

Informe Anual de Calidad Ambiental

Matriz Agua, 2019

Contratación

UNA-CVE-813-2017

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

Elaborado por

Laboratorio de Análisis Ambiental



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

Lic. Allan Quesada Esquivel
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

Stward Espinoza Solano
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Bernny Chavarría García
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Henry Arias Sibaja
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Luis Diego Chaves González
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Alonso Quesada Esquivel
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Giovanni Céspedes Vizcaíno
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

David Chaves Núñez
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Donald Valencia Fontana
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Ignacio Sánchez Monge
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Cristhian Saravia Vargas
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional

Contenido

Contenido	2
Resumen Ejecutivo	3
1. Introducción.....	5
2. Marco Teórico	10
2.1 Contaminación de cuerpos de agua	11
2.2 Índices de Calidad del Agua (ICA)	12
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
5. Conclusiones y Recomendaciones	42
6. Bibliografía.....	44
7. Anexos	49

Resumen Ejecutivo

Los gobiernos requieren los Planes de Monitoreo Ambiental para el diseño e implementación de medidas que busquen la mejora de la calidad ambiental (Lovett et al, 2007). 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 2019, 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), tanto en época seca como lluviosa. Aunado a lo anterior el 66,7 % de los desfuegos cumplen con los límites permitidos según la legislación nacional.





1. Introducción

En la actualidad, el planeta se enfrenta a una serie de crisis ambientales que se han generado como resultado de la relación estrecha entre el ambiente y las acciones humanas. No obstante, la aparición de estas ha existido desde que el ser humano actuó artificialmente con la naturaleza, con el descubrimiento del fuego. Sin embargo, el crecimiento exponencial de la población y el crecimiento económico han deteriorado la calidad ambiental a escala mundial. Por tales razones, actualmente los ecosistemas no cuentan con la capacidad de regenerarse al ritmo que se extraen sus recursos (Mercado-Maldonado & Ruiz-González, 2006).

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

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

Dado al deterioro ambiental que se ha generado en las últimas décadas, científicos propusieron la “Curva Ambiental de Kuznets”, la cual es una hipótesis que explora la relación entre el crecimiento económico y la calidad ambiental. Esta intenta demostrar que, al aumentar los ingresos económicos, se produce un incremento en el deterioro ambiental hasta un punto a partir del cual la calidad empieza a crecer nuevamente dado que los países invierten en tecnologías de menor impacto y a considerar el factor ambiental como uno de los ejes del desarrollo (CEPAL, 2003).

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

Los problemas derivados de la mala calidad del agua no solo afectan a los usos de esta, sino también causa impactos en los ecosistemas acuáticos, provocando un riesgo dado a la capacidad que tiene el agua para transportar agentes contaminantes que causan enfermedades (Nivelo-Nivelo, 2015). Por lo tanto, es de vital importancia el conocimiento de la calidad del agua por el potencial riesgo que representa para la salud el que implica el uso de este recurso cuando se encuentra contaminado (Romeu-Álvarez, y otros, 2015).

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

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

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

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





2. Marco Teórico

2.1 Contaminación de cuerpos de agua

El agua es un elemento esencial para la vida de todos los seres vivos del planeta y es considerado como un derecho humano fundamental (Gómez-Duarte, 2018, p. 7). El recurso hídrico es considerado como el más vulnerable de los recursos naturales, siendo este un factor limitante en la realización de las diferentes actividades antrópicas a nivel domiciliario, comercial e industrial (Sánchez-Herrera, 2005).

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

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

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

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

2.2 Índices de Calidad del Agua (ICA)

Según Damo (2013, citado por Rodríguez-Miranda et al, 2016) debido a la variedad de agentes contaminantes que afectan la calidad del recurso hídrico es que existen amplias dificultades en la planificación de los cuerpos receptores en las cuencas hidrográficas debido a la limitada aplicabilidad de los Índices de Calidad del Agua (ICA) en la toma de decisiones.

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

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

De esta manera, al existir una variedad de modelos de evaluación de la calidad del agua diseñados por diferentes organismos, cada país adapta un ICA según las necesidades específicas.

En Costa Rica, el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S (2007) Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales establece dos metodologías oficiales: el Índice Biológico (BMWP-CR) y el Índice de Clasificación Holandés.

El BMWP-CR es un índice de calidad de agua adaptado para el país que consiste en la sumatoria de puntuaciones asignadas a partir de los diferentes taxones en

muestras de macroinvertebrados, estas puntuaciones se establecen según el grado de sensibilidad a la contaminación que va de 1 a 9. A partir de los valores obtenidos, se clasifican las aguas en seis niveles de calidad para el recurso hídrico que va desde “aguas de calidad excelente” hasta “aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas” (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

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

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

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

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

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

compuestos organofosforados y coliformes fecales (Decreto 33903-MINAE-S, 2007).

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





3. Metodología

Monitoreo de cuerpos de agua superficiales

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

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

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

Fuente: elaboración propia, 2019.

