



INFORME ANUAL DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA MATRIZ AGUA 2021

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

Junio, 2022

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	47
4.3. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el Río Bermúdez	57
4.4. Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua	68
5. Conclusiones y recomendaciones	79
5.1. Conclusiones	80
5.2. Recomendaciones	81
6. Bibliografía	82

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de cuerpos de agua superficiales en el cantón de Belén, 2021	20
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 2021.	37
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 2021.	38
Figura 4. Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato y % de saturación en el río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.	38
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 2021.	39
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 2021.	39
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 2021.	40
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 2021.	40
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 2021.	42
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 2021.	42
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 2021.	43
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 2021.	43

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 2021.	44
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 2021.	44
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 2021.	45
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 2021.	48
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 2021.	48
Figura 18. Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación en el río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.	49
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 2021.	49
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 2021.	50
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 2021.	50
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 2021.	51
Figura 23. Valores promedio anuales por sitio para pH, turbiedad, DBO, SST, Oxígeno Disuelto e hidrocarburos en el río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.	52
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 2021.	52
Figura 25. Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación en el río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.	53

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 2021.....	53
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 2021.....	54
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 2021.....	54
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 2021.....	55
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 2021.	58
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 2021.....	58
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 2021.	59
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 2021.....	59
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 2021.	60
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 2021.	60
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 2021.....	61
Figura 37. Valores promedio anuales por sitio para pH, DBO, SST, oxígeno disuelto, turbiedad e hidrocarburos en el río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.....	62
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 2021.....	62

Figura 39. Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación el río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.	63
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 2021.....	63
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 2021.....	64
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 2021.....	64
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 2021.....	65
Figura 44. Interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de marzo 2021 (época seca).	70
Figura 45. Interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de octubre 2021 (época lluviosa).	71
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, 2021.	72
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, 2021.	73
Figura 48. Síntesis de la clasificación espacio-temporal del río Quebrada Seca según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.	73
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.....	74
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, 2021.	75
Figura 51. Síntesis de la clasificación espacio-temporal del río Segundo según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.	75
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.	76

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, 2021.....	77
Figura 54. Síntesis de la clasificación espacio-temporal del río Bermúdez según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.	77

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Descripción y coordenadas de los sitios de muestreo del monitoreo de calidad de cuerpos de agua superficiales del cantón de Belén.....	19
Cuadro 2 Fechas de los muestreos realizados en las diferentes microcuencas que atraviesan el cantón de Belén.....	20
Cuadro 3. Detalle de procedimientos de análisis de ensayo, incluyendo límites de detección, cuantificación y referencia del método de análisis.	22
Cuadro 4. Promedios anuales de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el cantón de Belén durante el año 2021.	29
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.	33
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.	34
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, 2021.	46
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, 2021.	56
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, 2021.....	66
Cuadro 10. Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua.	68
Cuadro 11. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua por codificación de colores.	68
Cuadro 12. Clasificación de los puntos muestreados según el Sistema Holandés.	69

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 2021, 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. De igual manera, la época seca correspondiente a la campaña del mes de marzo es la que presenta los niveles de contaminación más altos para las tres microcuencas.

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.

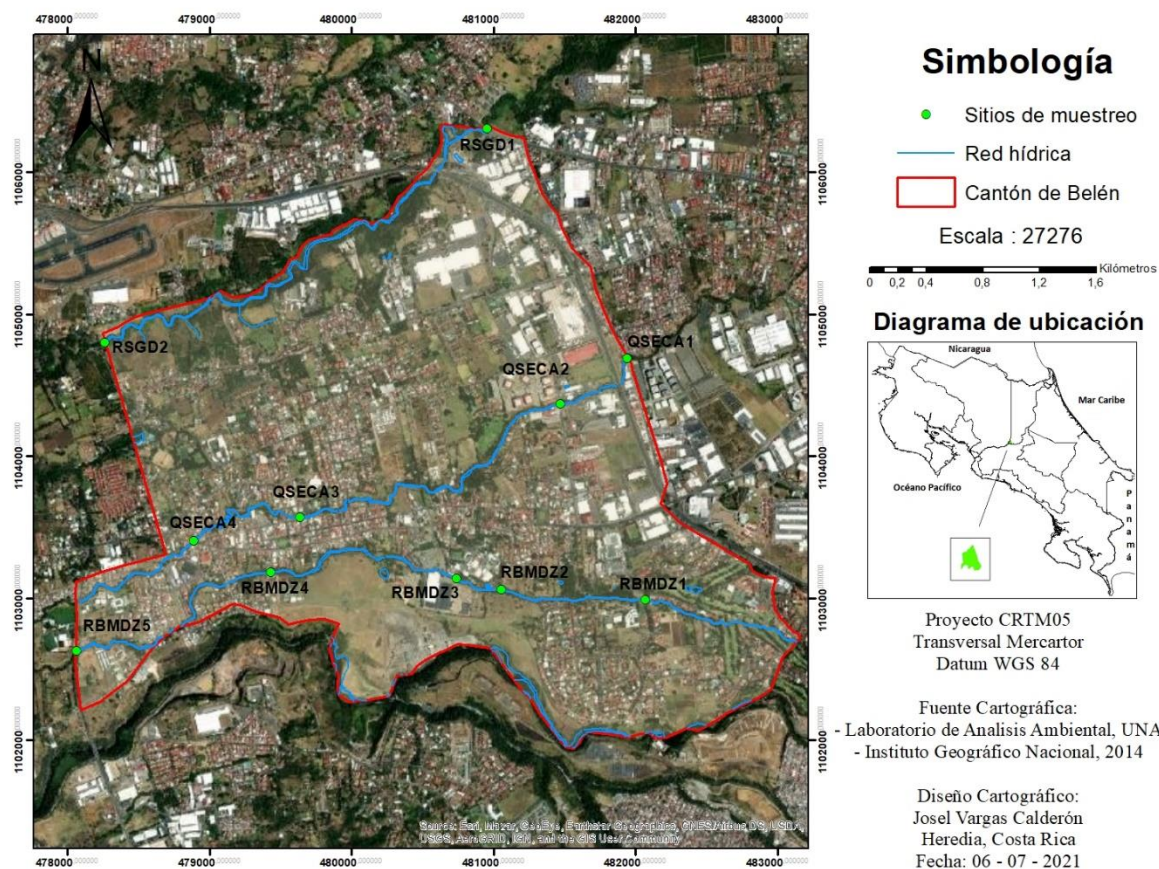
3.1. Ubicación de los sitios de muestreo

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	Parte	Coordenadas		Descripción del sitio
			Latitud	Longitud	
Quebrada Seca	QSECA1	Entrada	-84,16469413	9,990440689	Puente frente a empresa HP
	QSECA3	Medio 1	-84,18572363	9,980314995	Puente contiguo a Industria Rodillos Industriales
	QSECA2	Medio 2			Puente contiguo a empresa Unilever
	QSECA4	Salida	-84,16898795	9,987502877	Puente La Amistad (Puente Tribu) carretera Belén-Santa Ana
Río Segundo	RSGD1	Entrada	-84,19256249	9,978772434	Puente contiguo a Cervecería de Costa Rica
			-84,17371269	10,00509032	
	RSGD2	Salida	-84,19829752	9,991399597	Puente Casona del Pollo (entre Aeropuerto Juan Santamaría y Ojo de Agua)
Río Bermúdez	RBMDZ1	Entrada			Puente Los Golfistas
	RBMDZ2	Media 1	-84,16351396	9,975024725	Calle Tilianos
	RBMDZ3	Media 2	-84,17278416	9,975702244	Calle Chompipe
	RBMDZ4	Media 3	-84,1755617	9,9762655	Puente Pekis
	RBMDZ5	Salida	-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, 2021

3.2. Frecuencia de muestreo

En este informe se contempla un total de 2 campañas de muestreo efectuadas en marzo y octubre del 2021. 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	17 de marzo, 2021
2	13 de octubre, 2021

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 NO ₂ -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: 14,3 µg/L	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-NH ₃ 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: 0,010 mg/l 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: 0,19 mg/L LC: 0,72 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
Aguas	**Oxígeno Disuelto y Porcentaje de Saturación	NA	Método modificado a partir de: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500 O-C, O-G (2017)

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 2021.

Código	Ph	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)
QSECA1	7,27 (0,08)	9,12 (5,64)	16,80 (12,16)	17,45 (6,27)
QSECA2	7,86 (0,07)	6,48 (5,97)	16,10 (8,77)	5,24 (2,60)
QSECA3	7,72 (0,55)	9,63 (4,91)	22,25 (17,47)	11,03 (6,04)
QSECA4	7,55 (0,58)	22,25 (6,43)	62,85 (24,54)	69,65 (58,48)
RSGD1	7,24 (0,03)	8,26 (0,21)	15,5 (9,62)	12,55 (3,75)
RSGD2	7,68 (0,57)	14,65 (8,84)	13,95 (8,13)	24,77 (32,43)
RBMDZ1	7,6 (0,38)	10,36 (1,61)	25,3 (22,63)	11,9 (8,34)
RBMDZ2	7,62 (0,4)	14 (0,71)	52,4 (8,77)	28,1 (8,49)
RBMDZ3	7,46 (0,56)	22,15 (9,55)	93,4 (4,1)	33,35 (2,62)
RBMDZ4	7,36 (0,11)	23,25 (15,63)	187,05 (156,91)	169,85 (208,1)
RBMDZ5	7,33 (0,36)	26,6 (18,38)	173,4 (184,7)	54,55 (22,56)
	Amonio (µg/L)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	% Saturación
QSECA1	2469,00 (3203,2)	21,10 (0,00)	6,57 (2,80)	65,10 (20,79)
QSECA2	380,65 (383,7)	20,55 (2,05)	4,48 (6,02)	44,15 (59,04)
QSECA3	2496,85 (2987,0)	21,45 (1,06)	6,98 (1,77)	70,10 (9,76)
QSECA4	259,55 (130,5)	22,40 (-)	5,45 (0,33)	55,35 (2,47)
RSGD1	2560,9 (3167,98)	23,85 (0,35)	7,63 (0,67)	81,9 (2,69)
RSGD2	282,35 (25,81)	23,65 (0,07)	4,95 (4,78)	51,3 (48,65)
RBMDZ1	4970,2 (6592,78)	23,15 (1,63)	7,78 (0,99)	85,1 (8,63)
RBMDZ2	4963,1 (6611,31)	23,65 (1,34)	3,73 (4,73)	373,85 (522,76)
RBMDZ3	4729,85 (6263,76)	23,05 (1,77)	5,01 (1,41)	25,81 (27,99)
RBMDZ4	101,46 (133,55)	24,05 (0,49)	6,55 (0,23)	68,85 (7,85)
RBMDZ5	2278 (2489,02)	23,7 (1,27)	6,79 (0,95)	72,4 (1,7)

*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 2021.

Código	DQO (mg/L)	S.Sed (mL/L)	SAAM (mg/L)	Fósforo total (mg/L)
QSECA1	31,08 (16,51)	0,15 (0,07)	0,45 (0,35)	1,33 (0,66)
QSECA2	21,40 (2,82)	0,10 (-)	0,52 (0,17)	0,46 (0,37)
QSECA3	32,91 (19,10)	0,10 (-)	0,53 (0,18)	1,33 (0,66)
QSECA4	108,05 (9,40)	0,85 (1,06)	0,48 (0,11)	1,17 (0,64)
RSGD1	24,06 (6,58)	0,1 (-)	0,4 (-)	3,16 (3,45)
RSGD2	22,35 (3,6)	0,35 (0,35)	0,3 (0,14)	1,01 (0,19)
RBMDZ1	54,9 (50,2)	0,1 (-)	0,94 (0,76)	1,49 (1,83)
RBMDZ2	91,9 (13,29)	0,1 (-)	1,35 (0,79)	1,72 (1,41)
RBMDZ3	166,95 (18,17)	0,16 (0,06)	1,58 (1,31)	2,21 (2,1)
RBMDZ4	149,4 (42,99)	0,2 (-)	1,6 (1,27)	1,87 (1,62)
RBMDZ5	276,1 (293,59)	0,3 (0,14)	1,48 (0,9)	1,57 (1,2)
	Nitrito (µg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Nitrato (mg/L)
QSECA1	1009,58 (1397,64)	7,65 (5,16)	19,14 (20,45)	10,24 (1,20)
QSECA2	323,10 (424,26)	7,65 (5,16)	21,23 (16,51)	20,55 (15,06)
QSECA3	1236,25 (1048,99)	7,65 (5,16)	10,98 (4,57)	13,49 (0,08)
QSECA4	829,05 (1,95,94)	7,65 (5,16)	25,54 (16,36)	4,33 (5,44)
RSGD1	739,22 (815,7)	12,04 (1,04)	24,25 (8,27)	29,05 (3,04)
RSGD2	599,83 (677,66)	11,3 (-)	28,53 (28,38)	17,27 (7,96)
RBMDZ1	144,7 (37,05)	10,78 (9,58)	30,6 (16,4)	14,28 (18,84)
RBMDZ2	1388,15 (1812,81)	15,18 (5,48)	28,03 (21,03)	0,99 (0,71)
RBMDZ3	54,53 (9,09)	16,23 (6,97)	28,46 (17,03)	0,48 (-)
RBMDZ4	877,6 (1224,85)	15,96 (6,59)	29,46 (21,84)	0,48 (-)
RBMDZ5	1439,2 (1889,11)	13,48 (3,08)	30,96 (24,39)	0,48 (-)

*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 2021.

Código	Sulfato (mg/L)	Hidrocarburos (mg/L)	Aluminio (µg/L)	Calcio (mg/L)
QSECA1	29,65 (25,66)	2,90 (-)	1003,50 (1126,4)	12,58 (6,37)
QSECA2	27,40 (6,79)	2,90 (-)	547,10 (51,05)	10,72 (5,07)
QSECA3	17,29 (3,83)	2,90 (-)	564,30 (59,82)	13,80 (6,79)
QSECA4	34,85 (18,88)	2,90 (-)	1817,25 (1712,26)	17,54 (9,43)
RSGD1	24,77 (10,37)	2,9 (-)	713,55 (710,57)	15,09 (3,27)
RSGD2	11,19 (1,28)	2,9 (-)	633,45 (249,54)	16,76 (12,65)
RBMDZ1	34,95 (23,69)	2,9 (-)	319,65 (12,23)	17,15 (6,15)
RBMDZ2	35,55 (22,13)	2,9 (-)	308,2 (136,05)	16,33 (7,32)
RBMDZ3	34,65 (16,05)	2,9 (-)	541,6 (246,64)	17,1 (7,35)
RBMDZ4	30,75 (13,22)	3,95 (1,48)	597,45 (82,8)	16,92 (6,63)
RBMDZ5	34,05 (17,47)	2,9 (-)	537,65 (10,82)	17,02 (7,9)
	Cobre (mg/L)	Manganeso (µg/L)	Potasio (mg/L)	Plomo (µg/L)
QSECA1	0,10 (0,07)	40,55 (29,34)	5,91 (6,21)	1,89 (1,53)
QSECA2	0,38 (0,46)	13,15 (3,46)	2,75 (0,88)	1,67 (1,36)
QSECA3	0,03 (0,03)	345,15 (469,31)	6,79 (5,54)	2,52 (2,00)
QSECA4	0,11 (0,09)	228,70 (191,34)	6,34 (3,63)	1,48 (0,96)
RSGD1	0,11 (0,08)	223,3 (302,22)	4,78 (3,36)	1,59 (0,12)
RSGD2	0,09 (0,05)	122 (107,48)	4,92 (4,21)	1,73 (0,39)
RBMDZ1	0,38 (0,47)	87 (107,48)	8,34 (8,29)	1,28 (0,32)
RBMDZ2	0,36 (0,43)	139,85 (12,94)	8,88 (7,53)	1,03 (0,04)
RBMDZ3	0,08 (0,04)	138,65 (18,88)	9,95 (7,71)	1,63 (0,11)
RBMDZ4	0,11 (0,08)	137,25 (37,83)	10,91 (9,89)	1,29 (0,4)
RBMDZ5	0,07 (0,02)	129 (55,15)	11,25 (11,11)	1,04 (0,19)

*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 2021.

Código	Sodio (mg/L)	Zinc (mg/L)	Cadmio (µg/L)
QSECA1	27,93 (35,04)	0,23 (0,30)	0,91 (1,24)
QSECA2	9,43 (2,23)	0,20 (0,25)	0,44 (0,58)
QSECA3	31,90 (33,38)	0,41 (0,09)	0,33 (0,42)
QSECA4	22,70 (16,83)	0,06 (0,06)	0,23 (0,28)
RSGD1	41,25 (48,15)	0,33 (0,44)	0,14 (0,16)
RSGD2	20,81 (20,35)	0,18 (0,22)	0,14 (0,15)
RBMDZ1	33,97 (37,52)	0,29 (0,38)	0,09 (0,08)
RBMDZ2	35,3 (32,95)	0,27 (0,35)	0,09 (0,09)
RBMDZ3	33,55 (32,46)	0,27 (0,35)	0,06 (0,04)
RBMDZ4	33,22 (33,49)	0,28 (0,37)	0,06 (0,05)
RBMDZ5	40,45 (42,07)	0,18 (0,22)	0,07 (0,06)
	Cromo (µg/L)	Níquel (µg/L)	Arsénico (µg/L)
QSECA1	2,38 (0,88)	8,40 (7,64)	0,50 (0,42)
QSECA2	2,56 (0,62)	6,75 (5,30)	0,35 (0,21)
QSECA3	2,51 (0,70)	5,86 (4,04)	0,44 (0,41)
QSECA4	3,46 (0,64)	7,20 (5,94)	0,40 (0,28)
RSGD1	2,27 (1,03)	9,75 (9,55)	0,37 (0,3)
RSGD2	2,07 (1,32)	14,1 (15,7)	0,35 (0,21)
RBMDZ1	2,05 (1,34)	8,35 (7,57)	0,42 (0,38)
RBMDZ2	2,1 (1,27)	12,45 (13,36)	0,79 (0,9)
RBMDZ3	2,26 (1,05)	9,15 (8,7)	0,39 (0,34)
RBMDZ4	2,43 (0,81)	21,4 (9,62)	0,43 (0,39)
RBMDZ5	2,36 (0,91)	17,41 (19,36)	0,53 (0,46)

*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 el **Cuadro 5** y **Cuadro 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 ₃ /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
Orgánicos					
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
Biológicos					
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. Aún 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 ni siquiera se admite su uso aún con tratamiento.

