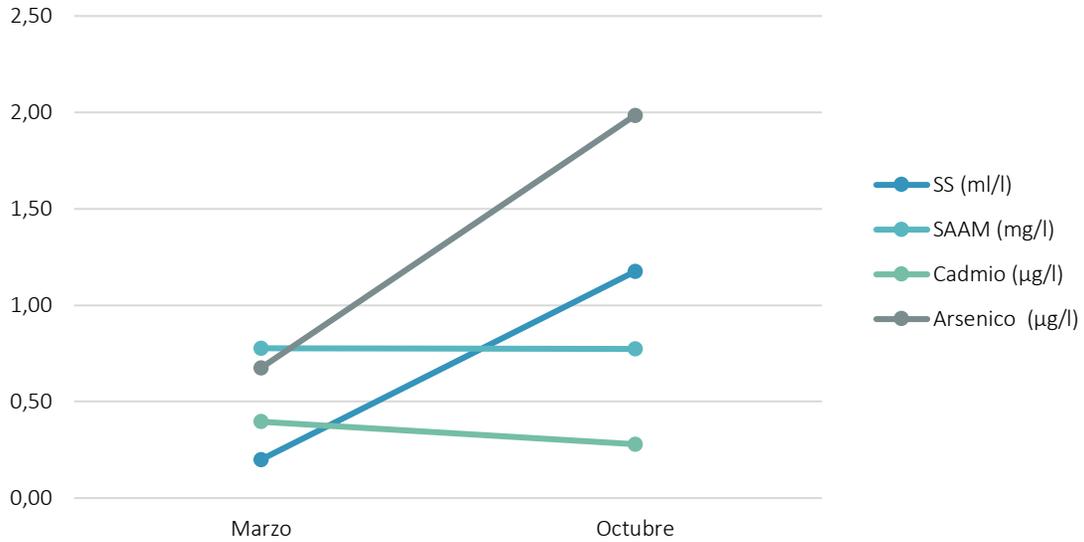
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 31.** Valores promedio mensuales de amonio, nitrito y aluminio en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



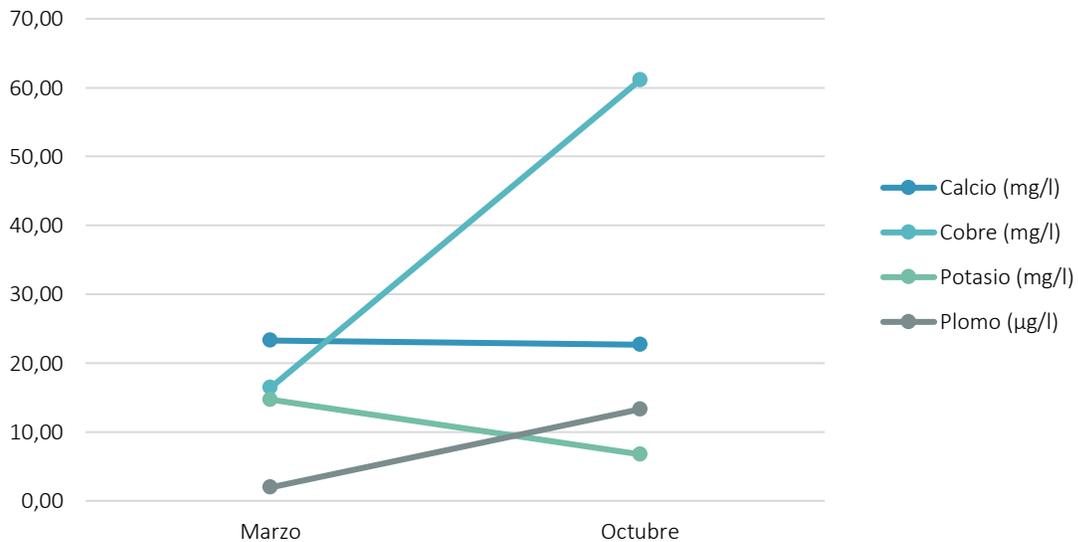
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 32.** Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación y turbiedad en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



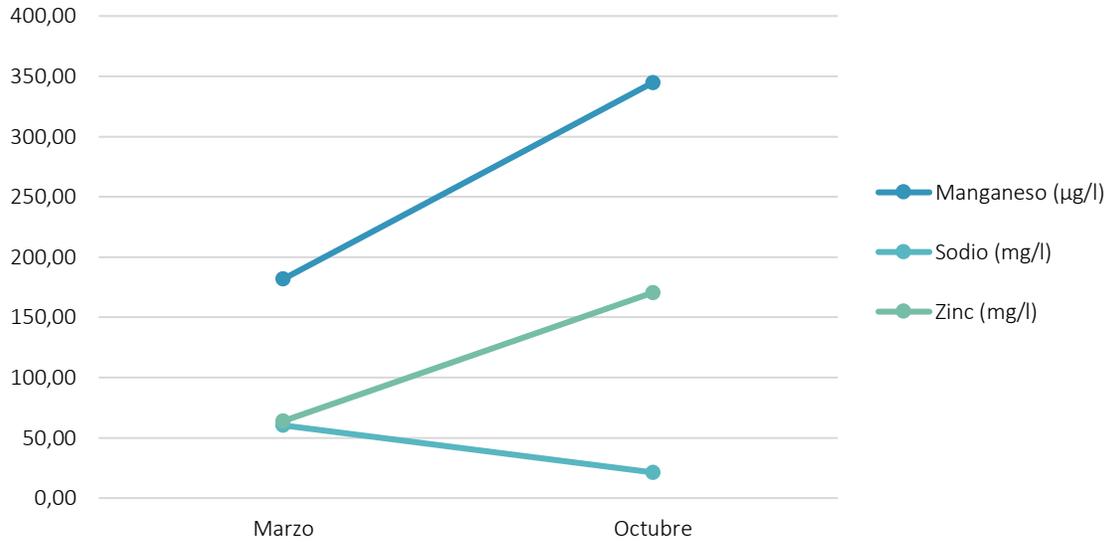
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 33.** Valores promedio mensuales de SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



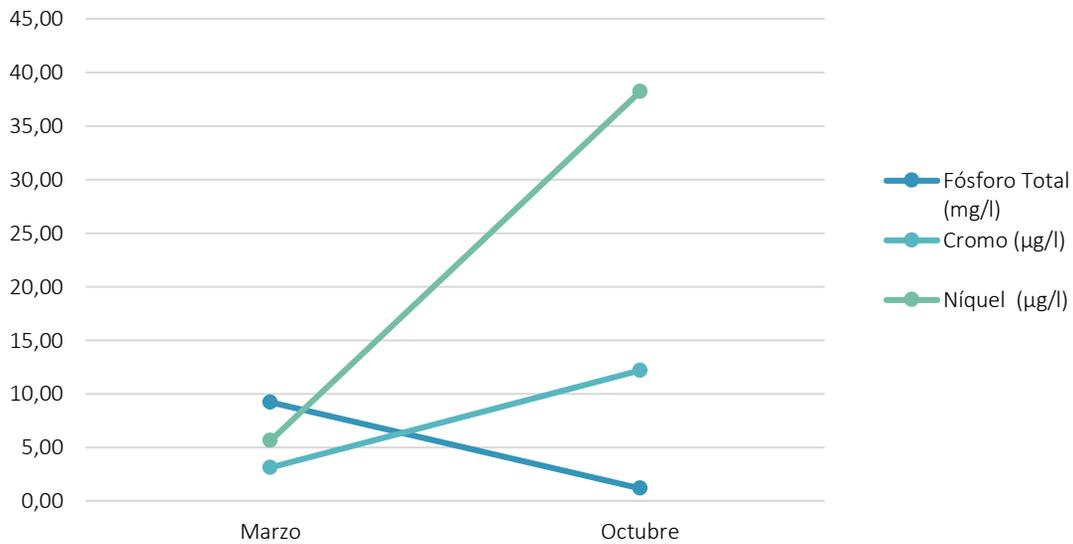
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 34.** Valores promedio mensuales de calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 35.** Valores promedio mensuales de manganeso, sodio y zinc en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 36.** Valores promedio mensuales de fósforo total, cromo y níquel en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.

De las figuras anteriores se puede observar que, en el Río Bermúdez, a diferencia de las microcuencas anteriores donde la mayoría de los parámetros decrecieron hacia la época lluviosa, en este caso la tendencia observada es que varios de los parámetros decrecen hacia la campaña de octubre, pero al mismo tiempo varios también incrementan.

De esta manera parámetros como DBO, SST, amonio, cloruro, potasio, sodio y fósforo total disminuyen hacia la época lluviosa en el mes de octubre, mientras que parámetros como aluminio, turbiedad, porcentaje de saturación, nitrato, arsénico, sólidos sedimentables, calcio, plomo, manganeso, zinc, níquel y cromo muestran un incremento hacia dicha campaña, siendo mayor la cantidad de parámetros que incrementan, que los que disminuyen.