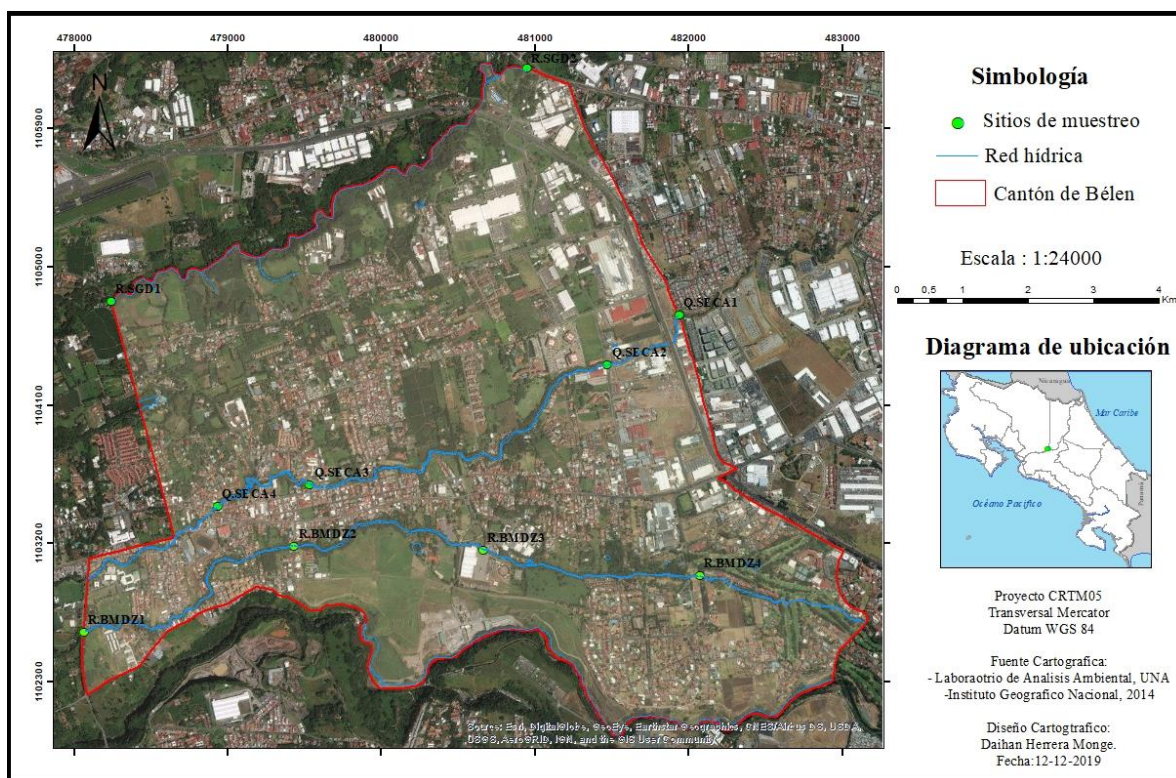


Figura 1. Puntos de muestreo de cuerpos de agua superficiales en el cantón de Belén.

Fuente: Elaboración: propia

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

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

Para el año 2018 se realizaron dos campañas de muestreo (febrero y setiembre) 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	Unidades
pH (25 °C)	SM 4500-H	-	-
Turbiedad	SM 2130 B	-	NTU
DQO	SM 5220 D	6,3 mg/l	mg/l
DBO	SM 5120 B	NA	mg/l
Sólidos Sedimentables	SM 2540 F	NA	mg/l
Sólidos Suspendidos Totales	SM 2150 B	3,4 mg/l	mg/l
Fósforo total	SM 4500 P	0,4 mg/l	mg PO ₄ ⁻³ /l
Nitrógeno total	Hach Company 10072	4,0 mg/l	mg/l
SAAM	SM 5540 A	0,2 mg/l	mg/l
Nitrato	SM 4110 B	0,48 mg/l	mg/l
Nitrito	SM 4500 NO2-	3,6 µg/l	µg/l
Cloruro	SM 4110 B	0,57 mg/l	mg/l
Sulfato	SM 4110 B	0,25 mg/l	mg/l
Amonio	SM 4500 NH3	0,1 µg/l	µg/l
Aluminio	SM 3113 B	0,8 µg/l	µg/l
Arsénico	SM 3113 B	1 µg/l	µg/l
Cadmio	SM 3113 B	0,8 µg/l	µg/l
Calcio	SM 3113 B	0,01 mg/l	mg/l
Cobre	SM 3113 B	0,7 µg/l	mg/l
Cromo	SM 3113 B	3 µg/l	mg/l
Manganeso	SM 3113 B	2 µg/l	µg/l
Níquel	SM 3113 B	0,9 µg/l	µg/l
Potasio	SM 3113 B	0,1 mg/l	mg/l
Plomo	SM 3113 B	2 µg/l	µg/l
Sodio	SM 3113 B	0,02 mg/l	mg/l

Fuente: elaboración propia, 2019.

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

Variable	Método	Límite de detección	Unidades
Zinc	SM 3113 B	0,06 mg/l	mg/l
Hidrocarburos	SM 5520 B	2,9 mg/l	mg/l
Oxígeno disuelto	Método 4500 O-C	-	mg/l
% Saturación	Método 4500 O-C	-	%
Temperatura	SM 2550	-	°C

Fuente: elaboración propia, 2019.





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 razón, es transcendental realizar los análisis respectivos con el fin de monitorear que las aguas vertidas no superan los límites máximos permitidos para cada uno de los parámetros universales de análisis obligatorios establecidos en el Decreto Ejecutivo N° 33601 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

Para el año 2019, se realizó el muestreo de 9 desfuegos. 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	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 Asunción	6,24	1193	1214	858,6	150	16,7	0,2	25,54
Ente 2	La Asunción	6,24	293	704,9	803,8	90	20,9	0,4	25,36
Ente 3	La Asunción	6,1	33,3	64,8	33,04	0	14,7	0,4	21,9
Ente 4	La Asunción	7,36	20,6	197,9	19,44	0	5,17	0,2	22,2
Ente 5	La Asunción	6,55	15,6	147,9	19,78	0,1	6	0,2	23,4
Ente 6	La Ribera	6,142	0	24,2	6,7	0	6,6	0,2	25,8
Ente 7	La Ribera	7,698	18,2	32,1	6	0	10,1	0,2	22,22
Ente 8	La Ribera	7,65	29,3	81,2	13,02	0	9	0,2	26,8
Ente 9	La Asunción	7,42	nd	nd	18,01	0,2	nd	nd	26,86

Fuente: elaboración propia, 2019.

