

**EVALUACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL
HUMEDAL JABOQUE BOGOTÁ COLOMBIA**

Diana Carolina Villamil Pasito

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2021**

**EVALUACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL
HUMEDAL JABOQUE BOGOTÁ COLOMBIA**

Diana Carolina Villamil Pasito

**Proyecto de investigación para optar por el título de:
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**Directora:
LILIANA SALAZAR LÓPEZ
Bióloga MSc. Saneamiento y Desarrollo ambiental**

**Co-Director:
DAYAM SORET CALDERÓN RIVERA
Ingeniera Ambiental MSc. Gestión de Cuenca Hidrográficas**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2021**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

**Bogotá D.C. fecha (26, julio,
2021)**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las docentes investigadoras Liliana Salazar y Dayam Calderón por su apoyo, enseñanzas y guía en el desarrollo de la presente investigación; a la Secretaria Distrital de Ambiente, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, la Corporación Autónoma Regional, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y demás entidades e instituciones, por la información suministrada de forma directa o indirecta a través de los datos disponibles de forma libre para la ciudadanía; a mis padres y hermanas por su apoyo incondicional; y en general, a todos los que de una u otra forma contribuyeron en el desarrollo de este logro.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	10
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	21
3.1. OBJETIVO GENERAL	21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. MARCO TEÓRICO	22
4.1. ESTADO DEL ARTE	22
4.2. MARCO CONCEPTUAL	25
4.2.1. CUENCA.	25
4.2.2. HUMEDAL.....	26
4.2.3. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA).	27
4.2.4. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS, BMWP/COL Y ASPT.	28
4.2.5. INTERPOLACIÓN IDW (DISTANCIA INVERSA PONDERADA).	30
4.2.6. MÉTODO DE CURVAS DE ISOYETAS (PRECIPITACIÓN).....	31
4.2.7. PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS.....	31
4.3. MARCO LEGAL	33
5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36
6. METODOLOGÍA	37
6.1. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA.....	39
6.1.1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	39

6.1.2.	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA.....	40
6.1.2.1.	FASE DE CAMPO.....	40
6.1.2.2.	FASE DE LABORATORIO.....	42
6.1.3.	FASE DE CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	42
6.2.	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL JABOQUE A PARTIR DE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP.....	43
6.3.	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA A NIVEL ESPACIO TEMPORAL	45
6.3.1.	PRECIPITACIÓN.....	45
7.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	48
7.1.	CONDICIONES FÍSICOQUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL 48	
7.2.	CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL JABOQUE A PARTIR DE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP	61
7.2.1.	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA - ICA.....	61
7.2.2.	BMWP/COL (2017, 2019 Y 2020).....	66
7.2.2.1.	MACROINVERTEBRADOS.....	66
7.2.2.2.	BMWP/COL Y ASPT.....	69
7.3.	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA A NIVEL ESPACIO TEMPORAL	72
7.3.1.	PRECIPITACIÓN.....	72
7.3.2.	COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS E ÍNDICES	76
7.3.3.	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD Y HOMOCEDASTICIDAD	81
7.3.4.	PRUEBA DE VARIANZA WILCOXON.....	83
8.	CONCLUSIONES	84
9.	RECOMENDACIONES	87
	REFERENCIAS.....	88

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Calificación de la calidad del agua según los valores del índice</i>	28
Tabla 2. <i>Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al índice BMWP/Col y BMWP</i>	29
Tabla 3. <i>Legislación ambiental aplicable a la propuesta de investigación</i>	33
Tabla 4. <i>Métodos para la determinación de DQO, fósforo total, OD y SST</i>	41
Tabla 5. <i>Ecuaciones para el cálculo del valor I</i>	44
Tabla 6. <i>Resultados y análisis de los parámetros fisicoquímicos</i>	50
Tabla 7. <i>Macroinvertebrados acuáticos reportados para los años 2017, 2019 y 2020 en el humedal Jaboque</i>	67
Tabla 8. <i>Valores de BMWP/Col calculado para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020</i>	70
Tabla 9. <i>Valores de ASTP calculado para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020</i>	71
Tabla 10. <i>Estaciones climatológicas y pluviométricas cercanas al área de estudio</i>	73
Tabla 11. <i>Resultados de la prueba Shapiro-Wilk y homogeneidad</i>	82
Tabla 12. <i>Resultados de la prueba Pairwise Wilcoxon Rank Sum Tests</i>	84

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Localización del humedal Jaboque y su sectorización.....	37
<i>Figura 2.</i> Esquema metodológico de la evaluación espacio temporal de la calidad del agua del humedal Jaboque	38
<i>Figura 3.</i> Comparativo de la Calidad del Agua (ICA), para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020.	63
<i>Figura 4.</i> Abundancia relativa de macroinvertebrados acuáticos para los tres sectores del Humedal Jaboque para el año 2020	69
<i>Figura 5.</i> Representación de la precipitación mensual para agosto 2017, octubre 2017, julio 2019 y enero 2020.	75
<i>Figura 6.</i> Diagramas de caja, en las cuales se visualiza el comportamiento espacial de las variables a) DQO, b) fósforo total, c) Sólidos suspendidos totales y d) pH para los tres sectores del humedal.	76
<i>Figura 7.</i> Diagramas de caja, en las cuales se visualiza comportamiento espacial de las variables a) temperatura del agua, b) conductividad, c) oxígeno disuelto y d) turbiedad.	78
<i>Figura 8.</i> Diagramas de caja, en las cuales se visualiza el comportamiento espacial de los índices a) BMWP/Col, b) ASPT y c) ICA para los tres sectores del humedal.....	80

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Estaciones de muestreo año 2020	104
Anexo 2. Ficha reconocimiento del humedal Jaboque y registro de campo.....	104
Anexo 3. Registro histórico de parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos	108
Anexo 4. Comparación temporal de los principales cambios en el Humedal Jaboque y áreas aledañas (2011 – 2020)	109
Anexo 5. Relación DBO5/DQO	110
Anexo 6. Macroinvertebrados acuáticos colectados en el año 2020.....	111
Anexo 7. Representación de datos faltantes y valores obtenidos mediante la imputación de datos faltantes.	112
Anexo 8. Histogramas	113

RESUMEN

El Humedal Jaboque, es considerado como un ecosistema clave para la ciudad de Bogotá, debido a los servicios ecosistémicos y ambientales que brinda, sin embargo, este cuerpo de agua se encuentra sometido a diferentes tensores ambientales, que dificultan la prestación de dichos servicios y que a su vez, alteran la calidad fisicoquímica y biológica del agua.

El humedal Jaboque, se divide en tres sectores, siendo el sector tres (S3) el área con mayor intervención antrópica, seguido del segundo sector (S2), mientras que el sector uno (S1) el cual colinda con el río Bogotá, se encuentra sometido a menor presión antrópica.

En el presente estudio a partir de la estadística descriptiva se analizó la calidad del agua del Humedal Jaboque a nivel espacial y temporal, para lo cual, se determinaron las condiciones fisicoquímicas de la calidad del agua del humedal, a partir del registro histórico de doce (12) variables fisicoquímicas: pH, temperatura del agua, oxígeno disuelto, DBO5, DQO, conductividad, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, nutrientes (fósforo total, nitratos y/o nitrógeno total Kjeldahl) y tensoactivos, para un periodo de tiempo comprendido desde el año 2004 al 2020; cabe resaltar, que se recopiló información para la mayoría de los años comprendidos en la ventana de tiempo mencionada, como se evidencia en el anexo 3 y que los puntos de muestreo para los cuales se obtuvieron información histórica fueron georreferenciados, lo que permitió, la visualización del sector del humedal al que corresponde cada dato; así mismo, es de importancia mencionar, que de la información recopilada se analizaron los datos registrados únicamente para los años 2004, 2005, 2012, 2016, 2017, 2019 y 2020, lo anterior, debido a que, para estos años se contó con información para los tres sectores del humedal Jaboque.