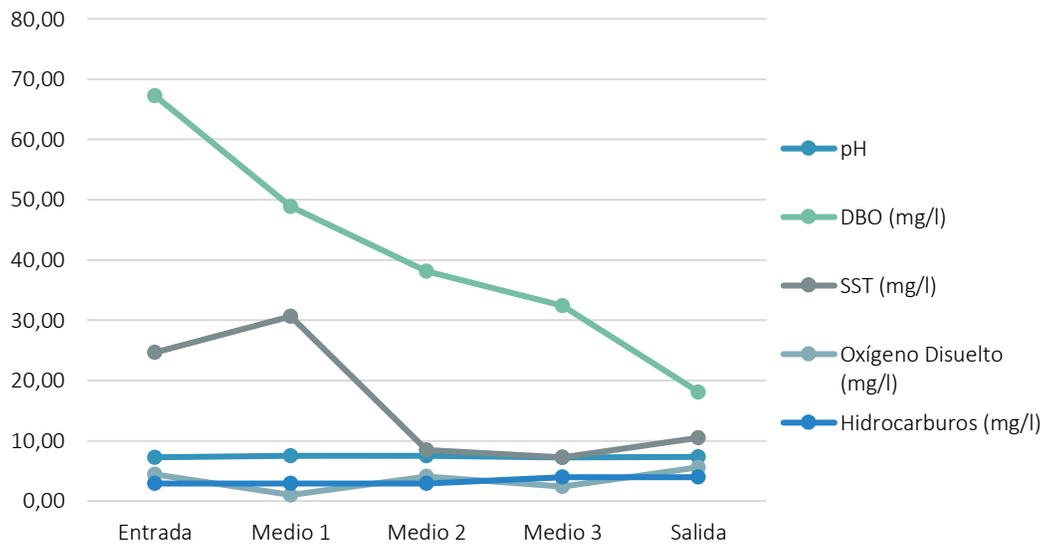
Cabe señalar en este caso que la naturaleza de los parámetros que aumenta y de los que disminuyen son marcadamente diferentes, siendo que la mayoría de los parámetros cuya concentración disminuye son los contaminantes de naturaleza orgánica y los nutrientes mayoritarios como potasio y fósforo que se asocian comúnmente con actividades agrícolas, mientras que la mayoría de los parámetros que incrementan corresponden a sustancias inorgánicas, principalmente metales, los cuales se asocian a la actividad industrial.

En este sentido se debe mencionar que previo a su ingreso al cantón de Belén, el Río Bermúdez discurre a través del cantón de Heredia, pasando por el distrito de Ulloa donde se concentran varias de las zonas francas e industriales de dicho cantón y cuyas aguas, si bien deben ser tratadas, pueden contener trazas de algunos de los metales, explicando su presencia abundante en comparación con las otras microcuencas.

El comportamiento observado para el Río Bermúdez, entonces puede responder a que, durante la época de lluvias, puede darse el incremento en cauda y nivel, sin llegar a los niveles de precipitación intensa que arrastrarían una mayor cantidad de material, incrementando la concentración de contaminantes, de esta forma, el efecto de dilución aunado a que el río discurre principalmente por zonas urbanas-industriales hace que el nivel de algunos de sus parámetros como los de naturaleza orgánica y algunos nutrientes disminuyan, lo que también se refleja en el incremento del porcentaje de saturación,

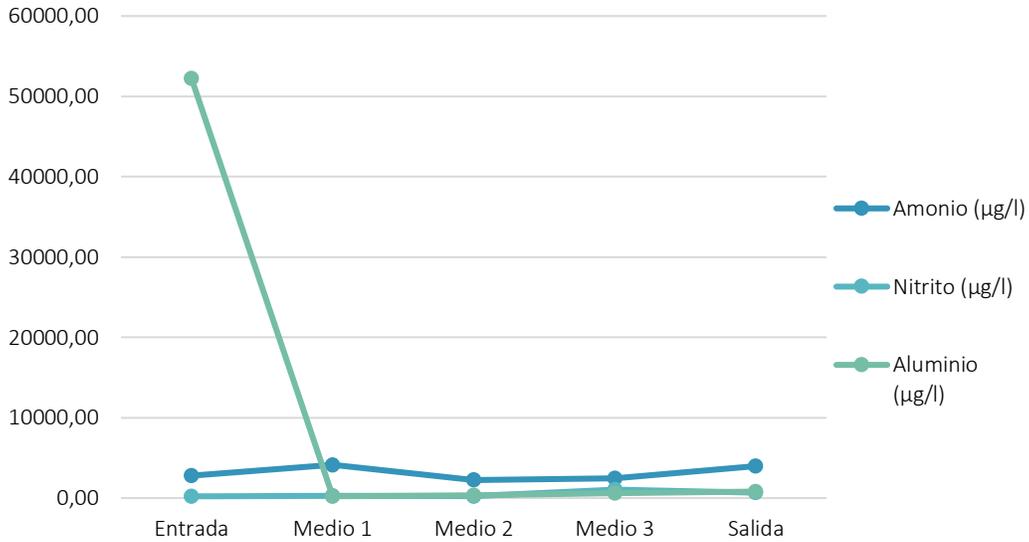
mientras que los vertidos de las distintas zonas francas e industriales pueden estar introduciendo algunos metales en concentraciones ligeramente superiores a lo esperado.

El otro análisis importante es en el que se compara el comportamiento de los parámetros en las distintas partes de la microcuenca (entrada, medio y salida del cantón). Las Figuras 37, 38, 39, 40, 41, 42 y 43 muestra los promedios anuales por sitio dentro de la microcuenca observados para cada una de las variables analizadas.



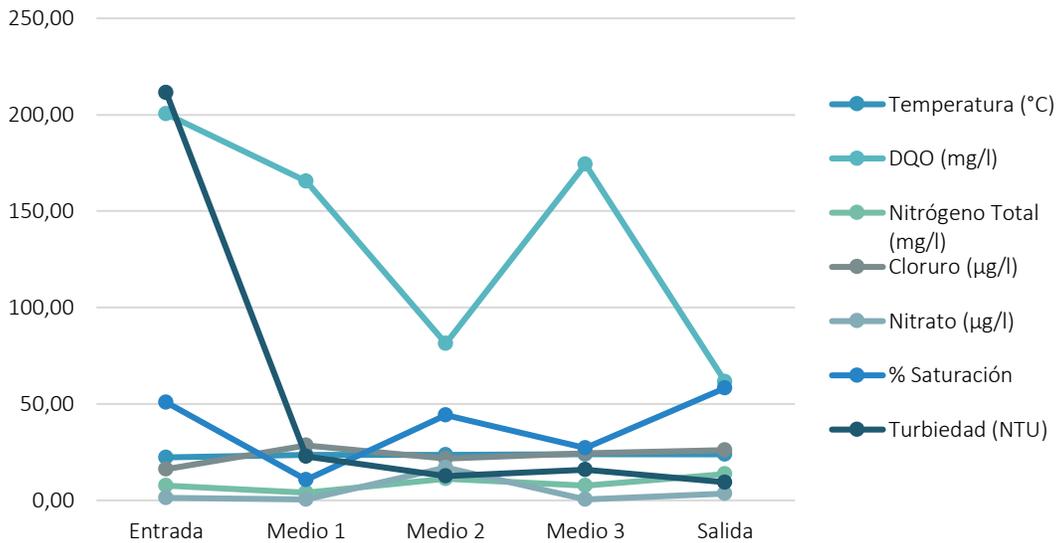
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 37.** Valores promedio anuales por sitio para pH, DBO, SST, oxígeno disuelto e hidrocarburos en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



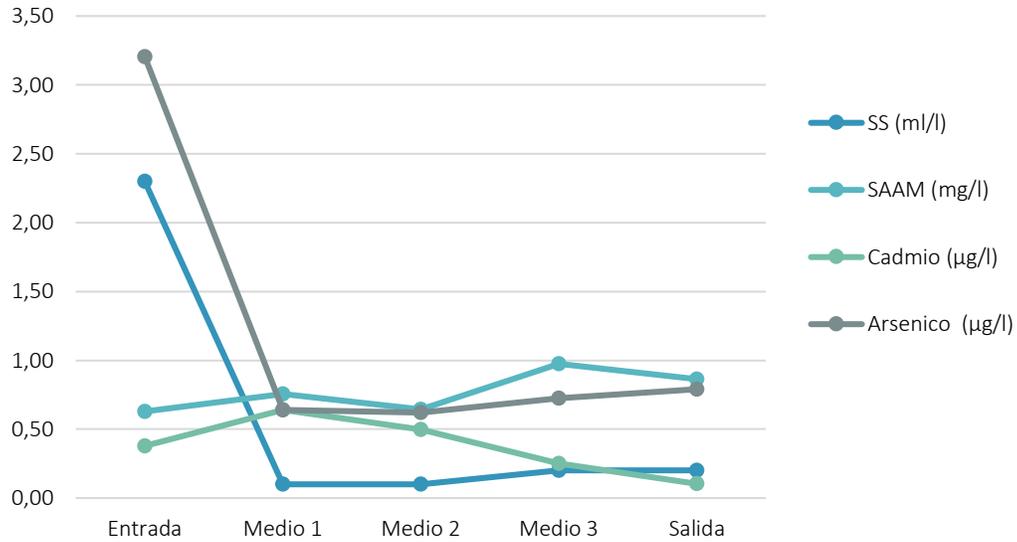
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 38.** Valores promedio anuales por sitio para amonio, nitrito y aluminio en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



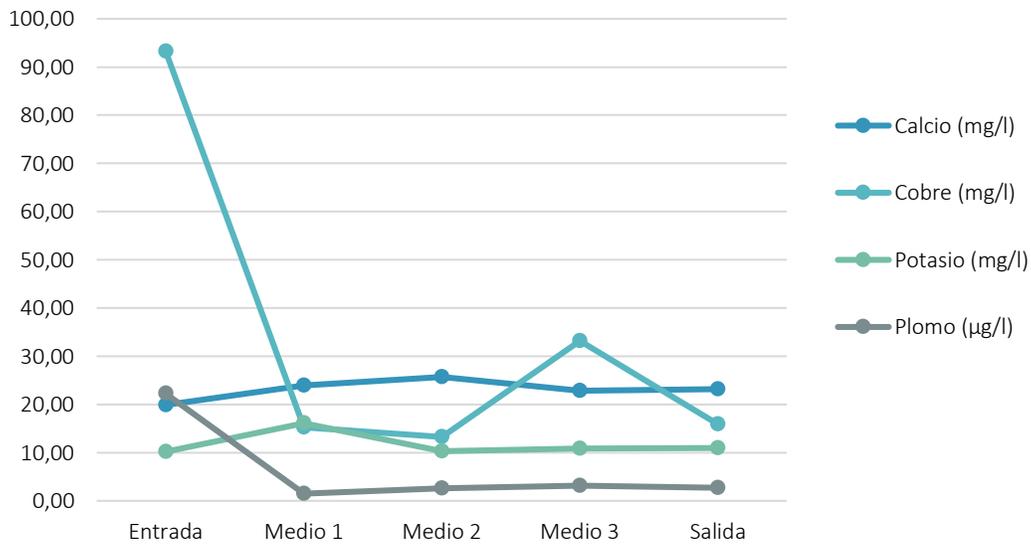
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39.** Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación y turbiedad en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