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

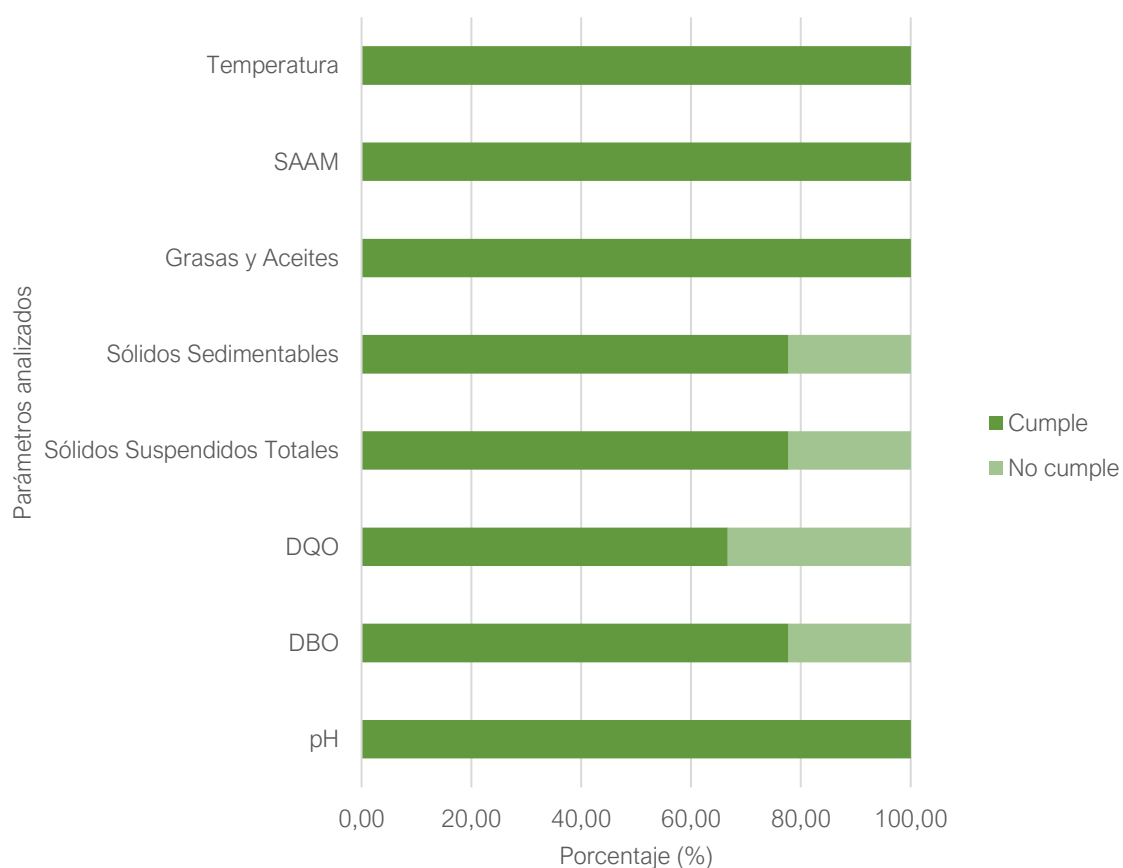


Figura 2. Porcentaje de cumplimiento de los desfogues muestreados por parámetro universal analizado en el cantón de Belén.

Fuente: elaboración propia, 2019.

Tal y como se observa en la figura 2, lo que respecta a los parámetros de temperatura, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Grasas y Aceites y pH, la totalidad de desfogues cumplen con los valores establecidos por el reglamento. No obstante, en Sólidos Sedimentables, el 22,22 % incumple; en Sólidos Suspendidos Totales (SST), el 22,22 % incumple; en DQO, el 33,33 % incumple y en DBO, el 22,22 % incumple con los límites máximos permisibles.

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

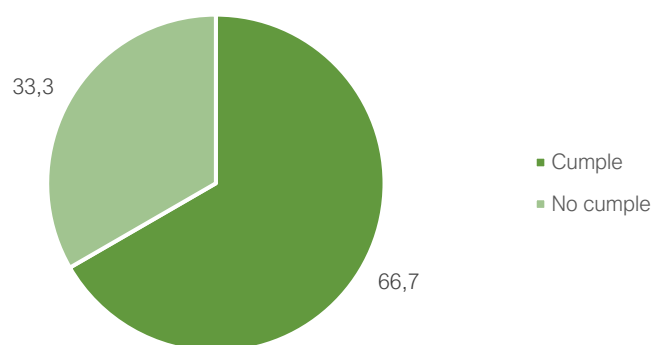


Figura 3. Porcentaje de cumplimiento de los desfogues muestreados en el cantón de Belén.

Fuente: elaboración propia, 2019.

Considerando el análisis por tipo de parámetro universal establecido por el reglamento, con tan solo que uno de los valores supere los límites máximos permitidos, clasifica el desfogue en la categoría de incumplimiento. Por lo tanto, de los 9 puntos muestreados, el 66,7 % cumple con la normativa, mientras que el restante 33,3 % 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 de muestreo, los cuales se encuentran ubicados en la cuenca alta, media y baja de los ríos Quebrada Seca, Río Segundo y Bermúdez. Para ello se realizaron los análisis de los parámetros fisicoquímicos para la clasificación inicial del cuerpo receptor y adicional a esto se realizaron análisis de parámetros complementarios establecidos por el Decreto Ejecutivo N° 33903-MINAE-S. En el cuadro 3 se muestran las medias y la desviación estándar de cada uno de los parámetros.