El análisis espacio temporal de la calidad del agua, para los años 2017, 2019 y 2020 fue robustecido mediante el cálculo y análisis de los índices ICA, BMWP/Col y ASPT.

Estos índices solo se aplicaron para los tres años en mención, debido a que se contó con información completa de las variables fisicoquímicas requeridas para el cálculo del ICA, y de registros de macroinvertebrados acuáticos a nivel de familia para la obtención de los índices biológicos mencionados.

Finalmente, con los datos de las variables fisicoquímicas y de los índices ICA, BMWP/Col y ASPT, siendo los dos últimos índices calculados a partir de la información hidrobiológica “macroinvertebrados acuáticos”, se aplicó la prueba no paramétrica de Varianza Wilconxon y se analizó la calidad del agua a nivel espacial (sectores del humedal) y temporal (Años 2017, 2019 y 2020).

Los resultados obtenidos en la presente investigación se enfocaron a nivel espacial y temporal. A nivel fisicoquímico, para la ventana de tiempo comprendida entre el 2004 al 2020, en los tres sectores del humedal predominaron condiciones de hipoxia, aguas mineralizadas y aguas contaminadas por aguas residuales. Espacial y temporalmente, para los años 2017, 2019 y 2020, el índice ICA reflejó aguas de mala y regular calidad para los años 2017 y 2019, para el año 2020 aguas contaminadas para los tres sectores del humedal. Por otra parte, los índices BMWP/Col y ASPT indicaron aguas muy contaminadas para los tres sectores del humedal para los años 2017 y 2019, mientras que para el año 2020, aguas fuertemente contaminadas.

Finalmente, de acuerdo a la prueba no paramétrica de Varianza Wilconxon, se analizó que las variables DQO, Fósforo total, SST, pH, Temperatura del agua, Conductividad, OD, turbiedad, BMWP/Col, ASPT, ICA y precipitación a nivel espacial (S1-S2, S2-S3 Y S1-S3) no poseen diferencias estadísticamente significativas, debido a que se obtuvieron valores de p-Valor $> 5\%$; mientras que, temporalmente, para la comparación entre los años 2019-2020 y 2017-2020 se evidenció para las variables de BMWP/Col, ASPT y precipitación diferencias estadísticamente significativas acorde con los resultados de p-Valor $< 5\%$ obtenidos para la prueba de Wilcoxon.

Palabras clave

Parámetros fisicoquímicos; tensores ambientales; análisis hidrobiológico; índices; Macroinvertebrados acuáticos.

ABSTRACT

The Jaboque Wetland is considered a key ecosystem for the city of Bogotá, due to the ecosystemic and environmental services it provides; however, this body of water is subject to different environmental tensors that hinder the provision of such services and, in turn, alter the physicochemical and biological quality of the water.

The Jaboque wetland is divided into three sectors, with sector 3 being the area with the greatest anthropic intervention, followed by the second sector (S2), while sector 1, which borders the Bogotá river, is subject to less anthropic pressure.

In the present study, based on descriptive statistics, the water quality of the Jaboque Wetland was analyzed at a spatial and temporal level, for which, the physicochemical conditions of the wetland's water quality were determined, from the historical record of twelve (12) physicochemical variables: pH, water temperature, dissolved oxygen, BOD5, COD, conductivity, total suspended solids, oils and fats, nutrients (total phosphorus, nitrates and / or total Kjeldahl nitrogen) and surfactants, for a period of time comprised from 2004 to 2020; It should be noted that information was collected for most of the years included in the mentioned time window, as evidenced in Annex 3 and that the sampling points for which historical information was obtained were georeferenced, which allowed the visualization of the wetland sector to which each data corresponds; Likewise, it is important to mention that from the information collected, the data recorded only for the years 2004, 2005, 2012, 2016, 2017, 2019 and 2020 were analyzed, the above, because, for these years, there was information for the three sectors of the Jaboque wetland.

The spatial-temporal analysis of water quality for the years 2017, 2019 and 2020 was strengthened by calculating and analyzing the ICA, BMWP / Col and ASPT indices. These indices were only applied for the three years in question, due to the fact that there was complete information on the physicochemical variables required for the calculation of the ICA, and from data of aquatic macroinvertebrates at the family level to obtain the mentioned biological indices.

Finally, with the data of the physicochemical variables and the ICA, BMWP / Col and ASPT indices, the last two indices being calculated from the hydrobiological information "aquatic macroinvertebrates", the non-parametric test of Wilconxon Variance was applied and analyzed water quality at a spatial level (wetland sectors) and temporal (Years 2017, 2019 and 2020).

The results obtained in the present investigation were focused on a spatial and temporal level. At the physicochemical level, for the time window between 2004 and 2020, in the three sectors of the wetland conditions of hypoxia, mineralized waters and waters contaminated by sewage prevailed. Spatially and temporally, for the years 2017, 2019 and 2020, the ICA index reflected water of poor and regular quality for the years 2017 and 2019, for the year 2020 contaminated waters for the three sectors of the wetland. On the other hand, the BMWP / Col and ASPT indices indicated highly polluted waters for the three sectors of the wetland for the years 2017 and 2019, while for the year 2020, highly contaminated waters.

Finally, according to the Wilconxon variance non-parametric test, it was analyzed that the variables COD, total phosphorus, SST, pH, water temperature, conductivity, DO, turbidity, BMWP / Col, ASPT, ICA and precipitation at a spatial level (S1-S2, S2-S3 and S1-S3) do not have statistically significant differences, since p-Value values > 5% were obtained; While, temporarily, for the comparison between the years 2019-2020 and 2017-2020, statistically significant differences were observed for the variables of BMWP / Col, ASPT and precipitation according to the results of p-Value <5% obtained for the test of Wilcoxon.

Keywords

Physico-chemical parameters; environmental stressors; hydrobiological analysis; indices; aquatic macroinvertebrates.

INTRODUCCIÓN

Los humedales colombianos corresponden al 26% del territorio del país, sin embargo, son pocos aún los designados como humedales Ramsar, dentro de los cuales, a partir del año 2018 se incluyeron el complejo de humedales urbanos de Bogotá, cubriendo 667,38 hectáreas declaradas protegidas (Escobar, 2018); en las cuales, se deben adoptar medidas para mantener sus características ecológicas (Escobar, 2018) y para su conservación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2018a).

El complejo de humedales urbanos de Bogotá es integrado por “Tibanica, la Vaca Norte, El Burro, El Tunjo, Capellanía, Santa María del Lago, Córdoba, Jaboque, Juan Amarillo, La Conejera, Torca-Guaymaral” (MADS, 2018a); los cuales permiten, el control de inundaciones, regulan el agua de la capital y son fundamentales para la biodiversidad, entre otros servicios (MADS, 2018a). Estos ecosistemas se han visto afectados por diferentes tensiones ambientales, como es el caso del humedal Jaboque, éste se encuentra sometido a vertimientos, conexiones erradas que aportan aguas residuales al cuerpo de agua y fragmentación, entre otros.

La presente investigación analizó espacial y temporalmente la calidad del agua del humedal Jaboque en cada uno de los tres sectores para los años 2004, 2005, 2012, 2016, 2017, 2019 y 2020 a partir de la estadística descriptiva, para lo cual, se recopiló información histórica de parámetros fisicoquímicos y se agregaron los datos obtenidos del muestreo realizado en el año 2020. A su vez, la base de datos de parámetros fisicoquímicos se complementó con información de macroinvertebrados acuáticos a nivel de familia reportados para los años 2017 y 2019, junto con los identificados para el año 2020; con base en lo anterior, se calcularon los índices biológicos BMWP/Col y ASPT e Índices de Calidad del Agua – ICAs para cada uno de los puntos de muestreo reportados para los años 2017, 2019 y 2020, teniendo en cuenta que, para estos años se contó con la información completa y requerida para cada cálculo respectivo de los índices.