Otra variable que presenta clasificaciones altas es el nitrato, sin embargo, los valores más altos se observan en el río Segundo seguido de Quebrada Seca, lo que señala una naturaleza de contaminación distinta, más inorgánica y comúnmente asociada con la presencia de fertilizantes y la actividad agrícola, misma que puede darse aguas arriba y ser arrastrada hasta el cantón.

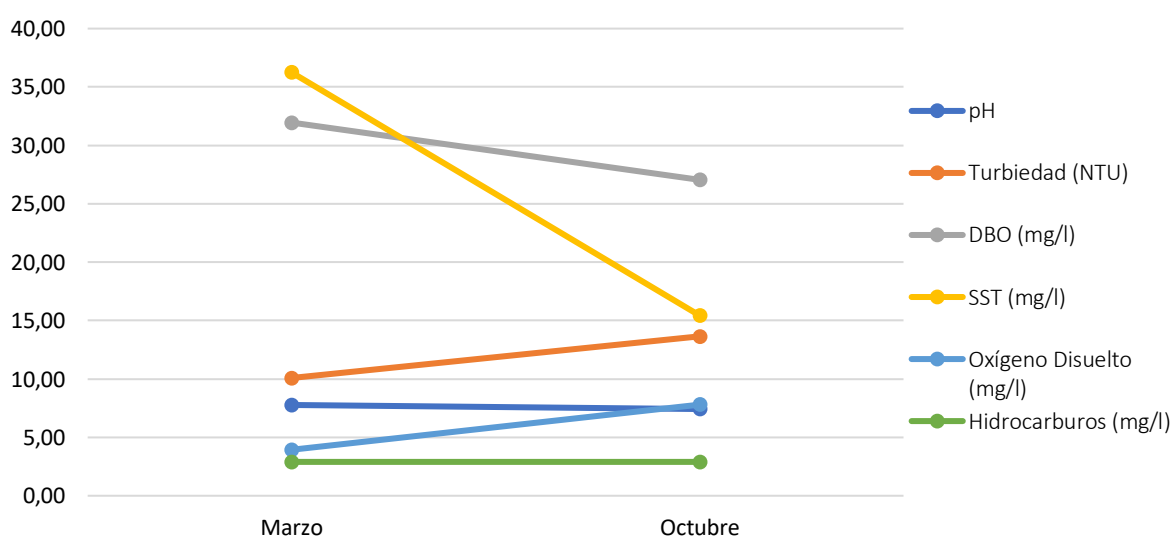
Es importante acompañar este análisis con el tipo de uso que se le pretenda dar al agua, ya que, según este, se puede determinar cuáles son las variables de mayor interés para definir si la calidad del agua es apta para dicho uso o no.

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

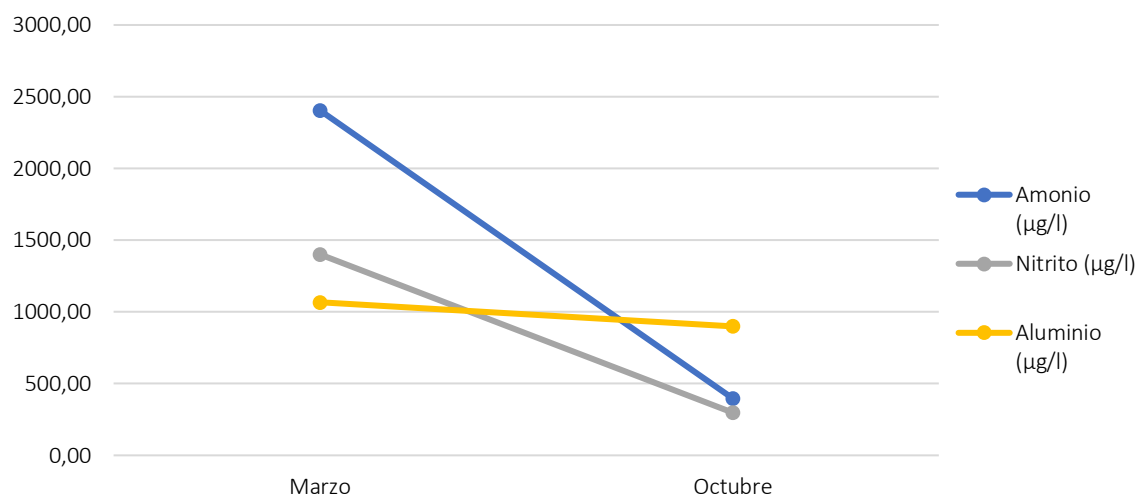
Quebrada Seca

La Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 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.



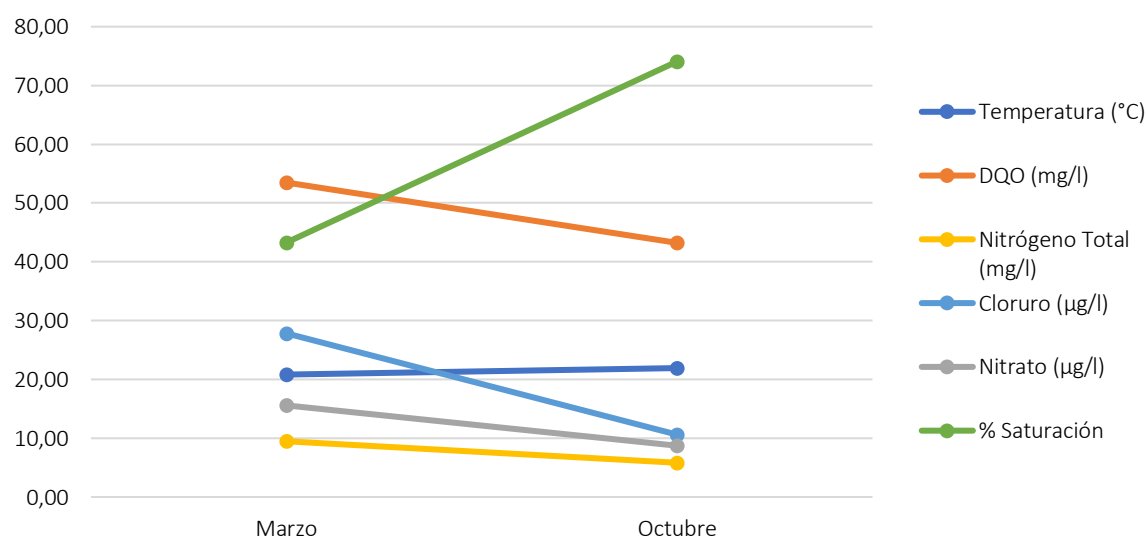
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



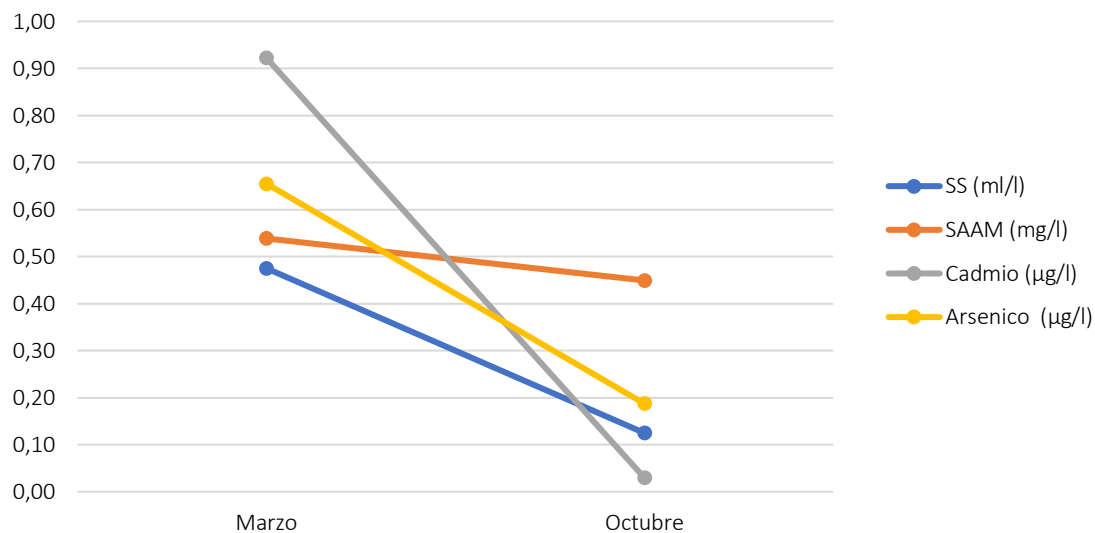
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



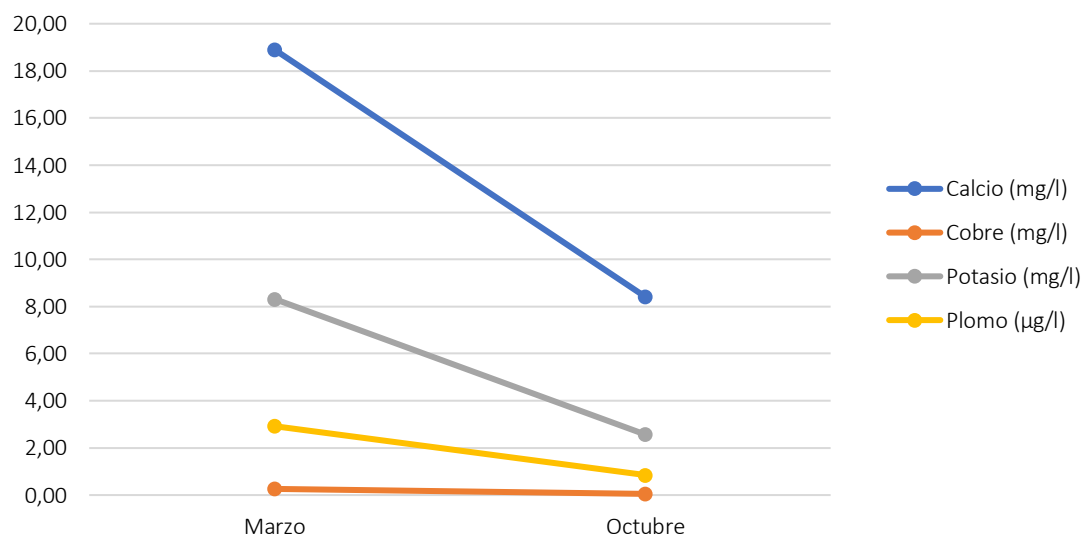
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato y % de saturación en el río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.



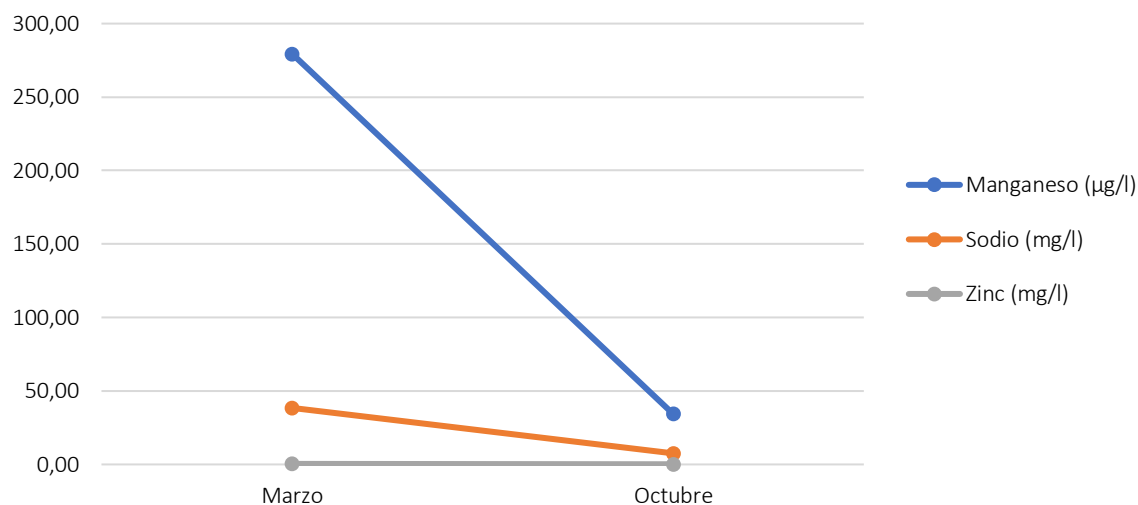
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



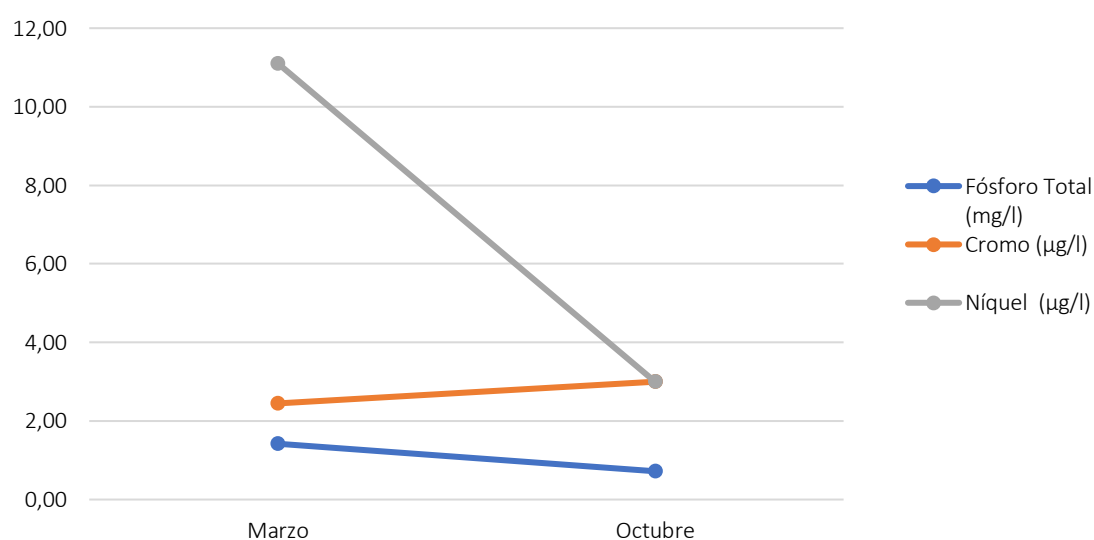
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



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 2021.



Fuente: Elaboración propia.

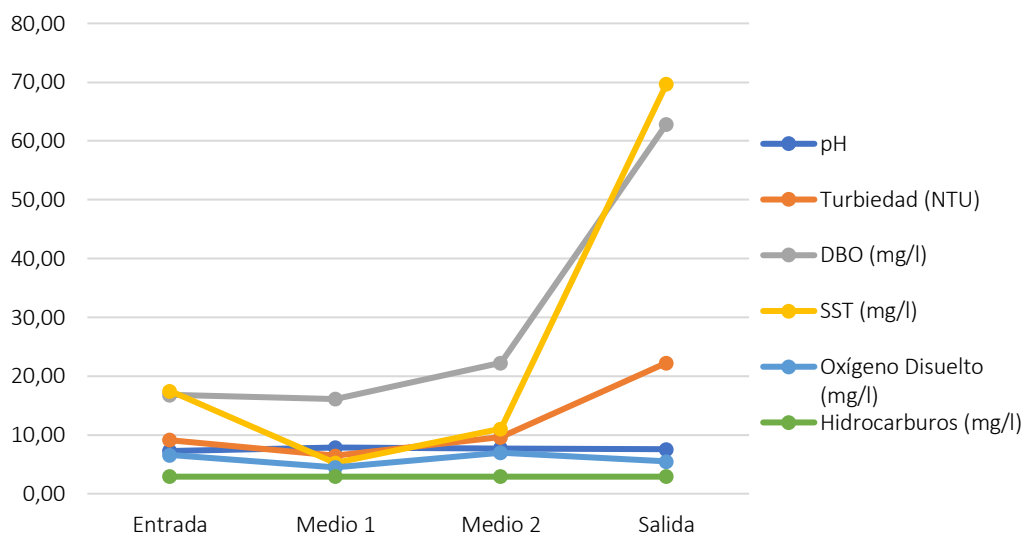
Figura 8. Valores promedio mensuales de fósforo total, cromo y níquel en el río Quebrada Seca, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.

En general se puede identificar en las figuras anteriores, que para el río Quebrada Seca la mayoría de los parámetros se observan concentraciones más elevadas en la época seca (marzo), y disminuyen para la época lluviosa (octubre), lo que marca una tendencia decreciente en el comportamiento de los parámetros analizados. Sin embargo, algunos parámetros como turbiedad, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación presentan un comportamiento ascendente de la época seca hacia la época lluviosa.

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 contaminantes y una mayor inestabilidad del sistema, produce también un aumento en el caudal del río y por ende en su nivel, esto puede 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.

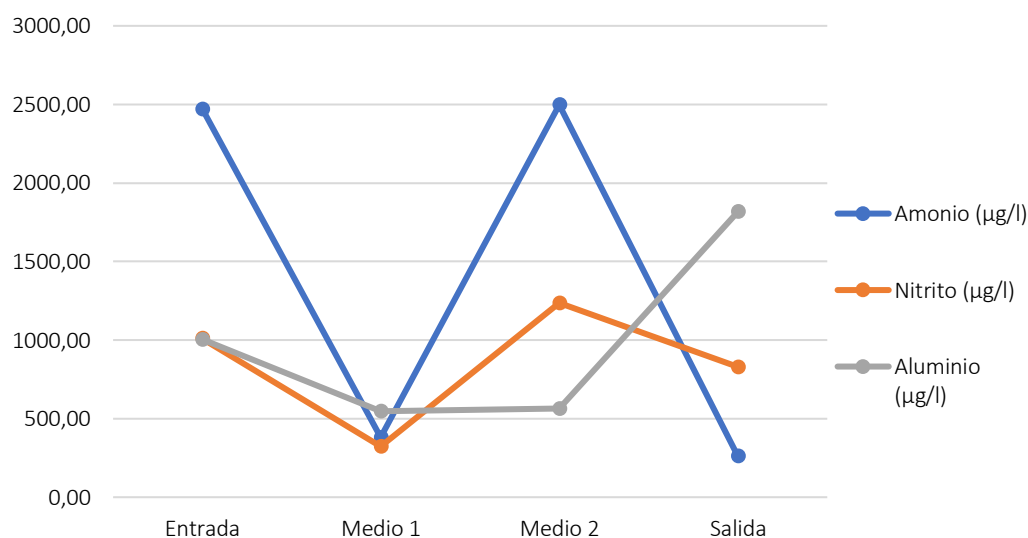
Por otra parte, el comportamiento del oxígeno disuelto y porcentaje de saturación puede ocasionarse por turbulencia y caídas de agua producida por un incremento en el caudal de las aguas producto de la época lluviosa. La turbulencia favorece la transferencia de oxígeno atmosférico a oxígeno disuelto en el agua, lo que explica este comportamiento. De igual manera una mayor turbulencia evita que se establezcan perfiles de sedimentación, lo que ocasiona que los sólidos se mantengan suspendidos en el agua incrementando la turbiedad de esta.

