

Informe Anual de Calidad Ambiental

Matriz Agua, 2018

Contratación

UNA-CVE-813-2017

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

Elaborado por

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional



Grupo Técnico Encargado de la Elaboración del Informe

Ing. Tomás Soto Murillo
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Dr. Jorge Herrera Murillo
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Bach. José Mario Hidalgo Lobo
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Lic. Allan Quesada Esquivel
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Bach. Daihan Herrera Monge
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Bach. Minor Vargas Rojas
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Colaboradores en trabajo de campo

Stward Espinoza Solano
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Bernny Chavarría García
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Henry Arias Sibaja
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Luis Diego Chaves González
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Alonso Quesada Esquivel
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Giovanni Céspedes Vizcaíno
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

David Chaves Núñez
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Donald Valencia Fontana
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Ignacio Sánchez Monge
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Cristhian Saravia Vargas
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Contenido

Contenido	2
Resumen Ejecutivo	3
1. Introducción.....	5
2. Marco Teórico	10
2.1 Contaminación de cuerpos de agua	11
2.2 Índices de Calidad del Agua (ICA)	11
3. Metodología.....	16
Monitoreo de cuerpos de agua superficiales	17
Análisis Químico.....	18
4. Análisis de Resultados	22
Análisis de Desfogues	23
Análisis de datos cuerpos de aguas superficiales.....	25
5. Conclusiones y Recomendaciones	42
6. Bibliografía.....	44

Resumen Ejecutivo

El monitoreo ambiental es una herramienta en la planificación territorial, incorporando la variable ambiental como uno de los ejes para la toma de decisiones de los gobiernos locales. Por tal motivo, la Municipalidad de Belén desde el 2007 cuenta con un Observatorio Ambiental que establece una serie de muestreos en cuerpos de agua superficiales y calidad del aire con el fin de contar con datos objetivos en diferentes puntos de interés del cantón. Por lo tanto, para el 2018, utilizando la Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-química del Agua se obtuvo de los puntos muestreados, una clasificación de contaminación entre moderada (clasificación 3) y muy severa (clasificación 5). Aunado a lo anterior el 57,14 % de los desfogues cumplen con los límites permitidos según la legislación.



1. Introducción

A partir del siglo XVIII el mundo ha experimentado un crecimiento demográfico que hasta mediados del siglo pasado ha mantenido una tendencia exponencial. Considerando lo anterior, así como los cambios en los hábitos de consumo y la explotación de los recursos naturales, han provocado todo tipo de problemas de carácter social, económico y principalmente, ambiental. Entre las principales problemáticas ambientales se destacan: la contaminación del aire, del agua y del suelo, así como alteraciones en el funcionamiento físico del paisaje y modificaciones en el régimen hidrológico (Perevochtchikova, 2009).

El problema socioambiental que genera la escasez del agua es crítico, a tal punto que, muchas de las poblaciones pueden llegar a desaparecer. Adicionalmente, la densidad poblacional, los cambios en los hábitos de consumo, la carencia en el alcantarillado sanitario y la falta de mecanismos de control que posibiliten velar por el cumplimiento de la legislación existente, han ocasionado, especialmente en zonas urbanas, que haya un deterioro significativo en la calidad de los cuerpos superficiales de agua. En este último caso, los ríos han ido perdiendo su utilidad como fuente de agua para uso humano, tales como: irrigación, recreación, e inclusive su atractivo (Solano-Arce, 2011).

De tal manera, ante tal crisis ambiental debido a la contaminación de diferentes matrices ambientales y el agotamiento de recursos naturales, surge la necesidad que las autoridades ambientales desarrollen políticas para mejorar la calidad ambiental (Rodríguez-Miranda et al, 2016).

Por lo tanto, a partir del impacto ambiental que se ha generado en las diferentes matrices ambientales, es necesario la implementación de una serie de acciones que deben tomar las instituciones pertinentes en la búsqueda de posibles soluciones de reducción en las fuentes contaminantes más importantes que afectan la calidad ambiental (Solano-Arce, 2011).

Como consecuencia de lo anterior, se debe dar un adecuado seguimiento y reducción de la contaminación ambiental por medio de un monitoreo ambiental, el cual debe ser un proceso continuo y medible en las diferentes escalas (global, regional y local), permitiendo la evaluación objetiva e integral del impacto generado

con el fin de analizar los cambios a partir del plan de acción propuesto para la mitigación y remediación ambiental (Puliafito, 2014).

De este modo, el monitoreo ambiental es considerado como un proceso de observación repetitiva, con objetivos definidos, relacionados con uno o más elementos ambientales, de acuerdo con un plan temporal y espacialmente definido. Este suministra la información del estado de las diferentes matrices ambientales y la tendencia del cambio observado a través del tiempo. De tal manera, el plan de monitoreo ambiental considera la prevención, el pronóstico, la seguridad ambiental y la instrumentación legal y política (Puliafito, 2014). Aunado a lo anterior, los planes de monitoreo ambiental a largo plazo son un instrumento que permiten conocer las tendencias que siguen las diferentes variables de interés para identificar los límites de resiliencia, estabilidad o cambios de estado (Chiappa-Carrara, y otros, 2017)

De tal manera, en el ámbito del ordenamiento y planificación territorial, es imprescindible considerar la variable ambiental con el fin de garantizar en el tiempo, la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables y no renovables, así como los servicios ambientales disponibles. Estas variables ambientales son medidas por las instituciones pertinentes por medio de los planes de monitoreo ambiental debidamente establecidos (Rodríguez-Miranda et al, 2016).

