The background of the page is a light, pale green color. On the left and top edges, there are several dark green, heart-shaped leaves with prominent veins, some overlapping each other. The leaves are set against a lighter, almost white background, creating a natural, organic feel.

## Informe Anual de Calidad Ambiental Matriz Agua, 2016

“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”

### Grupo Técnico Encargado de la Elaboración del Informe

Ing. Tomás Soto Murillo	Dr. Jorge Herrera Murillo
Laboratorio de Análisis Ambiental	Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional	Universidad Nacional
Bach. Jose Mario Hidalgo Lobo	Bach. Daihan Herrera Monge
Laboratorio de Análisis Ambiental	Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional	Universidad Nacional
Bach. Pablo Salas Jiménez	Bach. Minor Vargas Rojas
Laboratorio de Análisis Ambiental	Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional	Universidad Nacional

### Colaboradores en trabajo de campo

Víctor Hugo Beita	José Ramírez
Laboratorio de Análisis Ambiental	Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional	Universidad Nacional
Jorge Chavarría	David Solórzano
Laboratorio de Análisis Ambiental	Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional	Universidad Nacional
Marlon Cruz	Rosebel Sevilla
Laboratorio de Análisis Ambiental	Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional	Universidad Nacional

## Contenido

Resumen Ejecutivo .....	4
1. Introducción. ....	6
2. Marco Teórico .....	10
Contaminación de cuerpos de agua e índice de calidad del aire (ICA).....	11
3. Metodología.....	15
Monitoreo de cuerpos de agua superficiales .....	16
Análisis Químico.....	18
4. Análisis de Resultados .....	21
Análisis de Desfogues .....	22
Análisis de datos cuerpos de aguas superficiales.....	26
Metodología del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua .....	34
Quebrada Seca.....	41
Río Bermúdez .....	45
Río Segundo .....	49
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 2016, 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 incipiente (clasificación 2) y muy severa (clasificación 5), presentando el Río Segundo un grado de contaminación incipiente en una época del año. Aunado a lo anterior el 27,8% de los desfogues evaluados cumplen con los límites permitidos según la legislación.



# 1. Introducción.

El crecimiento económico y la globalización han originado evidentes beneficios para la sociedad, pero al mismo tiempo han provocado la aparición de nuevas amenazas, entre ellas, la contaminación ambiental (Vargas-Marcos, 2005). Se entiende por contaminación la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones que afectan el bienestar y la salud de las personas, así como el uso de estos recursos. Estos contaminantes pasan fácilmente de un medio a otro, complicando la solución ante esta problemática (Encinas-Malagón, 2011).

Existen diferentes tipos de contaminación, entre ellas: contaminación del agua, contaminación del aire, contaminación del suelo, contaminación lumínica, contaminación sonora y contaminación visual. Entre las alteraciones en el ambiente más graves relacionadas con los fenómenos de contaminación son: escapes radiactivos, smog, efecto invernadero, lluvia ácida y eutrofización de las aguas (Bermúdez, 2010).

Por su parte, los aportes de contaminación al agua superficial provocan la evolución y el deterioro de la calidad de un cuerpo de agua. Los contaminantes relacionados pueden clasificarse como fuente puntual y fuente no puntual. La contaminación de fuentes puntuales es relativamente fácil de ajustar y controlar porque es fácil controlar su concentración y flujo. Por el contrario, las fuentes no puntuales provienen de extensas áreas de tierra y pueden ser transportadas por tierra, bajo tierra o incluso a través de la atmósfera a los cuerpos de agua receptores, lo que dificulta su medición y control. La contaminación de fuentes no puntuales, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), ha provocado un aporte excesivo de nutrientes y una disminución de la calidad del agua superficial (Lui *et al.*2020).

Por esta razón, en la actualidad, no es seguro el agua proveniente de las fuentes superficiales naturales o subterráneas, lo que implica que estas sean tratadas antes de que sean aptos para el consumo humano (Gil-Marín, Vizcaino y Montaña-Mata, 2018). Además, como lo indica la OMS (2019), el agua contaminada está relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, lo que evidencia que su mala gestión expone a la población a riesgos prevenibles para su salud.

Por lo tanto, ante esta crisis ambiental a la que se enfrenta los diferentes países debido a la contaminación y el agotamiento de los recursos naturales, surge la necesidad en las autoridades ambientales en desarrollar políticas para mejorar la situación (Rodríguez-Miranda et al, 2016).

Como resultado, se debe de brindar un adecuado control en búsqueda de la reducción del grado de contaminación ambiental por medio de un monitoreo ambiental, permitiendo evaluar objetivamente el impacto con el fin de analizar los cambios a partir de un plan de acción para la mitigación y remediación ambiental (Puliafito, 2014). Los planes de monitoreo ambiental son un instrumento que permiten conocer las tendencias de las diferentes variables ambientales de interés para identificar los límites de resiliencia, estabilidad o cambios de estado en las diferentes matrices ambientales a analizar (Chiappa-Carrara, y otros, 2017).

Por lo tanto, para la formulación de un Plan Estratégico de Gestión ambiental es vital considerar los resultados obtenidos a partir del monitoreo ambiental. Este plan es un instrumento que permite orientar las acciones y criterios hacia la mejora de la calidad ambiental en el territorio a través de los plazos definidos (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

## Contaminación de cuerpos de agua e índice de calidad del aire (ICA)

Los cuerpos de agua (tanto superficiales como subterráneas) son vulnerables a diversas fuentes de contaminación por sustancias químicas y microorganismos, ya sean de origen natural o por la intervención de los seres humanos debido a las actividades productivas que desarrollan (Zhen-Wu, 2010).

Los principales contaminantes del recurso hídrico son: bacterias, hongos, virus, parásitos y sustancias químicas. Dentro de las sustancias químicas, las de mayor riesgo son: metales pesados, sustancias radiactivas, plaguicidas, fertilizantes, derivados del petróleo, jabones, drogas lícitas e ilícitas, entre otros (Gómez-Duarte, 2018).

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

Las aguas contaminadas al entrar en contacto con el ser humano son responsables de provocar diferentes tipos de enfermedades agudas y crónicas (Baque-Mite et al., 2016). Adicional a esto, la contaminación altera la flora y fauna existente, superando en la mayoría de los casos la capacidad de autodepuración del sistema hídrico (Simbaña et al., 2019).

Por lo tanto, debido a la complejidad de la variedad de agentes contaminantes que afectan la calidad del recurso hídrico, es que se han creado diferentes modelos de Índices de Calidad del Agua (ICA) para la evaluación de la calidad del agua (Rodríguez-Miranda et al, 2016).

El ICA es un número que atribuye un valor cualitativo a un conjunto de parámetros medidos y que fueron agregados de manera matemática. Dicho de otra manera, es un número que expresa la calidad de un cuerpo de agua considerando una serie de factores, permitiendo la rápida interpretación y análisis de la tendencia a lo largo del espacio y el tiempo (García-Quevedo, 2012).