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. La **Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14 y Figura 15** muestran los promedios anuales por sitio dentro de la microcuenca observados para cada una de las variables analizadas.



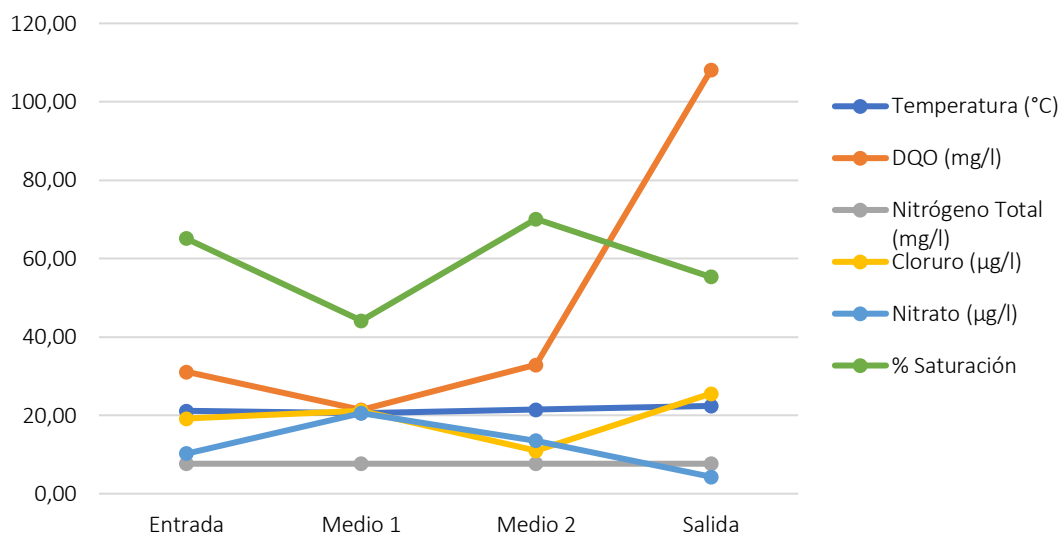
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



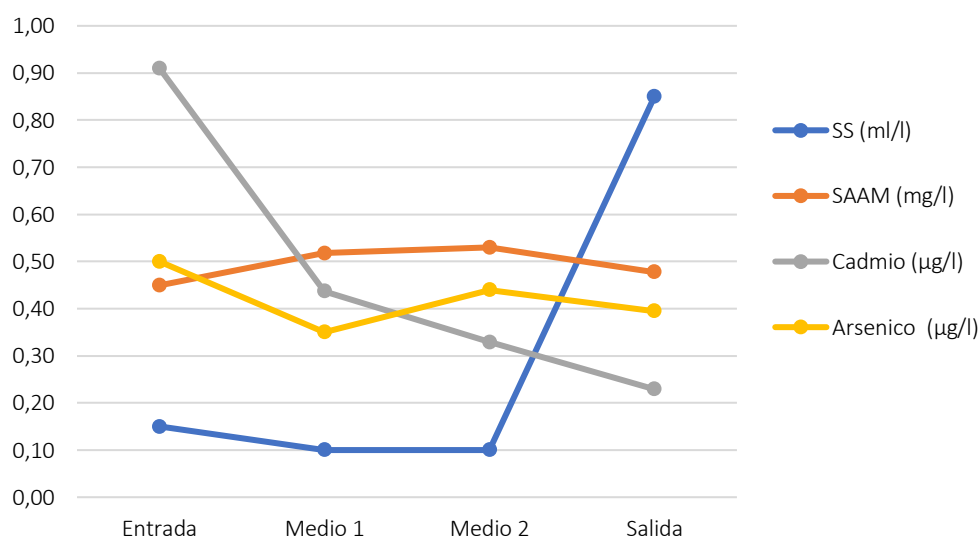
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



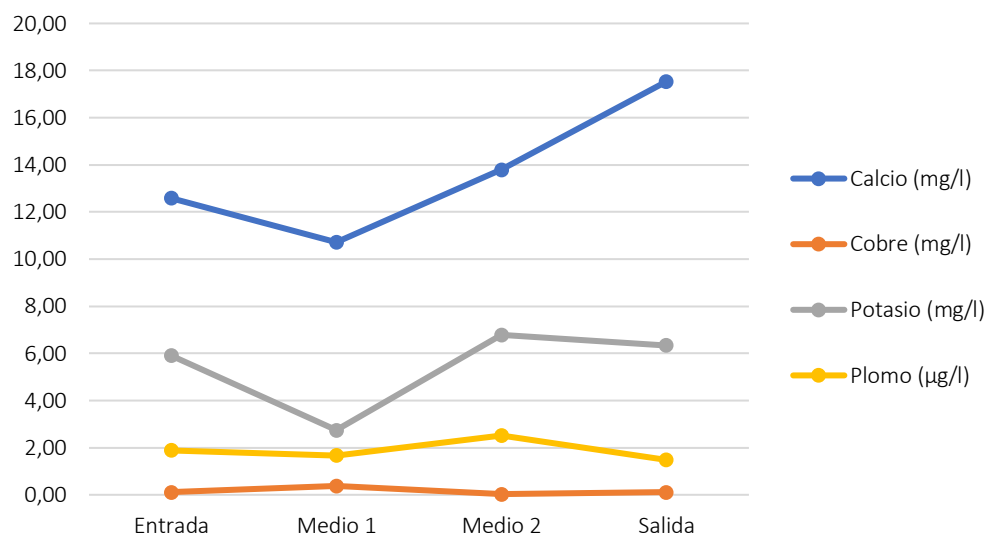
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



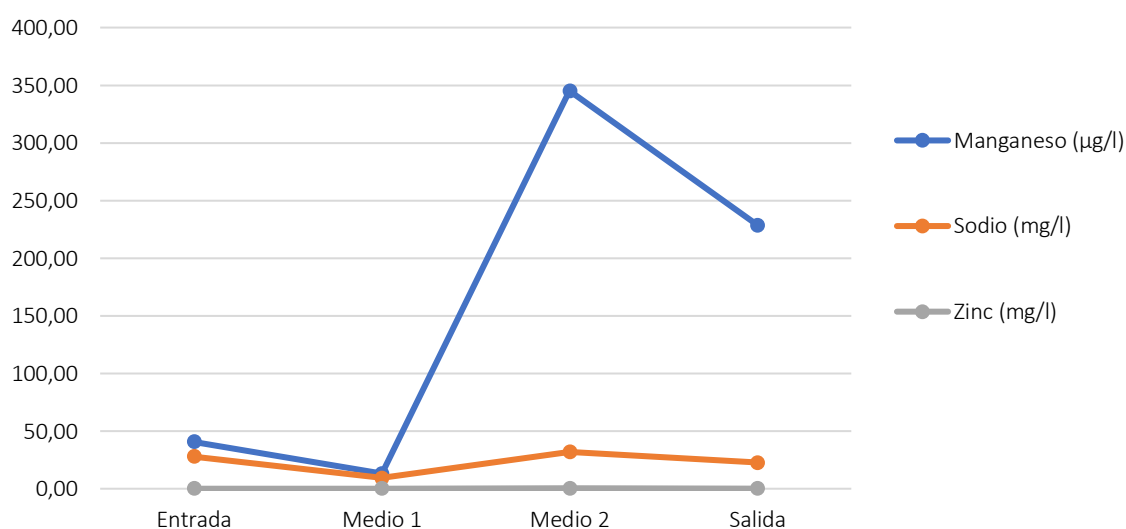
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



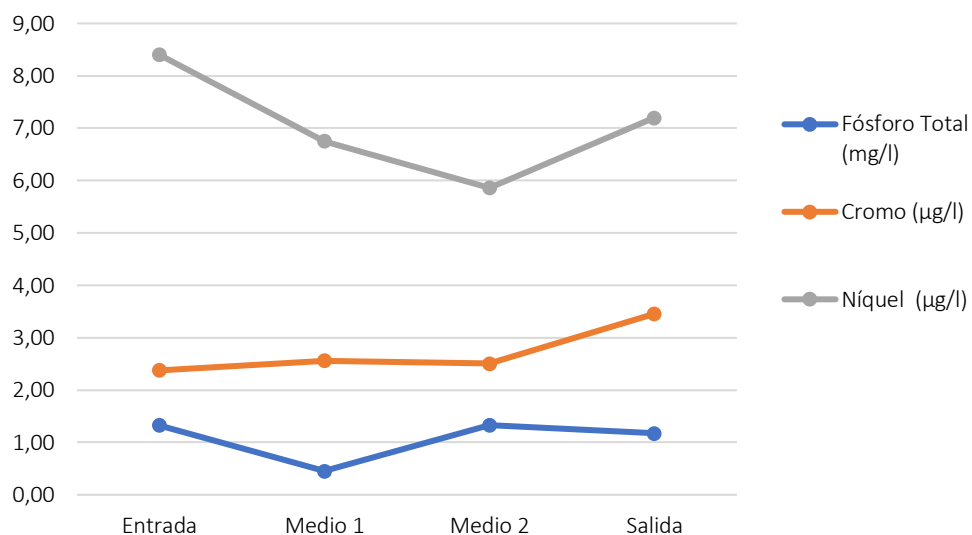
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



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 2021.



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 2021.

De estas figuras se puede observar que, a diferencia del análisis 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 que se mantienen constantes o estables en todos los sitios, con pocas variaciones a lo largo del paso por el cantón, como se aprecia para hidrocarburos, oxígeno disuelto, pH, nitrógeno total, temperatura, cloruro, sustancias activas al azul de metileno, fósforo total y varios de los metales analizados.

Sin embargo, es importante destacar que muchos otros parámetros muestran una concentración a la entrada elevada que tiende al incremento conforme se avanza hacia la salida del cantón como ocurre con los sólidos suspendidos totales, DBO, DQO, turbiedad, sólidos sedimentables, aluminio, calcio y manganeso.

Este comportamiento coincide con lo esperado, ya que conforme las aguas discurren 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, especialmente para aquellos relacionados con vertidos de aguas domésticas como la DBO, DQO, sólidos

sedimentables y suspendidos totales que se asocian más con cargas orgánicas propias de este tipo de vertidos.

Es importante rescatar, para el río Quebrada Seca, que desde las partes altas de la microcuenca en el cantón de Barva, dicho río discurre por algunas zonas altamente pobladas tanto de Barva como 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, lo que podría explicar las concentraciones de contaminantes a la entrada del cantón, tanto de parámetros ordinarios como especiales.

Finalmente, 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, 2021.

Época	Sitio	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Amonio (µg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	7.21	5.13	25.4	11.6	7.21
	Salida	QSECA4	7.96	26.8	45.5	111	7.96
Lluviosa	Entrada	QSECA1	7.32	13.1	8.2	23.3	7.32
	Salida	QSECA4	7.14	17.7	80.2	28.3	7.14
Época	Sitio	Código	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	% Saturación	DQO (mg/L)	SS (mL/L)
Seca	Entrada	QSECA1	21.1	4.59	50.4	42.75	0.1
	Salida	QSECA4	22.4	5.22	57.1	101.4	1.6
Lluviosa	Entrada	QSECA1	21.1	8.55	79.8	19.4	0.2
	Salida	QSECA4	22.4	5.68	53.6	114.7	0.1
Época	Sitio	Código	SAAM (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrito (µg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Cloruro (µg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	0.699	1.93	1998	11.3	0.699
	Salida	QSECA4	0.4	1.62	1604	11.3	0.4
Lluviosa	Entrada	QSECA1	0.2	0.72	21.15	4	0.2
	Salida	QSECA4	0.556	0.72	54.1	4	0.556

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, 2021.

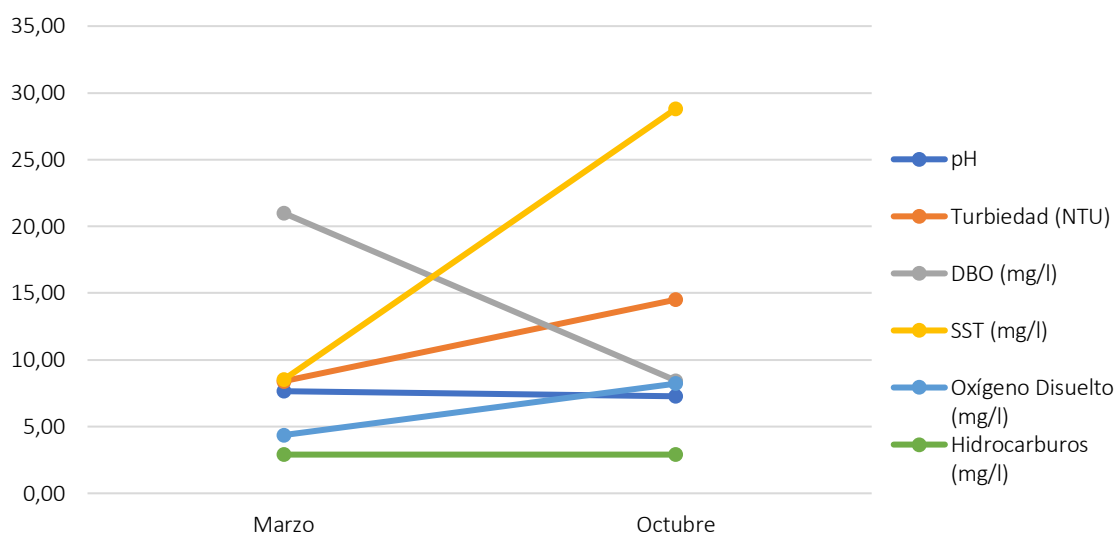
Época	Sitio	Código	Nitrato (µg/L)	Sulfato (µg/L)	Hidrocarburos (mg/L)	Aluminio (µg/L)	Calcio (mg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	9.39	47.8	2.9	207	18.5
	Salida	QSECA4	8.18	48.2	2.9	3028	24.2
Lluviosa	Entrada	QSECA1	11.08	11.49	2.9	1800	6.66
	Salida	QSECA4	0.48	21.5	2.9	606.5	10.87
Época	Sitio	Código	Cobre (mg/L)	Manganeso (µg/L)	Potasio (mg/L)	Plomo (µg/L)	Sodio (mg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	0.156	61.3	10.3	2.97	52.7
	Salida	QSECA4	0.179	364	8.9	2.16	34.6
Lluviosa	Entrada	QSECA1	0.05	19.8	1.52	0.8	3.15
	Salida	QSECA4	0.05	93.4	3.77	0.8	10.8
Época	Sitio	Código	Zinc (mg/L)	Cadmio (µg/L)	Cromo (µg/L)	Níquel (µg/L)	Arsénico (µg/L)
Seca	Entrada	QSECA1	0.444	179	1.75	13.8	0.8
	Salida	QSECA4	0.103	0.428	3.91	11.4	0.59
Lluviosa	Entrada	QSECA1	0.015	0.03	3.00	3	0.2
	Salida	QSECA4	0.024	0.03	3.00	3	0.2

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver del cuadro anterior que en ambas épocas cerca de la mitad de los parámetros muestran incrementos (o decrementos para OD y porcentaje de saturación) hacia la salida, principalmente en parámetros asociados con vertido de aguas residuales domésticas como turbiedad, DBO, DQO y SST, lo que respalda lo ya discutido y mostrado en las figuras anteriores.

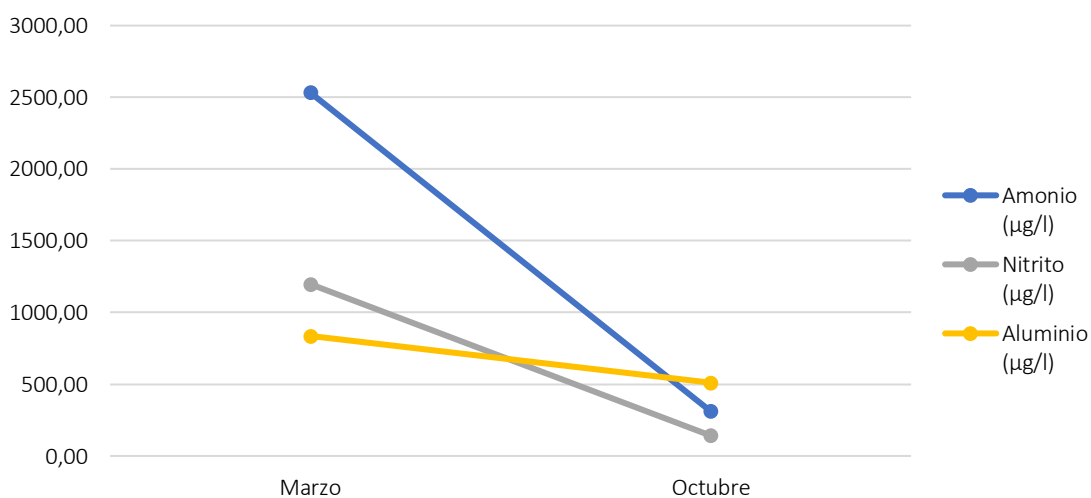
4.2. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el río Segundo

La Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21 y Figura 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.