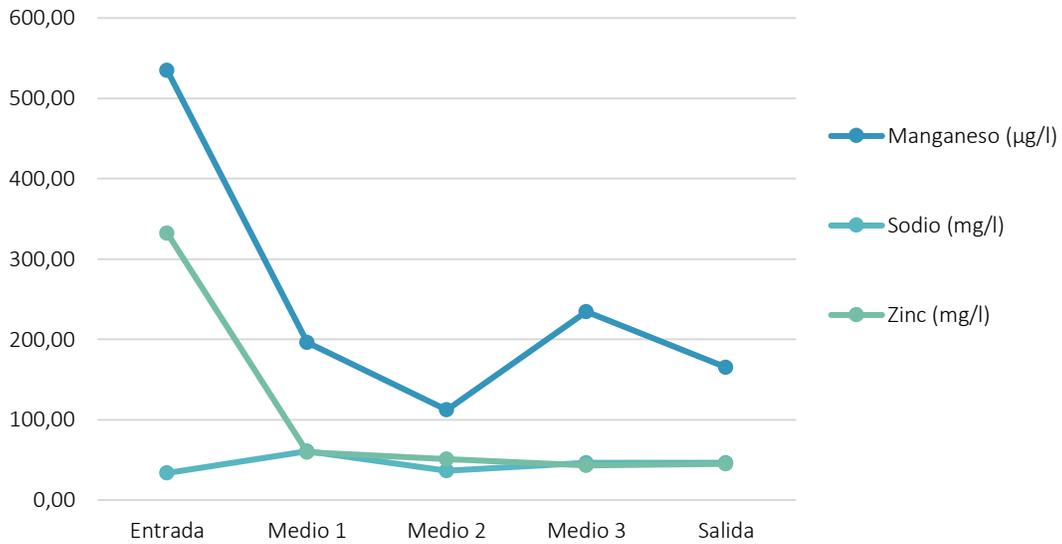
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 40.** Valores promedio anuales por sitio para SS, SAAM, cadmio y arsénico en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



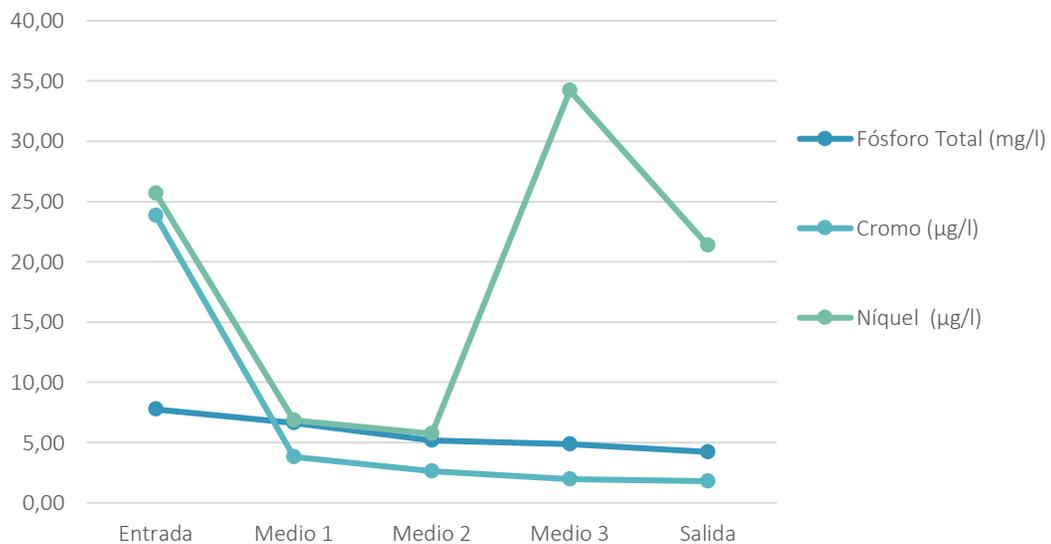
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 41.** Valores promedio anuales por sitio para calcio, cobre, potasio y plomo en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 42.** Valores promedio anuales por sitio para manganeso, sodio y zinc en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 43.** Valores promedio anuales por sitio para fósforo total, cromo y níquel en el Río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2020.

De estas figuras se puede observar que, el comportamiento de los parámetros por sitios resulta más difícil definir, sin embargo, la tendencia más generalizada para el Río Bermúdez muestra valores altos en el sitio de entrada que luego disminuyen a valores inferiores que se mantienen para la mayoría de los sitios restantes de la microcuenca, tal es el caso de los, SST, aluminio, turbiedad, arsénico, sólidos sedimentables, cobre, plomo, manganeso, zinc, y cromo. Aquellos que no siguen este patrón tienden a mantener un comportamiento relativamente constante a lo largo de los sitios con ligeras variaciones entre uno y otro, pero sin presentar una tendencia específica como se observa para pH, hidrocarburos, oxígeno disuelto, amonio, nitrito, nitrato, nitrógeno total, cloruro, SAAM, potasio, sodio y fósforo total.

Algunas variables no terminan de ajustarse a un patrón específico pero si muestran una tendencia como ocurre con la DBO que al igual que las demás presenta su mayor valor a la entrada pero decrece paulatinamente a lo largo de los siguientes sitios de muestreo, la DQO por su lado también presenta su valor más alto a la entrada y su más bajo a la salida, pero presenta un poco importante en uno de los sitios de la sección media, situación similar ocurre con el níquel que aunque disminuye en los primeros sitios de la parte media, presenta un pico hacia el tercer sitio de esta sección que eleva su concentración hacia la salida.

Resulta interesante observar, como se mencionó anteriormente, que la mayor parte de las sustancias que presentan un comportamiento de concentración alto a la entrada seguido de una disminución importante para los demás sitios corresponden a metales pesados, y de manera similar a lo que ocurría con el Río Quebrada Seca que se veía influenciado por las actividades que vierten sobre él previo al ingreso en el cantón, al Río Bermúdez le sucede lo mismo. Al pasar por uno de los distritos más industriales del cantón de Heredia, se encuentra expuesto a una mayor presencia de contaminantes industriales como metales que ocasionan los valores elevados a la entrada, sin embargo, al discurrir por el cantón de Belén, colindando con la zona cercana a la cabecera del cantón, con actividades principalmente comerciales y domésticas, cesa la introducción de contaminantes de esta naturaleza, lo que ocasiona la disminución de la concentración de estas sustancias.

Los comportamientos señalados previamente se confirman con los resultados observados en el Cuadro 9 que muestra los valores de los parámetros a la entrada y salida del cantón para el Río Bermúdez en cada una de las épocas climáticas, señalando en rojo cuando el valor a la salida es mayor que en la entrada, indicativo del aporte de contaminación antrópico.

**Cuadro 9.** Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Bermúdez, 2020.

Época	Sitio	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Amonio (µg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	7,21	19,9	90	45,9	4288
	Salida	RBMDZ5	7,52	10,7	24,4	19,8	4193
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	7,3	403	44,5	3,4	1322,5
	Salida	RBMDZ5	7,1	8,15	11,8	1,195	3753
Época	Sitio	Código	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	% Saturación	DQO (mg/L)	SS (mL/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	23,4	2,91	39,5	194,2	0,6
	Salida	RBMDZ5	23,5	5,82	58,4	75,84	0,1
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	21,2	5,97	62,3	206,5	4
	Salida	RBMDZ5	24,3	5,37	58,1	47,37	0,3
Época	Sitio	Código	SAAM (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrito (µg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Cloruro (µg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	1,058	13,8	169,9	4	28,1
	Salida	RBMDZ5	0,53	7,72	530	16,01	33,1
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	0,2	1,71	325,1	11,3	4,29
	Salida	RBMDZ5	1,195	0,73	855,1	11,3	19
Época	Sitio	Código	Nitrato (µg/L)	Sulfato (µg/L)	Hidrocarburos (mg/L)	Aluminio (µg/L)	Calcio (mg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	0,48	29,7	2,9	472	22,4
	Salida	RBMDZ5	0,48	36,3	2,9	596	23
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	2,24	12,96	2,9	103966	17,4
	Salida	RBMDZ5	6,65	24,8	5	1020	23,4

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 9 (Continuación).** Comparación de resultados de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del cuerpo de agua al cantón de Belén en dos estaciones climáticas para el Río Bermúdez, 2020.

Época	Sitio	Código	Cobre (mg/L)	Manganeso (µg/L)	Potasio (mg/L)	Plomo (µg/L)	Sodio (mg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	18,5	167	14,8	2,48	57,7
	Salida	RBMDZ5	17,5	185	13,6	1,24	59,6
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	168	902	5,6	42	9,7
	Salida	RBMDZ5	14,4	145	8,3	4,23	33,3

Época	Sitio	Código	Zinc (mg/L)	Cadmio (µg/L)	Cromo (µg/L)	Níquel (µg/L)	Arsénico (µg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	78,1	0,165	2,85	3,76	0,792
	Salida	RBMDZ5	51,9	0,06	2,26	5,42	0,649
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	586	0,592	44,8	47,6	5,62
	Salida	RBMDZ5	37,9	0,147	1,34	37,3	0,93

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver del cuadro anterior que en la época seca (marzo), hubo un incremento en los parámetros de pH, temperatura, nitrito, nitrógeno total, cloruro, sulfato, aluminio, calcio, manganeso, sodio y níquel, mientras que en la época lluviosa (octubre) hubo un incremento en los parámetros de amonio, temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, SAAM, nitrito, cloruro, nitrato, sulfato, hidrocarburos, potasio y sodio.