Por ende, la evaluación de la calidad de agua es un proceso continuo de las condiciones físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico en relación con la calidad natural, los impactos humanos y los usos deseados. La evaluación se define en función de un conjunto de parámetros fisicoquímicos o biológicos que se comparan con normas internacionales o nacionales (Zhen-Wu, 2010). De esta manera, las instituciones toman en cuenta modelos de ICA existentes y los adaptan según las necesidades específicas de cada contexto.

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 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.

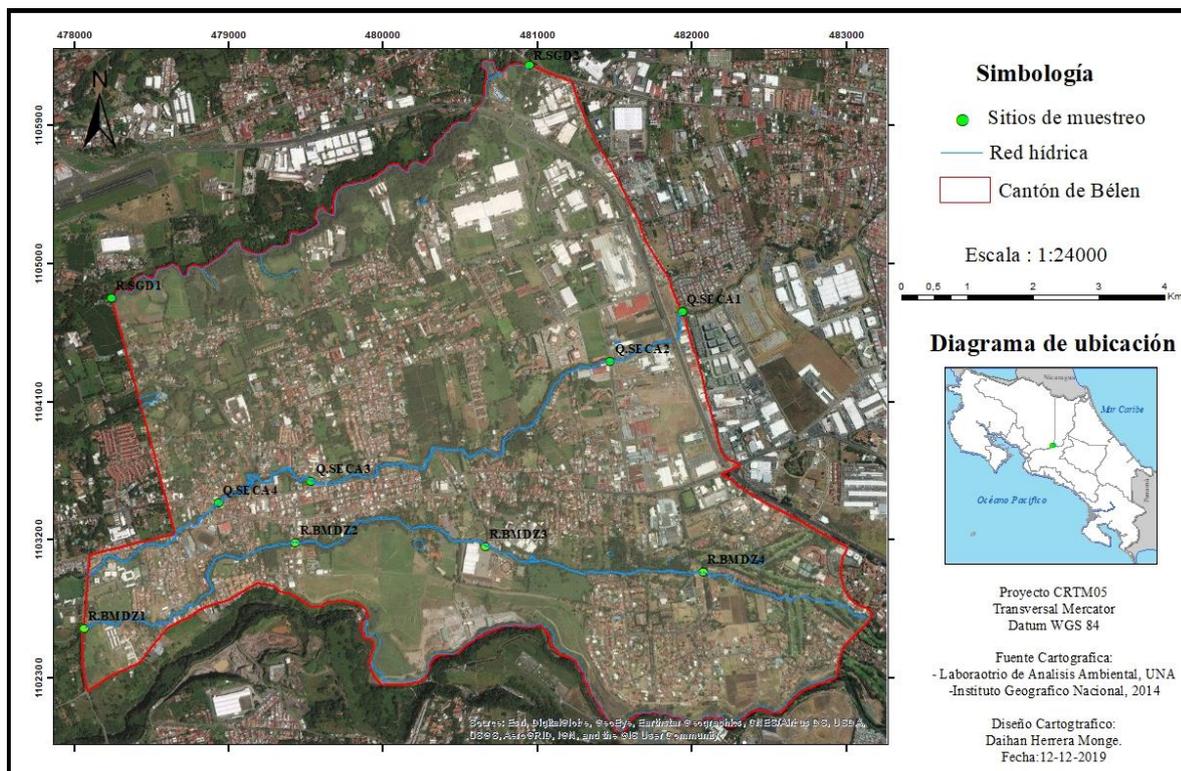
Nombre del cuerpo de agua	Código mapa	Descripción del sitio de muestreo
Quebrada Seca	Q.SECA1	Puente localizado frente a la empresa HP en Zona Franca American Free Zone
	Q.SECA2	Puente localizado contiguo a la empresa UNILEVER
	Q.SECA3	Puente localizado contiguo a la industria Rodillos Industriales, 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

Fuente: elaboración propia

Cuadro 1 (Continuación). 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
	R.BMDZ1	Puente Radial
	R.BMDZ2	Puente Pekis
Bermúdez	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 2016 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

Fuente: elaboración propia

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

Variable	Método	Límite de detección
SAAM	SM 5540 A	0,2 mg/l
Nitrato	SM 4110 B	0,09 mg/l
Nitrito	SM 4500 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	2 µg/l
Cloruro	SM 4110 B	0,2 mg/l
Sulfato	SM 4110 B	0,3 mg/l
Amonio	SM 4500 NH <sub>4</sub>	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 desfuegos son aquellas obras que transportan las aguas residuales una vez tratadas a un cauce de flujo permanente, por ejemplo, un río. Por tal motivo, es importante realizar los análisis respectivos con el fin de verificar que las aguas vertidas no superan los límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorios establecidos en el Decreto Ejecutivo N° 33601 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Para el año 2016, se realizó el muestreo de 18 desfuegos. 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	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	San Antonio	Sitio Final del sistema de tratamiento	7,26	10	77	51,56	2	2	1,66	25,28
Ente 2	San Antonio	Punto de salida aguas residuales	6,88	106	822	342,12	100	44	0,73	30,26
	San Antonio	Punto de salida aguas residuales	7,56	10	156	155,36	5	39	0,19	25,36
Ente 3	San Antonio	Salida de la planta de tratamiento	6,5	10	20,7	16	0,43	2	0,26	26,1
Ente 4	San Antonio	PTAR	6,1	10	60	9,88	0,1	2,9	0,21	27,4
Ente 5	La Ribera	Desfogue a Quebrada Seca	6,71	20	50	18	0,1	2	1,29	27,7
Ente 6	La Ribera	Desfogue a Río Segundo	7,584	23,7	39,6	42	0,1	23	0,14	24,64
Ente 7	San Antonio	-	6,27	163	256	41,36	0,1	22	0,504	34,4
	San Antonio	Alcantarilla	9,59	112	303	123,65	0,1	77	8,97	37,3
	San Antonio	-	8,03	510	643	113,1	0,1	16	0,265	28,1
Ente 8	La Ribera	Desfogue PTAR	5,98	150	182	36	0,1	73	14,6	26
Ente 9	La Ribera	Desfogue al Río Segundo	7,61	144	174,1	48	0,1	27	0,14	32,96