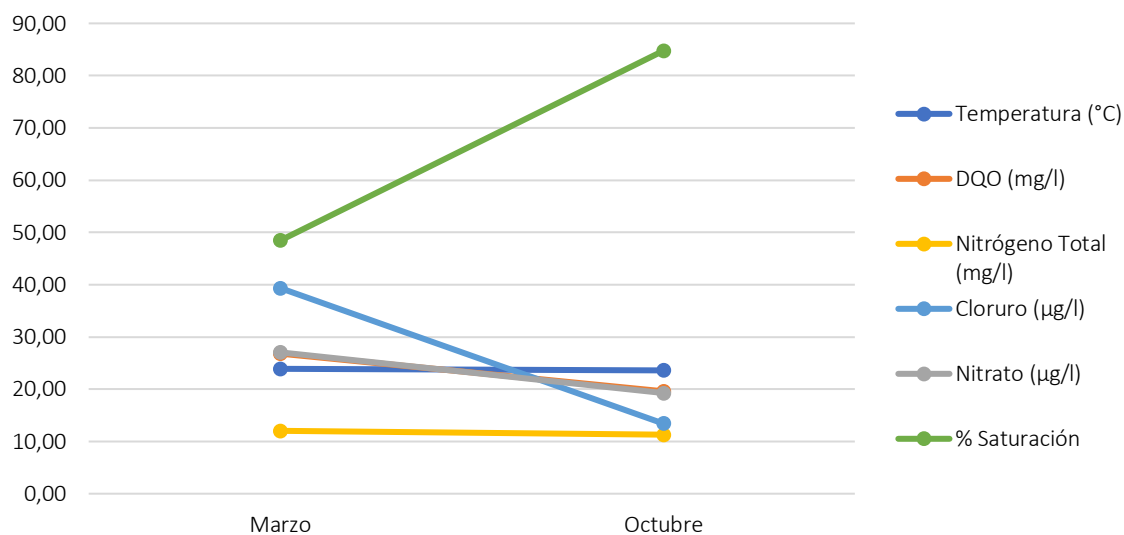
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



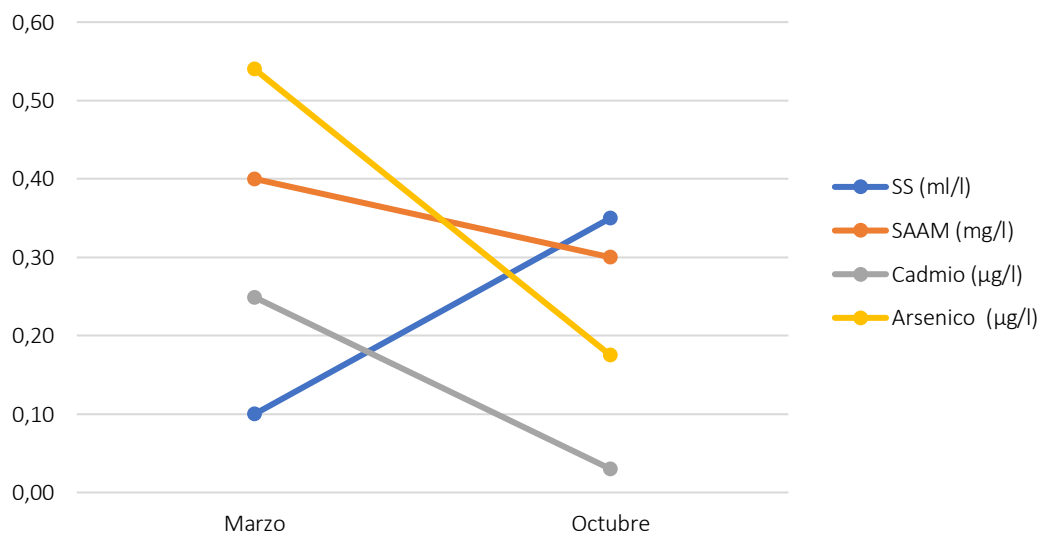
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



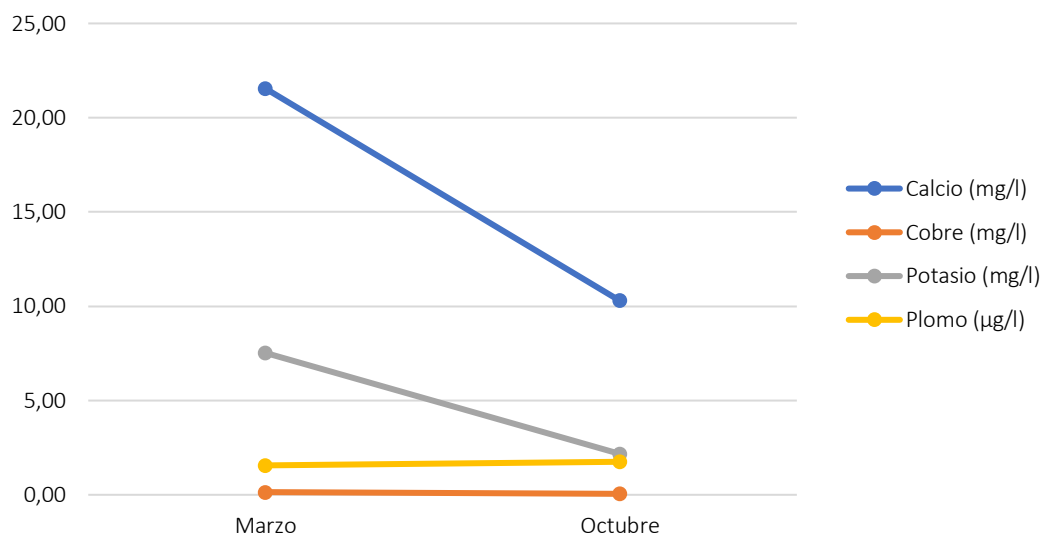
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Valores promedio mensuales de temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación en el río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.



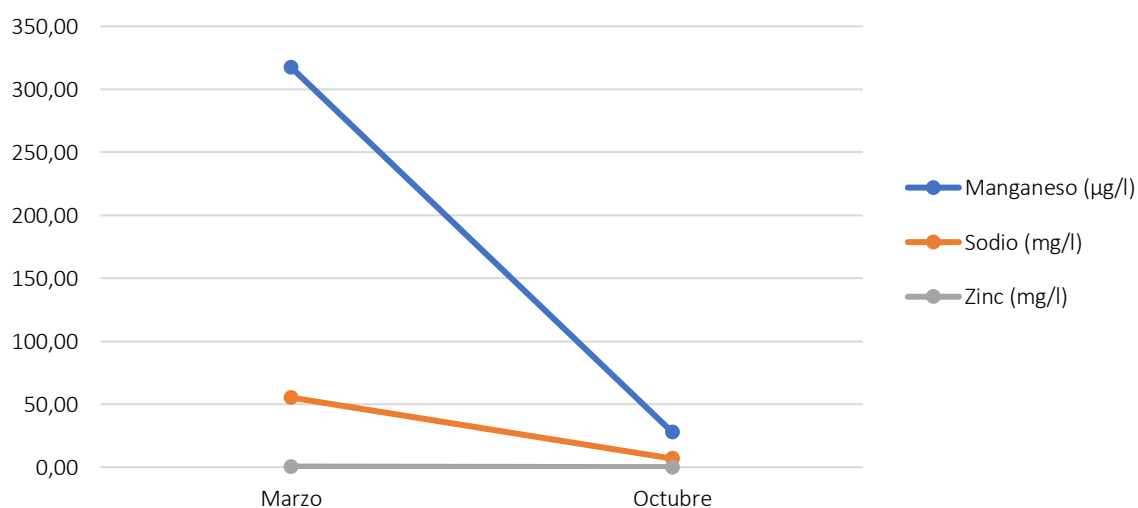
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



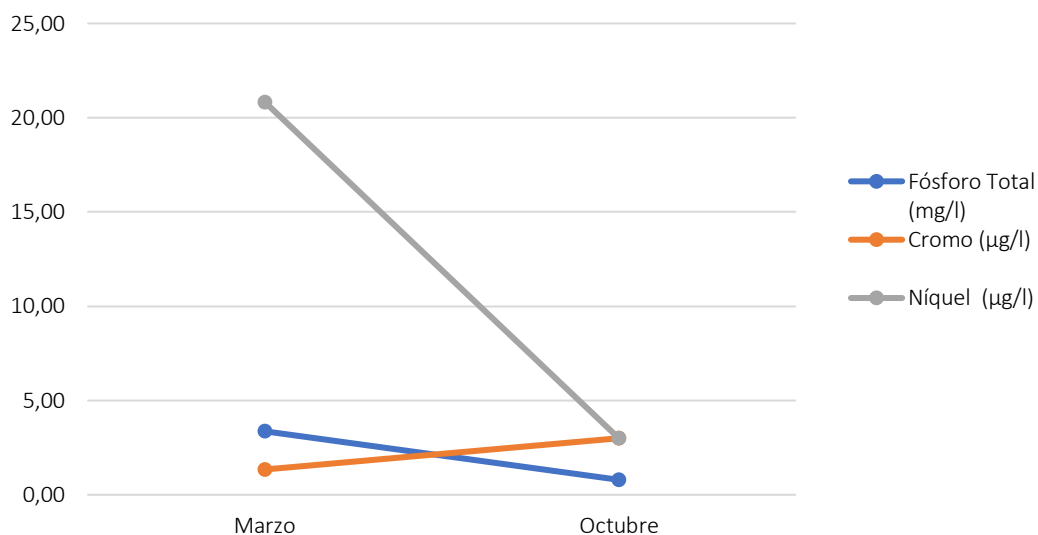
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



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 2021.



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 2021.

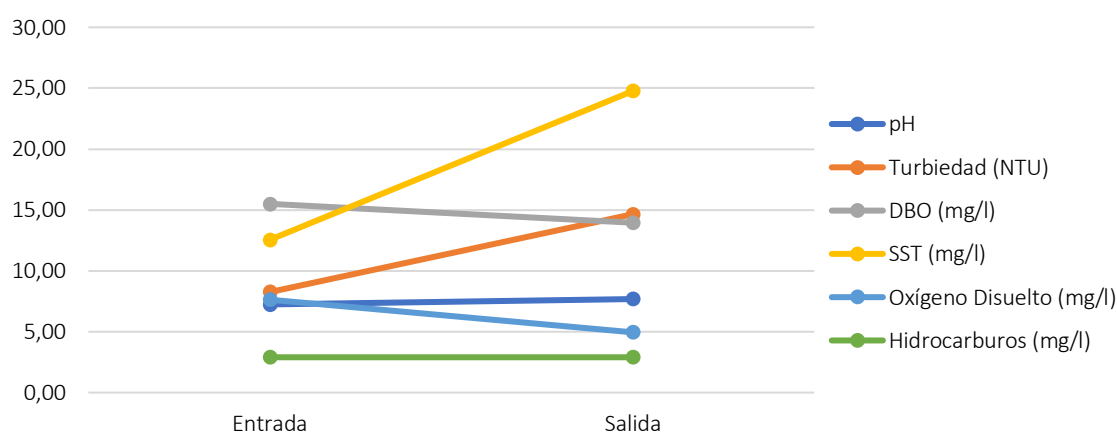
En general, se puede identificar en las figuras anteriores, que para el río Segundo la mayoría de los parámetros se observan concentraciones más elevadas en la época seca (marzo), y disminuyen para la época lluviosa (octubre), lo que marca una tendencia decreciente en el comportamiento de los parámetros analizados.

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.

Sin embargo, una tendencia contraria se muestra en los parámetros de sólidos suspendidos totales, turbiedad, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto; porcentaje de saturación que muestran un comportamiento ascendente de la época seca hacia la época lluviosa y que como se mencionó anteriormente, puede ocasionarse por el incremento en la turbulencia y caídas de agua producida por un incremento en el caudal de las aguas durante la época

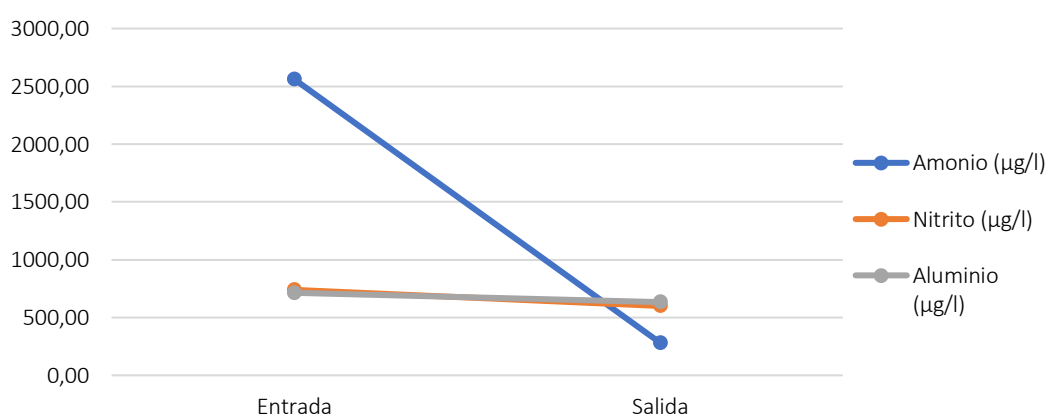
lluviosa, favoreciendo la transferencia de oxígeno de la atmósfera al agua e impidiendo la sedimentación de los sólidos arrastrados por escorrentía hacia el río.

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 la **Figura 23**, **Figura 24**, **Figura 25**, **Figura 26**, **Figura 27**, **Figura 28** y **Figura 29** muestran los promedios anuales por sitio de la microcuenca para cada variable en cuestión.



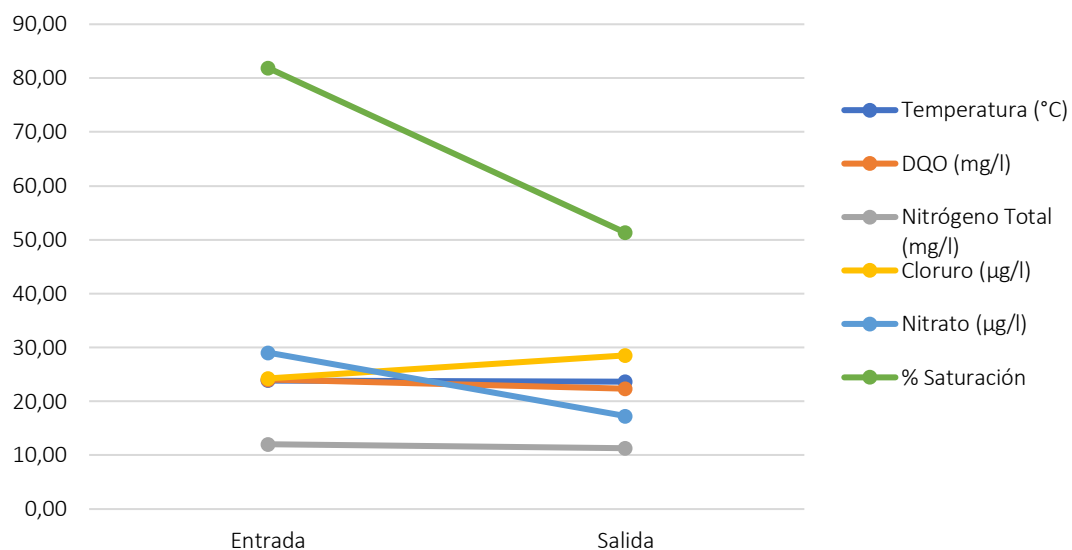
Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Valores promedio anuales por sitio para pH, turbiedad, DBO, SST, Oxígeno Disuelto e hidrocarburos en el río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.



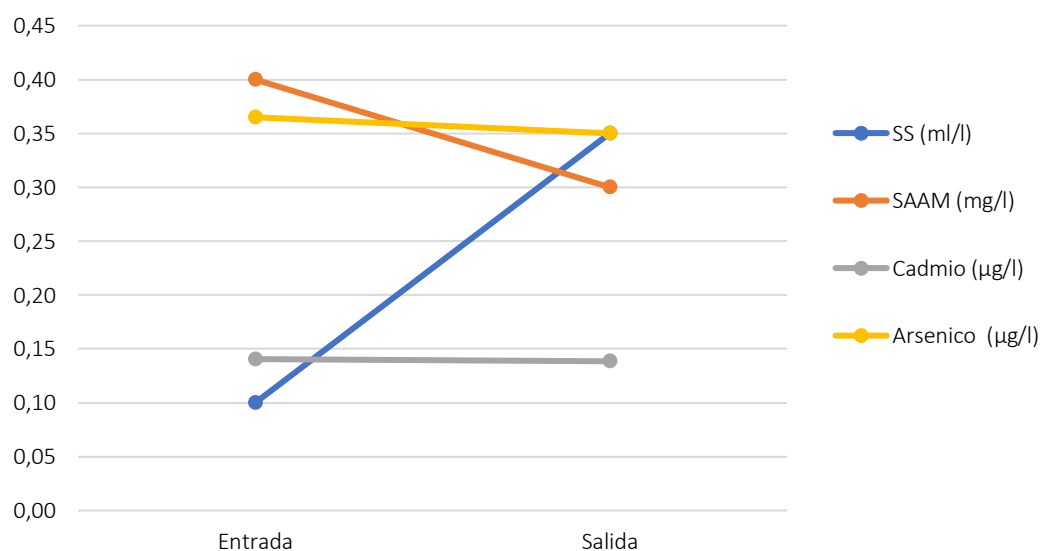
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



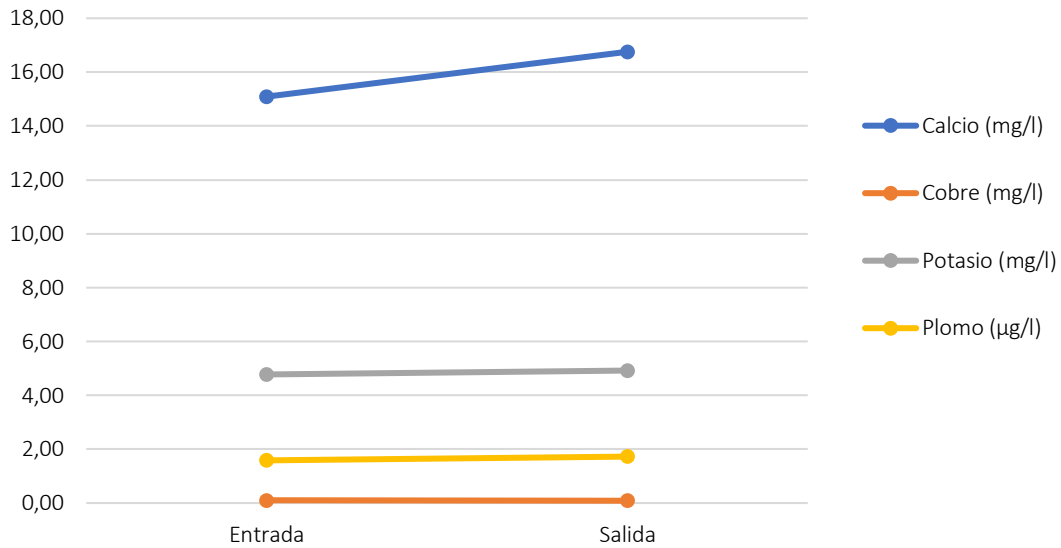
Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación en el río Segundo, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.