De todos los parámetros analizados, la temperatura, nitrato, sulfato y sodio son los únicos que presentan incrementos consistentes en ambas épocas climáticas.

Estos resultados respaldan los comportamientos que se aprecian en las figuras anteriores, y que ya fueron explicados.

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

Para la evaluación y clasificación de los cuerpos de aguas superficiales, el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S (2007) establece que una de las metodologías a utilizar es la Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua, la cual establece la

asignación de un puntaje a partir de los parámetros de DBO, nitrógeno amoniacal y oxígeno disuelto (expresado como porcentaje de saturación) tal como se muestra en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del Agua.

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

Fuente: (Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S, 2007)

Posteriormente se procede a realizar la sumatoria de los puntos asignados a cada parámetro y el total se correlaciona con un código de color el cual está asociado a un nivel de contaminación respectivo, tal como se muestra en el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del Agua por codificación de colores.

Clase	Sumatoria de puntos	Código de color	Interpretación de calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 – 6	Verde	Contaminación Incipiente
3	7 – 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 – 12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13 – 15	Rojo	Contaminación muy severa

Fuente: (Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S, 2007)

Por lo tanto, se realiza la puntuación de los valores y su respectiva sumatoria para cada uno de los sitios de muestreo en cada una de las microcuencas y los resultados de la clasificación se muestran en el Cuadro 12.

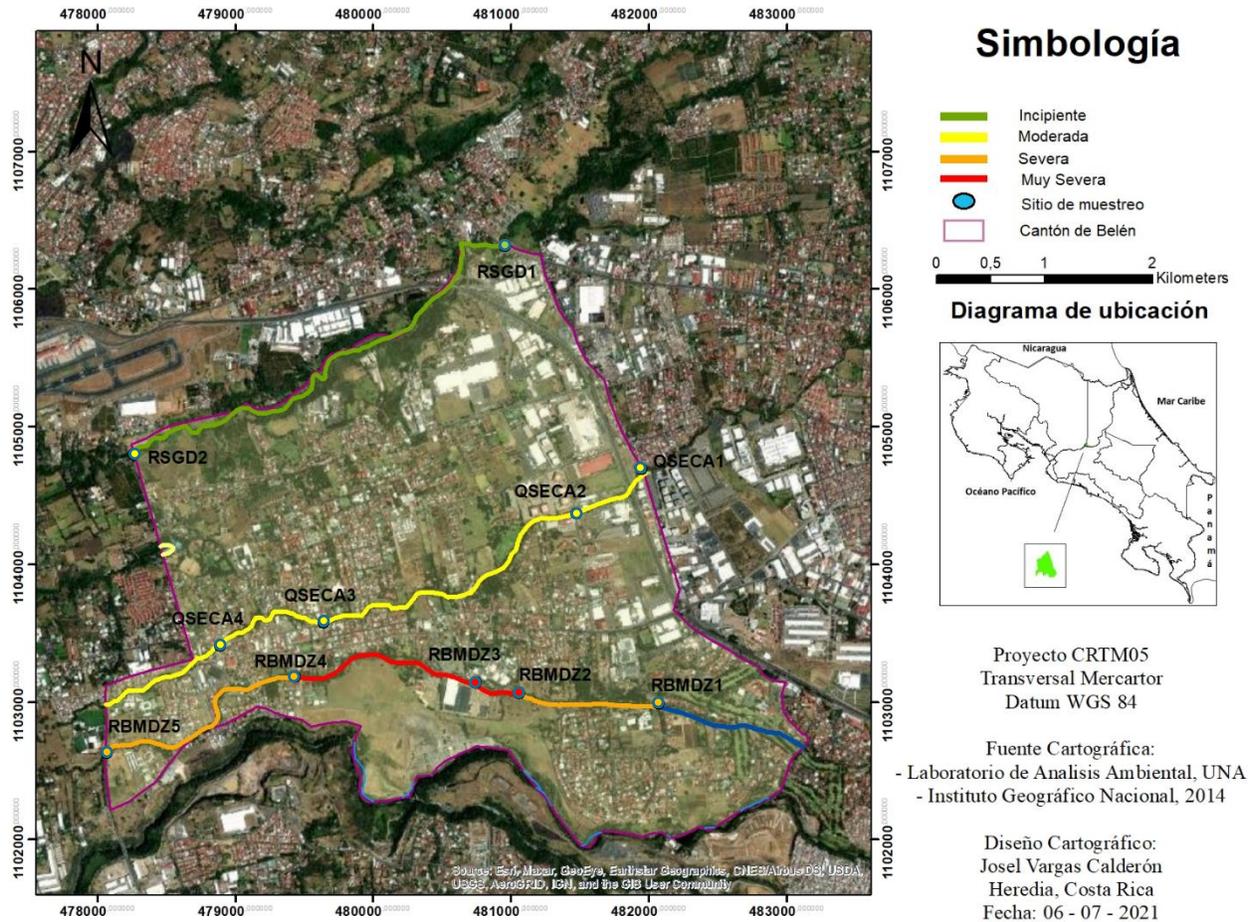
**Cuadro 12.** Clasificación de los puntos muestreados según el Sistema Holandés.

Época	Código	PSO (%)	Asignación de puntos del % saturación	DBO del agua para cuerpos receptores.	Asignación puntos para DBO	N amoniacal	Asignación de puntaje N amoniacal	Sumatoria Total	Clase	Interpretación de calidad
Seca	QSECA1	83,50	2	2,0	1	3,25	4	7	3	Moderada
Lluviosa	QSECA1	6,30	5	13,0	4	0,70	2	11	4	Severa
Seca	QSECA2	72,10	2	4,0	2	2,71	4	8	3	Moderada
Lluviosa	QSECA2	69,70	3	15,0	4	0,67	2	9	3	Moderada
Seca	QSECA3	67,40	3	5,0	2	2,90	4	9	3	Moderada
Lluviosa	QSECA3	76,20	2	16,0	5	0,40	1	8	3	Moderada
Seca	QSECA4	67,70	3	7,0	3	1,59	3	9	3	Moderada
Lluviosa	QSECA4	77,40	2	18,0	5	0,37	1	8	3	Moderada
Seca	RSGD1	82,40	2	3,0	1	0,16	1	4	2	Incipiente
Lluviosa	RSGD1	84,80	2	14,0	4	0,11	1	7	3	Moderada
Seca	RSGD2	57,0	3	6,0	2	1,53	3	8	3	Moderada
Lluviosa	RSGD2	74,40	2	17,0	5	0,41	1	8	3	Moderada
Seca	RBMDZ1	39,50	4	12,0	4	3,34	4	12	4	Severa
Lluviosa	RBMDZ1	62,30	3	22,0	5	1,03	3	11	4	Severa
Seca	RBMDZ2	10,70	5	11,0	4	3,22	4	13	5	Muy severa
Lluviosa	RBMDZ2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Seca	RBMDZ3	8,00	5	10,0	4	3,45	4	13	5	Muy severa
Lluviosa	RBMDZ3	80,20	2	21,0	5	0,04	1	8	3	Moderada
Seca	RBMDZ4	49,10	4	9,0	3	3,46	4	11	4	Severa
Lluviosa	RBMDZ4	5,20	5	20,0	5	0,33	1	11	4	Severa
Seca	RBMDZ5	58,40	3	8,0	3	3,26	4	10	4	Severa
Lluviosa	RBMDZ5	58,10	3	19,0	5	2,92	4	12	4	Severa

