

Informe Anual de la Calidad Ambiental
Matriz Agua, 2015

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

Elaborado por
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Grupo Técnico Encargado de la Elaboración del Informe

Ing. Tomás Soto Murillo

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Dr. Jorge Herrera Murillo

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Bach. Jose Mario Hidalgo Lobo

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Bach. Daihan Herrera Monge

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Bach. Pablo Salas Jiménez

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Bach. Minor Vargas Rojas

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Colaboradores en trabajo de campo

Víctor Hugo Beita

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

José Ramírez

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Jorge Chavarría

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

David Solórzano

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Marlon Cruz

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Rosebel Sevilla

Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional

Contenido

Resumen Ejecutivo	3
1. Introducción.....	5
2. Marco Teórico	9
Contaminación de cuerpos de agua	10
Índices de Calidad del Agua (ICA)	11
3. Metodología.....	16
Monitoreo de cuerpos de agua superficiales	17
Análisis Químico.....	19
4. Análisis de Resultados	22
Análisis de Desfogues	23
Análisis de datos cuerpos de aguas superficiales.....	26
Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua.....	33
Quebrada Seca	40
Río Bermúdez	44
Río Segundo	48
5. Conclusiones y Recomendaciones	53
6. Bibliografía.....	56

Resumen Ejecutivo

El monitoreo ambiental es una herramienta en la planificación territorial, incorporando la variable ambiental como uno de los ejes para la toma de decisiones de los gobiernos locales. Por tal motivo, la Municipalidad de Belén desde el 2007 cuenta con un Observatorio Ambiental que establece una serie de muestreos en cuerpos de agua superficiales y calidad del aire con el fin de contar con datos objetivos en diferentes puntos de interés del cantón. Por lo tanto, para el 2015, utilizando la Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-química del Agua se obtuvo de los puntos muestreados, una clasificación de contaminación entre moderada (clasificación 3) y muy severa (clasificación 5), siendo el Río Segundo el cuerpo receptor que presenta una menor contaminación. Aunado a lo anterior el 34,4% de los desfuegos evaluados cumplen con los límites permitidos según la legislación.



1. Introducción.

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

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

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

La carencia de agua apta para consumo humano, saneamiento e higiene es uno de los principales problemas relacionados con la salud. Prácticamente la décima parte de la carga global de enfermedades podrían prevenirse mejorando la gestión del recurso hídrico (Ramírez-Arcila y Jaramillo-Peralta, 2015).

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

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

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

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

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

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



2. Marco Teórico

Contaminación de cuerpos de agua

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

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

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

Las fuentes contaminantes proceden del sector industrial, de la agricultura o de la escorrentía. Al mismo tiempo, los seres humanos hacen uso de los cuerpos de agua como medio para la eliminación de aguas residuales, degradando la calidad de los cuerpos superficiales (Gil-Marín, Vizcaino y Montaña-Mata, 2018).

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

Según Cartwright (2009, citado por Ramírez-Arcila y Jaramillo-Peralta, 2015) los contaminantes del agua se clasifican en sólidos suspendidos, orgánicos disueltos, iónicos disueltos, microorganismos y sales. Con respecto a los sólidos suspendidos, entre ellos se encuentran materiales coloidales, polvo, óxidos de metales insolubles e

hidróxidos; los orgánicos disueltos se clasifican en químicos orgánicos sintéticos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos; los iónicos disueltos se componen de metales pesados, sílice, arsénico, nitrato, cloruros y carbonatos; los microorganismos se clasifican en bacterias, virus, quistes protozoarios, hongos y algas; y algunos ejemplos de gases contaminantes son sulfuro de hidrógeno, metano, radón y dióxido de carbono.

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

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

Índices de Calidad del Agua (ICA)

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

De tal manera, la evaluación de la calidad es el proceso de valoración de las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua en relación con la calidad natural, los efectos humanos y los usos deseados. Esta se define en función de un conjunto de

parámetros fisicoquímicos o biológicos, así como de los valores de aceptación o de rechazo según se ha establecido en normas internacionales o nacionales (Zhen-Wu, 2010).

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

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

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

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

En Costa Rica, el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S (2007) Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales establece

dos metodologías oficiales: el Índice Biológico (BMWP-CR) y el Índice de Clasificación Holandés.

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

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

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

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

Asimismo, el nitrógeno amoniacal proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en el ambiente. De esta manera, determinar su valor es de alta importancia dado que el resultado obtenido permite verificar la eficiencia de las plantas

de tratamiento que vierten sus aguas a los cuerpos de agua superficiales (González, 2016).