Cuadro 3. Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2019.

Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO ₄ ³⁻ /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
Q.SECA1	7,59 (0,33)	9,935 (5,042)	32,25 (2,62)	120,100 (20,648)	37,765 (31,134)	0,65 (0,21)	39 (11)	12,49 (3,36)	52,10 (0,14)	1752,30 (331,92)	10173,00 (6191,43)	4,59 (3,13)	18,89 (10,73)
Q.SECA2	7,69 (0,40)	14,15 (0,92)	41,00 (8,06)	142,450 (4,596)	52,680 (40,927)	2,20 (1,56)	49,55 (12,37)	15,12 (2,91)	60,15 (9,83)	1597,60 (310,28)	10882,50 (6646,10)	6,25 (1,55)	15,43 (16,16)
Q.SECA3	7,56 (0,48)	3,5 (1,2)	26,90 (4,10)	68,400 (28,991)	9,660 (4,695)	0,05 (0,07)	30,65 (5,87)	22,08 (4,55)	32,80 (4,81)	2127,50 (275,06)	3916,50 (5378,96)	5,11 (3,71)	7,91 (5,52)
Q.SECA4	7,80 (0,66)	16 (17)	33,75 (3,61)	65,950 (32,032)	35,105 (39,718)	0,15 (0,21)	29,15 (4,45)	23,70 (2,13)	30,35 (2,19)	3195,50 (1064,20)	6576,50 (2355,373)	2,56 (1,37)	7,72 (5,26)
R.BMDZ1	7,30 (0,52)	14,3 (4,7)	26,2 (5,4)	113,750 (38,396)	28,510 (0,891)	0,30 (0,42)	47,45 (11,38)	1,57 (0,80)	45,50 (3,82)	529,000 (476,590)	15956,500 (5885,250)	9,23 (0,77)	16,43 (7,25)

* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar.

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 3 (Continuación). Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2019.

Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO ₄ ³⁻ /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
R.BMDZ2	7,51 (0,18)	18,5 (7,7)	33 (13)	129,050 (60,882)	40,990 (21,001)	0,25 (0,35)	48,60 (20,51)	0,97 (0,07)	40,75 (4,31)	351,650 (211,213)	11216,00 (3258,348)	3,34 (1,79)	13,66 (13,65)
R.BMDZ3	7,20 (0,54)	32 (18)	110,70 (107,90)	200,450 (61,730)	49,005 (14,361)	0,45 (0,07)	45,90 (14,57)	0,92 (0,0)	46,15 (8,13)	222,80 (64,49)	11983,00 (6184,36)	4,73 (0,01)	16,56 (17,76)
R.BMDZ4	6,97 (0,66)	44,2 (9,5)	174,50 (48,79)	281,300 (97,581)	114,100 (22,910)	2,75 (0,35)	59,65 (23,69)	0,72 (0,34)	54,55 (12,09)	207,30 (58,12)	16,635,00 (12768,93)	12,91 (8,54)	24,90 (10,46)
R.BMDZ5	7,22 (0,55)	35 (21)	92,65 (95,25)	191,500 (66,892)	65,310 (34,917)	1,25 (0,78)	43,40 (14,99)	1,11 (0,09)	49,65 (14,35)	198,25 (29,06)	11440,50 (6890,76)	4,33 (1,51)	21,65 (14,63)
R.SGD1	7,40 (0,69)	6,8 (5,8)	18,35 (10,11)	63,500 (44,972)	31,020 (5,855)	0,10 (0,14)	27,65 (4,60)	11,55 (4,65)	27,25 (9,55)	724,95 (248,97)	3868,00 (3049,04)	4,09 (2,11)	8,97 (7,03)
R.SGD2	7,56 (0,79)	3,3 (2,7)	24,25 (5,44)	73,600 (47,376)	3,400 (0,000)	0	8,97 (0,33)	10,98 (7,59)	32,50 (15,98)	50,85 (12,09)	778,00 (1018,23)	1,29 (1,00)	7,65 (5,16)

* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar.

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 3 (Continuación). Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2019.

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	2,44 (1,95)	48,20 (1,41)	20,25 (2,47)	9,74 (1,45)	3,00 (1,41)	0,37 (0,47)	5,55 (4,45)	–	355,00 (90,51)	123,00 (66,47)
Q.SECA2	1,16 (0,87)	60,05 (2,76)	22,25 (3,04)	11,13 (0,16)	3,05 (1,49)	0,37 (0,47)	5,01 (6,64)	–	786,50 (269,41)	147,55 (69,93)
Q.SECA3	0,46 (0,09)	34,45 (2,76)	24,45 (4,60)	8,20 (1,05)	4,00 (0,00)	0,37 (0,47)	10,60 (11,88)	–	394,00 (271,53)	60,25 (8,13)
Q.SECA4	0,79 (0,23)	27,75 (6,72)	24,55 (6,72)	12,25 (6,72)	3,00 (1,41)	0,37 (0,47)	15,00 (18,10)	–	1933,00 (2333,45)	57,20 (30,83)
R.BMDZ1	1,85 (0,67)	57,25 (1,20)	24,35 (5,16)	13,85 (1,91)	4,00 (0,00)	0,37 (0,47)	16,00 (16,55)	–	444,50 (115,26)	444,00 (377,60)
R.BMDZ2	2,01 (0,15)	60,45 (3,89)	24,95 (3,61)	18,00 (8,06)	4,00 (0,00)	0,37 (0,47)	8,70 (5,09)	–	254,00 (19,80)	381,50 (265,17)
R.BMDZ3	1,76 (0,84)	57,90 (4,95)	20,30 (0,0)	12,03 (0,67)	3,00 (1,41)	0,37 (0,47)	15,45 (9,55)	–	348,50 (58,69)	334,00 (206,48)
R.BMDZ4	2,13 (1,32)	63,85 (4,88)	24,35 (3,04)	14,66 (3,17)	3,00 (1,41)	0,37 (0,47)	10,15 (9,69)	–	812,50 (174,66)	314,00 (200,82)
R.BMDZ5	1,54 (0,73)	58,45 (2,05)	28,60 (10,89)	12,09 (0,59)	3,35 (1,91)	0,37 (0,47)	15,05 (7,14)	–	563,50 (202,94)	346,00 (205,06)
R.SGD1	0,20 (0,00)	36,80 (5,52)	17,90 (3,54)	4,58 (0,81)	4,00 (2,83)	0,37 (0,47)	5,35 (4,45)	–	1702,00 (888,13)	124,00 (83,44)
R.SGD2	0,30 (0,14)	12,25 (0,64)	16,25 (2,05)	3,53 (0,81)	3,00 (1,41)	0,37 (0,47)	3,55 (1,77)	–	760,00 (852,77)	43,35 (32,31)

* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar.

Fuente: elaboración propia, 2019

Cuadro 3 (Continuación). Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los cuerpos de agua superficiales para el año 2019.

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	3,65 (0,92)	2,00 (1,41)	0,08 (0,03)	0,80 (0,00)	2,90 (0,00)	23,60 (1,70)	4925,00 (2340,52)	62,40 (34,65)
Q.SECA2	3,90 (1,27)	2,00 (1,41)	0,14 (0,11)	0,80 (0,00)	5,05 (3,04)	23,35 (0,78)	5,30 (2,26)	66,75 (34,01)
Q.SECA3	3,65 (0,92)	3	0,08 (0,03)	0,80 (0,00)	5,45 (3,61)	24,05 (1,06)	7,10 (0,20)	90,55 (7,00)
Q.SECA4	3,65 (0,92)	2,00 (1,41)	0,08 (0,03)	0,80 (0,00)	5,65 (3,89)	23,80 (0,28)	3133,70 (4421,26)	85,05 (18,03)
R.BMDZ1	4,15 (0,21)	2,00 (1,41)	0,14 (0,11)	0,80 (0,00)	3,95 (1,48)	23,60 (0,14)	4495,00 (615,18)	57,00 (11,03)
R.BMDZ2	9,95 (0,64)	2,00 (1,41)	0,06 (0,00)	0,80 (0,00)	2,90 (0,00)	23,30 (0,57)	2,87 (3,01)	38,65 (43,91)
R.BMDZ3	7,20 (4,42)	2,00 (1,41)	0,14 (0,11)	0,80 (0,00)	3,95 (1,48)	24,00 (0,28)	0,83 (0,69)	10,80 (9,62)
R.BMDZ4	4,95 (1,06)	2,00 (1,41)	0,14 (0,11)	0,80 (0,00)	3,95 (1,48)	24,05 (0,49)	1,76 (1,68)	23,25 (22,84)
R.BMDZ5	8,45 (0,92)	2,00 (1,41)	0,15 (0,12)	0,80 (0,00)	2,90 (0,00)	24,25 (0,78)	1,47 (1,68)	19,45 (22,84)
R.SGD1	3,65 (0,92)	2,00 (1,41)	0,08 (0,03)	0,80 (0,00)	2,90 (0,00)	23,90 (2,26)	6220,00 (579,83)	76,05 (0,49)
R.SGD2	3,65 (0,92)	3	0,08 (0,03)	0,80 (0,00)	2,90 (0,00)	21,95 (1,20)	7670,00 (311,13)	94,95 (1,63)

* El valor entre paréntesis representa la desviación estándar. Fuente: elaboración propia, 2019.

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

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

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

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

Por lo tanto, con respecto a los resultados obtenidos de estos tres parámetros, se procede a asignar una puntuación al valor, según lo establece el Decreto Ejecutivo N° 33903. El cuadro 4 muestra el puntaje asignado a cada uno de los parámetros.

Cuadro 4. 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.

De esta manera, tal y como se muestra en el cuadro 5, 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 5. Clasificación de los puntos muestreados según el Sistema Holandés.

Época	Código	PSO (%)	Asignación de puntos del % saturación	DBO del agua para cuerpos receptores.	Asignación puntos para DBO	N amoniacal	Asignación de puntaje N amoniacal	Sumatoria Total	Clase	Interpretación de calidad
Seca	Q.SECA1	37,90	4	30,4	5	11,32	5	14,00	5	Muy Severa
Lluviosa	Q.SECA1	86,90	2	34,1	5	4,51	4	11,00	4	Severa
Seca	Q.SECA2	42,70	4	46,7	5	12,12	5	14,00	5	Muy Severa
Lluviosa	Q.SECA2	90,80	2	35,3	5	4,81	4	11,00	4	Severa
Seca	Q.SECA3	85,60	2	24,0	5	6,00	5	12,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA3	95,50	1	29,8	5	0,09	1	7,00	3	Moderada
Seca	Q.SECA4	72,30	2	36,3	5	3,82	4	11,00	4	Severa
Lluviosa	Q.SECA4	97,80	1	31,2	5	6,41	5	11,00	4	Severa
Seca	R.BMDZ1	49,20	4	30,1	5	15,65	5	14,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ1	64,80	3	22,4	5	9,17	5	13,00	5	Muy Severa
Seca	R.BMDZ2	7,60	5	42,0	5	10,52	5	15,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ2	69,70	3	23,4	5	6,93	5	13,00	5	Muy Severa
Seca	R.BMDZ3	4,00	5	187,0	5	12,72	5	15,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ3	17,60	5	34,4	5	5,92	5	15,00	5	Muy Severa
Seca	R.BMDZ4	7,10	5	140,0	5	19,96	5	15,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ4	39,40	4	209,0	5	5,92	5	14,00	5	Muy Severa
Seca	R.BMDZ5	3,30	5	160,0	5	12,69	5	15,00	5	Muy Severa
Lluviosa	R.BMDZ5	35,60	4	25,3	5	5,11	5	14,00	5	Muy Severa
Seca	R.SGD1	76,40	2	11,2	4	1,33	3	9,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD1	75,70	2	25,5	5	4,69	4	11,00	4	Severa
Seca	R.SGD2	93,80	1	28,1	5	1,17	3	9,00	3	Moderada
Lluviosa	R.SGD2	96,10	1	20,4	5	0,05	1	7,00	3	Moderada