Fuente: Elaboración propia

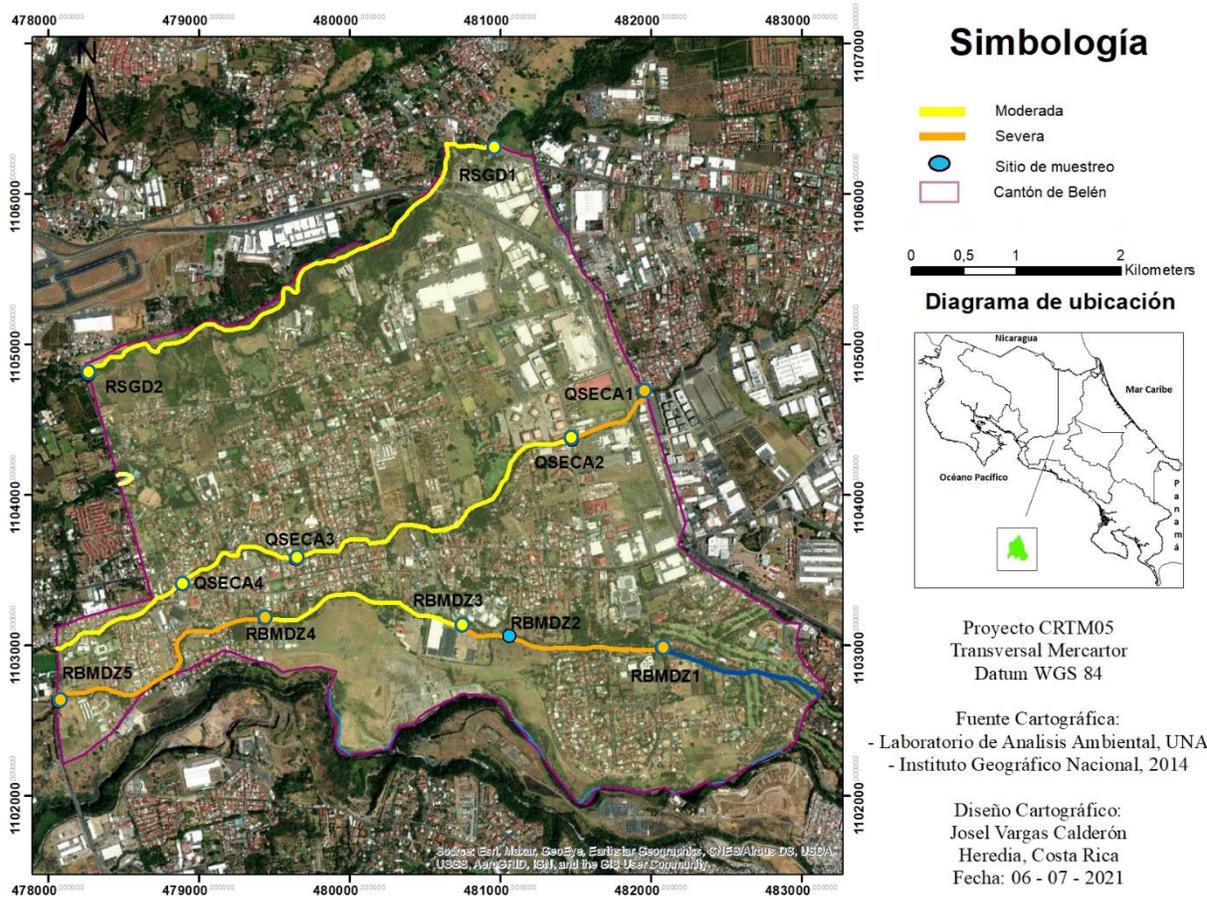
Como se observa en el Cuadro 12, se realiza una clasificación por cada uno de los sitios de muestreo en las dos campañas, lo que quiere decir que existe una categorización para el mismo sitio en época seca y lluviosa con la finalidad de determinar si existen diferencias en el grado de contaminación.

Aunado al cuadro anterior las Figuras 44 y 45 muestran la interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del Agua proyectado sobre los ríos del cantón para cada campaña, lo que permite visualizar mejor el nivel de contaminación de cada río, así como los sectores sobre los cuales se extiende dicha clasificación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de marzo 2020 (época seca).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de octubre 2020 (época lluviosa).

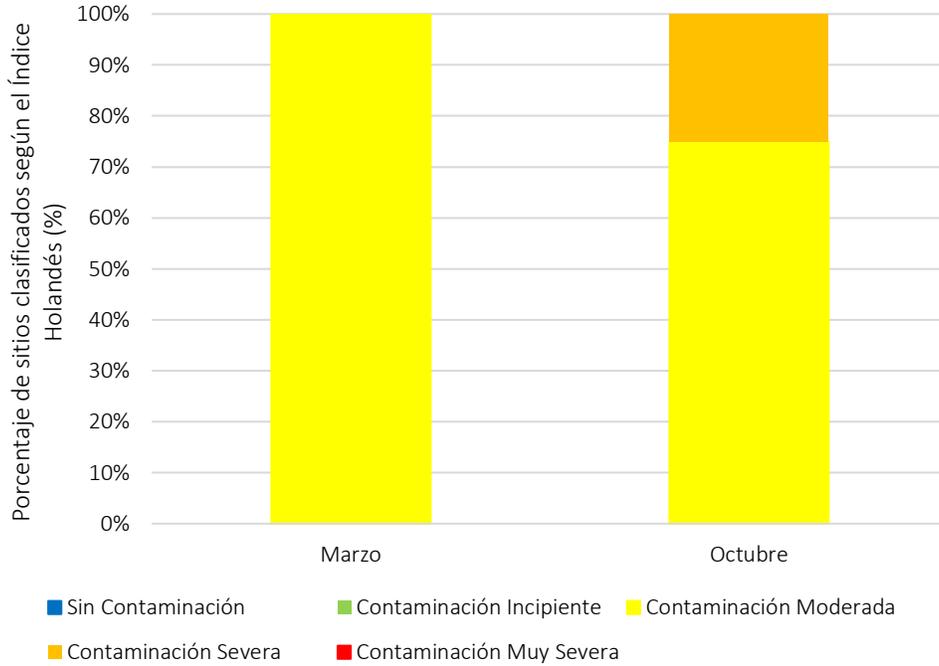
Como se aprecia de las figuras anteriores y el Cuadro 12, existe un cambio en el grado de contaminación de los cuerpos de agua estudiados conforme pasan por el cantón que además también varía con la estación climática de la campaña en cuestión.

De esta manera se puede observar que, para la campaña de marzo correspondiente a la época seca, se tienen índices moderados, particularmente en la quebrada seca donde todos los sitios obtienen dicha clasificación, mientras que en el Río Segundo por el contrario inicia con un nivel de incipiente que aumenta a moderado hacia la salida. El Río Bermúdez, sin embargo, presenta los valores de índice más altos entre severos y muy severos, siendo los niveles de contaminación más elevados no solo de las tres microcuencas sino también de las dos estaciones climáticas.

Posteriormente, en la campaña de octubre correspondiente a la época lluviosa se observa un leve aumento en los índices, particularmente para los ríos Quebrada Seca y Río Segundo donde en el primero la categoría a la entrada sube a severa y en el segundo la entrada sube a moderada, mientras que los demás sitios se mantienen igual. El Río Bermúdez, en cambio, disminuye su nivel de contaminación ligeramente, ya que en el tercer sitio de muestreo ubicado en la parte media de la microcuenca baja de muy severo a moderado. Cabe mencionar que el segundo sitio de muestreo no se pudo medir debido a problemas de acceso al mismo, motivo por el cual no se muestra un resultado para este.

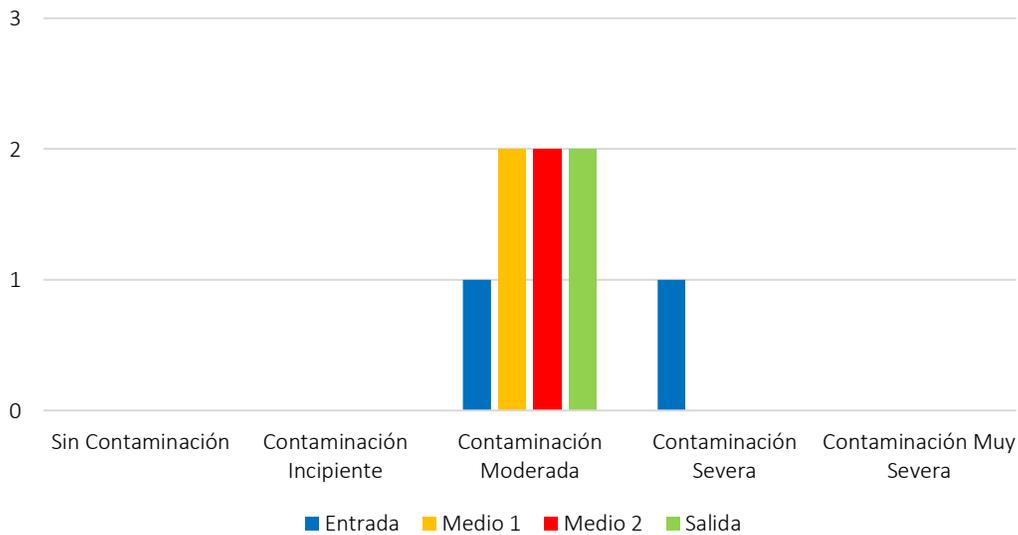
Otro ejercicio que ayuda a visualizar mejor el estado de cada microcuenca estudiada es señalar el porcentaje de sitios en cada rango de contaminación definida por campaña de acuerdo con el Sistema Holandés, de manera que se pueda conocer el comportamiento temporal, así como la cantidad de sitios en un nivel de contaminación dado para las diferentes partes de la microcuenca lo que permite observar el comportamiento espacial (complemento de las Figuras 44 y 45).

De esta manera, las Figuras 46, 47 y 48 muestran de manera gráfica los resultados obtenidos para el Río Quebrada Seca.