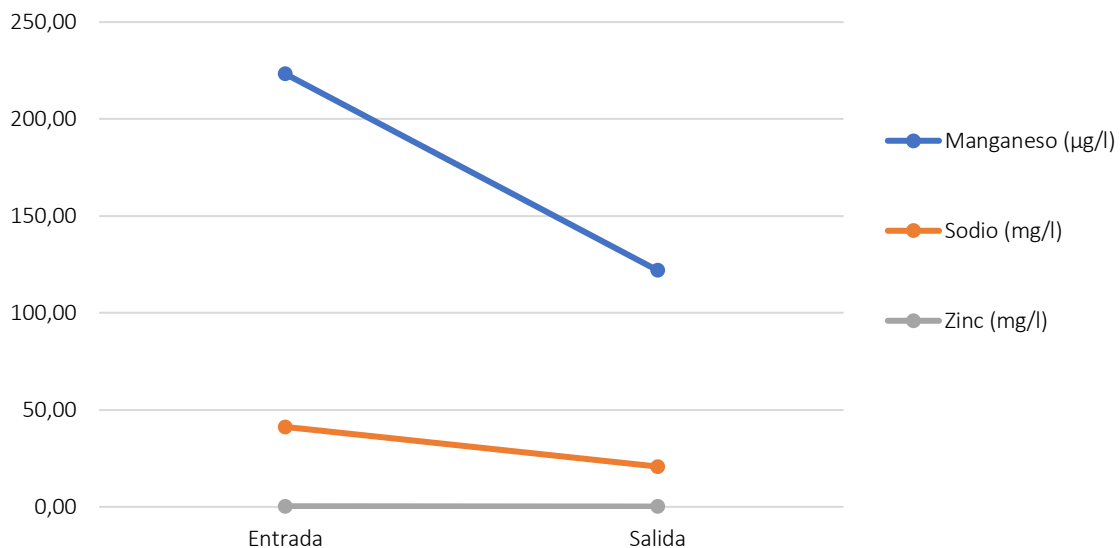
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



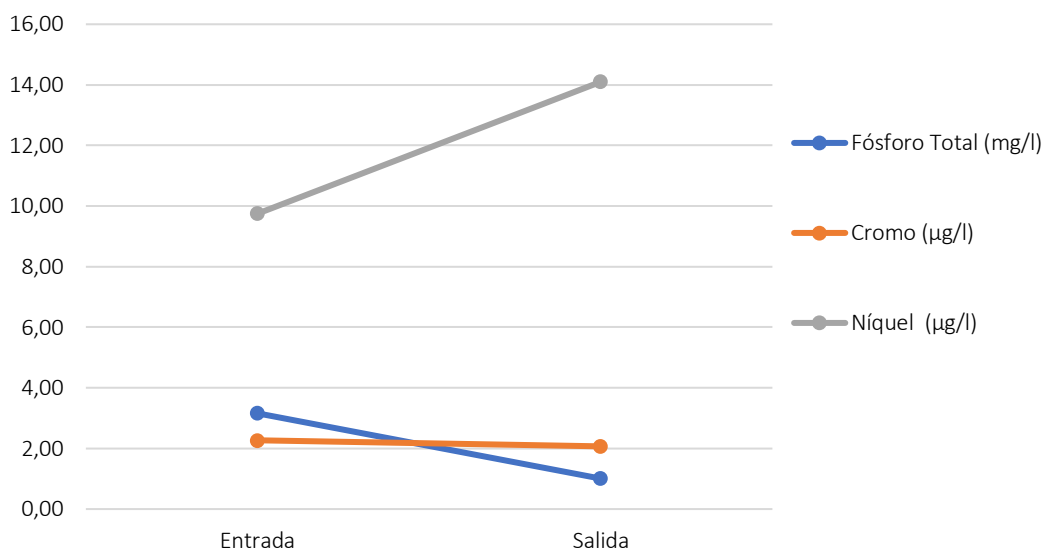
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



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 2021.



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 2021.

De las figuras anteriores, para el río Segundo, no es tan visible una tendencia espacial marcada, sin embargo, se puede apreciar en la mayoría de los parámetros, que existe poca variabilidad entre la entrada y la salida, manteniendo concentraciones relativamente constantes en ambos sitios.

Aún así, existen ciertos parámetros que presentan un incremento muy marcado entre la entrada y la salida, como es el caso de los sólidos suspendidos totales, turbiedad, sólidos sedimentables y el níquel. De estos los tres primeros suelen relacionarse más comúnmente con cargas orgánicas y vertidos ordinarios y se observa que junto con estos incrementos también hay decrementos en oxígeno disuelto y porcentaje de saturación, mismo que se consume en los procesos de descomposición de la materia orgánica en detrimento de la calidad del cuerpo de agua.

De igual manera parámetros como amonio, sustancias activas al azul de metileno y manganeso presentan un comportamiento decreciente de las concentraciones entre la entrada y la salida.

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, 2021.

Época	Sitio	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Amonio (µg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	7.22	8.40	22.30	15.20	4801.00
	Salida	RSGD2	8.08	8.40	19.70	1.83	264.10
Lluviosa	Entrada	RSGD1	7.26	8.11	8.70	9.90	320.80
	Salida	RSGD2	7.28	20.90	8.20	47.70	300.60
Época	Sitio	Código	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	% Saturación	DQO (mg/L)	SS (mL/L)
Seca	Entrada	RSGD1	24.10	7.15	80.00	28.71	0.10
	Salida	RSGD2	23.70	1.57	16.90	24.89	0.10
Lluviosa	Entrada	RSGD1	23.60	8.10	83.80	19.40	0.10
	Salida	RSGD2	23.60	8.33	85.70	19.80	0.60
Época	Sitio	Código	SAAM (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrito (µg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Cloruro (µg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	0.40	5.60	1316.00	12.77	30.10
	Salida	RSGD2	0.40	1.14	1079.00	11.30	48.60
Lluviosa	Entrada	RSGD1	0.40	0.72	162.43	11.30	18.40
	Salida	RSGD2	0.20	0.87	120.65	11.30	8.46
Época	Sitio	Código	Nitrato (µg/L)	Sulfato (µg/L)	Hidrocarburos (mg/L)	Aluminio (µg/L)	Calcio (mg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	31.20	32.10	2.90	1216.00	17.40
	Salida	RSGD2	22.90	10.28	2.90	457.00	25.70
Lluviosa	Entrada	RSGD1	26.90	17.43	2.90	211.10	12.78
	Salida	RSGD2	11.64	12.09	2.90	809.90	7.81
Época	Sitio	Código	Cobre (mg/L)	Manganeso (µg/L)	Potasio (mg/L)	Plomo (µg/L)	Sodio (mg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	0.16	437.00	7.15	1.67	75.30
	Salida	RSGD2	0.12	198.00	7.90	1.45	35.20
Lluviosa	Entrada	RSGD1	0.05	9.60	2.40	1.50	7.20
	Salida	RSGD2	0.05	46.00	1.94	2.00	6.42

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, 2021.

Época	Sitio	Código	Zinc (mg/L)	Cadmio (µg/L)	Cromo (µg/L)	Níquel (µg/L)	Arsénico (µg/L)
Seca	Entrada	RSGD1	0.64	0.25	1.54	16.50	0.58
	Salida	RSGD2	0.33	0.25	1.14	25.20	0.50
Lluviosa	Entrada	RSGD1	0.02	0.03	3.00	3.00	0.15
	Salida	RSGD2	0.03	0.03	3.00	3.00	0.20

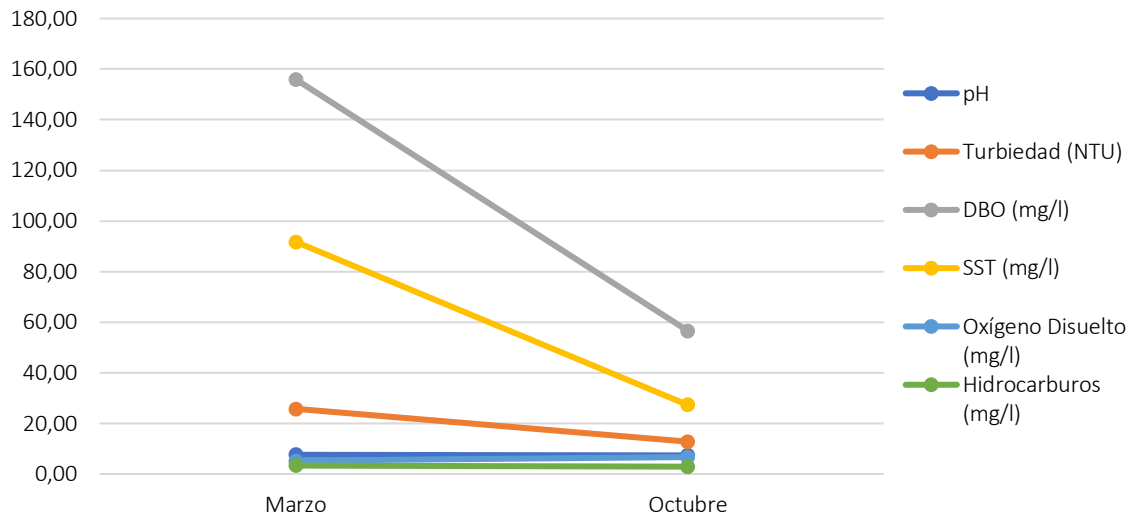
Fuente: Elaboración propia

Se puede ver del cuadro anterior que en la época seca (marzo), hubo un incremento en los parámetros de pH, cloruro, calcio, potasio y níquel.

En la época lluviosa (octubre) hubo un incremento en los parámetros de pH, turbiedad, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, DQO, sólidos sedimentables, fósforo, aluminio, manganeso, zinc y arsénico, siendo esta la época climática con más incrementos hacia la salida.

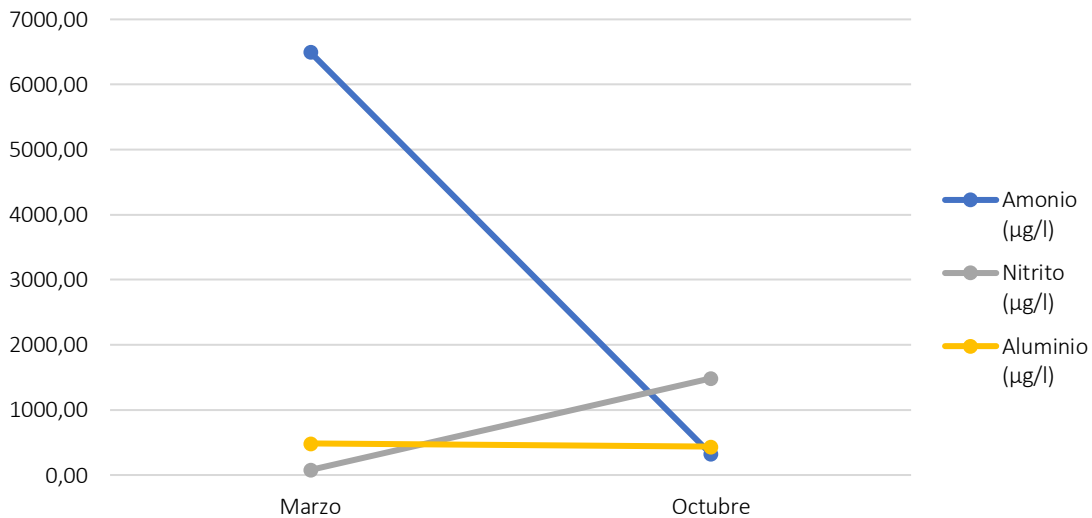
4.3. Análisis de tendencias de los principales parámetros para el Río Bermúdez

La Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33, Figura 34, Figura 35 y Figura 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.



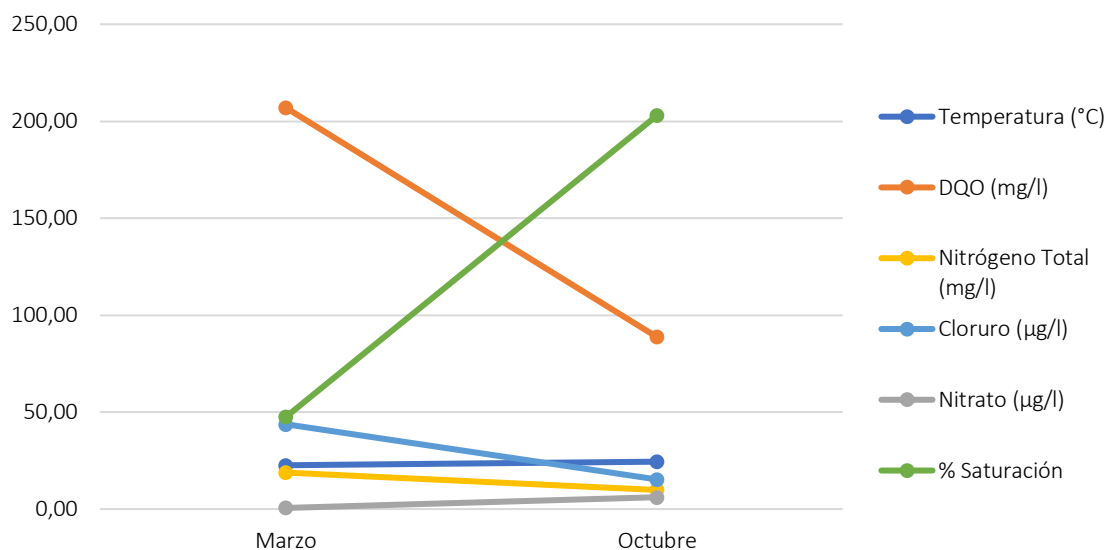
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



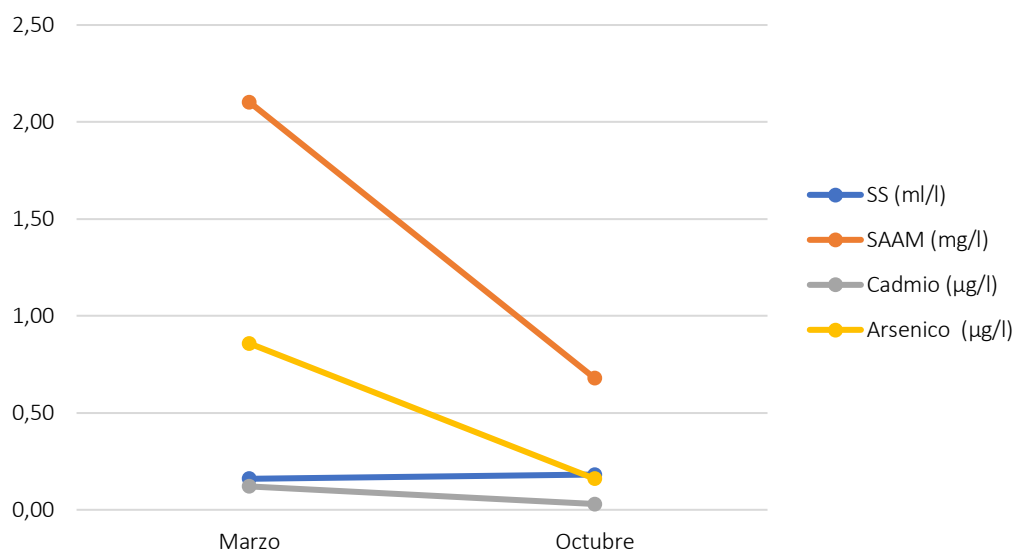
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



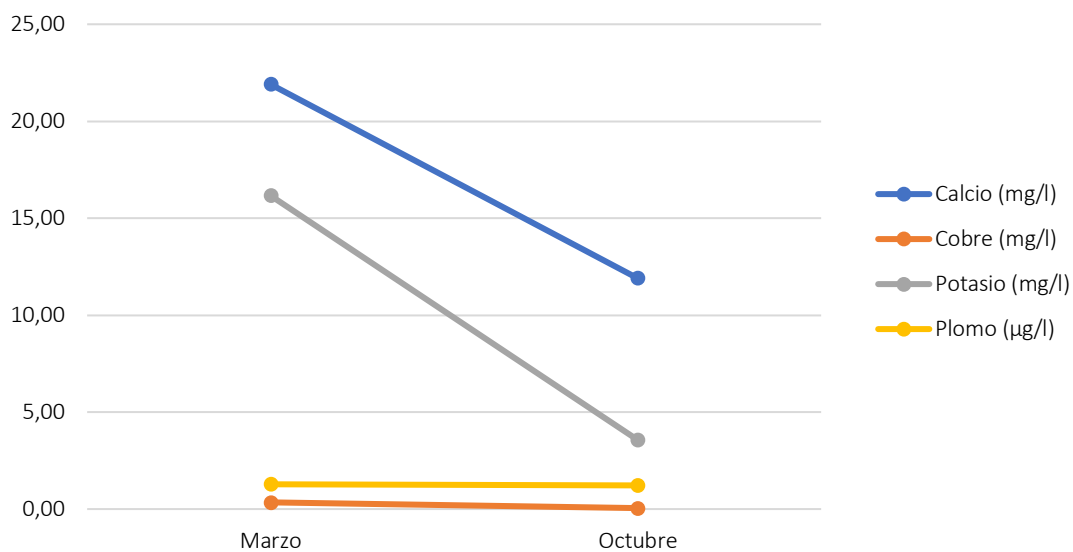
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