Por lo tanto, considerando los resultados obtenidos a partir del monitoreo ambiental, para realizar una planificación ambiental integral, es importante diseñar un Plan Estratégico de Gestión Ambiental Cantonal que esté compuesto por: el diagnóstico ambiental territorial, las soluciones estratégicas y los mecanismos de seguimiento y evaluación. De este modo permite orientar acciones y criterios en materia de mejora de la calidad de los recursos naturales con los que cuenta el territorio (Rodríguez-Miranda et al, 2016).

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

contaminación con el fin de obtener insumos para la formulación de estrategias de mitigación y remediación ambiental.



2. Marco Teórico

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, p. 7). 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-Arrascaeta, 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 debido a 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 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 de Clasificación Holandés.

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

Por otra parte, el Índice Holandés de Valoración de Calidad para los cuerpos de agua superficiales contempla una serie de parámetros físicos-químicos para la

clasificación de un cuerpo receptor. De esta manera, este índice considera el porcentaje de saturación de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el nitrógeno amoniacal (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

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

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

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

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

Por lo tanto, para determinar el grado de contaminación del cuerpo receptor, es necesario sumar los puntos correspondientes en los ámbitos de concentración para cada uno de los parámetros fisicoquímicos medidos. De esta manera, una vez determinado los valores, se traslada estos puntajes a una categoría de colores de acuerdo con el grado de contaminación, siendo la escala de 1 a 5, en donde 1 es

“sin contaminación” y 5 “contaminación muy severa (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).



3. Metodología

Monitoreo de cuerpos de agua superficiales

El monitoreo ambiental de la calidad de cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén está compuesto por once puntos, los cuales se encuentran ubicados en la cuenca alta, media y baja de los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Bermúdez. En el cuadro 1 se describe la ubicación cada uno de los puntos y en la figura 1 se muestra la ubicación espacial de estos.

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

Nombre del cuerpo de agua	Código mapa	Descripción del sitio de muestreo
Quebrada Seca	Q.SECA1	Puente localizado frente a la empresa HP en Zona Franca American Free Zone
	Q.SECA2	Puente localizado contiguo a la empresa UNILEVER
	Q.SECA3	Puente localizado contiguo a la industria Rodillos Industriales, San Antonio
	Q.SECA4	Puente La Amistad, carretera Belén-Santa Ana
Río Segundo	R.SGD1	Puente localizado entre el Aeropuerto Juan Santamaría y el centro Recreativo Ojo de Agua
	R.SGD2	Puente localizado contiguo a la Cervecería Costa Rica
Bermúdez	R.BMDZ1	Puente Radial
	R.BMDZ2	Puente Pekiss
	R.BMDZ3	Puente contiguo a la industria Kimberly Clark
	R.BMDZ4	Puente Los Golfistas
	R.BMDZ5	Puente ubicado en Calle Los Tilianos

Fuente: elaboración propia, 2019.

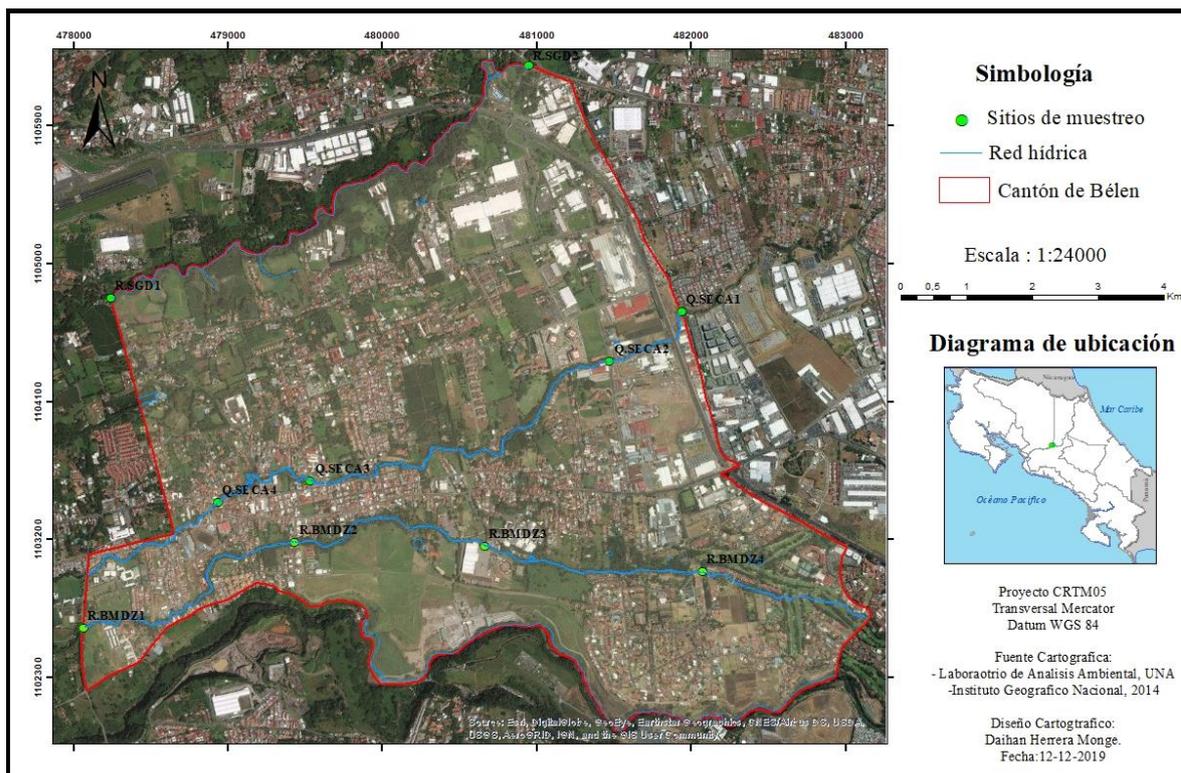


Figura 1. Puntos de muestreo de cuerpos de agua superficiales en el cantón de Belén.