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

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



3. Metodología

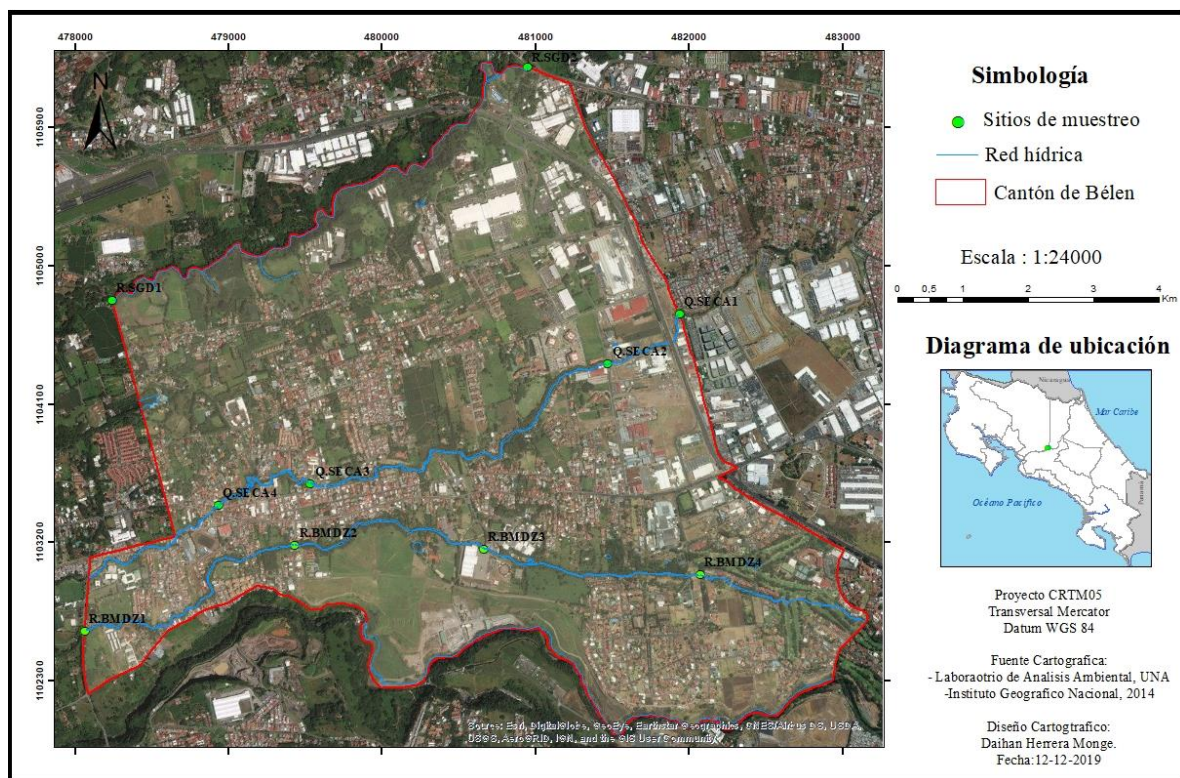
Monitoreo de cuerpos de agua superficiales

El monitoreo ambiental de la calidad de cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén está compuesto por once puntos, los cuales se encuentran ubicados en la cuenca alta, media y baja de los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Río Bermúdez. En el Cuadro 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 Pekis
	R.BMDZ3	Puente contiguo a la industria Kimberly Clark
	R.BMDZ4	Puente Los Golfistas
	R.BMDZ5	Puente ubicado en Calle Los Tilianos

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

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

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

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

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

Análisis Químico

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

Los equipos mencionados anteriormente son calibrados antes de cada muestreo, esto con el fin de tener seguridad que los datos son confiables. Adicional a esto, en el Cuadro 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	0,5 mg/l
DBO	SM 5120 B	NA
Sólidos Sedimentables	SM 2540 F	NA
Sólidos Suspendidos Totales	SM 2150 B	NA
Fósforo total	SM 4500 P	0,4 mg/l
Nitrógeno total	Hach Company 10072	4,0 mg/l
SAAM	SM 5540 A	0,02 mg/l
Nitrato	SM 4110 B	0,09 mg/l
Nitrito	SM 4500 NO ₂ ⁻	2 µg/l

Fuente: elaboración propia.

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

Variable	Método	Límite de detección
Cloruro	SM 4110 B	0,2 mg/l
Sulfato	SM 4110 B	0,3 mg/l
Amonio	SM 4500 NH ₄	4 µg/l
Aluminio	SM 3113 B	0,9 µg/l
Arsénico	SM 3113 B	1 µg/l
Cadmio	SM 3113 B	0,8 µg/l
Calcio	SM 3113 B	0,01 mg/l
Cobre	SM 3113 B	0,4 µg/l
Cromo	SM 3113 B	3 µg/l
Manganeso	SM 3113 B	2 µg/l
Níquel	SM 3113 B	0,9 µg/l
Potasio	SM 3113 B	0,1 mg/l
Plomo	SM 3113 B	2 µg/l
Sodio	SM 3113 B	0,02 mg/l
Zinc	SM 3113 B	0,06 mg/l
Hidrocarburos	SM 5520 B	2,9 mg/l
Oxígeno disuelto	Método 4500 O-C	-
% Saturación	Método 4500 O-C	-
Temperatura	SM 2550	-

Fuente: elaboración propia.