Fuente: Elaboración propia

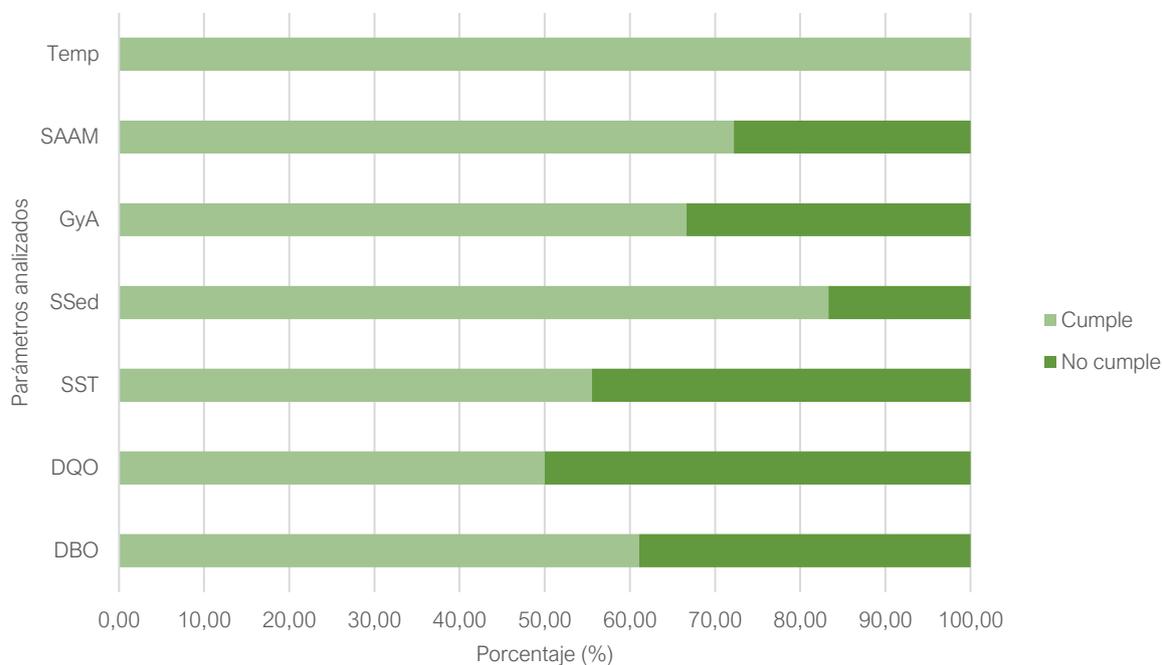
**Cuadro 3 (Continuación).** Resultado de los análisis de los desfogues muestreados en el cantón de Belén.

Ente	Ubicación	Descripción	pH (25 °C)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Grasas y Aceites (mg/l)	SAAM (mg/l)	Temperatura (°C)
Ente 10	La Ribera	PTAR	6,6	10	60	82,02	0,1	5	0,17	22,3
	La Ribera	Tubo de aspersión	6,76	250	274,2	208	3	31	0,17	24,8
Ente 11	Asunción	Salida hacia Quebrada Seca	6,79	77	400,5	60	0,3	50	0,59	27,8
Ente 12	Asunción	Sitio de Salida del sistema de tratamiento	7,04	25	60	26,06	0,86	2	0,14	27,6
Ente 13	San Antonio	Punto de desfogue sistema de tratamiento municipal	6,86	19	45	23,46	0,1	2	0,37	26,6
Ente 14	San Antonio	Salida del sistema de tratamiento de la planta de tratamiento municipal	7,09	37	82	41,44	0,1	2	2,78	28,1

\*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.

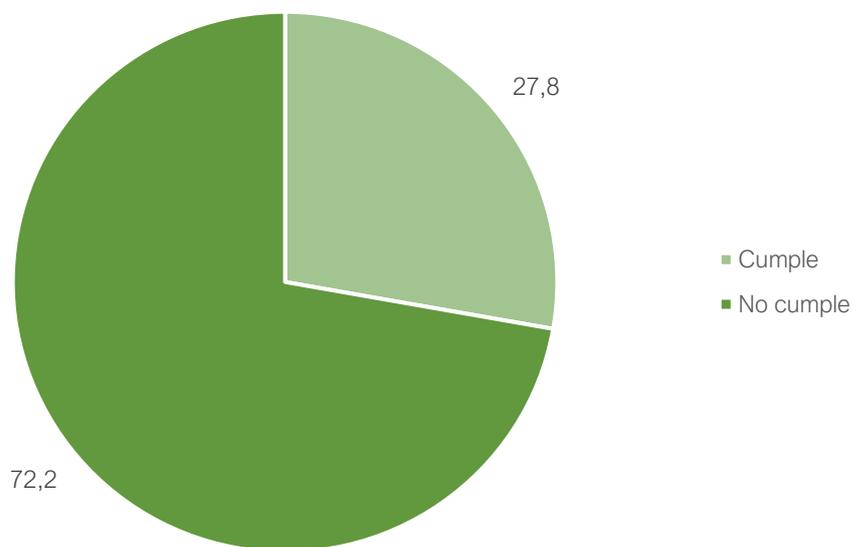


Fuente: elaboración propia

**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 al parámetro de temperatura, la totalidad de los desfogues cumplen con los límites establecidos por el decreto ejecutivo. No obstante, en DBO, el 38,89 % no cumplió; en DQO el 50,00 % no cumplió; en Sólidos Suspendidos Totales (SST) el 44,44 % no cumplió; en Sólidos Sedimentables (SSed) el 16,67 % no cumplió; Grasas y Aceites, el 33,33 % no cumplió y en SAAM, el 27,78 % 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

**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 18 puntos muestreados, el 27,8 % cumple con la normativa, mientras que el 72,2 % incumple con los valores máximos permisibles según el reglamento de vertido y reuso de aguas residuales N°33601.

### **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 2016.

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 <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Q.SECA1	8,03 (0,38)	8,89 (3,79)	19,33 (7,09)	48,27 (17,97)	11,63 (1,91)	0,21 (0,19)	20,00 (4,40)	14,71 (1,75)	21,04 (0,70)	1572,67 (602,07)	3860,00 (1246,21)	8,57 (4,46)	10,20 (2,08)
Q.SECA2	7,8 (0,20)	11,81 (7,70)	14,00 (3,61)	59,10 (23,78)	35,47 (29,82)	0,80 (0,70)	49,37 (37,88)	9,58 (0,29)	29,02 (20,70)	1767,00 (497,90)	2655,67 (732,38)	9,93 (7,26)	10,40 (2,25)
Q.SECA3	7,57 (0,21)	330,27 (567,01)	16,33 (10,97)	50,00 (26,98)	371,67 (620,36)	0,26 (0,15)	16,39 (3,25)	24,93 (4,35)	19,51 (2,43)	1201,33 (681,99)	1238,67 (883,94)	10,20 (14,64)	10,23 (2,14)
Q.SECA4	7,40 (0,61)	18,23 (26,31)	10,00 (- )	31,70, (10,06)	25,13 (26,70)	0,10 (0,00)	16,09 (2,89)	22,47 (1,19)	20,36 (3,24)	847,00 (982,34)	667,33 (363,33)	9,73 (7,09)	9,00 (-)
R.BMDZ1	7,97 (0,31)	13,07 (3,17)	16,33 (6,03)	55,47 (20,10)	26,43 (5,73)	0,23 (0,23)	16,47 (7,08)	15,76 (13,29)	21,00 (2,36)	680,67 (204,81)	2278,33 (2084,72)	10,63 (6,55)	9,00 (-)
R.BMDZ2	7,77 (0,25)	12,19 (7,58)	21,33 (9,24)	61,47 (33,59)	24,47 (12,57)	0,61 (0,77)	12,99 (1,93)	10,80 (11,13)	17,72 (2,04)	1526,67 (682,89)	1770,00 (2261,21)	7,10 (8,28)	9,00 (-)
R.BMDZ3	7,73 (0,12)	19,01 (9,11)	36,33 (18,77)	84,23 (27,19)	29,30 (17,01)	0,39 (0,18)	13,02 (1,46)	8,78 (10,29)	20,60 (4,60)	1714,33 (1025,70)	1226,00 (1424,63)	10,70 (8,23)	6,67 (4,04)
R.BMDZ4	7,60 (0,17)	17,17 (6,46)	28,00 (10,39)	83,43 (10,85)	30,97 (6,09)	0,61 (0,44)	17,88 (3,22)	21,20 (29,79)	24,87 (0,12)	1724,00 (1411,62)	5881,00 (4912,10)	7,53 (4,56)	9,00 (-)