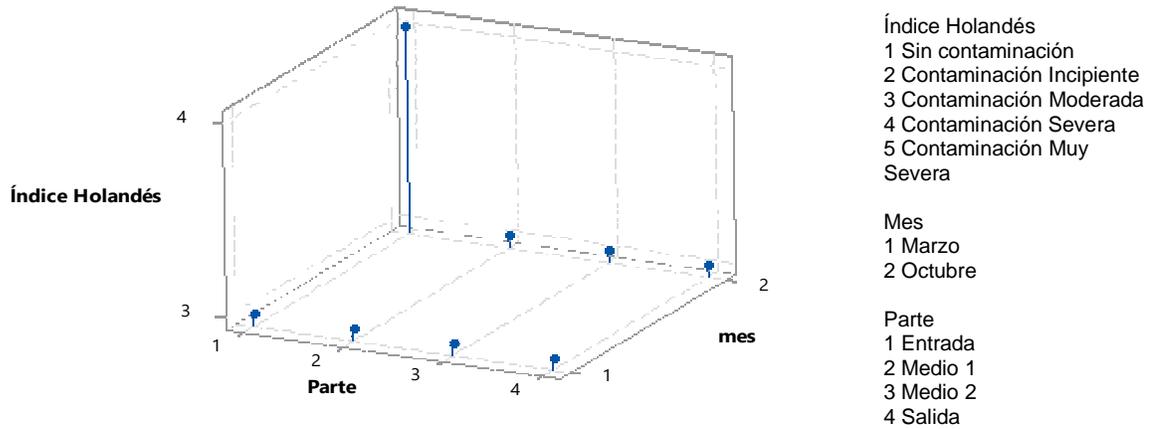
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 46.** Porcentaje de sitios clasificados según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para cada campaña de muestreo en el Río Quebrada Seca, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 47.** Cantidad de clasificaciones según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para las diferentes partes de la microcuenca en el Río Quebrada Seca, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

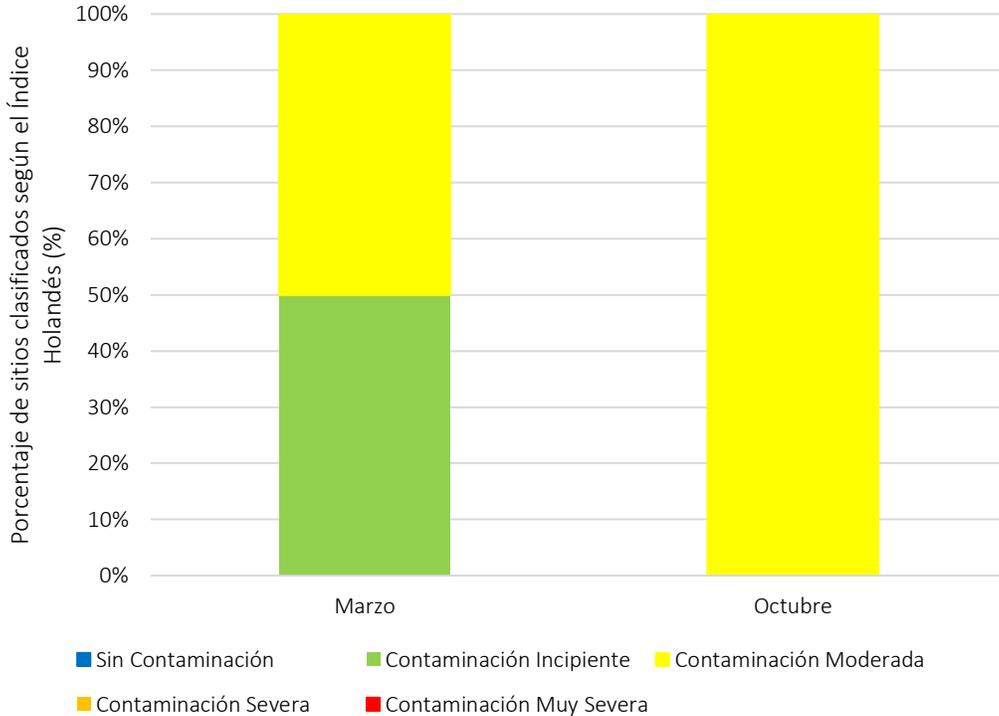
**Figura 48.** Síntesis de la clasificación espacio-temporal del Río Quebrada Seca según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.

La Figura 46 permite observar que, la campaña de octubre correspondiente a la época lluviosa presenta un nivel de contaminación ligeramente superior al de la época seca, ya que el sitio a la entrada de la microcuenca obtiene un índice que clasifica su nivel de contaminación como severo para esta época climática en comparación con el obtenido en la época seca que se halla una categoría por debajo como moderado.

La Figura 47 por su lado, señala que la entrada es el sitio con mayor nivel de contaminación, pues como se menciona anteriormente es en este sitio donde se da el incremento a severo en la época de lluvia, mientras que todos los demás sitios de muestreo se mantienen con un índice de contaminación moderado durante las dos campañas de monitoreo.

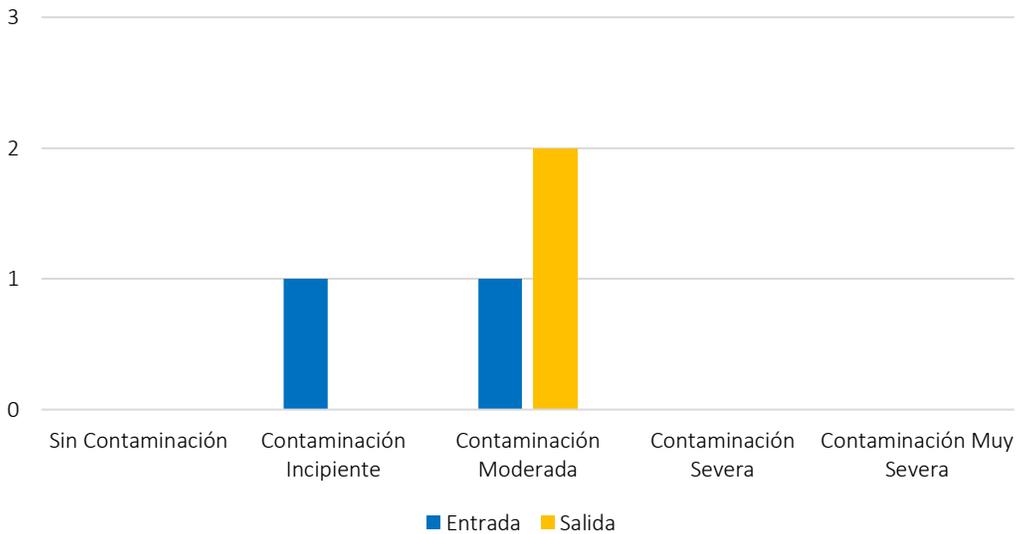
Por último, la Figura 48 integra la información de las dos figuras anteriores, permitiendo observar simultáneamente el comportamiento a lo largo de los meses para cada sitio de la cuenca, así como la variación espacial para cada mes. Resulta evidente que, con excepción del sitio a la entrada, el Río Quebrada Seca mantiene un nivel de contaminación constante en todos sus sitios a lo largo del año.

De igual manera, las Figuras 49, 50 y 51 muestran los resultados de comportamiento espacial y temporal arrojados por el Sistema Holandés para el Río Segundo.



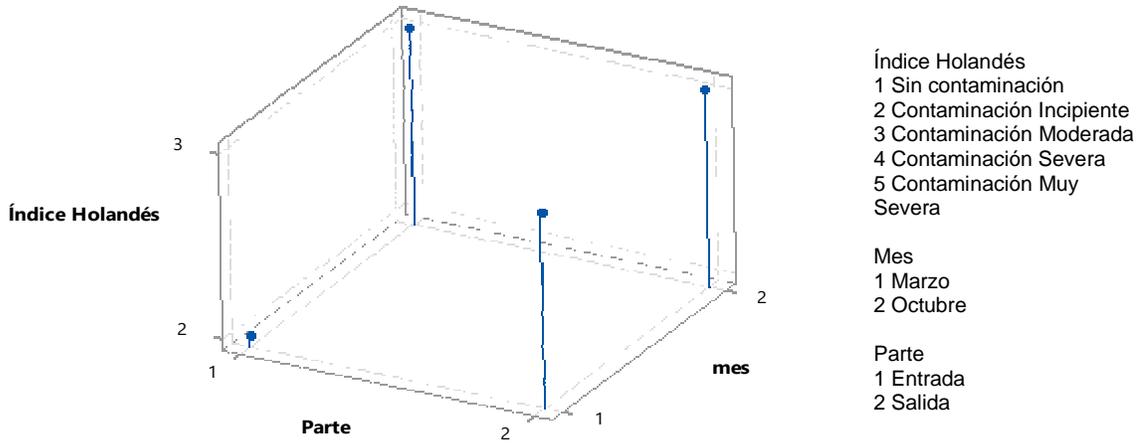
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 49.** Porcentaje de sitios clasificados según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para cada campaña de muestreo en el Río Segundo.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 50.** Cantidad de clasificaciones según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para las diferentes partes de la microcuenca en el Río Segundo, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

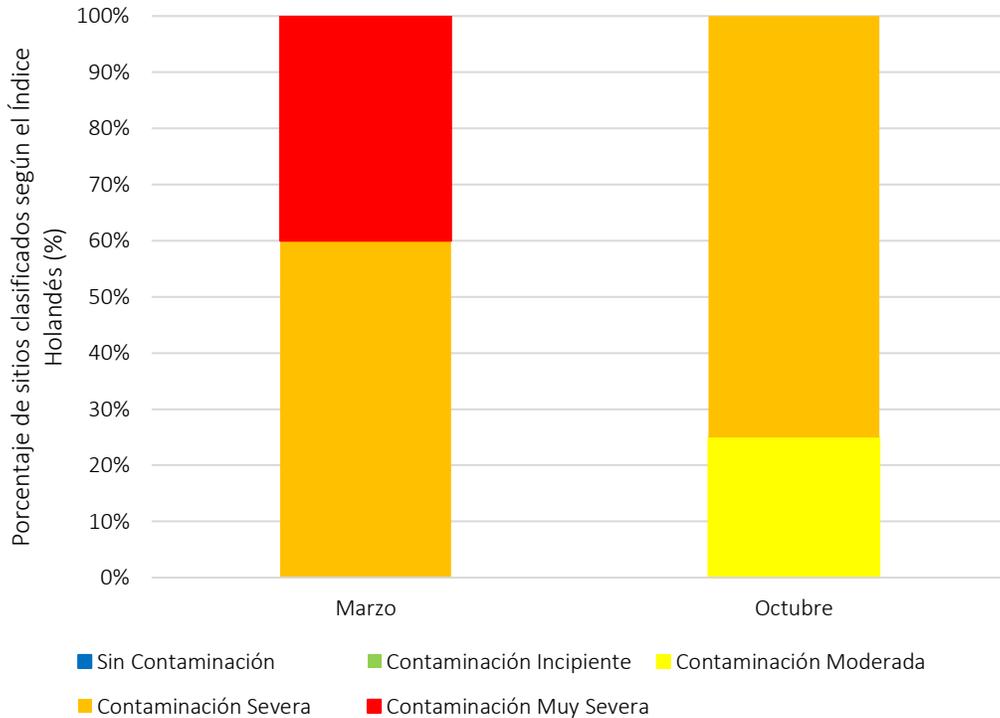
**Figura 51.** Síntesis de la clasificación espacio-temporal del Río Segundo según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.