4. Análisis de Resultados

Análisis 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 2015, se realizó el muestreo de 11 desfogues. En el Cuadro 3 se observan los resultados de cada uno de los parámetros analizados.

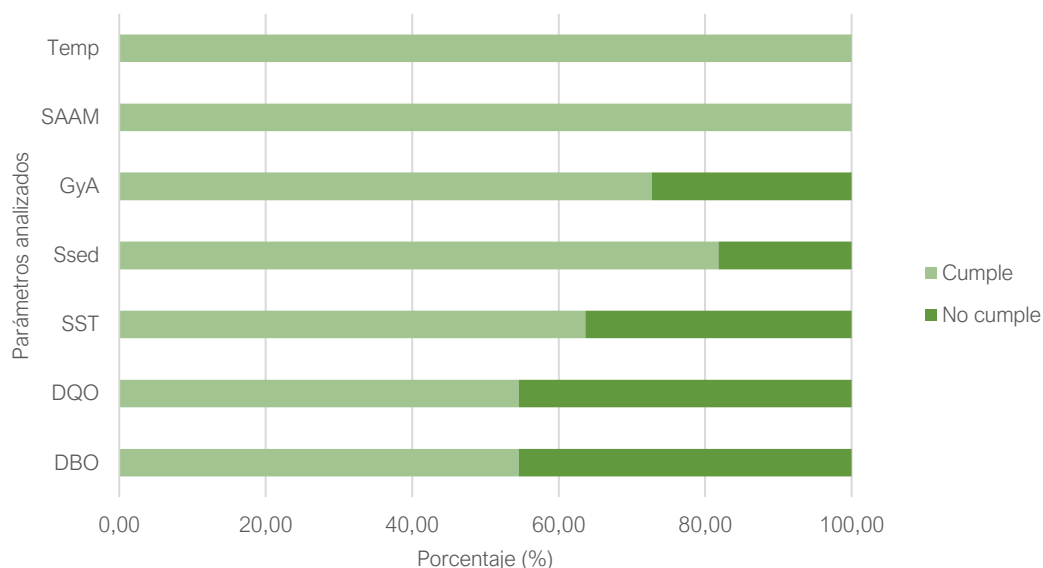
Cuadro 3. Resultado de los análisis de los desfuegos muestreados en el cantón de Belén.

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

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

Fuente: elaboración propia

En la Figura 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 N°33601.

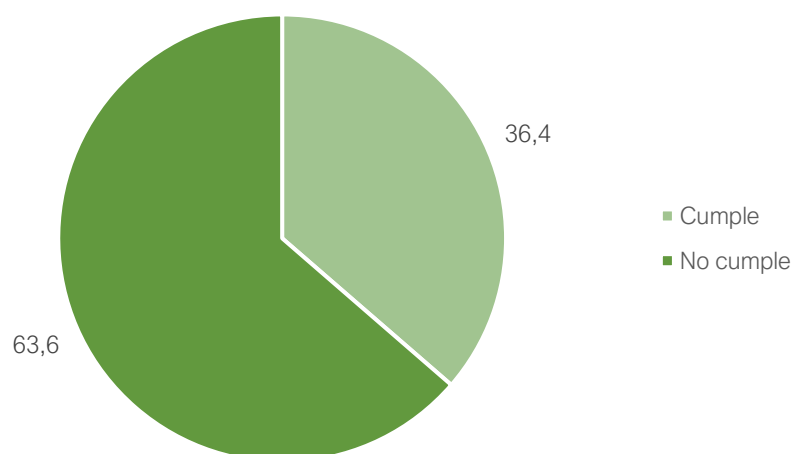


Fuente: elaboración propia.

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

Tal y como se observa en la Figura 2, lo que respecta a los parámetros de temperatura y Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), la totalidad de los desfogues cumplen con los valores establecidos por el reglamento. No obstante, en DBO, el 45,45 % no cumplió; en DQO el 45,45 % no cumplió; en Sólidos Suspendidos Totales (SST) el 36,36 % no cumplió; en Sólidos Sedimentables (SSed) el 18,18 % no cumplió y Grasas y Aceites, el 27,27 % no cumplió.

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



Fuente: elaboración propia, 2019.

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

Considerando el análisis integral de los parámetros universales establecidos por el reglamento, con tan solo que uno de los valores supere los límites máximos permitidos, categoriza el desfogue en la categoría de incumplimiento. Por lo tanto, de los 11 puntos muestreados, el 36,4 % cumple con la normativa, mientras que el 63,6 % incumple.

Análisis de datos cuerpos de aguas superficiales

El monitoreo ambiental de la calidad de cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén está compuesto por once puntos, los cuales se encuentran ubicados en la cuenca alta, media y baja de los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Bermúdez. Para ello se realizaron los análisis de los parámetros fisicoquímicos para la clasificación inicial del cuerpo receptor y adicional a esto se realizaron análisis de parámetros complementarios establecidos por el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S (Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales). 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 2015.