\* 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 2016

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 <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
R.BMDZ5	7,73 (0,45)	21,00 (12,15)	38,33 (7,77)	71,37 (31,73)	40,86 (14,66)	0,43 (0,31)	13,28 (2,83)	6,92 (10,88)	22,77 (6,31)	962,00 (1497,50)	1571,00 (606,64)	6,80 (5,99)	6,67 (4,04)
R.SGD1	7,73 (0,38)	12,20 (7,45)	10,00 (-)	33,47 (18,53)	41,13 (6,18)	1,91 (1,81)	9,75 (2,64)	8,08 (2,38)	17,08 (6,74)	170,00 (100,96)	536,67 (303,01)	3,20 (4,38)	6,67 (4,04)
R.SGD2	7,87 (0,12)	9,05 (5,53)	10,00 (-)	22,67 (8,08)	20,44 (7,81)	0,13 (0,02)	7,79 (6,24)	12,98 (8,07)	15,68 (3,92)	32,67 (15,82)	173,00 (104,17)	8,30 (5,02)	2,00 (-)

\* 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). 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	1,30 (0,95)	22,63 (4,15)	8,85 (2,48)	5,84 (0,77)	3,50 (2,60)	0,70 (-)	9,37 (7,33)	2,00 (-)	905,30 (1033,75)	43,17 (45,49)
Q.SECA2	1,00 (0,77)	26,23 (4,66)	8,88 (1,17)	5,39 (1,83)	2,00 (-)	0,70 (-)	36,17 (42,67)	8,43 (11,14)	1144,00 (130,77)	46,50 (45,01)
Q.SECA3	0,64 (0,57)	18,17 (5,23)	13,09 (5,27)	5,82 (0,79)	12,03 (17,38)	0,70 (-)	31,07 (10,92)	2,00 (-)	2646,67 (3877,84)	57,80 (59,84)
Q.SECA4	0,67 (0,50)	19,53 (12,44)	16,83 (0,32)	4,79 (0,63)	2,89 (1,55)	0,70 (-)	11,13 (17,12)	2,00 (-)	2402,67 (2965,06)	33,67 (31,75)
R.BMDZ1	0,82 (0,67)	18,77 (7,17)	14,43 (9,80)	5,22 (0,80)	3,00 (1,74)	0,70 (-)	35,30 (53,14)	2,00 (-)	1498,33 (557,49)	134,00 (121,45)
R.BMDZ2	0,98 (0,51)	16,07 (6,19)	10,31 (1,14)	5,46 (0,85)	3,48 (2,56)	0,70 (-)	3,47 (4,45)	2,00 (-)	1240,00 (152,42)	111,67 (114,25)

\* 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). 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	3,33 (0,58)	1,67 (1,15)	0,06 (-)	0,80 (-)	2,00 (-)	22,67 (2,25)	6,53 (0,50)	87,47 (4,45)
Q.SECA2	48,00 (77,94)	87,00 (147,23)	0,06 (-)	0,80 (-)	2,00 (-)	22,97 (2,01)	7,07 (0,26)	91,13 (0,47)
Q.SECA3	13,07 (17,44)	1,67 (1,15)	0,17 (0,12)	1,20 (0,69)	2,00 (-)	23,70 (1,61)	6,90 (0,31)	90,07 (4,07)
Q.SECA4	4,13 (1,96)	1,67 (1,15)	0,10 (0,07)	0,80 (-)	7,00 (8,66)	24,73 (2,86)	7,28 (0,10)	96,27 (3,42)
R.BMDZ1	5,73 (2,80)	1,67 (1,15)	0,10 (0,07)	2,54 (3,01)	10,67 (10,97)	23,23 (1,57)	6,28 (0,81)	81,87 (9,64)
R.BMDZ2	4,10 (1,15)	1,67 (1,15)	0,07 (0,02)	1,21 (0,72)	2,00 (-)	23,10 (1,49)	6,31 (0,25)	82,43 (4,05)

\* 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). 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)
R.BMDZ3	1,09 (0,10)	19,17 (7,40)	10,27 (1,04)	6,42 (0,70)	3,68 (2,92)	0,77 (0,12)	29,10 (24,64)	2,00 (-)	1848,33 (1222,26)	173,00 (155,83)
R.BMDZ4	1,87 (0,57)	25,80 (5,48)	10,48 (3,00)	6,60 (1,53)	3,53 (2,66)	0,70 (-)	11,37 (18,13)	2,00 (-)	1083,33 (509,14)	156,67 (151,13)
R.BMDZ5	1,51 (0,16)	19,27 (7,40)	15,89 (9,82)	7,04 (1,72)	4,30 (3,98)	2,80 (3,64)	5,97 (8,78)	5,47 (6,00)	2147,67 (803,39)	131,33 (112,08)
R.SGD1	0,21 (0,09)	14,28 (6,88)	7,63 (3,35)	2,98 (0,75)	4,67 (4,62)	0,70 (-)	13,93 (14,16)	2,67 (1,15)	2109,33 (725,10)	73,93 (79,94)
R.SGD2	0,20 (0,04)	7,15 (2,82)	7,27 (1,75)	2,73 (0,53)	2,00 (-)	0,70 (-)	12,43 (19,98)	2,00 (-)	1760,00 (365,05)	135,17 (204,81)

\* 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). 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
R.BMDZ3	3,67 (0,58)	1,00 (-)	0,06 (-)	1,60 (0,69)	2,00 (-)	22,80 (1,25)	6,04 (0,34)	78,77 (3,21)
R.BMDZ4	4,40 (1,64)	1,00 (-)	0,10 (0,07)	0,80 (-)	2,67 (1,15)	23,40 (1,91)	5,68 (1,39)	41,70 (11,60)
R.BMDZ5	5,63 (3,20)	1,67 (1,15)	0,10 (0,07)	1,20 (0,69)	2,00 (-)	22,93 (1,76)	6,29 (0,87)	81,97 (9,63)
R.SGD1	3,50 (0,87)	1,00 (-)	0,06 (-)	1680,61 (2908,45)	2,00 (-)	21,67 (1,42)	6,98 (0,85)	89,00 (9,11)
R.SGD2	3,33 (0,58)	1,00 (-)	0,07 (0,02)	0,80 (-)	7,67 (9,81)	20,87 (1,36)	7,57 (0,28)	95,77 (2,04)

\* 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 en el artículo 5, 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 (ver cuadro 8).