Fuente: elaboración propia, 2019.

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

Tal y como se observa en los puntos: Q.SECA1, Q.SECA2 y Q.SECA3, presentan una disminución en el grado de contaminación según los valores asignados por el Índice Holandés cuando cambia de época seca a lluviosa. Esto se debe al proceso de dilución de las concentraciones de los contaminantes al aumentar el volumen de agua que transita por los cuerpos receptores. Sin embargo, para el caso de R.SGD1, ocurre en caso contrario, de manera que presenta menor grado de contaminación en época seca, que en época lluviosa.

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

Cuadro 6. Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera.

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

Fuente: decreto ejecutivo N° 33903, 2007.

Cuadro 6 (Continuación). Clasificación de los cuerpos de agua según el uso potencial y tratamiento que requiera.

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Riego de especies 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.

Por lo tanto, tomando como referencia las clasificaciones obtenidas a partir de las puntuaciones, se puede indicar que existe una limitante en los usos de Quebrada Seca, Río Bermúdez y Río Segundo debido al grado de contaminación existente, dado que las clasificaciones se encuentran entre la 3 y la 5.

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

Quebrada Seca

En el cuadro 7 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 7. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2019.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO43- /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
Seca	Entrada	Q.SECA1	7,820	13,5	30,4	134,7	59,78	0,800	46,9	14,86	52,2	1 517,6	14 551	6,80	26,48
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	7,350	6,37	34,1	105,5	15,75	0,500	31,2	10,11	52,0	1 987	5 795	2,373	7,350
Seca	Salida	Q.SECA4	8,260	28,70	36,3	43,3	63,19	0,300	32,3	22,19	28,8	3 948	4 911	1,591	11,44
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	4,00	31,2	88,6	7,02	0	26,0	25,2	31,9	2443	8 242	3,524	4,0	4,00

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

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 7 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2019.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Niquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Seca	Entrada	Q.SECA1	3,821	49,2	18,5	10,76	4	0,04	8,7	—	419	170
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	1,057	47,2	22,0	8,71	2	0,7	2,4	—	291	76,0
Seca	Salida	Q.SECA4	0,629	23	19,8	17	4	0,04	27,8	—	3 583	79
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	0,957	32,5	29,3	7,50	2	0,7	2,2	—	283	35,4

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

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 7 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Quebrada Seca para el 2019.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Seca	Entrada	Q.SECA1	4,3	3	0,1	0,8	2,9	24,8	3,270	37,9
Lluviosa	Entrada	Q.SECA1	3	1	0,06	0,8	2,9	22,40	6,580	86,9
Seca	Salida	Q.SECA4	4,3	3	0,1	0,8	8,4	23,6	6,260	72,3
Lluviosa	Salida	Q.SECA4	3	1	0,06	0,8	2,9	24,00	7	97,8

* 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, 2019.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto (tanto en época seca, como lluviosa) se demuestra que existe una disminución en alguno de los parámetros fisicoquímicos presentes en Quebrada Seca. Sin embargo, los siguientes parámetros incrementan, tanto en época seca, como lluviosa: turbiedad, DBO, nitrato, sulfato, nitrito y potasio. A su vez, los siguientes parámetros aumenta únicamente en época seca: pH, SST y níquel. No obstante, los siguientes incrementan solo en época lluviosa: SSed, sulfato y oxígeno disuelto.

Por lo tanto, tomando en consideración los resultados mostrados en el cuadro anterior, se puede evidenciar que el cambio en el grado de contaminación desde la entrada del cuerpo receptor al cantón, hasta su salida, las variaciones son pequeñas

Río Bermúdez

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

Cuadro 8. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2019.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO43- /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
Seca	Entrada	R.BMDZ4	7,440	37,50	140	212,3	97,90	2,500	76,4	0,96	63,1	166,2	25 664	6,87	32,29
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	6,500	51,0	209	350,3	130,3	3,000	42,9	0,48	46,0	248,4	7 606	18,941	17,5
Seca	Salida	R.BMDZ1	7,670	17,60	30,1	140,9	27,88	0,600	55,5	1,00	48,2	192	20 118	8,69	21,55
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	6,940	10,90	22,4	86,6	29,14	0	39,4	2,13	42,8	866	11 795	9,774	11,3

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

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 8 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2019.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Niquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Seca	Entrada	R.BMDZ4	3,064	67,3	22,2	12,42	4	0,04	17	—	689	172
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	1,198	60,4	26,5	16,9	2	0,7	3,3	—	936	456
Seca	Salida	R.BMDZ1	2,323	56,4	20,7	15,2	4	0,04	27,7	—	526	177
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	1,374	58,1	28,0	12,5	4	0,7	4,3	—	363	711

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

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 8 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2019.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Seca	Entrada	R.BMDZ4	4,2	3	0,22	0,8	2,9	24,4	0,57	7,1
Lluviosa	Entrada	R.BMDZ4	5,7	1	0,06	0,8	5,0	23,70	3	39,4
Seca	Salida	R.BMDZ1	4,3	3	0,22	0,8	5	23,5	4,060	49,2
Lluviosa	Salida	R.BMDZ1	4	1	0,06	0,8	2,9	23,70	4,930	64,8

* 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, 2019.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto (tanto en época seca, como lluviosa) se demuestra que existe una disminución en la carga en algunos de los parámetros fisicoquímicos analizados para Río Bermúdez. Sin embargo, existe un aumento en algunos, entre ellos (para ambas épocas): pH, nitrato, nitrito, níquel, manganeso y oxígeno disuelto. A su vez, el potasio y fósforo total aumenta únicamente para la época seca; de igual manera, para época lluviosa existe un aumento en el calcio y plomo.