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

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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 4 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

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

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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 4 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Q.SECA1	1,42 (1,16)	41,17 (12,97)	18,80 (2,14)	15,07 (4,13)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,36 (2,04)	4,54 (4,82)	355,79 (464,97)	74,35 (78,23)
Q.SECA2	0,84 (0,62)	46,49 (12,38)	26,19 (12,24)	16,03 (6,01)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,35 (2,06)	4,54 (2,82)	704,18 (862,93)	81,36 (89,33)
Q.SECA3	0,61 (0,27)	40,68 (21,20)	23,77 (2,40)	13,03 (3,78)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,39 (1,98)	4,54 (4,82)	129,11 (139,92)	57,02 (61,36)
Q.SECA4	0,62 (0,29)	30,48 (9,60)	23,78 (3,85)	13,11 (4,06)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,33 (2,08)	4,54 (4,82)	124,79 (181,46)	33,68 (33,98)
R.BMDZ1	0,95 (0,43)	60,19 (48,74)	26,85 (12,50)	20,93 (5,75)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,39 (1,99)	4,54 (4,82)	393,30 (348,12)	215,38 (233,73)
R.BMDZ2	0,60 (0,45)	42,10 (21,35)	19,35 (2,60)	17,11 (8,03)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	16,67 (26,31)	4,54 (4,82)	111,50 (191,82)	161,37 (270,79)

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

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
R.BMDZ3	1,61 (0,72)	58,99 (37,83)	26,72 (12,50)	22,20 (6,56)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	3,39 (3,43)	4,54 (4,82)	197,53 (175,65)	264,38 (267,49)
R.BMDZ4	2,26 (0,87)	63,74 (45,97)	28,13 (15,70)	20,31 (6,68)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,36 (2,04)	4,54 (4,82)	781,30 (772,67)	211,39 (221,56)
R.BMDZ5	1,59 (0,27)	59,22 (35,75)	25,83 (10,08)	21,67 (5,50)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,34 (2,08)	4,54 (4,82)	841,10 (989,29)	222,05 (204,52)
R.SGD1	0,17 (0,12)	14,41 (3,84)	10,75 (3,79)	5,85 (3,34)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	2,33 (2,08)	4,54 (4,82)	1387,83 (1654,64)	48,36 (53,58)
R.SGD2	0,18 (0,11)	6,38 (0,53)	8,62 (3,50)	5,15 (2,21)	3,67 (4,72)	0,24 (0,40)	3,00 (3,00)	4,54 (4,82)	603,59 (543,60)	20,02 (17,41)

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

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Q.SECA1	5,34 (4,72)	2,00 (2,64)	27,02 (46,75)	2,33 (2,52)	2,00 (-)	26,73 (3,00)	4,82 (0,92)	59,43 (13,15)
Q.SECA2	5,00 (4,35)	2,00 (2,64)	44,74 (77,30)	4,00 (5,29)	12,00 (17,32)	27,73 (2,78)	5,08 (0,92)	59,47 (6,69)
Q.SECA3	4,00 (3,60)	2,00 (2,64)	20,04 (34,61)	4,70 (6,39)	2,00 (-)	27,10 (3,27)	6,31 (0,24)	76,70 (6,60)
Q.SECA4	4,67 (4,04)	2,00 (2,64)	21,07 (36,31)	4,00 (5,29)	2,00 (-)	29,20 (2,19)	6,74 (0,60)	79,67 (11,15)
R.BMDZ1	9,34 (10,69)	2,00 (2,64)	28,40 (49,01)	58,33 (99,31)	3,00 (1,73)	27,43 (3,65)	4,48 (3,36)	53,33 (39,23)
R.BMDZ2	9,34 (10,69)	2,00 (2,64)	7,40 (12,64)	35,00 (58,90)	3,00 (1,73)	26,87 (3,54)	2,99 (2,92)	36,40 (36,40)

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

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2015.

Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
R.BMDZ3	3,67 (3,51)	2,00 (2,64)	33,07 (57,10)	62,67 (106,81)	10,00 (12,17)	27,27 (4,46)	3,42 (2,55)	41,67 (32,87)
R.BMDZ4	3,34 (3,51)	2,67 (2,51)	50,74 (87,70)	4,33 (5,86)	4,00 (3,46)	25,30 (0,95)	1,36 (1,11)	16,03 (12,95)
R.BMDZ5	3,67 (3,51)	2,00 (2,64)	62,75 (108,47)	56,00 (95,27)	2,00 (-)	27,17 (4,03)	2,57 (2,65)	32,53 (35,03)
R.SGD1	10,00 (11,79)	2,00 (2,64)	19,04 (32,87)	90,00 (154,16)	4,67 (4,62)	23,77 (2,89)	6,42 (0,61)	78,73 (12,51)
R.SGD2	9,67 (11,24)	3,34 (4,93)	17,71 (30,56)	87,67 (150,11)	2,67 (1,15)	24,80 (4,33)	7,39 (0,31)	89,93 (7,06)

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

Fuente: elaboración propia.