De tal manera, para los puntos muestreados, a pesar de que parámetros como el pH, cuyos valores rondan entre 7,40 – 8,03, 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. De tal manera, a la hora de realizar un análisis con esta clasificación dividida en cinco clases, es importante velar por cada uno de los rangos por parámetro

### 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
1	91 - 100	< = 3	< 0,50
2	71 - 90 111 - 120	3,1 - 6,0	0,50 - 1,0
3	51 - 70 121 - 130	6,1 - 9,0	1,1 - 2,0
4	31 - 50	9,1 - 15	2,1 - 5,0
5	< = 30 y > 130	> 15	> 5,0

Fuente: Decreto Ejecutivo 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.

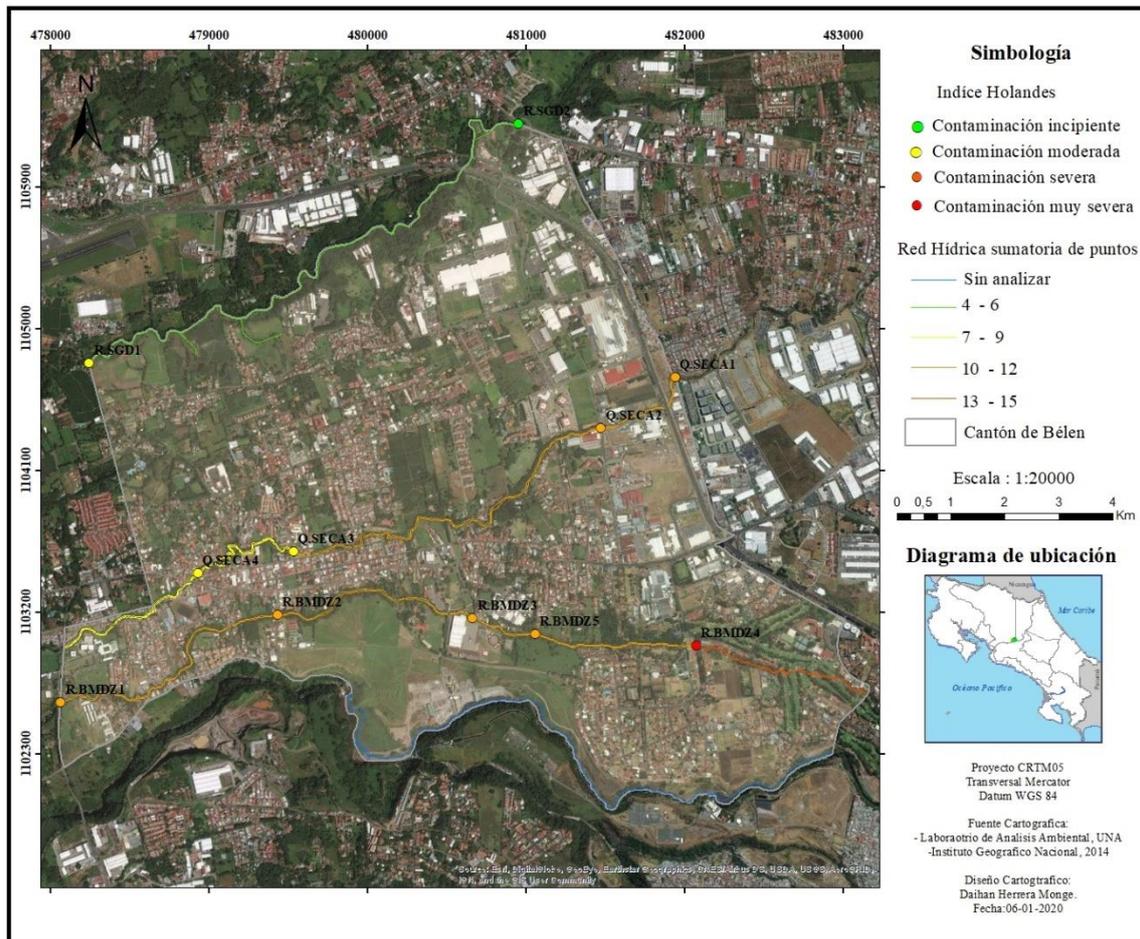
Época	Código	PSO (%)	Asignación de puntos del % saturación	DBO del agua para cuerpos receptores.	Asignación puntos para DBO	N amoniacal	Asignación de puntaje N amoniacal	Sumatoria Total	Clase	Interpretación de calidad
Lluviosa	Q.SECA1	82,70	2	18,0	5	4,09	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA1	91,50	1	27,0	5	2,68	4	10,00	4	Severa
Transición	Q.SECA1	88,20	2	13,0	4	2,24	4	10,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA2	90,60	2	15,0	5	2,39	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA2	91,50	1	10,0	4	2,40	4	9,00	3	Moderada
Transición	Q.SECA2	91,30	1	17,0	5	1,41	3	9,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA3	90,50	2	10,0	4	0,72	2	8,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA3	93,90	1	10,0	4	0,43	1	6,00	2	Incipiente
Transición	Q.SECA3	85,80	2	29,0	5	1,74	3	10,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA4	100,00	1	10,0	4	0,61	2	7,00	3	Moderada
Lluviosa	Q.SECA4	93,30	1	10,0	4	0,20	1	6,00	2	Incipiente
Transición	Q.SECA4	95,50	1	10,0	4	0,75	2	7,00	3	Moderada
Lluviosa	R.BMDZ1	76,50	2	17,0	5	3,55	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ1	93,00	1	10,0	4	1,40	3	8,00	3	Moderada
Transición	R.BMDZ1	76,10	2	22,0	5	0,37	1	8,00	3	Moderada
Lluviosa	R.BMDZ2	84,20	2	16,0	5	3,38	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ2	85,30	2	16,0	5	0,08	1	8,00	3	Moderada
Transición	R.BMDZ2	77,80	2	32,0	5	0,68	2	9,00	3	Moderada
Lluviosa	R.BMDZ3	75,10	2	16,0	5	2,20	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ3	81,10	2	40,0	5	0,59	2	9,00	3	Moderada
Transición	R.BMDZ3	80,10	2	53,0	5	0,07	1	8,00	3	Moderada
Lluviosa	R.BMDZ4	55,10	3	40,0	5	8,99	5	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ4	35,00	4	22,0	5	2,37	4	13,00	5	Muy Severa
Transición	R.BMDZ4	35,00	4	22,0	5	2,37	4	13,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ5	70,90	3	32,0	5	1,73	3	11,00	4	Severa
Lluviosa	R.BMDZ5	86,60	2	36,0	5	1,15	3	10,00	4	Severa
Transición	R.BMDZ5	88,40	2	47,0	5	0,79	2	9,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD1	78,60	2	10,0	4	0,58	2	8,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD1	92,80	1	10,0	4	0,15	1	6,00	2	Incipiente
Transición	R.SGD1	95,60	1	10,0	4	0,52	2	7,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD2	94,30	1	10,0	4	0,12	1	6,00	2	Incipiente
Lluviosa	R.SGD2	94,90	1	10,0	4	0,06	1	6,00	2	Incipiente
Transición	R.SGD2	98,10	1	10,0	4	0,22	1	6,00	2	Incipiente