Para el Río Segundo se puede ver de la Figura 49 que, de manera similar a lo observado para el Río Quebrada Seca, la campaña de octubre correspondiente a la época lluviosa, es la que presenta los niveles de contaminación más altos, con todos los sitios mostrando un nivel moderado, ligeramente mayor a lo observado en la época seca donde el uno de los sitios presenta un nivel de contaminación incipiente.

La Figura 50, por su lado, señala que la entrada de la microcuenca es la que presenta algunos de los niveles de contaminación más bajos, pues en la primera campaña es precisamente este sitio el que muestra un nivel incipiente que luego sube a moderado en la segunda campaña. El sitio a la salida, en cambio, se mantiene en ambas campañas con un nivel de contaminación moderado como se aprecia en la figura.

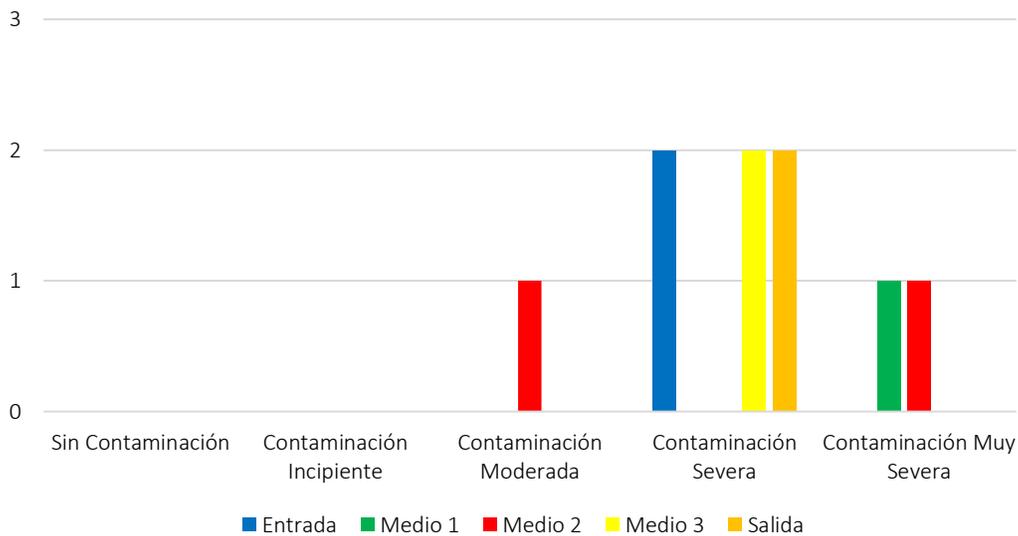
La Figura 51 integra la información provista en las Figuras 49 y 50 donde se observa el comportamiento espacial y temporal del Índice Holandés. Una limitante que presenta el monitoreo de esta microcuenca es que solo cuenta con dos sitios de muestreo, lo que limita el establecimiento de tendencias espaciales, además de limitar el análisis sobre el comportamiento en la sección media de la microcuenca en su paso por el cantón.

Por último, las Figuras 52, 53 y 54 muestran los comportamientos temporales y espaciales del Índice Holandés para el Río Bermúdez.



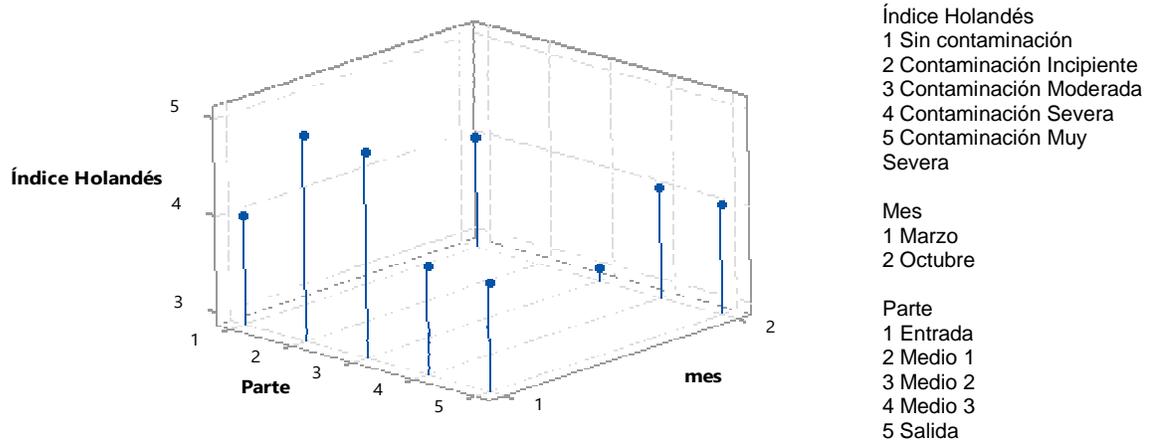
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 52.** Porcentaje de sitios clasificados según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para cada campaña de muestreo en el Río Bermúdez.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 53.** Cantidad de clasificaciones según el nivel de contaminación de acuerdo con el Sistema Holandés para las diferentes partes de la microcuenca en el Río Bermúdez, 2020.



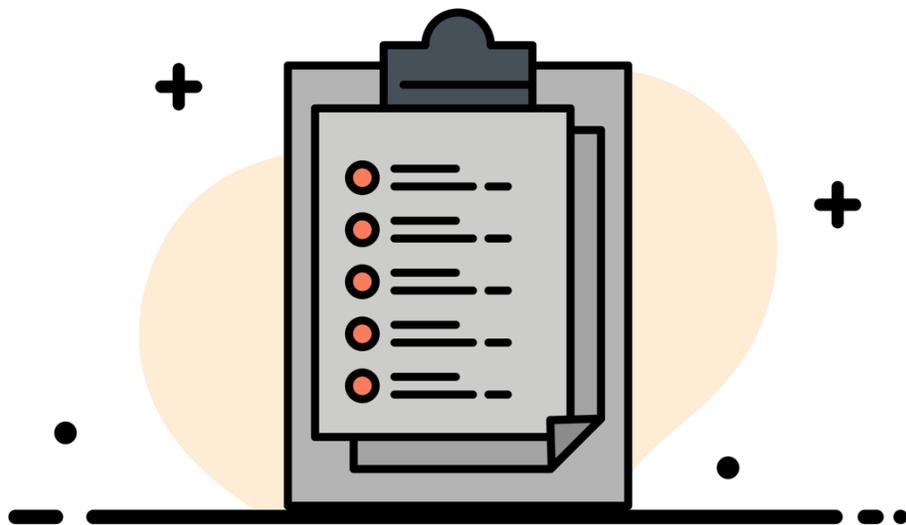
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 54.** Síntesis de la clasificación espacio-temporal del Río Bermúdez según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.

Es evidente de las figuras 52 y 53 que el Río Bermúdez presenta los niveles de contaminación más altos de las tres microcuencas en ambas épocas climáticas. Se logra apreciar en la Figura 52 que durante el mes de marzo, correspondiente a la época seca, alcanza los valores de contaminación más elevados que oscilan entre severos y muy severos. Situación que mejora parcialmente haica la época lluviosa, donde uno de los sitios baja su nivel de muy severo a moderado, aunque se destaca que en esta segunda campaña no se pudo muestrear en el segundo sitio (primero de la parte media) por dificultades de ingreso al lugar, de manera que se desconoce si este sitio, que en la época seca presentó un nivel muy severo, mantiene su nivel en la época de lluvias o si presenta algún cambio.

Por su lado, la Figura 53 señala que la sección media es la que presenta más contaminación pues al menos en dos momentos presenta contaminación muy severa, aunque en la segunda campaña, por la limitante antes mencionada, no se puede confirmar si este comportamiento se mantiene. Aún así se aprecia también que los sitios de la entrada, salida y el último sitio de la sección media mantienen su nivel de contaminación constante en ambas épocas climáticas con un nivel severo.

La Figura 54 nuevamente une la información presentada en las dos gráficas que la preceden y permite detectar para cuales sitios y momentos se presentan los niveles de contaminación crítica, evidenciando el alza señalada hacia la sección media, principalmente en la época seca.



## 5. Conclusiones y recomendaciones

## 5.1. Conclusiones

- De acuerdo con los resultados promedio anuales obtenidos para los parámetros complementarios, las cuencas en estudio se ubican mayoritariamente entre las clases 1 o 2 del artículo 7 del Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S para la mayoría de parámetros, lo que define una mayor posibilidad de usos.
- Los parámetros de DQO, SAAM y SST que se relacionan con las cargas orgánicas presentan clasificaciones más elevadas con respecto al uso definido en el artículo 7 del Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S, oscilando entre clase III y V con usos restringidos y requerimiento de tratamientos avanzados o imposibilidad del uso según sea el caso.
- Para el Río Quebrada Seca se observa un comportamiento decreciente hacia la época lluviosa en la mayoría de los sitios donde en consecuencia los valores más elevados se presentan durante la época seca.
- Existe una tendencia menos clara en cuanto al comportamiento de los parámetros en los distintos sitios de la microcuenca para el Río Quebrada Seca, aunque predominan valores altos en el sitio ubicado a la entrada que incrementan ligeramente hacia el primer sitio de la sección media y disminuyen para los sitios restantes aguas abajo.
- La influencia del paso del Río Quebrada Seca por zonas densamente pobladas como el distrito de Mercedes, así como zonas industriales en el distrito de San Francisco, ambos del cantón de Heredia, así como las cargas elevadas que también presenta desde el cantón de Barva, ambos previo a su entrada al cantón de Belén, influyen en las altas concentraciones observadas en el sitio de entrada, de manera que el paso por el cantón de Belén no genera una aportación tan significativa, lo que se traduce en la disminución de concentraciones hacia la salida.
- Para el Río Segundo, se observa un comportamiento similar al observado en el Río Quebrada Seca, con un decrecimiento en los parámetros complementarios hacia la época lluviosa y valores altos en la época seca.
- Los valores máximos de los parámetros analizados para el Río Segundo se observan en el sitio ubicado hacia la salida del cantón, evidenciando el efecto de los vertidos, producto de las actividades humanas en su paso por la cabecera del cantón.