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

De tal manera, para los puntos muestreados, a pesar de que parámetros como el pH, cuyos valores rondan entre 6,92 – 7,70, siendo estos límites permitidos dentro de la clase I, existe un incumplimiento en otros parámetros que no permitirían categorizar este cuerpo receptor dentro de esta categoría, por ejemplo, en el parámetro de demanda química de oxígeno, obteniendo valores que clasificarían en la categoría 4.

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

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

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

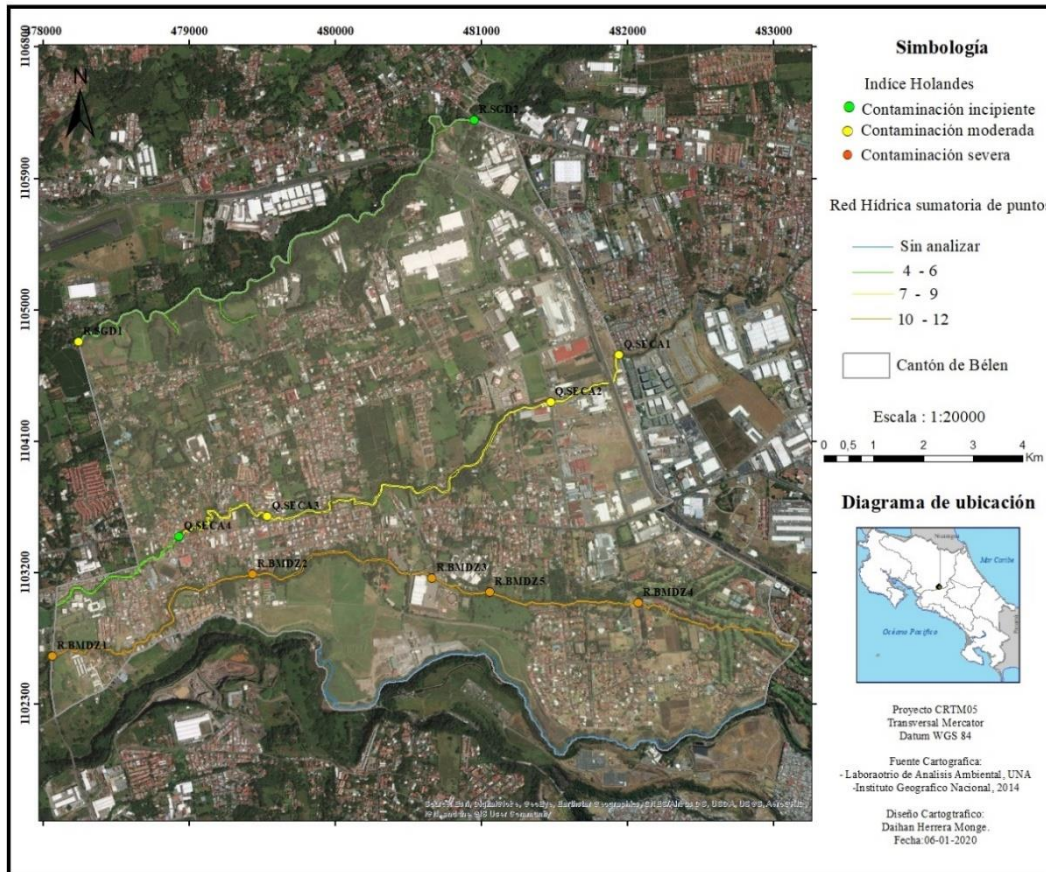
Cuadro 6. Clasificación de los puntos muestreados según el Sistema Holandés.

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

Fuente: elaboración propia

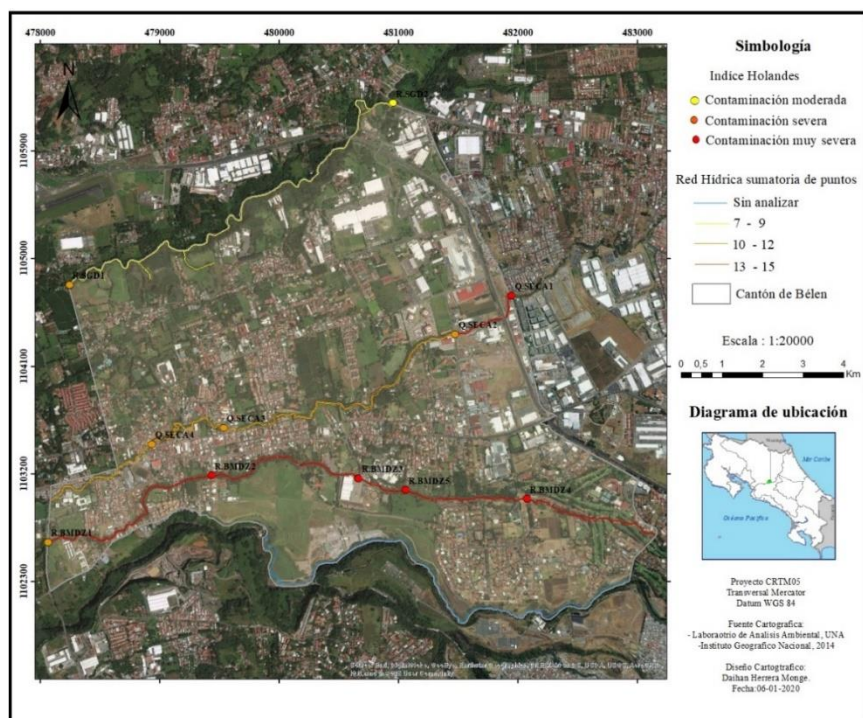
Del cuadro anterior es importante mencionar que se realiza una clasificación por cada uno de los puntos de muestreo en las tres campañas. Esto quiere decir que existe una categorización para el mismo punto, tanto en época de transición y dos resultados en época lluviosa. Esto con el fin de determinar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