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

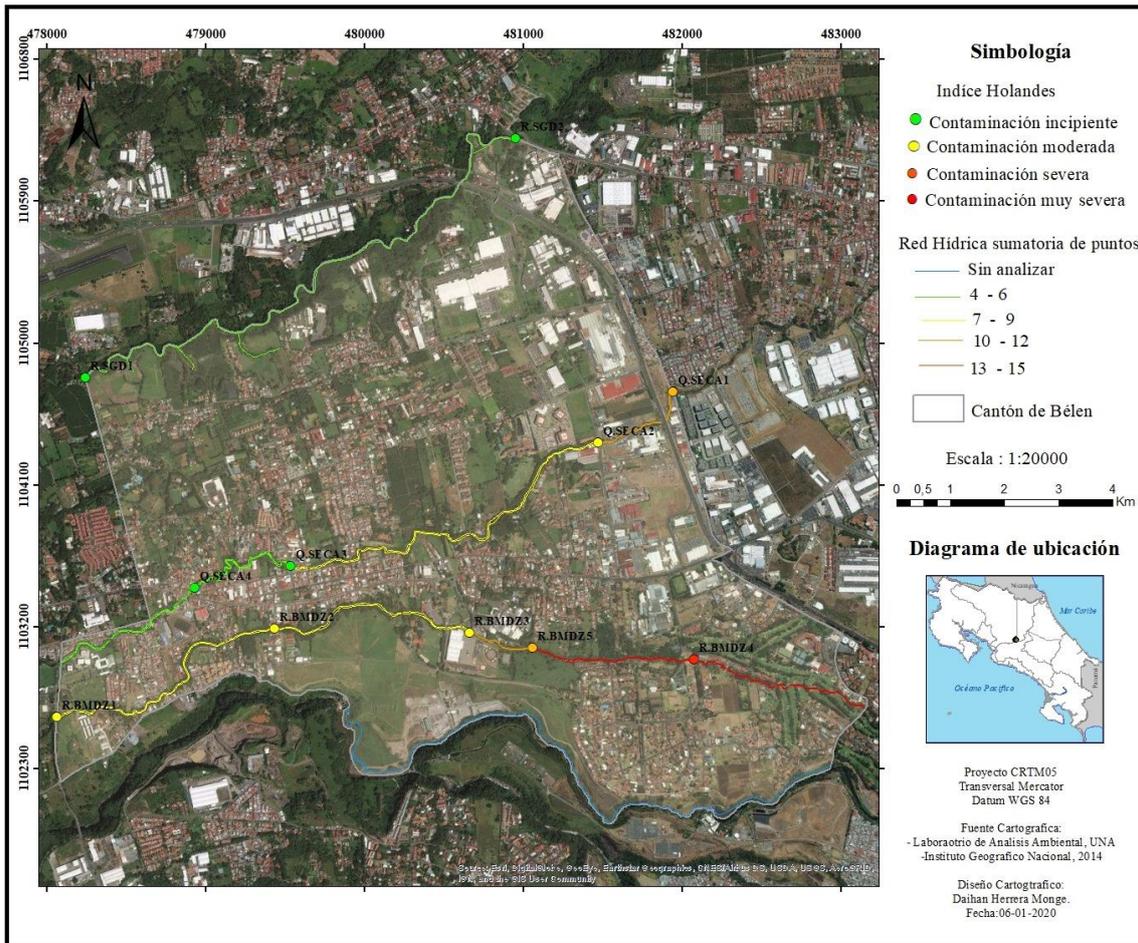
categorización para el mismo punto, dos para la época lluviosa y una para transición. Esto con el fin de determinar si existe diferencias en el grado de contaminación.

Aunado a lo anterior, en las Figuras 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.