Finalmente, desde la estadística inferencial, se complementó el análisis espacial (sectores del humedal) y temporal (2017, 2019 y 2020) a partir de los datos obtenidos de la prueba de Wilcoxon.

El estudio está vinculado al proyecto “Determinación de las características ecológicas de las comunidades de hidrobiota del humedal de Jaboque como herramienta de conservación del complejo de humedales RAMSAR”, con aval FODEIN (Fondo de investigación Usta) 2019 y teniendo en cuenta la importancia de la investigación y sus aportes también se relaciona con el proyecto FODEIN 2021 de la USTA, Formulación de Estrategias de Recuperación de Los Servicios Ecosistémicos del Complejo De Humedales Urbanos (Ramsar) de Bogotá

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los humedales son ecosistemas estratégicos, debido a que permiten la amortiguación de crecientes, proveen hábitats para especies de flora y fauna y recargan acuíferos subterráneos (Senhadji-Navarro, Ruiz-Ochoa y Rodríguez, 2017; Beltrán, 2012); los humedales localizados en la capital de Colombia, Bogotá, regulan el caudal de los ríos de la sabana, controlan inundaciones, conservan el nivel freático de los suelos en época de estiaje y son el principal conector ecológico de la cuenca del río Bogotá, en el área de la ciudad (MADS, 2018b, Escobar, 2018). Con base en lo anterior, el complejo de humedales de Bogotá debido a su importancia ecológica y ambiental, son incluidos en el año 2018 como humedales Ramsar (Escobar, 2018), con el fin de conservar y mantener sus características ecológicas (MADS, 2018b; Escobar, 2018).

Pese a la importancia y funciones ecosistémicas, se han generado cambios negativos por la intervención o acción del ser humano (IDEAM, 2018), concibiendo procesos de transformación, fragmentación, degradación y contaminación ambiental, asociados principalmente a los procesos de urbanización (Cabrera-Amaya, Lopera-Doncel, Vásquez-Valderrama, Sandoval-Ramos y López-Cruz, 2017), tal como sucede en el Humedal Jaboque.

Jaboque actualmente está sometido a diferentes tensiones ambientales tales como inadecuada disposición de residuos sólidos, que de acuerdo a lo registrado por la EAB en el año 2018, hoy en día EAAB-ESP, reportó residuos sólidos ordinarios en el humedal en mayor proporción para el sector tres, lo cual, se asoció al crecimiento urbanístico al que se ha visto sometido las áreas aledañas al humedal, así mismo, en menor proporción existen registros de residuos de construcción y/o demolición y residuos especiales para el sector tres (EAB-ESP, 2018); otro tensor corresponde al crecimiento urbanístico, para lo cual, el ecosistema ha sido sometido a rellenos para su posterior construcción, situación que ha conllevado a la disminución del humedal y de las áreas inundables con las que contaba (Gómez y Triana, 2015), pérdida de tierra del humedal de más del 73%,

pasando de 450 ha en los años 60 (Beltrán, 2012) a 117,81 ha para el año 2018 (EAAB-ESP, 2018).

La construcción de viviendas, de los puentes vehiculares de las carrera 111 C y de la carrera 110 que atraviesan al humedal y demás obras que alteran y/o restringen el flujo hídrico han generaron fragmentación del humedal. Este cuerpo de agua, también se ha visto afectado por los vertimientos industriales y por los aportes de aguas residuales en su mayoría de tipo domésticas, producto de las conexiones erradas de la red de alcantarillado sanitario al sistema pluvial, generando colmatación y eutrofización por las cargas orgánicas aportadas al humedal.

Los procesos de eutrofización, dado por el exceso de nutrientes, principalmente por los aportes de nitrógeno y fósforo provenientes de las aguas residuales, implicó el aumento de macrófitas y disminución del espejo de agua, lo cual a su vez, trae consigo menores concentraciones de Oxígeno Disuelto en el cuerpo de agua, generación de olores ofensivos y alteración de los procesos de evaporación y evapotranspiración.

Los diferentes tensores ambientales expuestos anteriormente, han afectado el ecosistema, alterando la disponibilidad de hábitats, la calidad fisicoquímica, microbiológica y biológica del agua, por lo que, se evaluó espacial y temporalmente la calidad del agua humedal, a partir del análisis de los parámetros fisicoquímicos, los índices BMWP/Col, ASPT e ICA, dando respuesta a la pregunta ¿Cuál es la calidad del agua del Humedal Jaboque a nivel espacio temporal, para los años, 2004, 2005, 2012, 2016, 2017, 2019 y 2020?

2. JUSTIFICACIÓN

El humedal Jaboque fue declarado en el año 2018 como sitio RAMSAR, debido a los servicios ecosistémicos, económicos y socio culturales que brinda este ecosistema, dentro de los cuales, se destacan la proporción de hábitats a especies endémicas y áreas para la conservación de Aves (Escobar, 2018). Servicios que se han visto afectados por los diferentes tensores, tales como la urbanización en la ronda hídrica, el aporte de vertimientos directos, disposición inadecuada de residuos, entre otros.

Debido a su importancia, diferentes autoridades ambientales y entidades, como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP), han desarrollado diferentes acciones y proyectos para la restauración del humedal Jaboque; lo anterior, alineado a la Política Nacional para humedales interiores de Colombia del año 2002, en la cual, el Ministerio del Medio Ambiente planteó como prioridad la protección del recurso hídrico, la conservación, recuperación y/o restauración de los humedales Colombianos, así como, con la política de humedales del Distrito Capital del 2006, donde establece como objetivo conservar los ecosistemas del humedal (Alcaldía Mayor de Bogotá y Departamento Administrativo del Medio Ambiente, 2006), y finalmente, en concordancia con los objetivos de Desarrollo Sostenible agua limpia y saneamiento y vida de ecosistemas terrestres establecidos en el Conpes 3918 del 2018, en los cuales se estipula la protección, conservación y restablecimiento de ecosistemas relacionados con el agua, incluyendo los humedales (Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES 3918], 2018).

En el marco de la gestión realizada para la recuperación del humedal y teniendo en cuenta la importancia de este ecosistema en la ciudad de Bogotá, la EAAB-ESP, la Secretaría Distrital de Ambiente y algunas universidades han desarrollado monitoreos de la calidad fisicoquímica del agua de manera separada, aportando datos que dan algunos lineamientos de gestión. Información histórica retomada en la presente investigación fortalecida con datos in-situ y exsitu de parámetros fisicoquímicos y de

macroinvertebrados acuáticos para el año 2020, registros que se unificaron para cada uno de los tres sectores del humedal Jaboque, a partir de los cuales, se realizó evaluación espacio temporal de la calidad de agua del Humedal Jaboque.