Aunado a lo anterior, en las Figura 4, 5 y 6 se muestra la interpretación de la calidad del agua según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua.



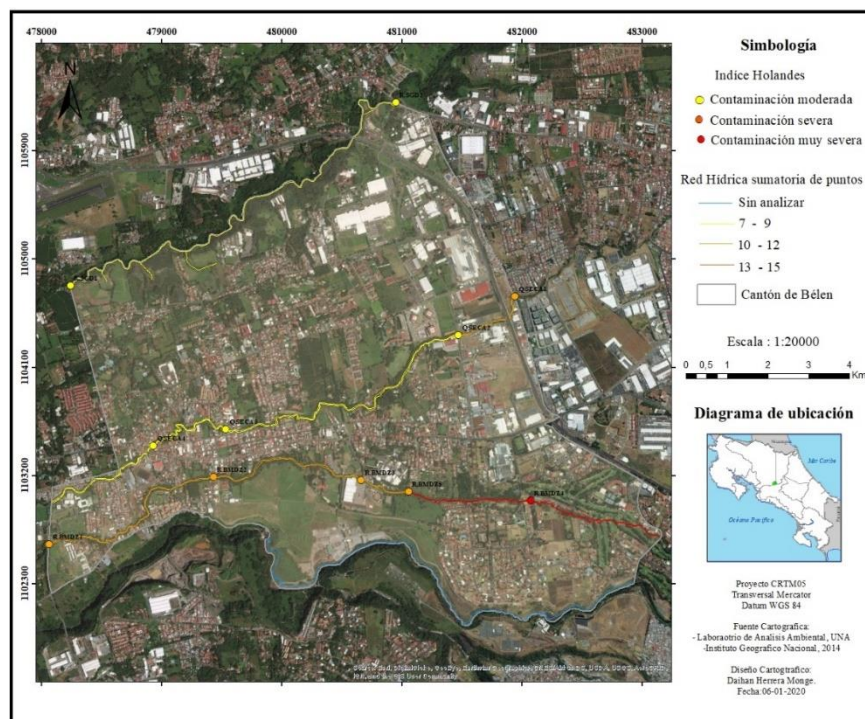
Fuente: elaboración propia

Figura 4. Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de junio de 2015.



Fuente: elaboración propia

Figura 5. Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de agosto de 2015.



Fuente: elaboración propia

Figura 6. Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de octubre de 2015.

Tal y como se observa en el cuadro y las figuras anteriores, existe un cambio en el grado de contaminación en los tres cuerpos receptores durante las tres campañas de muestreo. De tal manera, existe un menor grado de contaminación en los tres ríos en la época de transición, seguidamente hubo un aumento en la carga contaminante para la siguiente campaña, la cual fue realizada en agosto y finalmente el nivel de contaminación disminuyó nuevamente en la tercera campaña (realizada en octubre). Esta última reducción puede deberse al proceso de dilución debido al incremento en la frecuencia e intensidad de las lluvias, aumentando el caudal de los cuerpos receptores y, por ende, las concentraciones de los contaminantes disminuir por haber aumentado el volumen del cuerpo de agua.

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

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
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
Actividades recreativas de contacto primario	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Acuicultura	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Generación hidroeléctrica	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones
Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable

Fuente: decreto ejecutivo N° 33903, 2007.

Cuadro 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 plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Fuente: decreto ejecutivo N° 33903, 2007.

De tal manera, analizando la categorización de los cuerpos de agua superficiales muestreados para el 2015, existe una limitante en los usos de Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo debido al grado de contaminación existente, dado que las clasificaciones se encuentran entre la 3 y la 5 (y en época de transición, específicamente para los puntos R.SGD2 y Q.SECA4, la categoría fue de 2).