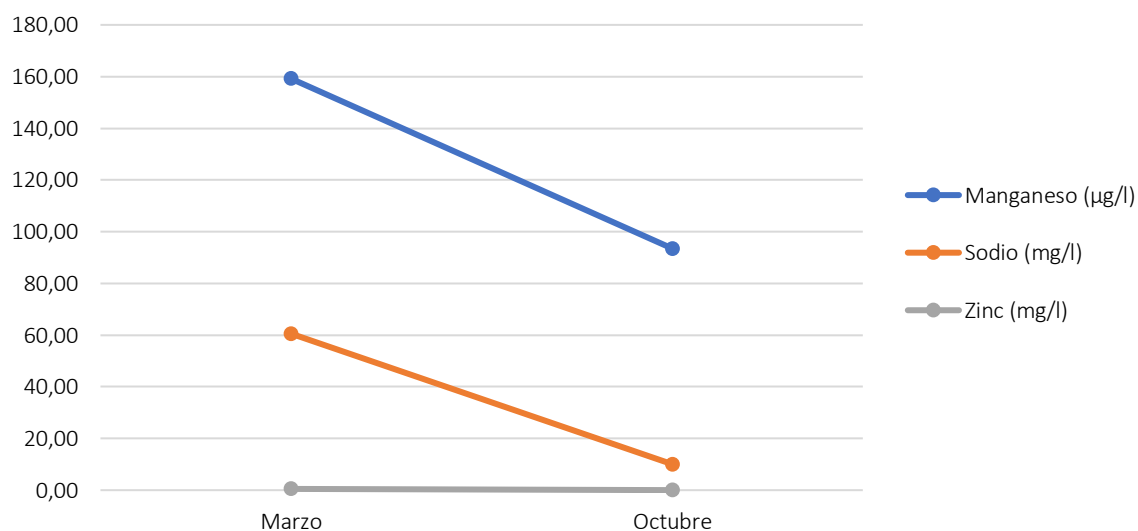
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



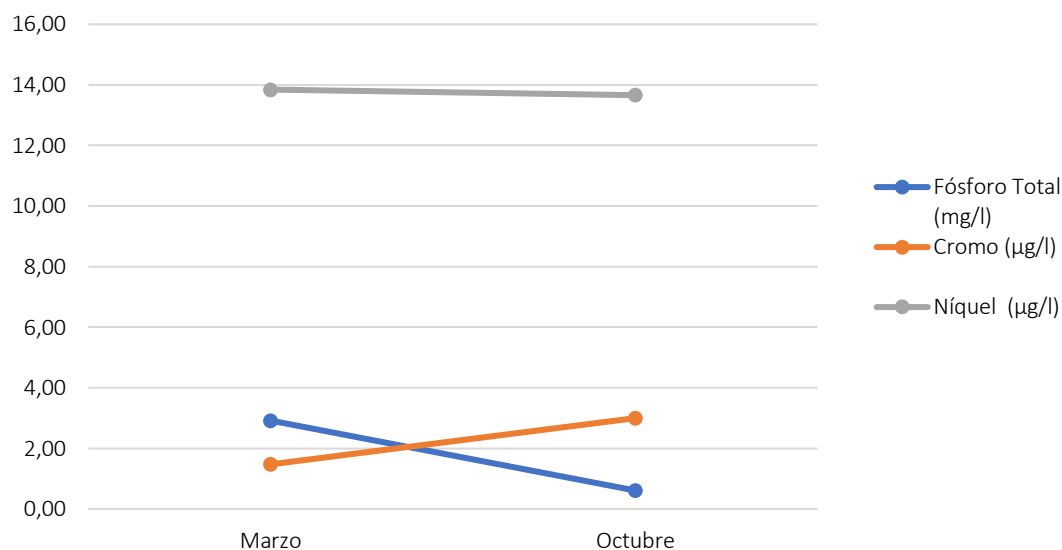
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



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 2021.



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 2021.

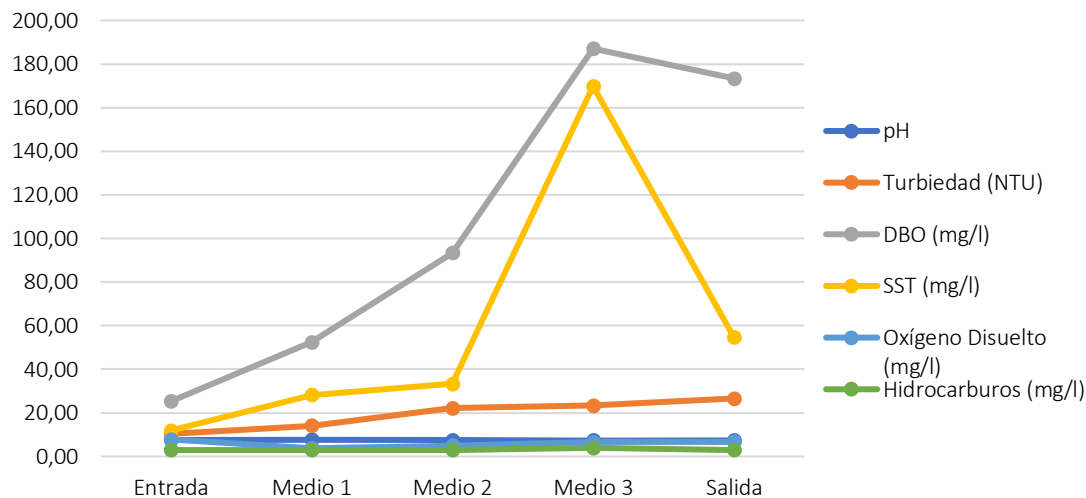
En general se puede identificar en las figuras anteriores, que para el río Bermúdez la mayoría de los parámetros se observan concentraciones más elevadas en la época seca (marzo), y disminuyen para la época lluviosa (octubre), lo que marca una tendencia decreciente en el comportamiento de los parámetros analizados.

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.

Sin embargo, se observa que para los parámetros de porcentaje de saturación, nitrito y cromo existe un incremento de la época seca hacia la época lluviosa. El comportamiento del porcentaje de saturación, como ya se ha mencionado anteriormente, puede ocasionarse por turbulencia y caídas de agua producida por un incremento en el caudal de las aguas durante la época lluviosa.

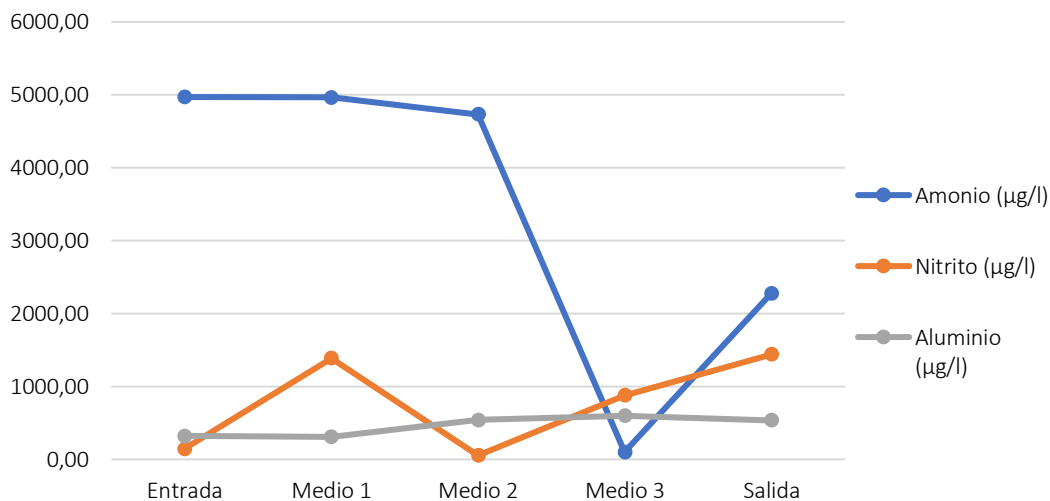
El otro análisis importante es en el que se compara el comportamiento de los parámetros en las distintas partes de la microcuenca (entrada, medio y salida del cantón). La **Figura 37**,

Figura 38, Figura 39, Figura 40, Figura 41, Figura 42 y Figura 43 muestran los promedios anuales por sitio dentro de la microcuenca observados para cada una de las variables analizadas.



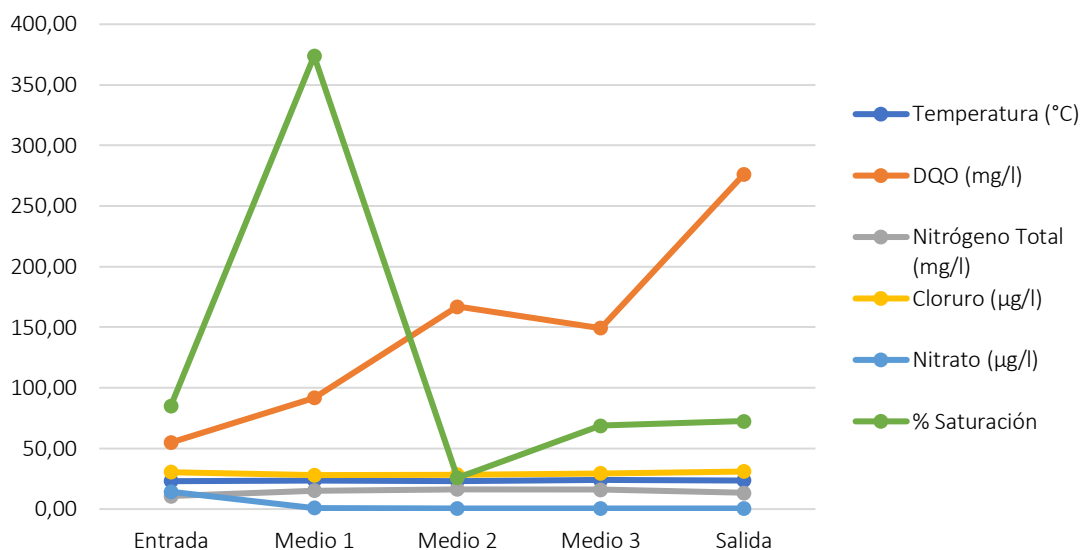
Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Valores promedio anuales por sitio para pH, DBO, SST, oxígeno disuelto, turbiedad e hidrocarburos en el río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.



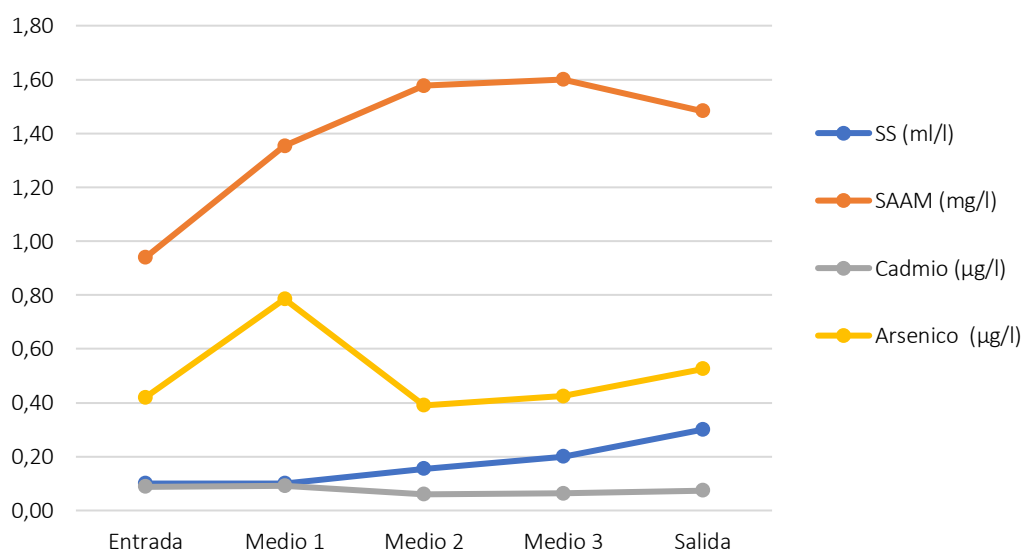
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



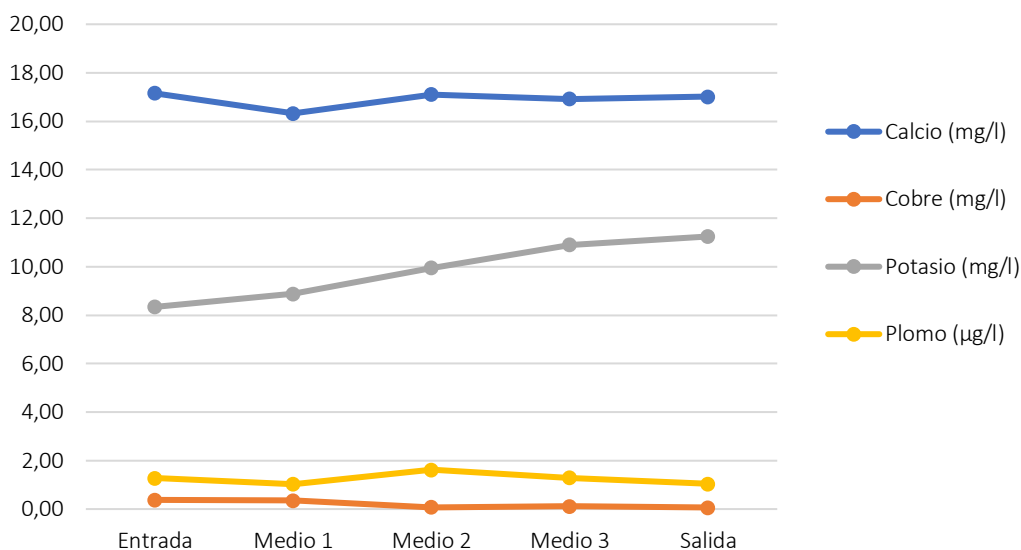
Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Valores promedio anuales por sitio para temperatura, DQO, nitrógeno total, cloruro, nitrato, porcentaje de saturación el río Bermúdez, en su paso por el cantón de Belén durante el año 2021.



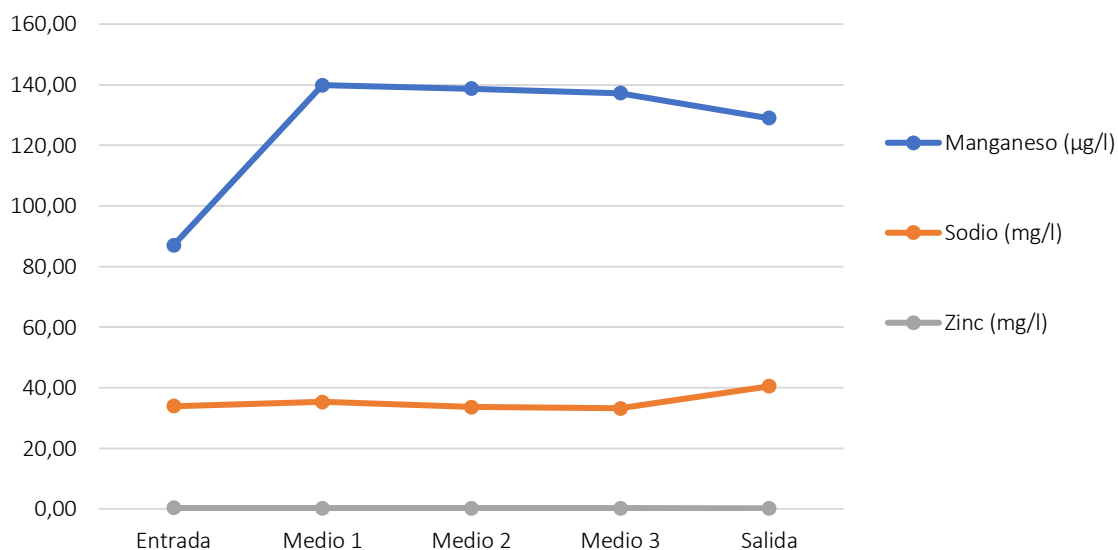
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



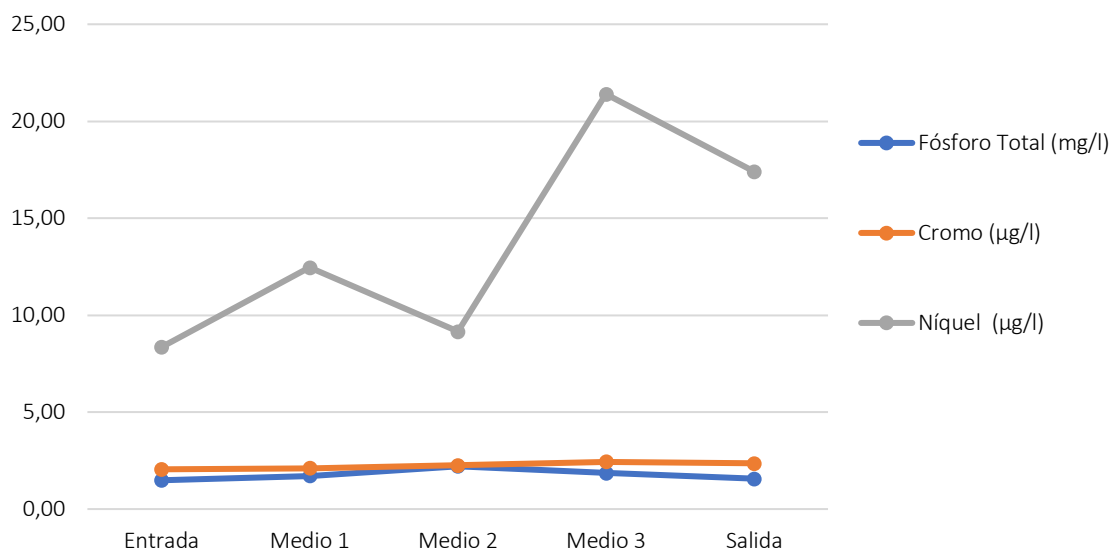
Fuente: Elaboración propia.

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 2021.



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 2021.



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 2021.

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 corresponde a la poca variabilidad espacial observada para la mayoría de parámetros analizados como es el caso de la turbiedad, oxígeno disuelto, hidrocarburos, temperatura, cloruro, nitrógeno total, nitrato, fósforo total y la mayoría de metales estudiados.