- Para el Río Bermúdez se observa un comportamiento contrario al de las otras dos microcuencas, con un incremento en varios de los parámetros complementarios hacia la época lluviosa.
- Se observa que los parámetros que tienden a incrementar son mayoritariamente metales, mientras que parámetros relacionados con los contaminantes orgánicos tienden a disminuir, señalando un aporte de aguas industriales debido al paso del río por el distrito de Ulloa en el cantón de Heredia previo a su ingreso a Belén, donde se encuentran varias de las zonas francas e industriales del cantón de Heredia.
- El comportamiento de los parámetros complementarios para el Río Bermúdez a lo largo de los distintos sitios de muestreo, señala un valor elevado en el sitio de entrada que disminuye significativamente para los demás sitios restantes aguas abajo, tendencia predominante para los metales, mientras que los contaminantes de naturaleza orgánica muestran una tenencia más constante a lo largo de todos los sitios de muestreo.
- En general, pese a los valores elevados de algunos parámetros a la entrada para el Río Bermúdez, varios de los parámetros muestran ligeros incrementos hacia la salida, que señalan un aporte de contaminación antrópico moderado producto del paso del río por el cantón.
- De manera general, la época seca presenta, de acuerdo con los resultados obtenidos del Sistema Holandés de Clasificación de la Calidad del Agua, los niveles de contaminación más elevados, especialmente en la microcuenca del Río Bermúdez. La época lluviosa muestra incrementos en algunos sectores del Río Segundo y Quebrada Seca, pero no se alcanzan niveles tan elevados como en Bermúdez durante el mes de marzo.
- De acuerdo con el Sistema Holandés de Clasificación de la calidad del Agua para el Río Quebrada Seca, la época lluviosa es la que presenta mayores niveles de contaminación ligeramente por encima de la seca, con un único sitio con un nivel severo, mientras que en los demás sitios y épocas todos se mantienen moderados.
- De acuerdo con el Sistema Holandés de Clasificación de la Calidad del Agua para el Río Quebrada Seca, la mayoría de los sitios de muestreo presentan un nivel de

contaminación moderada durante el año, aunque el sitio a la entrada es el que muestra incremento entre una época y otra.

- De acuerdo con el Sistema Holandés de Clasificación de la calidad del Agua para el Río Segundo, la época lluviosa es la que presenta mayores niveles de contaminación con ambos sitios en un nivel moderado en contraposición con la época seca donde uno de los sitios presenta un nivel incipiente.
- De acuerdo con el Sistema Holandés de Clasificación de la Calidad del Agua para el Río Segundo, la mayoría de los sitios de muestreo presentan un nivel de contaminación moderado durante el año, aunque el sitio que muestra el incremento de incipiente a moderado es el ubicado a la entrada del cantón.
- De acuerdo con los resultados obtenidos con el Sistema Holandés de Clasificación de la Calidad del Agua, el Río Segundo corresponde a la microcuenca menos contaminada del cantón.
- De acuerdo con el Sistema Holandés de Clasificación de la calidad del Agua para el Río Bermúdez, la época seca es la que presenta mayores niveles de contaminación con al menos dos sitios que muestran un nivel muy severo, mientras que en la época lluviosa, los niveles predominantes son severos con una disminución hacia moderado en el sector final de la parte media de la microcuenca.
- De acuerdo con el Sistema Holandés de Clasificación de la Calidad del Agua para el Río Bermúdez, la mayoría de los sitios de muestreo presentan un nivel de contaminación severo durante el año, aunque los sitios en la zona media de la microcuenca son los que presentan los valores más altos de contaminación, aunque también los que presentan la disminución más significativa hacia la época lluviosa.
- De acuerdo con los resultados obtenidos con el Sistema Holandés de Clasificación de la Calidad del Agua, el Río Bermúdez corresponde a la microcuenca más contaminada del cantón.

## 5.2. Recomendaciones

- Si bien los monitoreos de calidad del agua aportan información valiosa sobre el estado de las microcuencas, no especifica la naturaleza de las fuentes contaminantes que deterioran la calidad de los cuerpos de agua, por lo que se recomienda realizar un estudio sobre el uso de suelo en las zonas circundantes a las microcuencas en estudio que permita caracterizar las principales actividades económicas que se desarrollan en estos sitios, lo que permitiría identificar la naturaleza de los vertidos según los tipos de actividad predominante y su efecto sobre el cuerpo de agua. Esto sumado al presente estudio y a los controles de vertidos permitiría direccionar mejor los esfuerzos para mitigar y reducir la problemática de la contaminación de los cuerpos de agua en el cantón.
- El Río Segundo cuenta solo con dos sitios de monitoreo uno a la entrada y otro a la salida del cantón, lo que si bien permite determinar de manera general si hay un aporte de contaminantes por el paso del río a través del cantón, limita el establecimiento de tendencia espaciales, al no contar con información sobre el comportamiento en la sección media de la microcuenca dentro del cantón. Por este motivo se recomienda ampliar los sitios de muestreo para esta microcuenca en al menos un sitio y preferiblemente dos ubicados en la parte intermedia del cuerpo de agua en su paso por el cantón de Belén.
- Se recomienda ampliar las campañas de monitoreo, ejecutando al menos tres y preferiblemente cuatro monitoreos anuales de manera que se pueda caracterizar mejor las variaciones temporales no solo en las principales épocas climáticas (seca y lluviosa) sino tomando en consideración uno o los dos periodos de transición, lo que mejoraría la resolución temporal y el análisis de tendencias en el tiempo.



## 6. Bibliografía

- CEPIS, OPS y OMS. (1999). *Monitoreo de la Calidad del Aire en América Latina*. Obtenido de Research Gate: [https://www.researchgate.net/publication/238739661\\_MONITOREO\\_DE\\_LA\\_CALIDAD\\_DE\\_LA\\_AIRE\\_EN\\_AMERICA\\_LATINA](https://www.researchgate.net/publication/238739661_MONITOREO_DE_LA_CALIDAD_DE_LA_AIRE_EN_AMERICA_LATINA)
- Damo, R. (2013). Evaluation of Water Quality Index for Drinking Water. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4), 1045-1051.
- Decreto Ejecutivo 33903-MINAE-S. (2007). Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. *Diario Oficial La Gaceta*, 178.
- Fernández-Labrada, M., Rodríguez-Heredia, D., García-Ulasia, I., Santana-Gómez, M., & Córdova-Rodríguez, V. (2015). Comportamiento de la contaminación orgánica de la Bahía de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 29-42.
- Foladori, G. (2001). *Controversias sobre la sustentabilidad. La coevolución sociedad y naturaleza*. Zacatecas: Porrúa.
- García-Quevedo, T. (2012). *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile*. Obtenido de Repositorio Académico de la Universidad de Chile: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia\\_tq.pdf;sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia_tq.pdf;sequence=1)
- Gómez-Duarte, O. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista de la Facultad de Medicina*, 7-8.
- 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>
- Lovett, G., Burns, D., Driscoll, C., Jenkins, J., Mitchell, M., Rustad, L., . . . Haeuber, R. (2007). Who needs environmental monitoring? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(5), 253-260.
- Mercado-Maldonado, A., & Ruiz-González, A. (2006). El concepto de las crisis ambientales en los teóricos de la sociedad del riesgo. *Espacios Públicos*, 9(18), 194-213.

- Nivelo-Nivelo, S. (2015). *Monitoreo de la calidad de agua en San Cristóbal, Galápagos*. Obtenido de Repositorio Digital Universidad San Francisco de Quito: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4696>
- Orta-Arrazcaeta, L. (2002). Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Fitosanidad*, 55-62.
- Perevochtchikova, M. (2009). La situación actual del sistema de monitoreo ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 24(3), 513-547.
- Peña, E. (2007). *Calidad de Agua*. Obtenido de Repositorio de ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Rand, C. (1995). *Fundamentals of Aquatic Toxicology* (Segunda Edición ed.).
- Rodríguez-Miranda, J., Serna-Mosquera, J., & Sánchez-Céspedes, J. (2016). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. *Logos Ciencia y Tecnología*, 8(1), 159-167.
- Romeu-Álvarez, B., Quintero-Álvarez, H., Larrea-Murrell, J., Lugo-Moya, D., Rojas-Hernández, N., & Heydrich-Pérez, M. (2015). Experiencias en el monitoreo ambiental: contaminación de ecosistemas dulceacuícolas de La Habana (Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 15(3), 1325-1335.
- Solano-Arce, M. (2011). *Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo*. Obtenido de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados: <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf>
- Sánchez-Herrera, M. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score) modificado y adaptado al cauce principal del Río Pamplonita Norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3(2), 54-67.

- Torres, P., Hernán-Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- UNEP. (2017). *Hacia un planeta sin contaminación*. Obtenido de United Nations Office Nairobi: <https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1708350s.pdf>
- Vargas-Marcos, F. (2005). La Contaminación Ambiental como Factor Determinante de la Salud. *Revista Española de Salud Pública*, 117-127.