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

Quebrada Seca

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

Cuadro 8. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2015.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SSed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO ₄ ³⁻ /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Transición	1Entrada	Q.SECA1	7,43	10,2	0,1	65	9,7	0,3	29	4	32	1612	282	32	12
Transición	1Salida	Q.SECA4	8,21	5	10	28	0,8	0,1	36	18	35	3896	370	14	10
Lluviosa	2Entrada	Q.SECA1	7,92	30,6	28	193	25,2	0,1	36,9	0,52	36,04	1135	6934	78,6	18
Lluviosa	2Salida	Q.SECA4	7,33	15,3	10	83	4,9	0,1	31,8	0,52	26,73	1543	1428	31,16	18
Lluviosa	3Entrada	Q.SECA1	6,52	6,94	20	55,4	8,2	0,1	22,8	14,7	43,2	963	1336	4,2	19
Lluviosa	3Salida	Q.SECA4	7,33	5,76	17	44,9	10,5	2	24,1	21,6	34,2	931	671	1,9	2

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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 8 (Continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2015.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Transición	Entrada	Q.SECA1	0,6	54	18	10,4	2	0,7	4	4	185	67
Transición	Salida	Q.SECA4	0,6	37	26	9,4	2	0,7	4	4	41	33
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	0,91	41,454	21,23	18,23	9	0,0039	3	9,6	882	156
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,33	34,99	26	17,45	9	0,0039	3	9,6	333	68
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	2,743	28,06	17,18	16,57	0,009	0,0039	0,072	0,0096	0,356	0,06
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,918	19,46	19,34	12,47	0,009	0,0039	0,003	0,0096	0,366	0,052

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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 8 (Continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2015.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Transición	Entrada	Q.SECA1	9	1	0,06	5	2	25	3,87	49
Transición	Salida	Q.SECA4	7	1	0,06	10	2	27,6	7,39	92
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	7	5	81	2	d	25	4,89	55,1
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	7	5	63	2	2	28,3	6,2	70,3
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	0,007	0,005	0,005	0,002	2	30,2	5,7	74,2
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,007	0,005	0,161	0,002	2	31,7	6,62	76,7

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

Fuente: elaboración propia

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto en la época de transición hubo un aumento en los parámetros: pH, DBO, cloruro, nitrato, sulfato, nitrito, amonio, calcio, cadmio, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una disminución en: turbiedad, DQO, SST, SSed, fósforo total, nitrógeno, potasio, aluminio, manganeso y cromo.

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

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

Río Bermúdez

En el Cuadro 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 2015.

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

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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 9 (Continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2015.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Transición	Entrada	R.BMDZ4	2,5	116	46	15	2	0,7	4	4	1546	442
Transición	Salida	R.BMDZ1	0,7	116	41	24	2	0,7	4	4	514	464
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	2,99	45,71	21,82	27,81	9	0,0039	3	9,6	797	192
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	0,71	38,61	22,26	24,49	9	0,0039	3	9,6	665	182
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	1,298	29,52	16,57	18,11	0,009	0,0039	0,079	0,0096	0,908	0,156
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	1,442	25,96	17,3	14,3	0,009	0,0039	0,159	0,0096	0,892	0,135

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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 9 (Continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2015.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Transición	Entrada	R.BMDZ4	3	3	0,06	11	2	25,4	0,52	6,6
Transición	Salida	R.BMDZ1	21	1	0,06	173	2	25,9	0,72	9,1
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	7	5	152	2	2	24,3	0,93	10,7
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	7	5	85	2	5	24,8	7,18	83,9
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	0,007	0,005	0,15	0,002	8	26,2	2,62	30,8
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	0,007	0,005	0,15	0,002	2	31,6	5,54	67

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

Fuente: elaboración propia

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto en la época de transición hubo un aumento en los parámetros: pH, fósforo total, potasio, manganeso, cromo, cadmio, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera que hubo una disminución en: turbiedad, DBO, DQO, SST, sulfato, nitrito, amonio, nitrógeno, SAAM, calcio y arsénico.

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

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

Río Segundo

En el cuadro 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 2015.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SSed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO ₄ ³⁻ /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Transición	Entrada	R.SGD2	7,31	8,8	0,1	55	16,9	0,3	5	4	12	36	40	2	6
Transición	Salida	R.SGD1	7,93	11,4	0,1	85	21,3	0,5	8	4	10,3	108	62	24	6
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	8,14	6,57	16	93	17,3	0,1	6,5	0,52	24,64	51	211	33,84	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	7,88	65,7	66	213	90,3	3,25	16,3	0,52	22,47	304	2401	31,16	9
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	6,78	9,93	10	23,9	13,1	0,7	6,4	6,1	31,8	41	79	2,5	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	7,3	14,7	17	44,9	13,8	1,5	22,59	9,5	33,1	98	235	31,16	2