Aún así varios parámetros como DBO, sólidos suspendidos totales, DQO, nitrito, sustancias activas al azul de metileno, sólidos sedimentables, potasio, manganeso y níquel, muchos de estos relacionados con aguas jabonosas y domésticas, presentan una tendencia global a incrementar hacia la salida, con picos máximos en la zona media donde de manera puntual se podrían estar dando vertidos.

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, 2021.

Época	Sitio	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Amonio (µg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	7.87	11.50	41.30	17.80	9632.00
	Salida	RBMDZ5	7.07	39.60	304.00	70.50	4038.00
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	7.33	9.22	9.30	6.00	308.40
	Salida	RBMDZ5	7.58	13.60	42.80	38.60	518.00
Época	Sitio	Código	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	% Saturación	DQO (mg/L)	SS (mL/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	22.00	7.08	79.00	90.40	0.10
	Salida	RBMDZ5	22.80	6.12	73.60	483.70	0.20
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	24.30	8.48	91.20	19.40	0.10
	Salida	RBMDZ5	24.60	7.46	71.20	68.50	0.40
Época	Sitio	Código	SAAM (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrito (µg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Cloruro (µg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	1.48	2.78	118.50	17.55	42.20
	Salida	RBMDZ5	2.12	2.41	103.40	15.66	48.20
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	0.40	0.19	170.90	4.00	19.00
	Salida	RBMDZ5	0.84	0.72	2775.00	11.30	13.71
Época	Sitio	Código	Nitrato (µg/L)	Sulfato (µg/L)	Hidrocarburos (mg/L)	Aluminio (µg/L)	Calcio (mg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	0.95	51.70	2.90	311.00	21.50
	Salida	RBMDZ5	0.48	46.40	2.90	530.00	22.60
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	27.60	18.20	2.90	328.30	12.80
	Salida	RBMDZ5	0.48	21.70	2.90	545.30	11.43

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, 2021.

Época	Sitio	Código	Cobre (mg/L)	Manganeso (µg/L)	Potasio (mg/L)	Plomo (µg/L)	Sodio (mg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	0.71	163.00	14.20	1.05	60.50
	Salida	RBMDZ5	0.08	168.00	19.10	1.17	70.20
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	0.05	11.00	2.48	1.50	7.44
	Salida	RBMDZ5	0.05	90.00	3.39	0.90	10.70
Época	Sitio	Código	Zinc (mg/L)	Cadmio (µg/L)	Cromo (µg/L)	Níquel (µg/L)	Arsénico (µg/L)
Seca	Entrada	RBMDZ1	0.55	0.15	1.10	13.70	0.69
	Salida	RBMDZ5	0.33	0.12	1.71	3.72	0.85
Lluviosa	Entrada	RBMDZ1	0.02	0.03	3.00	3.00	0.15
	Salida	RBMDZ5	0.02	0.03	3.00	31.10	0.20

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver del cuadro anterior que la época lluviosa (octubre) es la que presenta mayor cantidad de incrementos a la salida con 27 de los 30 parámetros analizados incrementando su concentración conforme salen del cantón mientras que la época seca (marzo) lo mismo ocurre con 17 de los 30 parámetros analizados, siendo que en ambos casos más de la mitad de los parámetros presentan dicho incremento.

Así mismo, parámetros como turbiedad, DBO, DQO, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables, que se relacionan con el vertido de aguas ordinarias ricas en materia orgánica muestran incrementos en ambas épocas mientras que el oxígeno disuelto y porcentaje de saturación disminuye en ambas conforme se consume en los procesos de descomposición.

También algunos parámetros especiales como aluminio, calcio, manganeso, potasio, sodio y arsénico muestran ligeros incrementos hacia la salida en ambas épocas, siendo indicadores más asociados a contaminación de tipo industrial.

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 Fisicoquímica del Agua.

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

Fuente: (Decreto Ejecutivo 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 Fisicoquímica 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.

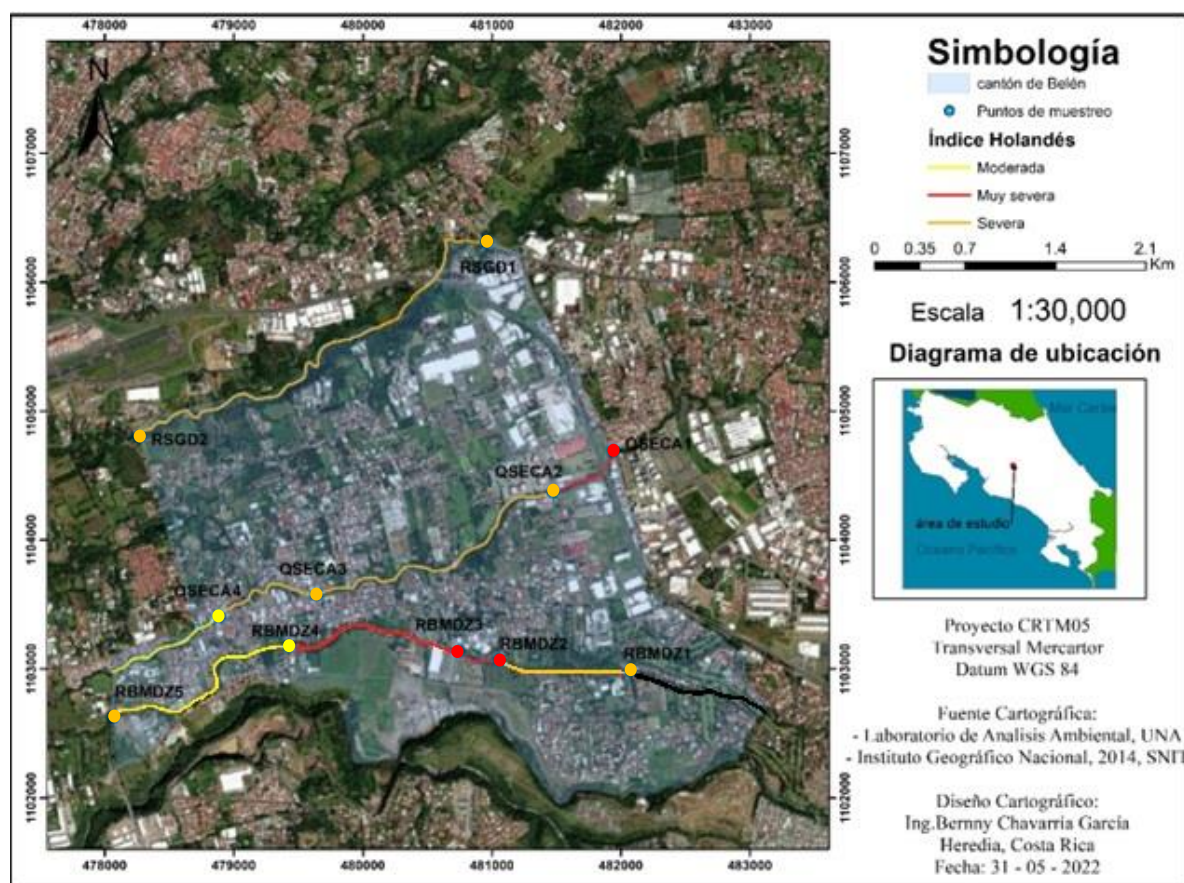
Época	Código	PSO (%)	Asignación de puntos del % saturación	DBO del agua para cuerpos receptores.	Asignación puntos para DBO	N amoniacal	Asignación de puntaje N amoniacal	Sumatoria Total	Clase	Interpretación de calidad
Seca	QSECA1	50.40	4.00	25.40	5.00	3.69	4	13.00	5	Muy Severa
Lluviosa	QSECA1	79.80	2.00	8.20	3.00	0.16	1	6.00	2	Incipiente
Seca	QSECA2	2.40	5.00	22.30	5.00	0.09	1	11.00	4	Severa
Lluviosa	QSECA2	85.90	2.00	9.90	4.00	0.51	2	8.00	3	Moderada
Seca	QSECA3	63.20	3.00	34.60	5.00	3.60	4	12.00	4	Severa
Lluviosa	QSECA3	77.00	2.00	9.90	4.00	0.30	1	7.00	3	Moderada
Seca	QSECA4	57.10	3.00	45.50	5.00	0.13	1	9.00	3	Moderada
Lluviosa	QSECA4	53.60	3.00	80.20	5.00	0.27	1	9.00	3	Moderada
Seca	RSGD1	80.00	2.00	22.30	5.00	3.74	4	11.00	4	Severa
Lluviosa	RSGD1	83.80	2.00	8.70	3.00	0.25	1	6.00	2	Incipiente
Seca	RSGD2	16.90	5.00	19.70	5.00	0.21	1	11.00	4	Severa
Lluviosa	RSGD2	85.70	2.00	8.20	3.00	0.23	1	6.00	2	Incipiente
Seca	RBMDZ1	79.00	2.00	41.30	5.00	7.51	5	12.00	4	Severa
Lluviosa	RBMDZ1	91.20	1.00	9.30	4.00	0.24	1	6.00	2	Incipiente
Seca	RBMDZ2	4.20	5.00	46.20	5.00	7.52	5	15.00	5.00	Muy Severa
Lluviosa	RBMDZ2	743.50	5.00	58.60	5.00	0.22	1	11.00	4	Moderada
Seca	RBMDZ3	6.01	5.00	90.50	5.00	7.14	5	15.00	5.00	Muy Severa
Lluviosa	RBMDZ3	45.60	4.00	96.30	5.00	0.23	1	10.00	4	Severa
Seca	RBMDZ4	74.40	2.00	298.00	5.00	0.01	1	8.00	3	Moderada
Lluviosa	RBMDZ4	63.30	3.00	76.10	5.00	0.15	1	9.00	3	Moderada
Seca	RBMDZ5	73.60	2.00	304.00	5.00	3.15	4	11.00	4	Severa
Lluviosa	RBMDZ5	71.20	2.00	42.80	5.00	0.40	1	8.00	3	Moderada

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

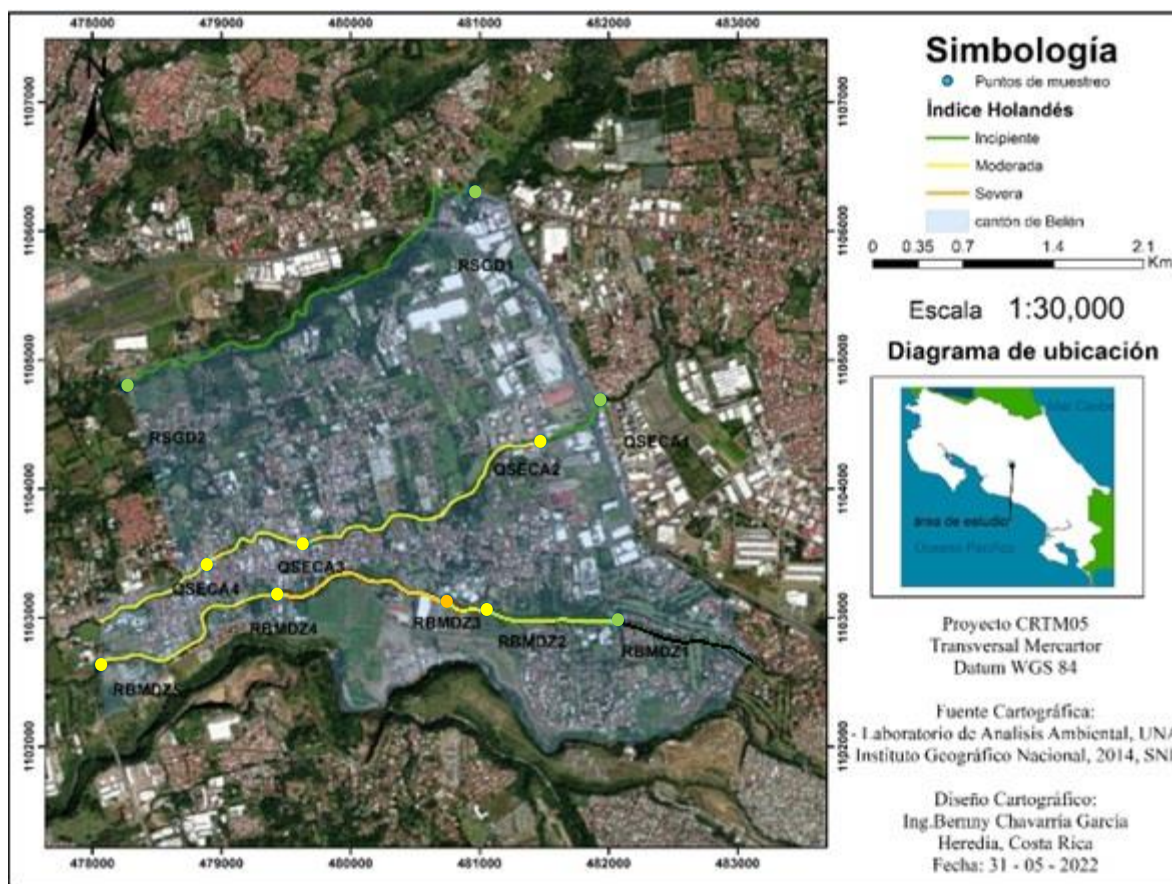
sitio en época seca y lluviosa con la finalidad de determinar si existen diferencias en el grado de contaminación.

Aunado al cuadro anterior la **Figura 44** y **Figura 45** muestran la interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica 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 2021 (época seca).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de octubre 2021 (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.

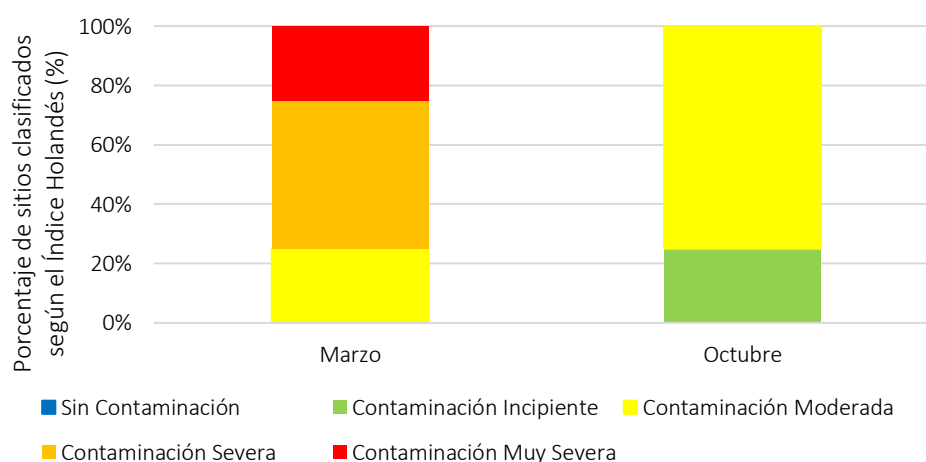
De esta manera se puede observar que, para la campaña de marzo correspondiente a la época seca, se tienen índices severos, particularmente en el río Segundo donde todos los sitios obtienen dicha clasificación, mientras que en el río Quebrada Seca inicia con un nivel muy severo que disminuye severo en la parte media y finalmente a moderado hacia la salida. El río Bermúdez presenta los valores de índice más altos ingresando como severo para incrementar a muy severo en la parte media y bajar a moderado hacia la salida y terminar nuevamente en severo en el último

punto, 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 decremento en los índices, particularmente para los Segundo y Quebrada Seca donde en el primero baja completamente a categoría incipiente mientras que en el segundo la entrada baja a incipiente y la parte media a moderada, manteniendo la salida igual. El río Bermúdez también disminuye su nivel de contaminación en esta época, aunque sigue presentando los niveles de contaminación más altos de las tres microcuencas, siendo que el ingreso baja a incipiente, la parte media baja a severa y la salida se mantiene en moderada.

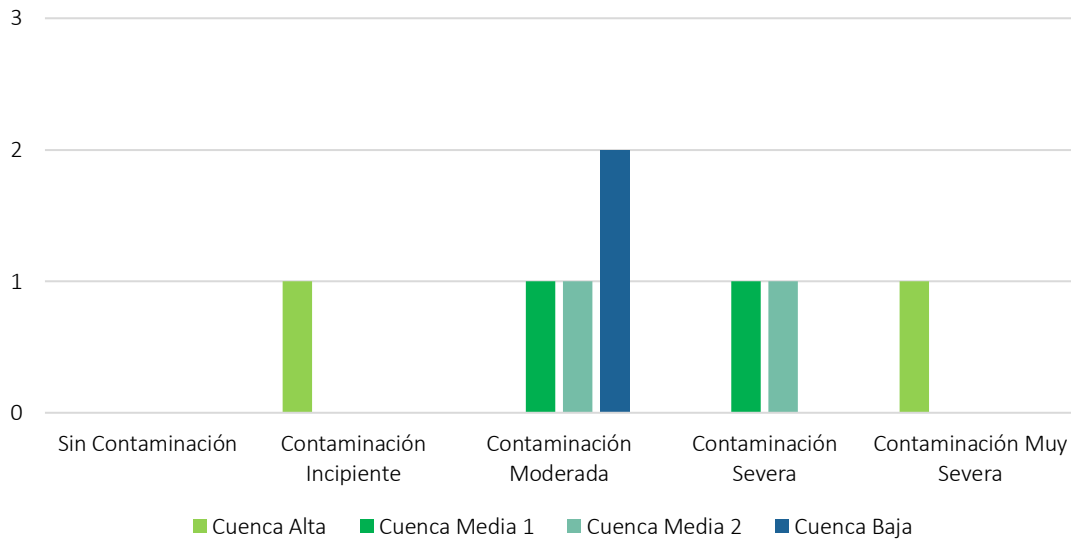
Otro ejercicio que ayuda a visualizar mejor el estado de cada microcuenca estudiada es señalar el porcentaje de sitios en cada rango de contaminación definida por campaña de acuerdo con el Sistema Holandés, de manera que se pueda conocer el comportamiento temporal, así como la cantidad de sitios en un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

De esta manera, la **Figura 46**, **Figura 47** y **Figura 48** muestran de manera gráfica los resultados obtenidos para el río Quebrada Seca.