La presente investigación, se encuentra alineada a la política nacional de humedales, desde el punto de vista de generación de información y conocimiento del comportamiento histórico y actual de la calidad del agua, debido a que, en la política se encuentra establecido como instrumento la “información, investigación y transferencia Tecnológica” (Ministerio del Medio Ambiente, 2002), al igual que en la política de humedales del Distrito Capital, se contempla la estrategia de investigación sobre los humedales de Bogotá

De acuerdo a lo anterior, se generó información sobre el comportamiento espacio temporal de la calidad del agua, la cual permite a las autoridades ambientales competentes y a la comunidad conocer el estado real de la calidad del agua como respuesta a algunas acciones implementadas para su recuperación, a los tensores ambientales y a la capacidad de resiliencia del cuerpo del agua del humedal, información que permite a las autoridades establecer lineamientos en los procesos de recuperación y restauración del humedal Jaboque, que a su vez, aportó a la estrategia de investigación establecida en el plan de acción del plan de manejo ambiental Humedal Jaboque, en donde establece la construcción de conocimiento sobre el ecosistema del humedal a nivel espacial.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar espacial y temporalmente la calidad del agua del Humedal Jaboque, Bogotá.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones fisicoquímicas de calidad de agua del humedal Jaboque para la ventana de tiempo comprendida desde el año 2004 al 2020.
- Establecer la calidad del agua del humedal Jaboque por medio de los índices ICA y BMWP, para los años 2017, 2019 y 2020.
- Analizar los cambios de calidad del agua del humedal Jaboque a nivel espacio temporal para los años 2017, 2019 y 2020”.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ESTADO DEL ARTE

Durante muchos años, el humedal Jaboque ha sido objeto de numerosas investigaciones, debido a su importancia a nivel ambiental, ecológico y socio cultural; asociado a los servicios ecosistémicos y ambientales ofertados, así como, los espacios de esparcimiento que brinda a la comunidad aledaña, bienes y servicios que han sido afectados por diferentes tensiones, generando un desequilibrio ecosistémico, lo que ha conllevado a la comunidad científica e investigadores a realizar diversos estudios para el conocimiento del estado del humedal, con el fin de proponer medidas de restauración y mitigación para el ecosistema.

El humedal Jaboque, por ser un ecosistema estratégico del distrito capital ha sido estudiado y monitoreado por diversos autores, entre los cuales, Castro, Rincón y Moreno (2005), determinaron que el humedal Jaboque para el año 2004 sigue siendo un depurador del agua, a pesar de haber sido alterado por los factores de construcción de obras hidráulicas, vertimiento de aguas, inadecuado manejo de la ronda asociado a actividades agropastoriles y extracción de agua que genera desecación. Por otra parte, concluyeron de la comparación de los ICA entre el 2003 y el 2004, aumento de contaminación del ecosistema, específicamente para los índices de contaminación por materia orgánica y contaminación por mineralización.

Mejía (2006), realizó un estudio evaluativo descriptivo de los humedales Jaboque, Juan Amarillo y Córdoba, evaluando el potencial de estos ecosistemas en la mitigación del cambio climático, para lo cual, determinó la calidad del agua de cada humedal, identificó teóricamente la emisión de carbono equivalente y plantea restaurar el ecosistema como una propuesta de potencialización para la mitigación del cambio climático. Para el humedal Jaboque, en cuanto a calidad de agua respecta, se encuentra en diferentes niveles de eutrofización con déficit de oxígeno.

Por otro lado, Acherman (2007), analizó el estado de la contaminación industrial del humedal Jaboque, determinando la ubicación de los vertimientos industriales y la diversidad de industrias en la zona aferente. Por otra parte, concluye que el humedal Jaboque es el cuerpo de agua léntico más contaminado en Bogotá.

Beltrán (2012), formuló para el humedal Jaboque un modelo dinámico de simulación ecológica, en pro de su restauración y conservación, en el cual predice el comportamiento de variables biológicas y fisicoquímicas, a partir de modelos de producción de biomasa de macrófitas, producción primaria fitoplanctónica, fósforo total, sólidos suspendidos totales y modelos hidrológicos.

Castellanos (2013), analizó e identificó las propiedades fisicoquímicas y biológicas del humedal Jaboque, evidenciando el desmejoramiento de la calidad del agua a través del tiempo y la falta de cultura de los habitantes, para lo cual, mediante la cartografía social concientizó a la población de recuperar y conservar el ecosistema.

En este mismo año, es publicada una investigación en la cual se contemplan los resultados de los grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos y las condiciones fisicoquímicas del humedal Jaboque para el año 2009 y 2010 (Rivera, Pinilla y Camacho, 2013a). Determinando para macroinvertebrados acuáticos mayor abundancia en detritívoros, seguido de colectores-raspadores y colectores – fragmentadores, por otra parte, las magnitudes registradas para las variables fisicoquímicas determinan condiciones eutróficas a hipertróficas (Rivera, Pinilla y Camacho, 2013a).

Contreras (2014), planteó medidas estructurales y no estructurales para la optimización de la calidad del agua del humedal Jaboque, para lo cual, calculó el índice de calidad de agua (WQI – Water Quality Index) a partir de las variables de temperatura del agua, pH, sólidos totales, DBO, Nitratos, Fosfatos, Oxígeno Disuelto, Coliformes totales y fecales para el año 2013. Como acciones estructurales sugiere identificar y separar las conexiones erradas, así como, plantear medidas de solución, como la construcción de humedales artificiales en donde el WQI fue más bajo (Unión Canal Carmelo y canal de los Ángeles, canal Maranta y algunos vertimientos). Por otra parte,

para el tratamiento de aguas residuales recomienda la implementación de filtros verdes (macrófitas en flotación).

Las acciones no estructurales se basan en la planificación del uso del suelo y el desarrollo urbano, para no ejercer presión en la ronda del humedal, finalmente recomienda tener una mayor periodicidad y continuidad en la toma de muestras de agua, así como el cálculo WQI, para tener resultados aproximados en el estado real de la calidad del agua (Contreras, 2014).

Gómez y Triana (2015) realizan una propuesta de mejora al Plan de Manejo Ambiental, a partir de la evaluación de los impactos ambientales generados por los habitantes del barrio Unir II en el humedal, concluyendo que el PMA del cuerpo lenticó debe tener en cuenta la comunidad aledaña, en donde participe en la “ejecución y protección de los proyectos del Plan de Acción” (Gómez y Triana, 2015).

Ramírez Aguilar (2016), mencionan que uno de los principales problemas que afecta al sistema hídrico corresponde a la fragmentación del paisaje, por lo que, realiza una propuesta para el humedal Jaboque en la que se articula lo natural (humedal) y lo urbano, a partir del concepto de la ecología del paisaje. Por otra parte, propone implementar la educación ambiental, debido a que el humedal Jaboque posee una gran riqueza biológica.

Casallas (2016), propone un sistema de espacio público en donde se articulan los componentes ecológico, económico, social y cultural, teniendo como referente el desarrollo sostenible, para este mismo año Díaz, propone un sistema complejo adaptativo que permite la coexistencia simbiótica entre el humedal y la ciudad, basado en la arquitectura biodigital, en donde se imitan procesos naturales, que permiten una arquitectura programada con el fin de responder a las condiciones del lugar y las posibles emergencias.

Ortiz (2016), realizó una evaluación de proyectos de adecuación hidrogeomorfológica en el humedal Jaboque y determinó la efectividad en el control de inundaciones, bajo diferentes escenarios de cambio climático.

Pardo (2018), desarrolló un análisis multitemporal del índice ICA para los años 2009 y 2017 en el humedal Jaboque, para lo cual, realizó un mapa de calidad del agua mediante el método geoestadístico de interpolación Kriging, siendo el método geoestadístico una herramienta a implementar en la gestión del recurso hídrico.

Finalmente, Cotrino (2020), analizó la calidad del agua del humedal Jaboque, a partir del fitoplancton y de los parámetros fisicoquímicos, determinando condiciones de eutrofía, bajas concentraciones de Oxígeno Disuelto y pH ligeramente ácidos.