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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 10 (Continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Segundo para el 2015.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Níquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Transición	Entrada	R.SGD2	0,3	6,4	4,58	2,7	2	0,7	6	4	750	28
Transición	Salida	R.SGD1	0,3	10	6,4	3,2	2	0,7	4	4	941	39
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,16	6,899	10,79	5,745	9	0,0039	3	9,6	1059	32
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,16	17,03	13,31	4,745	9	0,0039	3	9,6	3220	106
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,087	5,844	10,5	7	0,009	0,0039	0,003	0,0096	1,784	0,048
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,06	16,19	12,54	9,596	0,009	0,0039	0,003	0,0096	2,48	0,081

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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 10 (Continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Segundo para el 2015.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Transición	Entrada	R.SGD2	22	1	0,06	261	2	22,1	7,61	98
Transición	Salida	R.SGD1	23	1	0,06	268	2	22,2	6,95	88
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	7	9	53	2	4	22,5	7,53	84,9
Lluviosa	Salida	R.SGD1	7	5	57	2	10	22	5,75	64,5
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,007	0,005	0,063	0,002	2	29,8	7,04	86,9
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,007	0,005	0,069	0,002	2	27,1	6,57	83,7

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

Fuente: elaboración propia

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

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

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



5. Conclusiones y Recomendaciones

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

- Es de interés el diseñar planes de mitigación y remediación a partir de los datos obtenidos anualmente. Esto con el propósito de mejorar la calidad de los cuerpos receptores a corto, mediano y largo plazo. Así como la articulación de esfuerzos con los otros cantones.

6. Bibliografía.

Agirre, A ; Sánchez, L ; Menéndez, M. (2006). ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PM10 Y PM2.5 EN UN ÁREA URBANA CON INFLUENCIA INDUSTRIAL SIDEROMETALÚRGICA (BEASAIN, GUIPÚZCOA).

Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, B., Suatunce, P., Díaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Ciencia UNEMI*, 9(20), 109-117.

Briceño; Herrera; Solórzano; Beita; Rojas. (2014). Calidad del aire de la Región Metropolitana de Costa Rica.

Carnicer. (2011). Módulo I: Contaminación Ambiental. http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases_Atmosfera/claseX_contamaire.pdf.

CEMCAQ. (2019). Centro de Monitoreo y Calidad del Aire del estado de Queretaro. Obtenido de <http://www.cemcaq.mx/contaminacion/bioxido-de-nitrogeno-no2>

Decreto Ejecutivo N° 39951-S. (noviembre de 2016). Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio.

Echeverri ; Maya. (2008). RELACIÓN ENTRE LAS PARTÍCULAS FINAS (PM2.5) Y RESPIRABLES (PM10) EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.

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

Gil-Marín, J., Vizcaino, C., & Montaña-Mata, N. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos*, 79(1), 111-119. doi:<http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>

González-Pérez, E., Ortega-Escobar, H., Yáñez-Morales, M., & Rodríguez-Guillén, A. (2019). Diagnóstico de indicadores de calidad físico-química del agua en afluentes del río Atoyac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(1), 30-51. doi:10.24850/j-tyca-2019-01-02

González, L. (2016). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. Obtenido de Portal de Revistas Académicas de la Universidad Tecnológica de Panamá: <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/viewFile/334/pdf>

Gutierrez, V., & Medrano, N. (2017). Análisis de la Calidad del Agua y Factores de Contaminación Ambiental en el Lago San Jacinto de Tarija. *Ventana Científica*, 8(13), 13-19.

Hernández, Y., López, D., & Moya, F. (2019). Monitoreo ambiental como herramienta para el seguimiento continuo previsto en la evaluación de impacto ambiental. *Espacios*, 40(03), 17-24.

Mogrovejo, F. (2015). EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CALIDAD DEL AIRE DEL VALLE DE TOLUCA DURANTE LOS AÑOS 2000 – 2013”. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22410/1/TESIS.pdf>.

NOW, A. (2016). Fundamentos del índice de la calidad del aire (AQI). https://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi_sp.

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

Quiroz-Fernández, L., Izquierdo-Kulich, E., & Menéndez-Gutiérrez, C. (2017). Aplicación del Índice de Calidad de Agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXVIII(3), 41-51.

Ramírez-Arcila, H., & Jaramillo-Peralta, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. doi:<http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>

Romero, M. (2016). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 5.

Sanchez, J., Ramirez, J., Huertas, J., & Cervantes, G. (2015). "EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA DURANTE LOS AÑOS 2000 – 2013". <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22410/1/TESIS.pdf>.

Simanca, M., Álvarez, B., & Paternina, R. (2010). Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el Municipio de Montería. *Temas Agrarios*, 15(1), 71-83.

Simbaña, K., Farinango, Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G., Benavides, D., & Navarrete, H. (2019). Evaluación de la calidad del agua del Río Pita (Ecuador), implicación para la conservación de la vida acuática y silvestre. *infoANALÍTICA*, 7(2), 71-93.

Valdés-García, C. (2019). Contaminación ambiental. *Avances*, 138.

Zhen-Wu, B. (2010). Índices de calidad del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica (2007-2008). *Cuadernos de Investigación UNED*, 45-61.