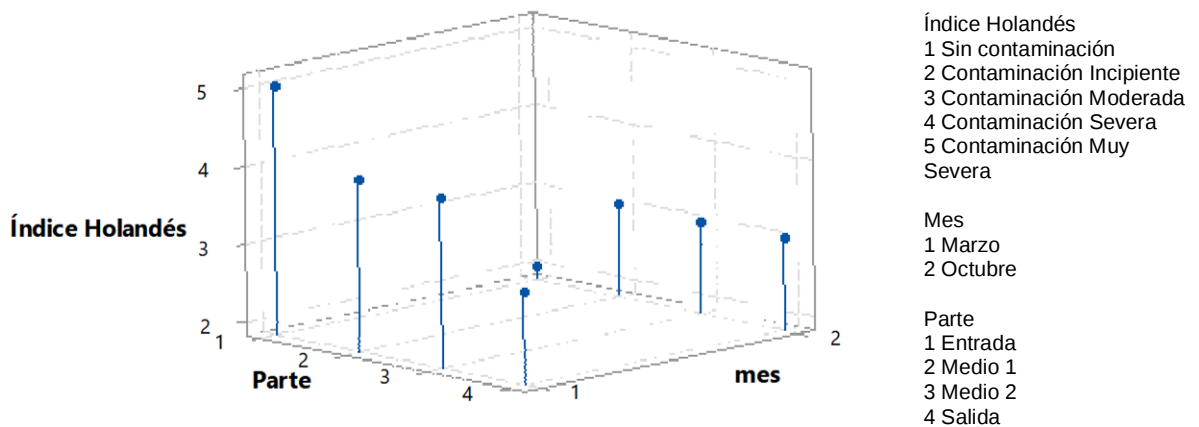
Fuente: Elaboración propia.

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, 2021.



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, 2021.



Fuente: Elaboración propia.

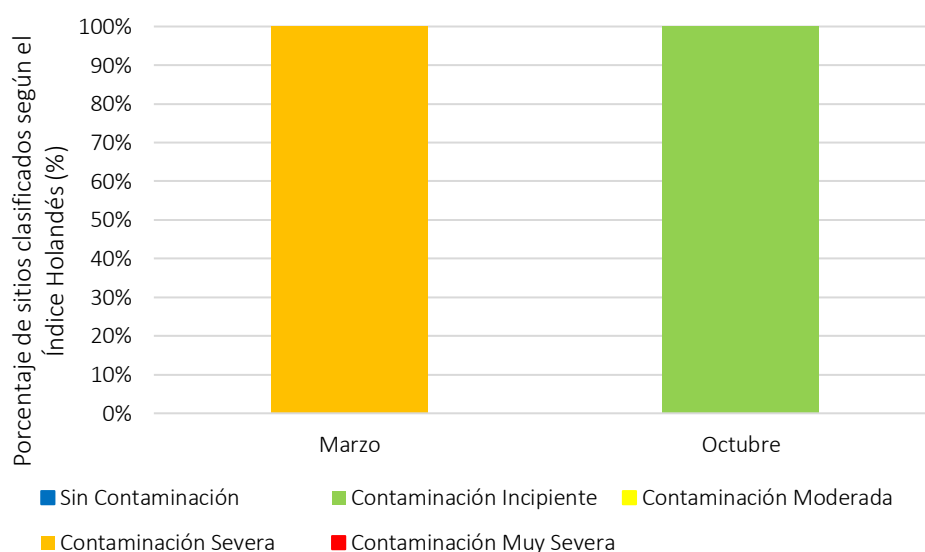
Figura 48. Síntesis de la clasificación espacio-temporal del río Quebrada Seca según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.

La **Figura 46** permite observar que, la campaña de marzo correspondiente a la época seca presenta un nivel de contaminación superior al de la época lluviosa, con la mitad de los sitios en un nivel severo de contaminación e incluso un sitio con contaminación muy severa, mientras que en la época lluviosa predomina un nivel de contaminación moderado, que como se ha explicado anteriormente puede responder al efecto de dilución producto del incremento del caudal durante la época de lluvias.

La **Figura 47** por su lado, señala que durante el año la mayor parte de los sitios se haya en un nivel moderado de contaminación, principalmente en la parte baja, mientras que las partes medias oscilan entre niveles moderados y severos, y solo la entrada presenta en un momento un nivel de contaminación muy severo que como se vio ocurre en la época seca.

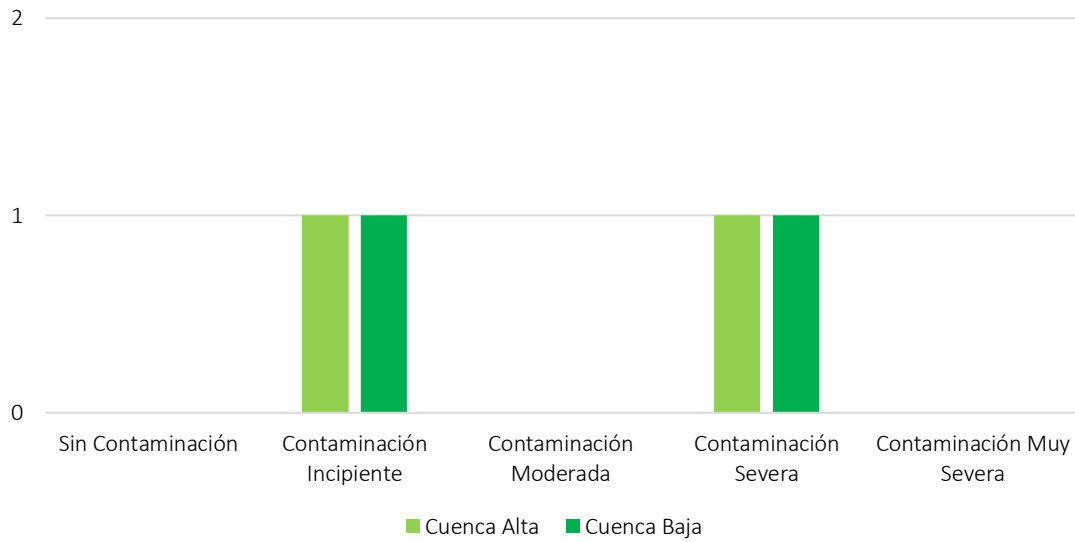
Por último, la **Figura 48** integra la información de las dos figuras anteriores, permitiendo observar simultáneamente el comportamiento a lo largo de los meses para cada sitio de la cuenca, así como la variación espacial para cada mes.

De igual manera, la **Figura 49**, **Figura 50** y **Figura 51** muestran los resultados de comportamiento espacial y temporal arrojados por el Sistema Holandés para el río Segundo.



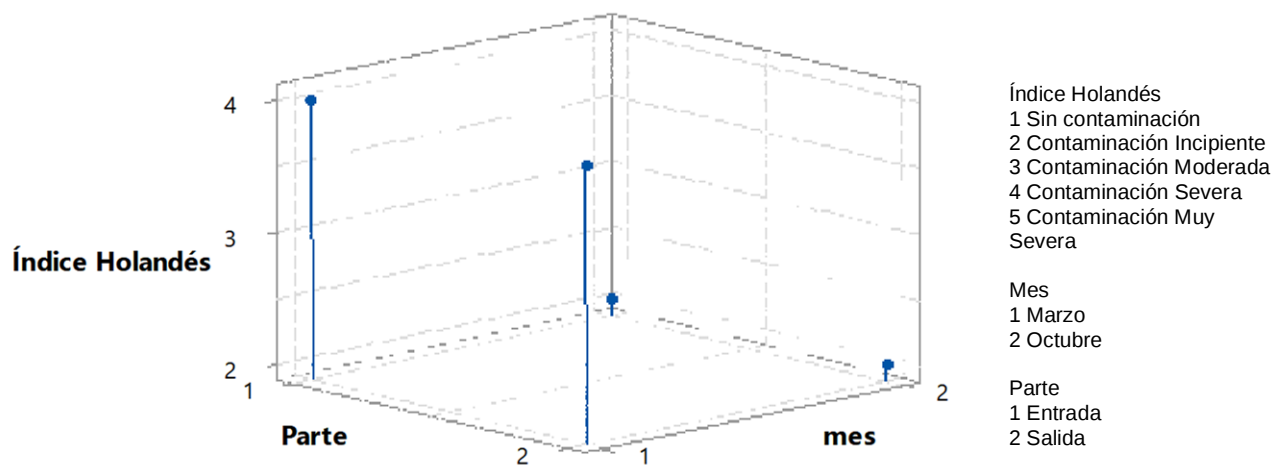
Fuente: Elaboración propia.

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, 2021.



Fuente: Elaboración propia.

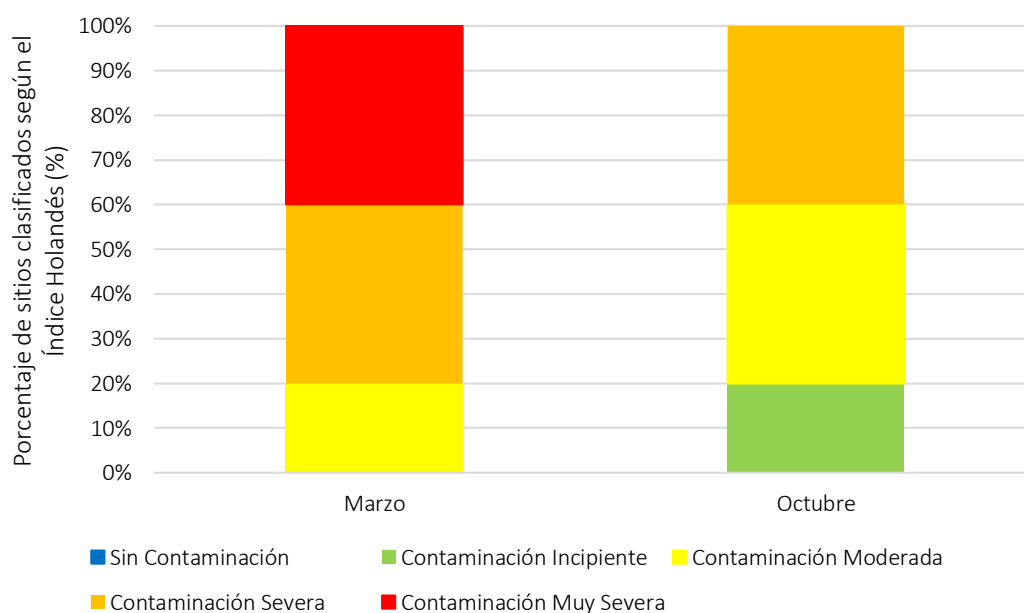
Figura 51. Síntesis de la clasificación espacio-temporal del río Segundo según los niveles de contaminación definidos con el Sistema Holandés.

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 marzo correspondiente a la época seca, es la que presenta los niveles de contaminación más altos, con todos los sitios mostrando un nivel severo, mientras que en la época lluviosa los sitios presentan un nivel de contaminación incipiente.

La **Figura 50**, por su lado, señala que tanto la entrada como la salida de la microcuenca al cantón presentan niveles entre incipientes y severos, siendo que ambos presentan el mismo nivel por época climática.

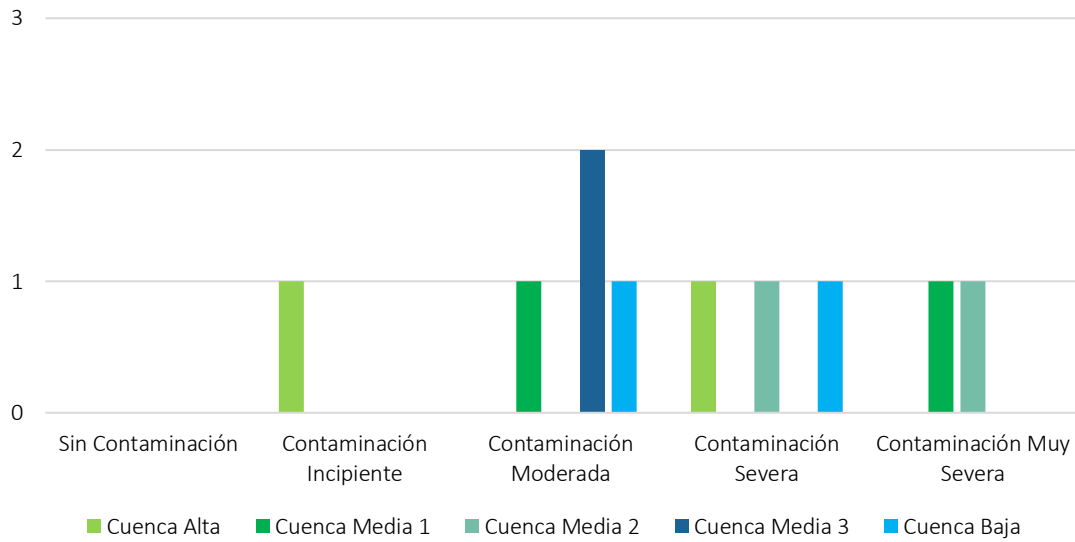
La **Figura 51** integra la información provista en la **Figura 49** y **Figura 50** donde se observa el comportamiento espacial y temporal del Índice Holandés. Una limitante que presenta el monitoreo de esta microcuenca es que solo cuenta con dos sitios de muestreo, lo que limita el establecimiento 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, la **Figura 52**, **Figura 53** y **Figura 54** muestran los comportamientos temporales y espaciales del Índice Holandés para el río Bermúdez.



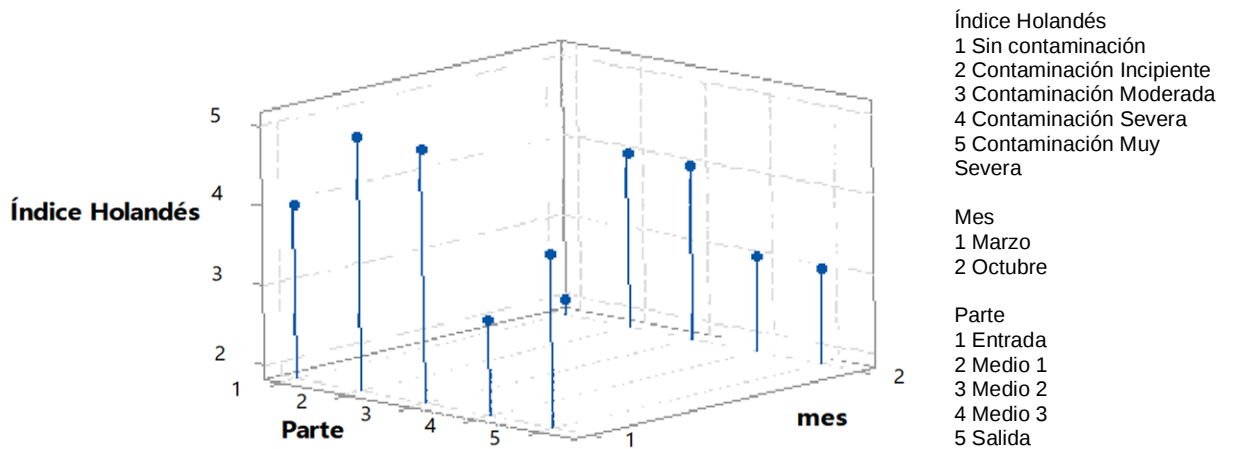
Fuente: Elaboración propia.

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, 2021.



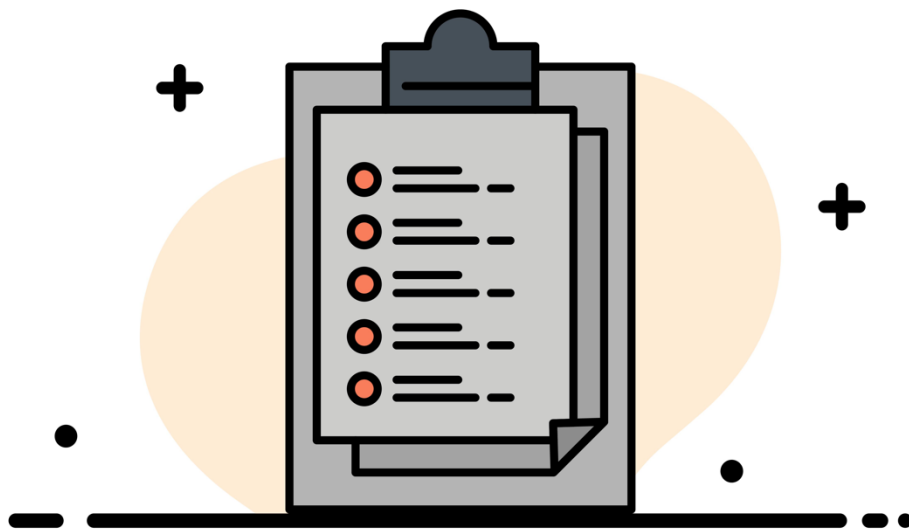
Fuente: Elaboración propia.

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

Es evidente de la **Figura 52** y **Figura 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 hacia la época lluviosa, donde el nivel muy severo desaparece, el severo se mantiene, el moderado se amplía y un sitio incipiente surge.

Por su lado, la **Figura 53** señala que los sitios de la sección media presentan más contaminación pues a lo largo del año sus clasificaciones oscilan mayoritariamente entre moderada, severa y muy severa.

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 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 y parámetros analizados.
- 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 predomina un comportamiento estable para la mayoría de los parámetros, aunque la DBO, DQO, turbiedad y SS asociados con aguas residuales ordinarias de tipo residencial ricas en carga orgánica tienden a incrementar hacia la salida del cantón.
- 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.
- El comportamiento espacial para el río Segundo es bastante constante con poca variación entre los sitios monitoreados para la mayoría de los parámetros, aunque la turbiedad, SST y SS asociados con vertidos domésticos incrementan hacia la salida del cantón.
- Para el río Bermúdez se observa el mismo comportamiento presentado en las otras dos microcuencas, con un decrecimiento de los parámetros complementarios hacia la época lluviosa.
- Para el río Bermúdez, se observa que existe poca variabilidad espacial para la mayoría de los parámetros los cuales se mantienen constantes a lo largo de la microcuenca en su

paso por el cantón, aún así la DBO, DQO, SST, SAAM y SS incrementan hacia la salida, siendo parámetros relacionados con aguas jabonosas de origen doméstico.

- 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.
- De acuerdo con el Sistema Holandés de Clasificación de la calidad del Agua para el río Bermúdez presenta los niveles de contaminación más elevados en ambas épocas, echo que coincide con lo observado para los parámetros complementarios.

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

- 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.