Fuente: Elaboración: propia

Se definieron dos campañas de muestreo anuales, esto con el fin de poder analizar los resultados por cuerpo receptor tanto en la época seca, como en la época lluviosa.

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

Para el año 2018 se realizaron dos campañas de muestreo (febrero y octubre) tomando en cuenta los once puntos previamente definidos.

Análisis Químico

Las mediciones de temperatura, pH y oxígeno disuelto se realizaron *in situ* en cada uno de los puntos de muestreo. Para ello se utilizó un equipo portátil marca *Hanna*

Instruments que toma los datos del pH y de temperatura. Además, se utilizó un oxímetro marca *Hach*.

Los equipos mencionados anteriormente son calibrados antes de cada muestreo, esto con el fin de tener seguridad que los datos son confiables. Adicional a esto, en el cuadro 2 se muestra los métodos de referencia y los límites de detección para cada una de las variables que se analizaron en el laboratorio.

Cuadro 2. Métodos analíticos de las muestras de agua

Variable	Método	Límite de detección
pH (25 °C)	SM 4500-H	-
Turbiedad	SM 2130 B	-
DQO	SM 5220 D	6,3 mg/l
DBO	SM 5120 B	NA
Sólidos Sedimentables	SM 2540 F	NA
Sólidos Suspendidos Totales	SM 2150 B	3,4 mg/l
Fósforo total	SM 4500 P	0,4 mg/l
Nitrógeno total	Hach Company 10072	4,0 mg/l
SAAM	SM 5540 A	0,2 mg/l
Nitrato	SM 4110 B	0,48 mg/l
Nitrito	SM 4500 NO ₂ -	3,6 µg/l
Cloruro	SM 4110 B	0,57 mg/l
Sulfato	SM 4110 B	0,25 mg/l
Amonio	SM 4500 NH ₃	0,1 µg/l
Aluminio	SM 3113 B	0,8 µg/l
Arsénico	SM 3113 B	1 µg/l
Cadmio	SM 3113 B	0,8 µg/l
Calcio	SM 3113 B	0,01 mg/l
Cobre	SM 3113 B	0,7 µg/l
Cromo	SM 3113 B	3 µg/l
Manganeso	SM 3113 B	2 µg/l
Níquel	SM 3113 B	0,9 µg/l
Potasio	SM 3113 B	0,1 mg/l
Plomo	SM 3113 B	2 µg/l
Sodio	SM 3113 B	0,02 mg/l
Zinc	SM 3113 B	0,06 mg/l

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 2 (Continuación). Métodos analíticos de las muestras de agua

Variable	Método	Límite de detección
Hydrocarburos	SM 5520 B	2,9 mg/l
Oxígeno disuelto	Método 4500 O-C	
% Saturación	Método 4500 O-C	
Temperatura	SM 2550	-

Fuente: elaboración propia, 2019.



4. Análisis de Resultados

Análisis de Desfogues

Los desfogues son aquellas obras que transportan las aguas residuales una vez tratadas a un cauce de flujo permanente, por ejemplo, un río. Por tal motivo, es importante realizar los análisis respectivos con el fin de verificar que las aguas vertidas no superan los límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorios establecidos en el Decreto Ejecutivo N° 33601 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Para el año 2018, se realizó el muestreo de 14 desfogues. En el cuadro 3 se observan los resultados de cada uno de los parámetros analizados.

Cuadro 3. Resultado de los análisis de los desfogues muestreados en el cantón de Belén.

Ente	Ubicación	pH (25 °C)	DBO mg/l	DQO mg/l	Sólidos Suspendidos Totales mg/l	Sólidos Sedimentables ml/l	Grasas y Aceites mg/l	SAAM mg/l	Temperatura °C
Ente 1	La Ribera	8,26	65,8	174,7	29,90	0,1	22	0,099	31,02
Ente 2	La Ribera	6,82	6,20	35,1	17,46	0,1	2,9	0,145	25,12
Ente 3	La Ribera	6,46	211	395,1	6,0	0,1	22,5	1,462	25,38
Ente 4	La Ribera	7,1	12	15,2	5,92	0,1	7,59	1,221	25,30
Ente 5	La Ribera	6,7	45,0	53	14,66	0,3	2,9	0,165	26,58
Ente 6	San Antonio	6,78	52,5	163	101,02	0,1	7,7	0,192	31,8
Ente 7	San Antonio	6,8	87	89	33,38	0,5	2,9	0,02	24,84
Ente 8	San Antonio	7,12	205	458	91,5	12,5	14,1	0,02	25,76
Ente 9	La Asunción	7,42	12,0	18	11,82	0,3	2,9	0,02	26,16
Ente 10	La Asunción	7,52	25,8	53,36	29,28	0,2	2,9	0,077	26,42
Ente 11	La Ribera	7,104	10	18	3,4	0	5,2	0,766	26,6
Ente 12	La Ribera	7,292	6,9	18	6,0	0,2	6,4	0,428	27,16
Ente 13	San Antonio	6,3	162	327	144,96	0,5	32,8	1,622	27,2
	San Antonio	6,1	12,6	29,8	6,98	0	2,9	0,396	26,5

Fuente: elaboración propia, 2018.