Río Segundo

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 19. Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Segundo para el 2019.

Época	Cuenca	Código	pH	Turbiedad (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Ssed (ml/l)	Cloruro (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrito (µg/l)	Amonio (µg/l)	Fósforo Total (mgPO43- /l)	Nitrogeno Total (mg/l)
Seca	Entrada	R.SGD2	8,110	1,330	28,1	40,1	3,4	0	9,20	16,34	21,2	42,3	1498	0,580	11,3
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	7,000	5,17	20,4	107,1	3,4	0	8,74	5,61	43,8	59,4	58,0	1,99	4,0
Seca	Salida	R.SGD1	7,880	2,690	11,2	31,7	26,88	0,200	30,9	14,83	20,5	548,9	1712	2,598	13,94
Lluviosa	Salida	R.SGD1	6,910	10,90	25,5	95,3	35,16	0	24,4	8,26	34,0	901	6024	5,581	4,0

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

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 9 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2019.

Época	Cuenca	Código	SAAM (mg/l)	Sodio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Plomo (µg/l)	Cobre (mg/l)	Niquel (µg/l)	Cobalto (µg/l)	Aluminio (µg/l)	Manganeso (µg/l)
Seca	Entrada	R.SGD2	0,4	12,7	14,8	2,96	4	0,04	4,8	—	157	20,5
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	0,2	11,8	17,7	4,10	2	0,7	2,3	—	1363	66,2
Seca	Salida	R.SGD1	0,2	32,9	15,4	4,01	6	0,04	8,5	—	1074	65
Lluviosa	Salida	R.SGD1	0,2	40,7	20,4	5,15	2	0,7	2,2	—	2330	183

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

Fuente: elaboración propia, 2019.

Cuadro 9 (continuación). Resultados de parámetros fisicoquímicos de Río Bermúdez para el 2019.

Época	Cuenca	Código	Cromo (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Zinc (mg/l)	Cadmio (µg/l)	Hidrocarburos (mg/l)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	% Saturación
Seca	Entrada	R.SGD2	4,3	3	0,1	0,8	2,9	22,8	7,890	93,8
Lluviosa	Entrada	R.SGD2	3	1	0,06	0,8	2,9	21,10	7,450	96,1
Seca	Salida	R.SGD1	4,3	3	0,1	0,8	2,9	25,5	6,630	76,4
Lluviosa	Salida	R.SGD1	3	1	0,06	0,8	2,9	22,30	5,810	75,7

* 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, 2019.

Tal y como se observa del cuadro anterior, realizando una revisión por punto (tanto en época seca, como lluviosa) se demuestra que existe una disminución en la carga en algunos de los parámetros fisicoquímicos analizados para Río Segundo. Sin embargo, existe un aumento en algunos de ellos. Para ambas épocas: turbiedad, SST, cloruro, nitrito, amonio, fósforo total, sodio, calcio, potasio, aluminio y manganeso. A su vez, el incremento únicamente en época seca es: SSed, nitrógeno, plomo y níquel; de igual manera, para el caso de la época lluviosa, los aumentos en los parámetros son en DBO y en nitrato.





5. Conclusiones y Recomendaciones

- 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.
- El 66,7 % de los desfuegos muestreados cumplen con la legislación vigente. No obstante, es importante considerar dentro de las campañas de muestreo aquellos que han sido identificados como ilegales y proceder a realizar las gestiones respectivas con el fin de evitar un mayor impacto a los cuerpos receptores del cantón.
- Según el Sistema Holandés de Valoración de Calidad Fisicoquímica del Agua, Río Bermúdez es considerado como un cuerpo receptor afectado por contaminación muy severa, siendo esto un impacto no solo ambiental sino social y económico, dado que se no se puede hacer uso de este recurso para diferentes actividades. Por lo tanto, entre los planes estratégicos de gestión ambiental cantonal, se debe de establecer acciones medibles para la mejora de este río y de los otros dos evaluados.
- Aunado a lo anterior, Río Segundo se encuentra categorizado como el cuerpo receptor menos contaminado de los tres evaluados, obteniendo una clasificación de contaminado *moderado y severo*.
- Es importante tomar en cuenta los los parámetros complementarios para enriquecer el análisis de las condiciones de calidad de agua de los cuerpos receptores y poder determinar el impacto ambiental que esto genera. De igual manera, es de interés considerar para futuras campañas los análisis para determinar las concentraciones de contaminantes emergentes