4.2. MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo de la presente investigación, se abordaron temáticas enfocadas hacia la calidad del agua, para lo cual, se tendrán en cuenta los siguientes conceptos:

4.2.1. Cuenca.

Corresponde a la unidad de análisis de la presente investigación, en donde interactúa el recurso hídrico con los sistemas sociales, económicos, bióticos y abióticos (MADS, 2014; MADS, 2018c). A su vez, se define como el área comprendida por el agua superficial o subterránea que drena por una red de cauces a un río de orden mayor o a un cuerpo de agua lentic (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Por otra parte, la ordenación de una cuenca, es definida por el código Nacional de Recursos Naturales Renovables como la “planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos” (República de Colombia, 1974).

4.2.2. Humedal.

Los humedales son “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013), en donde existe una dinámica continua entre los ecosistemas acuáticos y terrestres (CAR, 2011), a partir de la interacción constante entre los componentes físicos, biológicos y químicos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013); por lo que, son considerados como zonas híbridas, caracterizados por presentar biota adaptada a los cambios hidrológicos (Caho-Rodríguez y López-Barrera, 2017).

Estos cuerpos hídricos, son constituidos por agua, sustrato y comunidades biológicas. (CAR, 2011), siendo el agua el factor principal controlador del medio, de la fauna y flora presente en estos ecosistemas (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

Dichas interacciones entre componentes físicos, químicos y biológicos, hacen posible el desempeño de funciones de almacenamiento del recurso hídrico, mitigación ante crecidas o avenidas, regulación del nivel freático, control de erosión, depuración de agua, retención de contaminantes, nutrientes y sedimentos debido a la baja tasa de velocidad; a nivel climático, estabiliza el microclima de la microcuenca, particularmente en los procesos de lluvia, evapotranspiración y temperatura (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013; Castellanos, 2013; CAR, 2011); a nivel biótico, proporciona diversidad de hábitats naturales para aves, mamíferos, reptiles y anfibios, entre otros. Para el caso del humedal Jaboque se cuenta con registro de aves endémicas como Tingua bogotana (*Rallus semiplumbeus bogotensis*), Tingua Moteada (*Gallinula melanops bogotensis*) y Cucarachero de pantano (*Cistothorus apolinari*), mamíferos como curí (*Cavia anolaimae*), comadreja (*Mustela frenata*), reptiles y anfibios como Rana Sabanera o rana andina (*Dendropsophus labialis*) y culebra sabanera (*Atractus crassicaudatus*), moluscos e insectos. Por otra parte, estos ecosistemas acuáticos proporcionan condiciones idóneas para el albergue transitorio de aves migratorias (EAAB-ESP & ADESSA, 2006;

Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013; Beltrán, 2012; CAR, 2011), a nivel cultural, brinda beneficios estéticos, educativos, son patrimonio cultural y permiten un espacio de recreación y turismo (CAR, 2011; MAVDT, 2006) y a nivel económico permite la producción de comida (Beltrán, 2012).

En cuanto a la unidad de paisaje este humedal se divide en tres zonas: alta, riparia y acuática; la zona alta corresponde a la tierra firme localizada alrededor del humedal, la cual se caracteriza por tener presencia de árboles, hierbas entre otro tipo de vegetación (CAR, 2011), mientras que, la zona riparia comprende el área de tierra entre la zona acuática y la zona más alta, entendiéndose la zona acuática como aquella en donde predomina el componente agua, caracterizada por presentar macrófitas flotantes (CAR, 2011).

Estos cuerpos de agua se encuentran sometidos a diferentes tensores ambientales, correspondientes a actividades que afectan al ecosistema (Gómez y Triana, 2015), dentro de los cuales, se encuentran las conexiones erradas, entendiéndose estas como la conexión de la red de alcantarillado sanitario al sistema pluvial de la ciudad (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá [EAB-ESP], 2017a; Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá [EAAB-ESP], 2019)), lo cual genera contaminación del ecosistema en mención.

4.2.3. Índice de calidad de agua (ICA).

El índice ICA, permite realizar análisis de tendencia, con el fin de determinar la degradación o recuperación del recurso hídrico en una ventana de tiempo, así como, obtener información para la verificación de cumplimiento de estándares, para la toma de decisiones, asignación de recursos y como información pública (IDEAM, 2013).

El índice de calidad de agua (ICA), califica en cinco categorías la calidad del agua (Tabla 1), a partir de los datos registrados para cinco o seis parámetros fisicoquímicos (Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales, Conductividad Eléctrica, pH), en una

estación de monitoreo en un determinado tiempo (Caho-Rodríguez y López-Barrera, 2017; IDEAM, 2013).

Tabla 1. *Calificación de la calidad del agua según los valores del índice*

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarilla
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: Tomado de IDEAM, 2013.

4.2.4. Macroinvertebrados acuáticos, BMWP/Col y ASPT.

Los macroinvertebrados acuáticos habitan cuerpos lóticos y lénticos adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidas (Roldán-Pérez, 2016), dependiendo del lugar en la columna de agua en la que se encuentren y de la adaptación que presenten pueden vivir en el fondo o en la superficie, por lo que, los organismos que viven sobre la superficie del agua bien sea caminando, patinando o brincando, se clasifican en el grupo Neuston, algunas de las familias representativas para este grupo son: Veliidae, Hydrometridae y Gerridae (IAVH, 2005). Por otra parte, los organismos que nadan libremente en la columna de agua, son clasificados en el grupo Necton, como lo son las familias Corixidae, Notonectidae, Dysticidae, Hydrophilidae y Baetidae, entre otras; por último, aquellos macroinvertebrados que viven en el fondo como los dípteros, moluscos, plecópteros entre otros, se clasifican en el grupo bentónico (IAVH, 2005).

Los macroinvertebrados acuáticos son utilizados como bioindicadores debido a que reflejan las condiciones locales del medio, asociado a los ciclos de vida largos, que permite detectar alteraciones en la abundancia y diversidad, alteraciones que se pueden relacionar con cambios en la calidad del agua, por otra parte, son visibles a simple vista

y fácil de identificar a nivel de familia, las técnicas de muestreo se encuentran estandarizadas y son de bajo costo (IAVH, 2005; Roldán-Pérez, 2016).

Con base en lo anterior, en el siglo XX en la década de los 70 en Inglaterra, se desarrolló el índice Biological Monitoring Working Party – BMWP, el cual fue adaptado para Colombia en el año 2003 por Roldán, con los estudios realizados para macroinvertebrados acuáticos en el Departamento de Antioquia (Roldán-Pérez, 2016) y ajustado para las cuencas de los Andes Colombianos por el instituto Humboldt y Alvarez en el año 2005 mediante el desarrollo del contrato No.05-01-24843-0424PS (IAVH, 2005).

El índice BMWP/Col es de carácter cualitativo, debido a que los datos representan la presencia o ausencia de determinada familia, que a su vez, es calificada de 1 a 10 de acuerdo a la tolerancia ante la contaminación por materia orgánica, es así, que las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10, mientras que las familias tolerantes a la contaminación por materia orgánica como los Tubificidos son puntuados como 1. La suma de los puntajes de las familias identificadas para cada estación de muestreo proporciona el puntaje del índice BMWP/Col y BMWP, acorde con este puntaje total se clasifica la calidad del agua en buena, aceptable, dudosa, crítica y muy crítica (IAVH, 2005 y Roldán-Perez, 2003), como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 2. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al índice BMWP/Col y BMWP

Clase	Calidad	Valor BMWP/Col	Significado BMWP/Col / color	Valor del BMWP	Significado BMWP / Color
I	Buena	>150. 101-120	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas	≥150	Aguas muy limpias
				123-149	Aguas no contaminadas
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	71-122	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	46-70	Aguas moderadamente contaminadas

Clase	Calidad	Valor BMWP/Col	Significado BMWP/Col / color	Valor del BMWP	Significado BMWP / Color
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	21-45	Aguas muy contaminadas
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	<20	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

La tabla 2 muestra de izquierda a derecha la clasificación de la calidad del agua, el significado y el color de representación de acuerdo al índice BMWP/Col propuesto por Roldán-Pérez en el año 2003 y el índice BMWP relacionado en la metodología propuesta por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en el año 2005. Tomado y adaptado de IAVH, (2005) y Roldán-Perez, (2003).