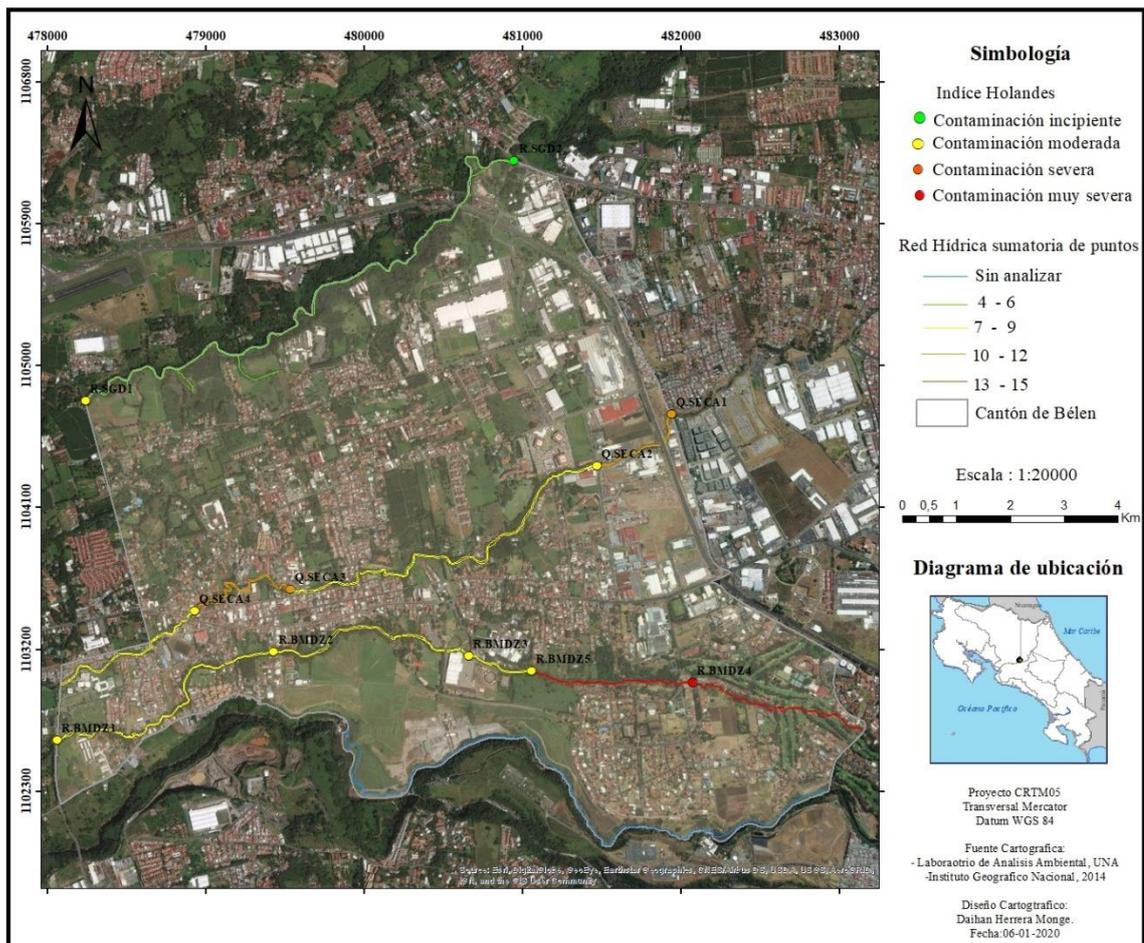
Fuente: elaboración propia

Figura 4. Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de agosto de 2016.



Fuente: elaboración propia

Figura 5. Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de octubre de 2016.



Fuente: elaboración propia

**Figura 6.** Interpretación de la calidad de agua según el Sistema Holandés en la campaña de muestreo de diciembre de 2016.

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, el grado de contaminación va disminuyendo en la segunda campaña de muestreo, esto debido al incremento en la frecuencia y la intensidad de las lluvias, al aumentar el volumen de agua y, por ende, la dilución de la carga contaminante. No obstante, al llegar a la época de transición, el grado de contaminación empieza a aumentar nuevamente, debido a la reducción del volumen en el 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
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
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 2016, existe una limitante en los usos de Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo debido al grado de contaminación existente. A pesar de que en una época del año Río Segundo se categoriza como clase 2 y cuenta con mayores oportunidades de uso, es importante valorar el uso no solo desde los parámetros que analiza el Sistema Holandés, sino también considerar los otros parámetros fisicoquímicos analizados en el cuadro 5.

De esta manera, 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 2016.

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 <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	7,6	7,44	18	37,2	12	0,1	19,8	14,82	20,9	2211	5261	10,3	9
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	7,7	3,69	10	23,7	8	0,1	18,2	22,12	19,9	1960	784	16,1	9
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	8,3	6,04	27	38,6	9,56	0,43	24,5	12,9	21,8	1015	3444	11,9	12,6
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	6,7	2,4	10	28,4	11,5	0,1	17,28	21,5	23,8	480	260	2,1	9
Transición	Entrada	Q.SECA1	8,2	13,2	13	69	13,32	0,1	15,7	16,4	20,42	1492	2875	3,5	9
Transición	Salida	Q.SECA4	7,8	48,6	10	43	55,9	0,1	12,8	23,8	17,37	101	958	11	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.

Cuadro 8 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2016.

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)
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	0,40	26,7	8,73	6,72	2	0,7	13,6	2	2039	92
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,48	33,9	17,2	5,46	2	0,7	1,6	2	209	33,5
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	2,3	22,8	6,44	5,52	2	0,7	13,6	2	662	2
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	1,237	12,2	16,6	4,22	2	0,7	30,9	2	1223	2
Transición	Entrada	Q.SECA1	1,2	18,4	11,39	5,29	6,5	0,7	0,9	2	14,9	35,5
Transición	Salida	Q.SECA4	0,28	12,5	16,7	4,68	4,68	0,7	0,9	2	5776	65,5

\* 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.

Cuadro 8 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2016.

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
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	4	3	0,06	0,8	2	24,9	5,96	82,7
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	3	1	0,06	0,8	17	28	7,28	100
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	3	1	0,06	0,8	2	22,7	6,72	91,5
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	3	1	0,06	0,8	2	23,5	7,18	93,3
Transición	Entrada	Q.SECA1	3	1	0,06	0,8	2	20,4	6,9	88,2
Transición	Salida	Q.SECA4	6,4	3	0,18	0,8	2	22,7	7,37	95,5

\* 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.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto en la primera campaña de muestreo de la época lluviosa, hubo un aumento en los parámetros: pH, nitrato, fósforo total, SAAM, sodio, calcio, hidrocarburos, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una disminución en: turbiedad, DBO, DQO, SST, cloruro, sulfato, nitrito, amonio, potasio, níquel, aluminio, manganeso, cromo y arsénico.

Para el caso de la segunda campaña de muestreo en época lluviosa hubo un aumento en los parámetros: SST, nitrato, sulfato, calcio, níquel, aluminio, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. Por lo tanto, hubo una reducción en: pH, turbiedad, DBO, DQO, SSed, cloruro, nitrito, amonio, fósforo total, SAAM, sodio y potasio.

Finalmente, para la campaña de muestreo en época de transición, hubo un aumento en los parámetros: turbiedad, SST, nitrato, calcio, aluminio, manganeso, cromo, arsénico, zinc, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. Asimismo, hubo una reducción en los siguientes parámetros: pH, DBO, DQO, cloruro, sulfato, nitrito, amonio, fósforo total, SAAM, sodio, potasio y plomo.

## 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 2016.

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 <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	7,8	9,7	40	70,9	38	0,1	21,6	55,6	25	94	11553	12,8	9
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	8,3	9,7	17	37,2	20	0,1	14,9	30,9	21,1	868	4560	13,8	9
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	7,5	20,9	22	89,7	27,46	0,86	16,02	4	24,8	2539	3045	4,9	9
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	7,7	13,5	10	52,2	31	0,5	24,2	10,4	23,3	462	1802	15	9
Transición	Entrada	R.BMDZ4	7,5	20,9	22	89,7	27,46	0,86	16,02	4	24,8	2539	3045	4,9	9
Transición	Salida	R.BMDZ1	7,9	16	22	77	28,3	0,1	10,3	5,99	18,59	712	473	3,1	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.

Cuadro 9 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2016.

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)
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	1,22	31,9	10,23	7,49	2	0,7	32,3	2	507	304
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	0,85	26,2	25,5	6,1	2	0,7	96,5	2	961	159
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	2,2	24,2	7,62	4,84	2	0,7	0,9	2	1271	2
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	1,473	18,2	6,84	4,55	2	0,7	8,5	2	1460	2
Transición	Entrada	R.BMDZ4	2,2	21,3	13,6	7,48	6,6	0,7	0,9	2	1472	164
Transición	Salida	R.BMDZ1	0,13	11,9	10,95	5,01	5,01	0,7	0,9	2	2074	241

\* 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 2016.