En la figura 2 se observa el porcentaje de cumplimiento de los desfogues muestreados por parámetro universal establecido por el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

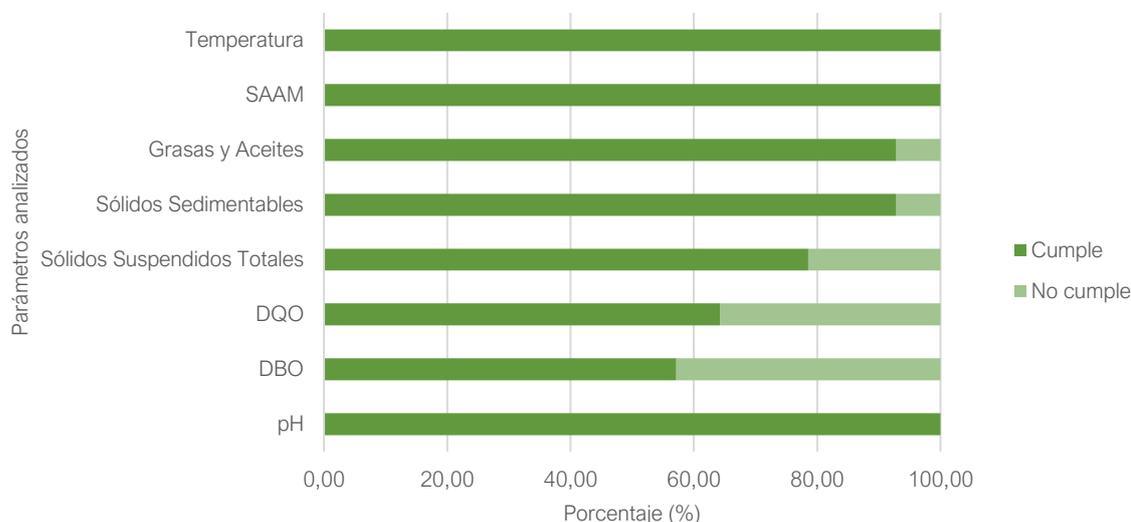


Figura 2. Porcentaje de cumplimiento de los desfogues muestreados por parámetro universal analizado en el cantón de Belén.

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tal y como se observa en la figura 2, lo que respecta a los parámetros de temperatura, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) y pH, la totalidad de los desfogues cumplen con los valores establecidos por el reglamento. No obstante, en DBO, el 42,85 % no cumplió; en DQO el 35,71 % no cumplió; en Sólidos Suspendidos Totales (SST), el 21,42 % no cumplió, y en Sólidos Sedimentables y Grasas y Aceites, el 7,14 % no cumplió.

Aunado a lo anterior, en la figura 3 se muestra los resultados del cumplimiento de los desfogues con respecto al decreto ejecutivo.

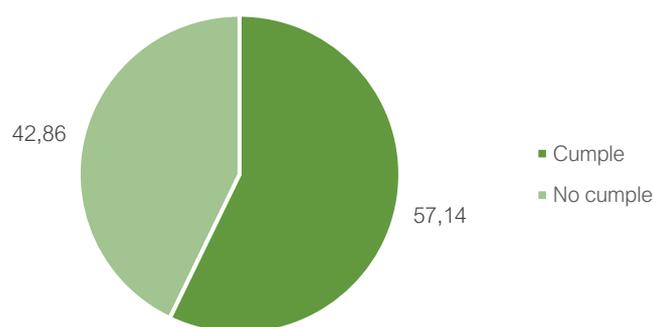


Figura 3. Porcentaje de cumplimiento de los desfuegos muestreados en el cantón de Belén.

Fuente: elaboración propia, 2018.

Considerando el análisis por tipo de parámetro universal establecido por el reglamento, con tan solo que uno de los valores supere los límites máximos permitidos, clasifica el desfogue en la categoría de incumplimiento. Por lo tanto, de los 14 puntos muestreados, el 57,14 % cumple con la normativa, mientras que el 42,86 % incumple.

Análisis de datos cuerpos de aguas superficiales

El monitoreo ambiental de la calidad de cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén está compuesto por once puntos, los cuales se encuentran ubicados en la cuenca alta, media y baja de los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Bermúdez. Para ello se realizaron los análisis de los parámetros fisicoquímicos para la clasificación inicial del cuerpo receptor y adicional a esto se realizaron análisis de parámetros complementarios establecidos por el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S. En el cuadro 4 se muestran las medias y la desviación estándar de cada uno de los parámetros.

Cuadro 4. Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2018.

Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO ₄ ³⁻ /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
Q.SECA1	7,20 (0,28)	10,40 (0,86)	26,0 (8,4)	70,75 (36,13)	23,82 (-)	0,35 (0,21)	32 (14)	10,7 (4,8)	40,2 (4,7)	1069 (13)	11358 (4320)	8,5 (1,9)	12,7 (5,2)
Q.SECA2	6,40 (0,42)	9,9 (3,9)	23 (12)	120 (72)	37,2 (-)	0,20 (0,14)	59 (13)	10,5 (4,0)	44,5 (7,1)	1162,0 (133,0)	5602 (3286)	6,5 (2,7)	11,6 (3,7)
Q.SECA3	6,35 (0,49)	3,60 (0,37)	11,8 (2,5)	27,5 (4,0)	12,22 (-)	1,0 (1,2)	29,0 (9,5)	13 (15)	25,44 (0,23)	1148 (58)	4538 (3682)	3,2 (1,4)	5,5 (5,0)
Q.SECA4	6,25 (0,78)	3,00 (0,53)	18,1 (4,2)	34,40 (0,28)	13,72 (-)	0,10 (0,00)	31 (14)	28,1 (5,8)	27,4 (1,3)	1349 (343)	1389 (434)	2,04 (0,64)	9,30 (0,42)
R.BMDZ1	6,35 (0,78)	5,9 (3,8)	26,9 (7,2)	68 (41)	12,1 (-)	0,13 (0,04)	27,6 (8,2)	3,2 (2,7)	35,3 (8,7)	497 (360)	12645 (4685)	7,1 (2,6)	13,4 (6,2)

* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar.

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 4 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2018.

Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO ₄ ³⁻ /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
R.BMDZ2	6,25 (0,92)	8,0 (6,6)	24,9 (4,4)	62 (19)	11,3 (-)	1,15 (0,21)	21 (15)	3,9 (1,6)	34,9 (9,5)	600 (482)	13222 (7630)	5,7 (4,1)	12,0 (4,2)
R.BMDZ3	6,65 (0,64)	14,2 (2,2)	32 (11)	73 (13)	42,44 (-)	2,0 (1,5)	22 (16)	3,6 (1,2)	37,2 (9,5)	661 (568)	13370 (5746)	5,8 (4,3)	12,6 (5,0)
R.BMDZ4	6,80 (0,57)	35,8 (8,3)	94 (37)	147 (42)	87,66 (-)	4,0 (1,4)	25 (17)	1,8 (1,9)	41,5 (3,4)	131 (16)	19832 (14364)	13 (12)	16,5 (6,9)
R.BMDZ5	6,85 (0,78)	16,7 (4,2)	23,3 (4,7)	124 (59)	27,95 (-)	2,3 (1,7)	22 (16)	3,59 (0,69)	36,4 (9,8)	597 (478)	15951 (7355)	7,9 (5,3)	13,4 (5,6)
R.SGD1	6,15 (0,64)	3,8 (1,0)	15,05 (0,07)	29,0 (8,1)	10,94 (-)	0,13 (0,04)	5,85 (0,59)	10,62 (0,28)	14,7 (1,9)	111 (55)	1052 (41)	3,0 (1,7)	5,5 (5,0)
R.SGD2	7,00 (0,71)	2,66 (0,92)	9,90 (0,14)	14,5 (5,0)	10,46 (-)	0,10 (0,00)	5,18 (0,36)	9,4 (1,9)	15,1 (1,0)	34,2 (10,9)	770,0 (2,8)	2,09 (0,45)	7,0 (7,1)

* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar.

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 4 (Continuación). Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos.

Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Q.SECA1	0,52 (0,34)	34 (12)	13,8 (5,2)	5,85 (0,82)	3,4 (2,0)	0,22 (0,25)	2,3 (1,5)	–	845 (573)	102 (15)
Q.SECA2	0,56 (0,22)	24 (27)	20,0 (1,6)	3,7 (4,8)	2,00 (0,00)	0,22 (0,25)	2,1 (1,7)	–	174 (192)	51 (62)
Q.SECA3	0,24 (0,18)	20,8 (4,7)	18,5 (7,1)	4,2 (1,3)	7,3 (7,5)	0,22 (0,25)	3,6 (3,8)	–	137 (55)	38 (12)
Q.SECA4	0,22 (0,23)	20,1 (4,4)	18,8 (6,8)	4,1 (1,3)	2,00 (0,00)	0,22 (0,25)	2,2 (1,8)	–	77 (33)	27 (16)
R.BMDZ1	0,40 (0,12)	34 (16)	17,5 (9,4)	5,6 (1,8)	2,00 (0,00)	0,22 (0,25)	2,9 (0,7)	–	138,7 (6,6)	92 (69)
R.BMDZ2	0,46 (0,21)	26,3 (6,0)	16,6 (7,6)	5,3 (1,6)	3,0 (1,4)	0,54 (0,19)	2,5 (1,1)	–	180,5 (5,0)	93 (61)
R.BMDZ3	1,0 (1,0)	31,0 (9,8)	15,9 (7,2)	5,4 (1,5)	2,00 (0,00)	0,22 (0,25)	5,1 (2,5)	–	179 (24)	140,0 (9,9)
R.BMDZ4	2,0 (2,7)	30,6 (4,5)	15,7 (6,0)	7,27 (0,71)	3,0 (1,4)	0,22 (0,25)	2,3 (1,5)	–	233,00 (0,00)	165 (16)
R.BMDZ5	1,0 (1,2)	26,6 (8,6)	15,5 (8,6)	5,3 (1,8)	3,0 (1,4)	0,22 (0,25)	4,4 (1,4)	–	139 (13)	143 (24)
R.SGD1	0,04 (0,03)	5,4 (3,2)	9,2 (4,5)	1,72 (0,98)	3,00 (1,41)	0,22 (0,25)	2,1 (1,7)	–	330 (81)	18,1 (8,2)
R.SGD2	0,04 (0,03)	4,8 (2,4)	8,3 (3,2)	1,71 (0,71)	2,00 (0,00)	0,22 (0,25)	0,90 (0,00)	–	312 (195)	13,1 (9,7)

* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar.

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 4 (Continuación). Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos.

Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Q.SECA1	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	7,5 (6,4)	21,45 (0,92)	6,30 (0,90)	80 (14)
Q.SECA2	4,2 (1,7)	1,00 (0,00)	0,08 (0,03)	0,80 (0,00)	9,95 (9,97)	22,1 (1,6)	6575 (21)	85,8 (3,4)
Q.SECA3	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	2,90 (-)	23,4 (1,1)	7,22 (0,07)	96,2 (1,8)
Q.SECA4	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	2,90 (-)	24,1 (1,8)	7515 (545)	101,5 (2,1)
R.BMDZ1	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,08 (0,03)	0,80 (0,00)	3,15 (0,35)	23,1 (1,1)	4795 (1549)	64,1 (23,2)
R.BMDZ2	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,08 (0,03)	0,80 (0,00)	9,45 (9,26)	23,40 (0,99)	5,24 (1,00)	70,90 (16,83)
R.BMDZ3	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	6,0 (4,3)	23,5 (1,2)	6,03 (0,21)	80,0 (6,4)
R.BMDZ4	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	6,5 (2,1)	23,4 (0,1)	4,97 (0,47)	66,6 (4,5)
R.BMDZ5	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	5,5 (3,6)	23,3 (1,1)	6,43 (0,13)	85,7 (5,3)
R.SGD1	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	2,90 (-)	21,6 (1,5)	7105 (219)	94,0 (6,5)
R.SGD2	1,6 (2,1)	1,00 (0,00)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	6,50 (-)	20,7 (1,1)	7905 (120)	100,0 (1,4)

* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar.