El índice ASPT (Average Score per Taxon), es un índice que permite la evaluación de la calidad del agua, determinado a partir de la relación entre el puntaje BMWP/Col y el número de taxones éste fue ajustado para zonas Andinas de Colombia por el Instituto Humboldt y Alvarez en el año 2005 (IAVH, 2005), y su función se da en que permite clasificar en 5 clases la calidad del agua, dependiendo de los valores de ASPT, los cuales pueden oscilar entre 1 a 10, siendo 1 condiciones de calidad de agua muy crítica y 10 aguas de buena calidad (IAVH, 2005).

4.2.5. Interpolación IDW (Distancia inversa ponderada).

La interpolación permite a partir de procesos matemáticos generar la predicción de valores no conocidos a partir de datos conocidos de determinada variable o fenómeno de interés (Quino y Quintanilla, 2013; Vargas, Santos, Cárdenas y Obregón, 2011),

IDW (Inverse distance weighting) es un método de interpolación determinístico utilizado para análisis espaciales, el cual permite obtener datos continuos en determinado espacio a partir de datos conocidos, asumiendo que cada valor determinado tiene influencia mayor en sus vecinos y disminuye con la distancia (Sapna, Thangavelu, Mithran y Shanthi, 2018), el método determina valores de celda a partir de la ponderación lineal (Yang *et al*, 2020), mediante la implementación de la siguiente ecuación

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^n W_i Z(S_i), \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Fuente: (Yang *et al*, 2020)

Donde:

$Z(S_0)$ = Valor desconocido en ubicación de interés

n = Estación de monitoreo

$Z(S_i)$ = Valor en la ubicación muestreada

W_i = Representa el peso de S_i ,

Siendo W_i , calculado de la siguiente forma:

$$W_i = \frac{\frac{1}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}} \quad i = 1, 2, n, \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Fuente: (Yang *et al*, 2020),

Donde:

d_i = distancia horizontal entre los puntos observados y los puntos a interpolar

k = potencia de la distancia

4.2.6. Método de curvas de isoyetas (precipitación)

Para la cuantificación de la lluvia en un determinada unidad de tiempo, se puede realizar por el método del promedio aritmético o el método de polígonos de Thiessen o por el método de curvas de isoyetas, siendo este último método el más preciso, ya que promedia la precipitación entre dos isoyetas continuas y se le asigna la subárea que comprende (MAVDT, 2004a), el trazado de cada isolínea corresponde a la altura del agua precipitada, las isoyetas se trazan a partir de la información de las estaciones localizadas dentro y fuera del área de estudio (MAVDT, 2004a).

4.2.7. Pruebas no paramétricas

La estadística se clasifica en descriptiva e inferencial, en la estadística inferencial se realiza estimaciones teniendo en cuenta intervalos de confianza y/o permite evaluar

hipótesis planteadas (Javier, 2019), los métodos no paramétricos se aplican cuando no cumplen con el supuesto de normalidad. Entendiéndose para el supuesto de normalidad que los valores del parámetro se concentran cerca o simétricamente a la media, es decir la media y la mediana son iguales (Sierra, 2011)

Con base en lo anterior, la mediana es el parámetro que se debe utilizar en las pruebas no paramétricas (Javier, 2019; Acuña, s.f). Este tipo de pruebas pueden aplicarse a muestras pequeñas, con distribución no normal, resistentes a transformaciones y además son casi insensibles cuando existen datos atípicos (Javier, 2019; Minitab, 2019). Una de las pruebas no paramétricas corresponde a la de rangos de signos de Wilcoxon y e Mann Whitney suma de rangos de Wilcoxon.

La prueba de rangos de signos de Wilcoxon asume que la variable es continua y ordinal, este tipo de prueba para muestras pequeñas tiene una eficiencia del 95% (Javier, 2019; Amat, 2016).

4.3. MARCO LEGAL

En la investigación se basó la normatividad Colombiana, leyes, decretos y resoluciones enfocadas al recurso hídrico y demás aspectos ambientales afines, la siguiente tabla relaciona, el análisis de la normatividad en forma cronológica.

Tabla 3. *Legislación ambiental aplicable a la propuesta de investigación*

Decreto	Artículo	Temática
Decreto – ley 2811 de 1974	Artículo 8	Establece como factores que deterioran el ambiente: la, disposición inadecuada de residuos, eutrofización en cuerpos alteración nociva del flujo del agua, alteraciones de paisajes naturales lenticos, entre otros
	Artículo 69	Estipula la adquisición de bienes para la ejecución de obras de control de inundaciones, construcción, rehabilitación de distritos de riego, conservación y mejora de cuencas, prevención y control de contaminación del agua.
	Artículos 80 y 83	Establece para el recurso hídrico (cuerpos lénticos y lóticos), una faja de treinta metros de ancho paralela al nivel máximo, siendo estas áreas inalienables e imprescriptibles
	Artículo 118	Los dueños de predios ribereños no podrán construir edificaciones, ni desarrollar actividades de agricultura
	Artículo 137	Protección del recurso hídrico destinado para consumo humano, para animales y para la producción de alimentos.
	Artículo 312	Definición de cuenca.
	Artículo 316	Definición de ordenación de cuenca
Decreto 1541 de 1987	Artículo 1	Reglamenta la Parte III del Libro II del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente; de las aguas no marítimas. Reglamenta las normas relacionadas al recurso hídrico, comprendiendo los aspectos de: • Aprovechamiento según prioridades • Declaración de reservas para la preservación cuantitativa con el fin de garantizar la disponibilidad del recurso, • Conservación del recurso hídrico, con miras de asegurar la preservación cualitativa del mismo
Decreto 2857 de 1981		Reglamenta el Decreto-Ley 2811 de 1974, sobre cuencas hidrográficas (Decreto 2857, 1981).
Decreto 1594 de 1984		Establece los usos del agua, los criterios de calidad para cada uso, así como las normas para el vertimiento en cuerpos de agua y en el alcantarillado público (Decreto 1594, 1984).
Constitución Política de Colombia 1991	Artículo 8	Es deber del estado y de los colombianos proteger los recursos naturales, como lo son agua y flora.
	Artículo 79	El estado, debe garantizar la protección del ambiente a nivel de diversidad e integridad, así como, conservar áreas