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
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	6,2	1	0,06	0,8	4	25,6	4,08	55,1
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	5,6	3	0,06	0,8	7	25	5,73	76,5
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	3	1	0,06	0,8	2	22,3	6,48	35
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	3	1	0,06	0,8	23	22,7	7,21	93
Transición	Entrada	R.BMDZ4	4	1	0,18	0,8	2	22,3	6,48	35
Transición	Salida	R.BMDZ1	8,6	1	0,18	6,02	2	22	5,89	76,1

\* 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 primera campaña de muestreo de la época lluviosa, hubo un aumento en los parámetros: pH, nitrito, fósforo total, cadmio, níquel, aluminio, arsénico, hidrocarburos, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. De tal manera, hubo una disminución en: DBO, DQO, SST, cloruro, nitrato, sulfato, amonio, DBO, DQO, SST, cloruro, sulfato, amonio, SAMM, sodio, potasio, manganeso, cromo y temperatura.

Para el caso de la segunda campaña de muestreo en época lluviosa hubo un aumento en los parámetros: pH, SST, cloruro, nitrato, fósforo total, níquel, aluminio, hidrocarburos, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación. Por lo tanto, hubo una reducción en: turbiedad, DBO, DQO, SSed, sulfato, nitrito, amonio, SAAM, sodio, calcio y potasio.

Finalmente, para la campaña de muestreo en época de transición, hubo un aumento en los parámetros: pH, SST, nitrato, aluminio, manganeso, cromo, cadmio y porcentaje de saturación. Asimismo, hubo una reducción en los siguientes parámetros: turbiedad, DQO, SSed, cloruro, sulfato, nitrito, amonio, fósforo total, SAAM, sodio, calcio, potasio, plomo, temperatura y oxígeno disuelto.

## 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 2016.

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 <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	Nitrógeno Total (mg/l)
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	7,8	6,43	10	18	12	0,1	15	22,29	18,7	50	155	14,1	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	8	11,9	10	18	34	0,86	11,7	5,42	23,6	254	751	0,01	2
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	7,8	15,4	10	18	27,4	0,14	4,27	8,1	17,1	19	79	5,5	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	7,3	4,91	10	28,4	44,9	0,86	6,75	10	17,5	58	190	8,2	9
Transición	Entrada	R.SGD2	8	5,31	10	32	21,92	0,14	4,1	8,55	11,25	29	285	5,3	2
Transición	Salida	R.SGD1	7,9	19,8	10	54	44,5	4	10,8	8,81	10,14	198	669	1,4	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.

Cuadro 10 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Segundo para el 2016.

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)
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,22	10,4	5,56	3,12	2	0,7	35,5	2	2140	371
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,2	22,2	6,52	3,66	2	0,7	11,9	2	1792	160
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,229	5,75	7,18	2,94	2	0,7	0,9	2	1728	2
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,3	9,74	4,98	2,18	2	0,7	29	2	1597	2
Transición	Entrada	R.SGD2	0,15	5,3	9,06	2,13	2	0,7	0,9	2	1412	32,5
Transición	Salida	R.SGD1	0,13	10,9	11,39	3,09	10	0,7	0,9	4	2939	59,8

\* 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 2016.

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
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	3	1	0,06	0,8	19	22,3	7,33	94,3
Lluviosa	Salida	R.SGD1	4,5	1	0,06	0,8	2	23,2	6,02	78,6
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	3	1	0,06	0,8	2	20,7	7,49	94,9
Lluviosa	Salida	R.SGD1	3	1	0,06	5039	2	21,4	7,29	92,8
Transición	Entrada	R.SGD2	4	1	0,1	0,8	2	19,6	7,88	98,1
Transición	Salida	R.SGD1	3	1	0,06	2,02	2	20,4	7,63	95,6

\* 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.

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

Para el caso de la segunda campaña de muestreo en época lluviosa hubo un aumento en los parámetros: DQO, SST, SSed, cloruro, nitrato, sulfato, nitrito, amonio, fósforo total, nitrógeno, SAAM, sodio, níquel, cadmio y temperatura. Por lo tanto, hubo una reducción en: pH, turbiedad, calcio, potasio, aluminio, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

Finalmente, para la campaña de muestreo en época de transición, hubo un aumento en los parámetros: turbiedad, DQO, SST, SSed, cloruro, nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno, sodio, calcio, potasio, plomo, cobalto, aluminio, manganeso, cadmio y temperatura. Asimismo, hubo una reducción en los siguientes parámetros: pH, sulfato, fósforo total, SAAM, zinc, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.



# 5. Conclusiones y Recomendaciones

- El Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Fisicoquímica del Agua muestra que existe una disminución en el grado de contaminación de los cuerpos receptores del cantón de Belén. Sin embargo, al realizar la comparación entre los resultados de la segunda campaña y la tercera (época de transición), nuevamente los niveles empiezan a aumentar. Esto debido a la reducción en la frecuencia de lluvias, disminuyendo de igual manera el volumen de los ríos.
- Dicho lo anterior, existe una limitante en los usos que se les puede dar a los cuerpos receptores: Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo dado al grado de contaminación existente. No obstante, a pesar de que Río Segundo en una época del año según el sistema holandés lo categoriza como un río que cuenta con un grado de contaminación incipiente, es importante valorar otros parámetros fisicoquímicos complementarios para tomar una decisión sobre los posibles usos.
- De los 31 parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio para los tres cuerpos de agua, Río Bermúdez es aquel que reduce mayor cantidad de valores comparando las muestras de entrada y salida del cantón. En la primera campaña reduce 19 parámetros, en la segunda campaña reduce 11 parámetros y en la tercera campaña reduce 15 parámetros. Seguido se encuentra Quebrada Seca y de último se encuentra Río Segundo.
- De los 18 desfogues analizados en el 2016, solo el 27,8 % cumplía con los parámetros establecidos por la normativa nacional vigente. Esto es sumamente importante dado que se debe de mejorar los controles en cada uno de los puntos con fin de disminuir la carga contaminante que se está vertiendo a los cuerpos receptores que se encuentran dentro del cantón.
- Aunado a lo anterior, analizando el incumplimiento de los desfogues por parámetro fisicoquímicos, los de mayor incumplimiento fue por superar los límites máximos permitidos del DQO, con un 50,00 % y Sólidos Suspendidos Totales (SST) con un 44,44 %.
- Es importante considerar para siguientes años el realizar una campaña de muestreo que considere la época seca con el fin de determinar el grado de

contaminación de los cuerpos receptores del cantón de Belén. De esta manera se contaría con resultados tanto para la época seca, lluviosa y de transición.

## 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](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 Ingeniería Universidad de Medellín*.

García ; Ramírez ; Ulloa ; García ; Meulenert ; Alcalá. (2013). Concentración de contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y correlación con H<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub> 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.

Lui, Y. Lu, H. Cui, G. Cao, Y. (2020). Water quality attribution and simulation of non-point source pollution load flux in the Hulan River basin. Scientific Reports.

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](https://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi_sp).

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2019. Agua: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

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.

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.