Fuente: elaboración propia, 2019.

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

De tal manera, para los puntos muestreados, a pesar de que parámetros como el pH, cuyos valores rondan entre 6,15 – 7,20, siendo estos límites permitidos dentro de la clase I, existe un incumplimiento en otros parámetros que no permitirían categorizar este cuerpo receptor dentro de esta categoría (por ejemplo, en el parámetro de demanda química de oxígeno, obteniendo valores que clasificarían entre la categoría 1 a 5).

Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del Agua

Para la evaluación y clasificación de los cuerpos superficiales se utilizó la Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físicoquímica del agua, esta permite asignar un código de colores asignado a cada una de las clases a partir de los parámetros: DBO, nitrógeno amoniacal y oxígeno disuelto.

Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos de estos tres parámetros, se procede a asignar una puntuación al valor, según lo establece el Decreto Ejecutivo N° 33903. El cuadro 5 muestra el puntaje asignado a cada uno de los parámetros.

Cuadro 5. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés.

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

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

Por lo tanto, tal y como se muestra en el cuadro 6, se realiza la puntuación de los valores y la sumatoria. Una vez obtenido el valor final, se categoriza según las 5 clases y cada una de ellas se representa por medio de una escala de colores que establece el grado de contaminación del cuerpo de agua superficial.

Cuadro 6. Clasificación de los puntos muestreados según el Sistema Holandés.

Época	Código	PSO (%)	Asignación de puntos del % saturación	DBO del agua para cuerpos receptores.	Asignación de puntos para DBO	N amoniacal	Asignación de puntaje N amoniacal	Sumatoria Total	Clase	Interpretación de calidad
Seca	Q.SECA1	70,50	3	32,0	5	6,46	5	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	Q.SECA1	90,20	2	20,0	5	11,21	5	12,00	4	Severa
Seca	Q.SECA2	83,40	2	15,0	5	6,16	5	12,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA2	88,20	2	31,5	5	2,55	4	11,00	4	Severa
Seca	Q.SECA3	94,90	1	10,0	4	5,55	5	10,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA3	97,50	1	13,5	4	1,50	3	8,00	3	Moderada
Seca	Q.SECA4	103,00	2	21,0	5	0,84	2	9,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA4	100,00	1	15,1	5	1,32	3	9,00	3	Moderada
Seca	R.BMDZ1	47,70	4	32,0	5	12,41	5	14,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ1	80,50	2	21,8	5	7,26	5	12,00	4	Severa
Seca	R.BMDZ2	59,00	3	28,0	5	14,48	5	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ2	82,80	2	21,8	5	6,09	5	12,00	4	Severa
Seca	R.BMDZ3	75,40	2	24,0	5	13,56	5	12,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ3	84,50	2	39,6	5	7,24	5	12,00	4	Severa
Seca	R.BMDZ4	69,80	3	120,0	5	23,32	5	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ4	63,40	3	67,9	5	7,53	5	13,00	5	Muy Severa
Seca	R.BMDZ5	81,90	2	20,0	5	16,45	5	12,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ5	89,40	2	26,6	5	8,36	5	12,00	4	Severa
Seca	R.SGD1	89,40	2	15,0	5	0,84	2	9,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD1	98,60	1	15,1	5	0,80	2	8,00	3	Moderada
Seca	R.SGD2	101,00	2	9,8	4	0,60	2	8,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD2	99,00	1	10,0	4	0,60	2	7,00	3	Moderada

Fuente: elaboración propia, 2019.

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

Tal y como se observa en los puntos: Q.SECA1, Q.SECA3, R.BMDZ1, R.BMDZ2, este presenta un grado de mayor contaminación en la época seca en comparación con la lluviosa, disminuyendo una categoría. Esto se debe a la dilución de la concentración de los contaminantes por contar con mayor volumen de agua debido a la mayor frecuencia de lluvias.

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

Cuadro 7. Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera.

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Con tratamiento simple con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para actividades destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
Actividades recreativas de contacto primario	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Acuicultura	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Generación hidroeléctrica	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones

Fuente: decreto ejecutivo N° 33903, 2007.

Cuadro 7 (Continuación). Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera.

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Riego de especies arbúreas, cereales y plantas forrajeras	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Fuente: decreto ejecutivo N° 33903, 2007.

De tal manera, analizando la categorización de los cuerpos de agua superficiales muestreados para el 2018, existe una limitante en los usos de Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo debido al grado de contaminación existente, dado que las clasificaciones se encuentran entre la 3 y la 5.

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

Quebrada Seca

En el cuadro 8 se muestra la comparación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en época seca y lluviosa, considerando el punto de entrada y de salida de este cuerpo receptor al cantón.

Cuadro 8. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2018.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO43- /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
Seca	Entrada	Q.SECA1	7,00	11,000	32	96,3	_	0,500	42,7	14,06	43,5	1079	8303	9,914	16,4
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	7,40	9,79	20,0	45,2	23,82	0,200	22,35	7,33	36,8	1060	14413	7,164	9
Seca	Salida	Q.SECA4	5,70	3,370	21	34,2	-	0,10	40,8	32,2	28,3	1106	1082	1,59	9,6
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	6,80	2,620	15,1	34,6	13,72	0,100	20,77	24,05	26,4	1592	1695	2,494	9

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

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 19 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2018.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Niquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Seca	Entrada	Q.SECA1	0,757	25,7	10,12	5,27	2	0,4	1,2	_	1250	112
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	0,276	42,1	17,4	6,43	4,8	0,04	3,3	_	440	91,5
Seca	Salida	Q.SECA4	0,382	17	14,03	3,2	2	0,4	0,9	_	53,5	15,8
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,06	23,2	23,6	4,97	2	0,04	3,4	_	100,6	38,5

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

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 8 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2018.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Seca	Entrada	Q.SECA1	3	1	0,06	0,8	12	20,8	6	70,5
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	0,1	1	0,06	0,8	2,9	22,1	7	90,2
Seca	Salida	Q.SECA4	3	1	0,06	0,8	—	22,8	7,900	103
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,1	1	0,06	0,8	2,9	25,4	7,130	100

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

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto (tanto en época seca, como lluviosa) se demuestra que existe una disminución en la carga de contaminantes presentes en Quebrada Seca desde el momento que ingresa al cantón, hasta que sale. Sin embargo, existe un aumento en las concentraciones de calcio (época seca y lluviosa) y de níquel (época lluviosa).