6. Bibliografía

- AirNow. (2016). Air Quality Index Basics. Recuperado el 11 de noviembre de 2019, de AirNow: <https://www.airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi>
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado, partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10.
- Calvo-Brenes, G., & Mora-Molina, J. (2015). Evaluación de la calidad de agua en los ríos Tigre y Rincón de la península de Osa en dos períodos de tiempo distintos. *Tecnología en Marcha*, 56-63.
- Castro, G. (2000). La crisis ambiental y las tareas de la historia en América Latina. *Papeles de Población*, 37-60.
- Centro Europeo de Posgrados. (2018). La dispersión de los contaminantes. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de CEUPE: <https://www.ceupe.com/blog/la-dispersion-de-los-contaminantes.html>
- Centro Europeo de Posgrados. (2018b). ¿Cuáles son los efectos de la contaminación atmosférica? Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de CEUPE: <https://www.ceupe.com/blog/cuales-son-los-efectos-de-la-contaminacion-atmosferica.html>
- CEPAL. (2003). Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana. Obtenido de Repositorio Digital Comisión Económica para América Latina y el Caribe: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2351/1/S02121026_es.pdf
- CEPIS, OPS y OMS. (1999). Monitoreo de la Calidad del Aire en América Latina. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/238739661_MONITOREO_DE_LA_CALIDAD_DEL_AIRE_EN_AMERICA_LATINA
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitario. (2017). Clasificación de los contaminantes del aire ambiente. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>
- Decreto 33903-MINAE-S. (09 de marzo de 2007). Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. *Diario Oficial La Gaceta*, 178.
- Environmental Protection Agency. (2016). Basic Information about carbon monoxide (CO) outdoor air pollution. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO>
- Environmental Protection Agency. (2016b). Basic Information about NO2. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>
- Environmental Protection Agency. (2017). Effects of acid rain. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/acidrain/effects-acid-rain>
- Environmental Protection Agency. (2018). Ground-Level Ozone Basics. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics>

- Environmental Protection Agency. (2018b). Health effects of Ozone Pollution. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution>
- Environmental Protection Agency. (2018c). Particulate Matter (PM) Basics. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- Environmental Protection Agency. (2018d). Health and environmental effects of particulate matter (PM). Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- Environmental Protection Agency. (2019). Sulfur Dioxide Basics. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de EPA: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>
- European Environment Agency. (2017). Air Quality in Europe - 2017 Report. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Fernández-Labrada, M., Rodríguez-Heredia, D., García-Ulasia, I., Santana-Gómez, M., & Córdova-Rodríguez, V. (2015). Comportamiento de la contaminación orgánica de la Bahía de Santiago de Cuba . Ciencia en su PC, 29-42.
- García-Quevedo, T. (2012). Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile. Obtenido de Repositorio Académico de la Universidad de Chile: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia_tq.pdf;sequence=1
- García-Reynoso, J. (2009). Influencia de la meteorología en la calidad del aire en la zona metropolitana del Valle de México. Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 12(2), 83-86.
- Gómez-Duarte, O. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Revista de la Facultad de Medicina, 7-8. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- González, L. (2016). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. Obtenido de Portal de Revistas Académicas de la Universidad Tecnológica de Panamá: <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/viewFile/334/pdf>
- Ibañez-Esquivel, G. (2012). Elaboración de un Plan de Manejo Ambiental para la Conservación de la Sub Cuenca del Río San Pablo en el Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi. Obtenido de Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca: https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Medio%20Ambiente/T-UTC-2129.pdf
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. (s.f.). Contaminación del aire y sus efectos. Recuperado el 2019 de diciembre de 11, de IDEAM: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter2.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2018). Dióxido de Nitrógeno. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de INSST: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/MIGRAR%20VARIAS/MIGRAR%20LEP%20_VALORES%20LIMITE/Doc_Toxicologica/114%20en%20adelante/DLEP%20116%20%20Dióxido%20de%20nitrógeno%20%20Año%202018.pdf

- Kachurin, N., Komashchenko, V., & Morkun, V. (2015). Environmental monitoring atmosphere of mining territories. *Metallurgical and Mining Industry*(6), 595-598.
- Ley 5395. (noviembre de 1974). Ley General de Salud. Diario Oficial La Gaceta, N° 222.
- Lovett, G., Burns, D., Driscoll, C., Jenkins, J., Mitchell, M., Rustad, L., . . . Haeuber, R. (2007). Who needs environmental monitoring? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(5), 253-260.
- Mercado-Maldonado, A., & Ruiz-González, A. (2006). El concepto de las crisis ambientales en los teóricos de la sociedad del riesgo. *Espacios Públicos*, 9(18), 194-213.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (s.f.). Dióxido de azufre. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/dioxido-azufre.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (s.f.). Gases precursores de ozono troposférico. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de MITECO: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/gases_precursores_ozono.aspx
- Molina, F. (2016). Monitoreando la calidad del aire. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de NASA: <https://ciencia.nasa.gov/monitoreando-la-calidad-del-aire>
- Nivelo-Nivelo, S. (2015). Monitoreo de la calidad de agua en San Cristóbal, Galápagos. Obtenido de Repositorio Digital Universidad San Francisco de Quito: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4696>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Intoxicación por plomo y salud. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Contaminación del aire ambiental. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de OPS: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es
- Orta-Arrazcaeta, L. (2002). Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Fitosanidad*, 6(3), 55-62.
- Peña, E. (2007). Calidad de Agua. Obtenido de Repositorio de ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. (s.f.). Monóxido de Carbono. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de PRTR: <http://www.prtr-es.es/CO-Monoxido-de-carbono,15589,11,2007.html>
- Romeu-Álvarez, B., Quintero-Álvarez, H., Larrea-Murrell, J., Lugo-Moya, D., Rojas-Hernández, N., & Heydrich-Pérez, M. (2015). Experiencias en el monitoreo ambiental: contaminación de ecosistemas dulceacuícolas de La Habana (Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 15(3), 1325-1335.
- Sánchez-Herrera, M. (2005). El Índice Biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score), Modificado y Adaptado al Cauce Principal del Río Pamplonita Norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3(2), 54-67.

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



7. Anexos