Decreto	Artículo	Temática
	Artículo 95	ecológicas de gran valor y fomentar programas, actividades desde el campo de la educación. Es deber de la persona, velar por la conservación del ambiente
Ley 99 de 1993	Artículo 1	Se prioriza la utilización del recurso hídrico para consumo humano, a su vez establece la protección y recuperación del ambiente, como un trabajo, en el que participan la comunidad, el estado y las organizaciones
	Artículos 108 y 111	Estipula la adquisición de predios para la conservación de recursos naturales, bien sea por parte de la nación o de acueductos municipales.
Ley 357 de 1997	Artículo 3	Establece la “Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas” (Ley 357, 1997), suscrita en Ramsar. Por otra parte, estipula que se deberá planificar en pro de la conservación y uso racional de los humedales.
Política Nacional para Humedales interiores de Colombia del 2002		Establece objetivos y acciones acordes al uso sostenible, la conservación y recuperación de los humedales de Colombia.
Resolución 0157 de 2004	Artículo 2 Artículo 3	Establece los humedales como bien de uso público Decreta la elaboración y ejecución del Plan de Manejo Ambiental por parte de las autoridades ambientales competentes
Resolución 196 de 2006		Establece la adopción de la Guía técnica para la formulación de planes de manejo de humedales presentes en el país.
Decreto 1729 del 2002	Artículos 2 y 4	Establece los criterios para la delimitación de una cuenca, así como, las finalidades, y directrices de ordenación de la misma.
Decreto 1640 del 2012		Contemplan los instrumentos para la planificación, ordenación, manejo y financiación de las cuencas, por lo que reglamenta el artículo 316 del decreto - ley 2811 de 1974 (Decreto 1640, 2012)
Decreto 1076 del 2015		Lo anterior mencionado, a nivel de normatividad es recopilado en el “Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” (Decreto 1076, 2015).
Decreto 1468 de 2018		Incluye el complejo de humedales del Bogotá en la lista de Humedales de Importancia Internacional, en el cual, se encuentra el Humedal Jaboque
Decreto Distrital 619 de 2000		Adopta el POT para el Distrito Capital – Bogotá, en donde se reconoce los humedales y sus rondas como parte del sistema hídrico, a su vez, establece la elaboración de planes de manejo de parques ecológicos de humedales por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB E.S.P; en el cual se encuentra inmerso el humedal objeto de estudio (humedal Jaboque).
Política de humedales del distrito Capital		Plantea la protección y recuperación de los humedales Distritales, integrados al desarrollo de Bogotá, a partir de las relaciones entre personas y comunidades (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2006).

Decreto	Artículo	Temática
Decreto 624 de 2007		Adopta la visión, objetivos y principios de la política anteriormente mencionada. (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2007).
Resolución Conjunta N° 1 de 2015		Aprueba el PMA y el Plan de Acción del Parque Ecológico Distrital de Humedal Jaboque (CAR-SDA, 2015)
Acuerdo 35 de 1999	Artículo 2	Establece la ronda y zona de manejo y preservación Ambiental del humedal Jaboque

5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El humedal Jaboque se localiza al occidente de la ciudad de Bogotá (Figura 1), entre la autopista de Medellín y el aeropuerto internacional el Dorado, limita al occidente con el río Bogotá, en donde vierte sus aguas de forma directa, el punto de vertimiento se localiza a los 2545 msnm en las coordenadas 4°43'36.98"N y 74° 8'46.42"O, al sur limita con los barrios de Engativá, las Mercedes, puerto Amor, Villa del Mar, Bolivia y la calle 64 en el tramo Engativá y parque de la Florida; al oriente con los barrios Álamos Norte y Sur, Bosques de Mariana entre otros y al norte con Villas de Granada, los Ángeles y el sendero peatonal que llega al parque la Florida, (Beltrán, 2012; EAAB-ESP & ADESSA, 2006).

El cuerpo léntico presenta una forma alargada en dirección suroriente a noroccidente (Beltrán, 2012; EAAB-ESP & ADESSA, 2006), cuenta con un área de 117,81 hectáreas (EAAB-ESP, 2018), siendo uno de los humedales más grandes del distrito capital; por otra parte, la microcuenca del humedal Jaboque es una de la más pequeñas, con un área de 1787,42 hectáreas (EAAB-ESP, 2018).

El humedal se divide en tres sectores (Figura 1), acorde a las áreas definidas para el desarrollo de obras de reconfiguración hidrogeomorfológica del parque ecológico distrital humedal de Jaboque (PEDH) establecidas en la consultoría No. 1-02-24100-949-2008, efectuada entre la EAAB-ESP y el Consorcio Jaboque (EAAB-ESSP y ADESSA); siendo el sector 3, el área que se encuentra sometida a mayor presión antrópica en comparación con el sector 1, este último sector se encuentra aledaño al río Bogotá, donde vierte sus aguas en época seca.

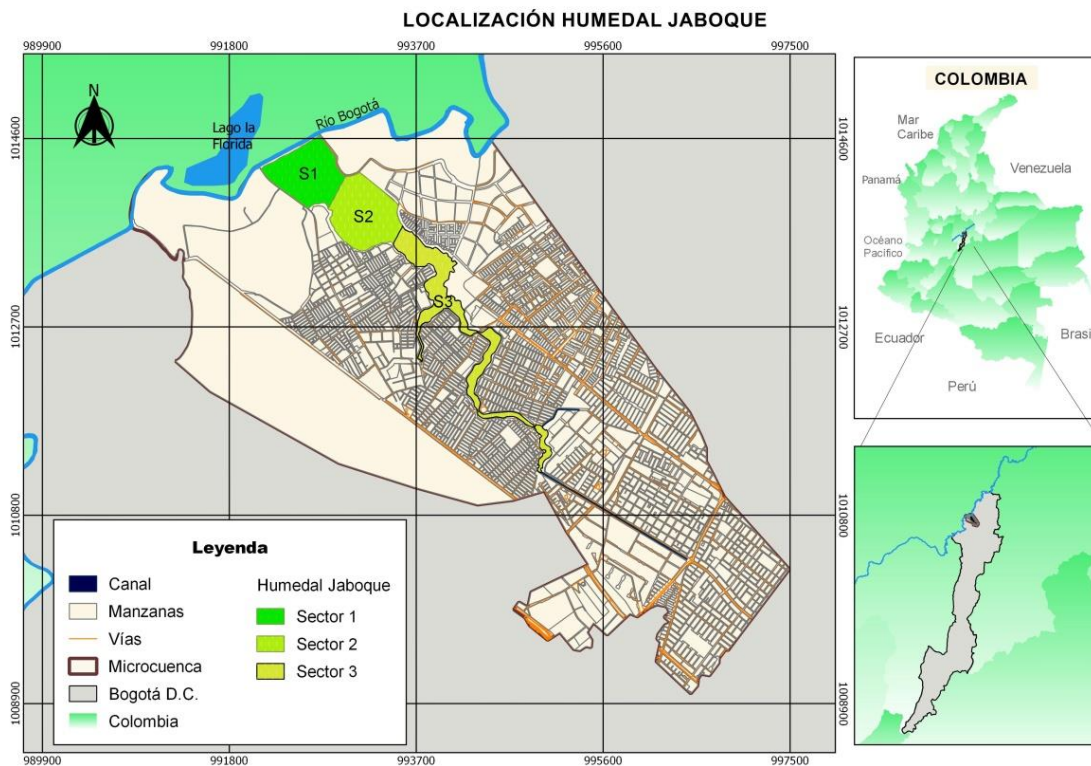


Figura 1. Localización del humedal Jaboque y su sectorización.