De tal manera, la calidad del cuerpo receptor mejora tras pasar las aguas superficiales por el cantón.

Río Bermúdez

En el cuadro 9 se muestra la comparación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en época seca y lluviosa, considerando el punto de entrada y de salida de este cuerpo receptor al cantón.

Cuadro 9. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2018.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO43- /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
Seca	Entrada	R.BMDZ4	6,40	29,900	120	117,3	56,60	3,000	36,9	3,11	43,9	142,7	29 988	4,65	21,3
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	7,20	41,60	67,9	176,6	118,72	5,000	13,51	0,48	39,1	119,3	9 675	21,48	11,6
Seca	Salida	R.BMDZ1	5,80	8,650	32	97,1	-	0,10	33,4	1,30	41,4	242,0	15 957	8,94	17,8
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	6,90	3,230	21,8	39,1	12,10	0,150	21,74	5,17	29,1	751	9 332	5,221	9

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

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 9 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2018.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Niquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Seca	Entrada	R.BMDZ4	3,93	27,4	11,46	7,77	2	0,4	1,2	—	233	153
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	0,151	33,8	20	6,77	4	0,04	3,3	—	233	176
Seca	Salida	R.BMDZ1	0,482	22,9	10,82	4,35	2	0,4	2,4	—	143,3	140
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	0,309	45	24,1	6,85	2	0,04	3,4	—	134	43,2

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

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 9 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2018.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Seca	Entrada	R.BMDZ4	3	1	0,06	0,8	8	23,3	5	69,8
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	0,1	1	0,06	0,8	5	23,5	5	63,4
Seca	Salida	R.BMDZ1	3	1	0,10	0,8	3,4	22,3	3,700	47,7
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	0,1	1	0,06	0,8	2,9	23,9	5,890	80,5

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

Fuente: elaboración propia, 2018.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto (tanto en época seca, como lluviosa) se demuestra que existe una disminución en la carga en algunos de los parámetros fisicoquímicos analizados para Río Bermúdez. Sin embargo, existe un aumento en algunos, entre ellos: cloruro (época lluviosa), nitrato (época lluviosa), nitrito (época seca y lluviosa), fósforo (época seca), sodio (época lluviosa), calcio (época lluviosa), potasio (época lluviosa), níquel (época lluviosa) y oxígeno disuelto (época seca y lluviosa).

De tal manera, la calidad del cuerpo receptor mejora tras pasar por el cantón.

Río Segundo

En el cuadro 10 se muestra la comparación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en época seca y lluviosa, considerando el punto de entrada y de salida de este cuerpo receptor al cantón.

Cuadro 10. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Segundo para el 2018.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO43- /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
Seca	Entrada	R.SGD2	6,50	2,010	10	11	-	0,10	5,43	10,68	14,40	26,5	772	2,409	12,0
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	7,50	3,31	9,80	18	10,46	0,100	4,92	8,04	15,87	41,9	768	1,769	2
Seca	Salida	R.SGD1	5,70	4,510	15	34,2	-	0,100	5,43	10,82	13,38	150,1	1081	4,20	9
Lluviosa	Salida	R.SGD1	6,60	3,090	15,1	22,8	10,94	0,150	6,26	10,42	16,02	72,5	1023	1,738	2

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

Cuadro 10 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2018.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Niquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Seca	Entrada	R.SGD2	0,06	3,1	6,01	1,2	2	0,4	0,9	—	173,8	6,23
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,02	6,5	10,55	2,21	2	0,04	0,9	—	450	19,9
Seca	Salida	R.SGD1	0,06	3,1	6,01	1,03	2	0,4	0,9	—	272	12,3
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,02	7,7	12,4	2,41	4	0,04	3,3	—	387	23,9

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

Fuente: elaboración propia, 2018

Cuadro 10 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2018.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Seca	Entrada	R.SGD2	3	1	0,06	0,8	–	19,9	7,990	99
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,1	1	0,06	0,8	6,5	21,4	7,820	101
Seca	Salida	R.SGD1	3	1	0,06	0,8	–	20,5	6,950	89,4
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,1	1	0,06	0,8	2,9	22,6	7,260	98,6

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

Fuente: elaboración propia, 2018

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto (tanto en época seca, como lluviosa) se demuestra que existe una disminución en la carga en algunos de los parámetros fisicoquímicos analizados para Río Segundo. Sin embargo, existe un aumento en algunos de ellos. Para ambas épocas: DBO, DQO, nitrato, nitrito y amonio. Además, hubo un aumento específico para los siguientes parámetros en época lluviosa: SST, SSed, cloruro, sulfato, sodio, calcio, potasio, plomo, níquel y manganeso.

Por lo tanto, tomando un análisis integral y considerando el índice holandés, la calidad de Río Segundo permanece en condiciones similares desde que ingresa al cantón y hasta que sale. No obstante, donde existe mayor contaminación es en época lluviosa dado que aumenta una mayor cantidad de parámetros fisicoquímicos.



5. Conclusiones y Recomendaciones

- La calidad del agua superficial de los tres cuerpos receptores del cantón se mantiene en una categoría entre 3 y 5, generando una limitante para el uso de este recurso para diferentes fines.
- Existe una dilución de la carga de contaminantes en Quebrada Seca producto de las lluvias en la época lluviosa, provocando una disminución en las categorías establecidas por el Índice Holandés.
- Es importante para futuros muestreos considerar la aplicación de los macroinvertebrados con el fin de obtener un índice de calidad del agua más integral.
- A pesar de que se aplica la Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del agua, es importante en el análisis complementarlo con los parámetros adicionales, con el fin de evaluar de una manera más integral la calidad de este recurso.
- Es de interés el diseñar planes de mitigación y remediación a partir de los datos obtenidos anualmente. Esto con el propósito de mejorar la calidad de los cuerpos receptores a corto, mediano y largo plazo. Así como la articulación de esfuerzos con los otros cantones.
- Según el Sistema Holandés, Río Segundo es, de los tres cuerpos receptores muestreos, el que cuenta con una menor contaminación según las clasificaciones basadas en los parámetros establecidos.
- A pesar de que el 57,14 % de los desfuegos muestreados cumplen con la legislación vigente, es importante monitorear los desfuegos considerados como ilegales, que en ocasiones, las aguas residuales no llevan ningún tipo de tratamiento y son vertidas al cuerpo receptor más cercano.

6. Bibliografía

- AirNow. (2016). Air Quality Index Basics. Recuperado el 11 de noviembre de 2019, de AirNow: <https://www.airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi>
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado, partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10.
- Calvo-Brenes, G., & Mora-Molina, J. (2015). Evaluación de la calidad de agua en los ríos Tigre y Rincón de la península de Osa en dos períodos de tiempo distintos. *Tecnología en Marcha*, 56-63.
- Centro Europeo de Posgrados. (2018). La dispersión de los contaminantes. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de CEUPE: <https://www.ceupe.com/blog/la-dispersion-de-los-contaminantes.html>
- Centro Europeo de Posgrados. (2018b). ¿Cuáles son los efectos de la contaminación atmosférica? Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de CEUPE: <https://www.ceupe.com/blog/cuales-son-los-efectos-de-la-contaminacion-atmosferica.html>
- Chiappa-Carrara, X., Enriquez, C., Mariño-Tapia, I., Badillo, M., Gallardo, A., Yañez-Arenas, C., . . . Capella, S. (2017). Monitoreo Ambiental de Largo Plazo, Herramienta para Evaluar la Resiliencia de Sistemas Costeros. 90-101.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitario. (2017). Clasificación de los contaminantes del aire ambiente. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>
- Decreto 33903-MINAE-S. (09 de marzo de 2007). Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. *Diario Oficial La Gaceta*, 178.
- Environmental Protection Agency. (2016). Basic Information about carbon monoxide (CO) outdoor air pollution. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO>
- Environmental Protection Agency. (2016b). Basic Information about NO2. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>
- Environmental Protection Agency. (2017). Effects of acid rain. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/acidrain/effects-acid-rain>
- Environmental Protection Agency. (2018). Ground-Level Ozone Basics. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics>
- Environmental Protection Agency. (2018b). Health effects of Ozone Pollution. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution>
- Environmental Protection Agency. (2018c). Particulate Matter (PM) Basics. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- Environmental Protection Agency. (2018d). Health and environmental effects of particulate matter (PM). Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>

- Environmental Protection Agency. (2019). Sulfur Dioxide Basics. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>
- European Environment Agency. (2017). Air Quality in Europe - 2017 Report. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Fernández-Labrada, M., Rodríguez-Heredía, D., García-Ulasia, I., Santana-Gómez, M., & Córdova-Rodríguez, V. (2015). Comportamiento de la contaminación orgánica de la Bahía de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 29-42.
- 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
- 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
- García-Reynoso, J. (2009). Influencia de la meteorología en la calidad del aire en la zona metropolitana del Valle de México. *Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 12(2), 83-86.
- 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. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- 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>
- Ibañez-Esquivel, G. (2012). Elaboración de un Plan de Manejo Ambiental para la Conservación de la Sub Cuenca del Río San Pablo en el Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi. Obtenido de Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca: https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Medio%20Ambiente/T-UTC-2129.pdf
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. (s.f.). Contaminación del aire y sus efectos. Recuperado el 2019 de diciembre de 11, de IDEAM: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter2.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2018). Dióxido de Nitrógeno. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de INSST: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/MIGRAR%20VARIAS/MIGRAR%20LEP%20_VALORES%20LIMITE/Doc_Toxicologica/114%20en%20adelante/DLEP%2016%20Dióxido%20de%20nitrógeno%20%20Año%202018.pdf
- Ley 5395. (noviembre de 1974). Ley General de Salud. *Diario Oficial La Gaceta*, N° 222.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (s.f.). Dióxido de azufre. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/dioxido-azufre.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (s.f.). Gases precursores de ozono troposférico. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/gases-precursores-de-ozono-troposferico.aspx>

ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/gases_precursores_ozono.aspx

Molina, F. (2016). Monitoreando la calidad del aire. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de NASA: <https://ciencia.nasa.gov/monitoreando-la-calidad-del-aire>

Organización Mundial de la Salud. (2018). Intoxicación por plomo y salud. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Contaminación del aire ambiental. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de OPS: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es

Orta-Arrazcaeta, L. (2002). Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Fitosanidad*, 6(3), 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.

Puliafito, J. (2014). Criterios para el Monitoreo del Medio Ambiente en el Oasis Norte de Mendoza y Gran Mendoza. *Revista de la Universidad de Mendoza*, 179-211.

Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. (s.f.). Monóxido de Carbono. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de PRTR: <http://www.prtr-es.es/CO-Monoxido-de-carbono,15589,11,2007.html>

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. doi: <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v8i1.306>

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.

Secretaría del Medio Ambiente. (2017). Informe de Gobierno. Ciudad de México.

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.