Elaborado con información proporcionada en la página de datos abiertos Bogotá

Fuente: Villamil-Pasito, 2021

6. METODOLOGÍA

En la evaluación espacio temporal de la calidad del agua del Humedal Jaboque se desarrolló la presente investigación como se muestra en la *Figura 2*

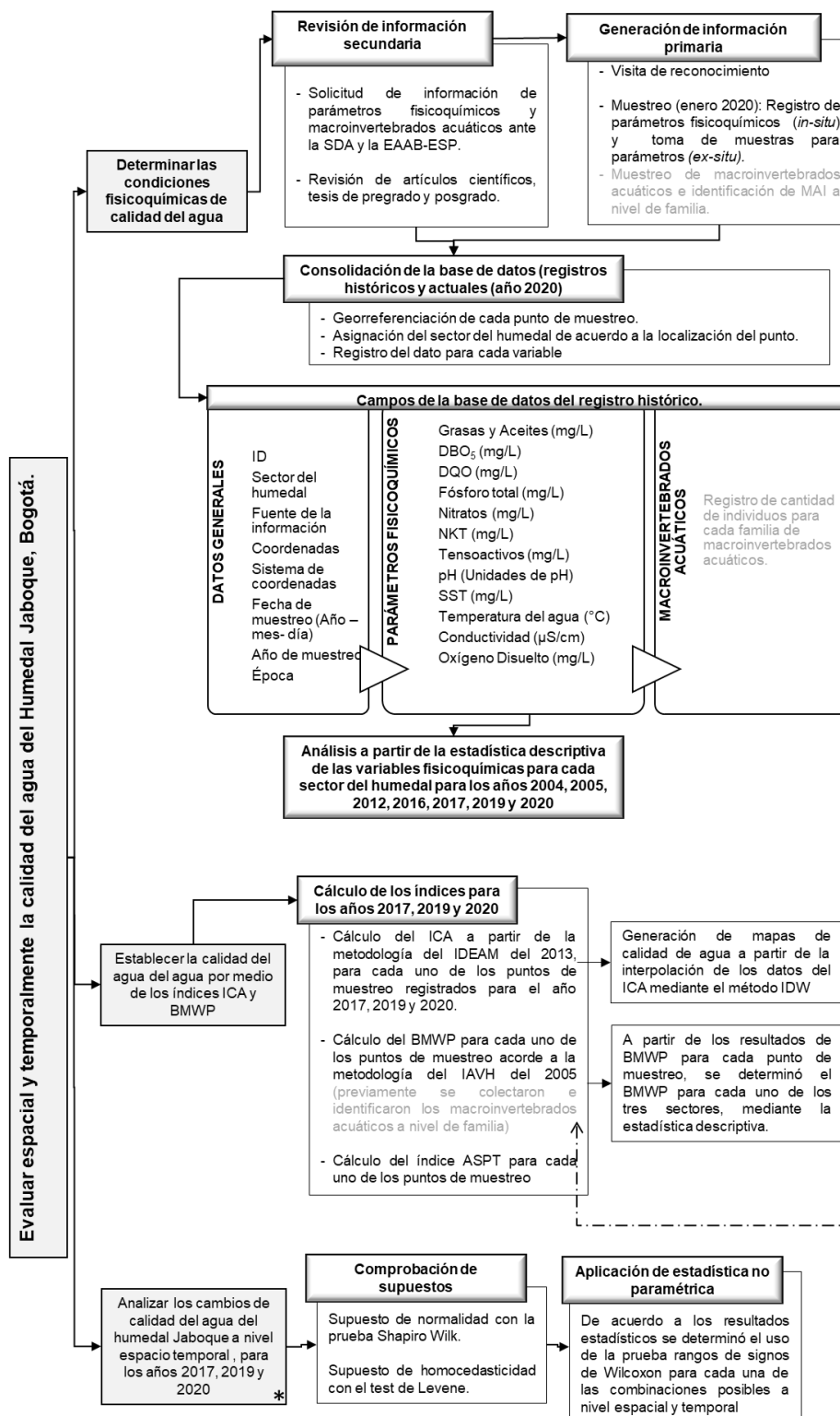


Figura 2. Esquema metodológico de la evaluación espacio temporal de la calidad del agua del humedal Jaboque

* Se complemento previamente a la comprobación de los supuestos la base de datos de los registros históricos y actuales, con la información de los índices y con la precipitación mensual para cada mes, en los que se contó con información de las variables analizadas para los años 2017, 2019 y 2020.

6.1. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA

6.1.1. Revisión de información secundaria.

En esta fase se solicitó información del registro histórico de los parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos reportados hasta la fecha para el humedal Jaboque, ante la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – ESP y la Secretaria Distrital de Ambiente- SDA, en la Subdirección de Recurso hídrico y la Subdirección de Ecosistemas y Ruralidad, entidades que amablemente brindaron información histórica.

Por otra parte, se realizó una revisión de artículos científicos, tesis de pregrado y posgrado en las diferentes bases de datos, documentos que se encuentran respectivamente en las referencias bibliográficas del presente documento, así como, el Plan de Manejo Ambiental del humedal Jaboque, para la obtención de información de parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos reportados para la zona de estudio.

La información obtenida de Parámetros Fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos, fue georrefenciada mediante el uso de google earth, depurada y organizada de forma temporal y espacial para cada uno de los tres sectores del humedal. La depuración de la información, consistió en la eliminación de los datos alfanuméricos o en la aplicación del criterio estadístico de la mitad del Límite de Detección (LD/2) propuesto por Croghan y Egeghy (2003), siempre y cuando se contara con el límite de detección del parámetro y los datos a depurar no superaran el 30% de la serie de datos de la variable para cada sector en el año. De acuerdo a lo anterior, se generó una base de datos histórica con información general (Ver *Figura 2*), que incluye los campos de sector,

año, coordenadas, entre otros, así como, campos para cada uno de los 12 parámetros físicoquímicos y para cada una de las familias de macroinvertebrados acuáticos reportadas en la información secundaria revisada.

6.1.2. Generación de información primaria.

6.1.2.1. Fase de campo.

En esta etapa se reconoció el área de estudio mediante la realización de una visita de reconocimiento al Humedal Jaboque el 5 de octubre de 2019, identificando los cuatro puntos de muestreos (Anexo 1), los cuales se localizaron en los tres sectores del humedal, a su vez, se visualizaron tensores a los que se encuentra sometido este cuerpo de agua e impactos a nivel ambiental (Anexo 2), por otra parte, cabe mencionar que los puntos de muestreo se encuentran alineados a los establecidos en el macroproyecto aprobado por FODEIN 2019 “Determinación de las características ecológicas de las comunidades de hidrobiota del humedal de Jaboque como herramienta de conservación del complejo de humedales RAMSAR”, macroproyecto en el que se encuentra vinculado el presente trabajo de grado.

Posteriormente, se realizó una salida de campo en el año 2020 en época de estiaje, salida en la que se muestreó cada uno los cuatro puntos establecidos para el presente trabajo de grado, los cuales, se distribuyeron de la siguiente manera, dos puntos de muestreo para el sector 3, el cual corresponde al sector con mayor intervención e impacto por el desarrollo de actividades antrópicas, un punto de muestreo para el sector 2 y otro para el sector 1, cabe mencionar, que los 4 puntos fueron muestreados previamente por la Secretaría Distrital de Ambiente y que solo se llevó a cabo el muestreo en estos puntos debido a que se realizó con recursos propios.

Por otra parte, es de importancia destacar, que el muestreo solo se realizó en época de estiaje para el año 2020, debido a que, para el año en mención en el mes de marzo fue declarada la emergencia sanitaria a nivel nacional por causa de la COVID-19, en

donde se adoptaron medidas preventivas como el aislamiento, razón por la cual, no fue posible realizar muestreo en época de lluvia.

Durante la jornada de muestreo efectuada el 26 de enero de 2020, se tomaron datos de turbidez, pH, temperatura del agua y conductividad de forma *In-situ*, mediante la utilización de una sonda multiparamétrica marca HANNA (HI 9829), mientras que para los parámetros de DQO, fósforo total, sólidos suspendidos totales y Oxígeno Disuelto se tomaron muestras de agua y se preservaron acorde a lo establecido en el libro Standard Methods for the Examination of Water Wastewater y los lineamientos del laboratorio Conoser LTDA acreditado por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM mediante la resolución 0919 DE 2019, el parámetro de fósforo total fue determinado por la firma ANA LQUIM LTDA acreditada por el IDEAM mediante la resolución No. 0822 del 2019.

A continuación se relacionan los métodos del Standard Methods the examination of wáter and waste water – Edición 23/2017, utilizados para la determinación de las variables DQO, fósforo total, oxígeno disuelto y SST (Tabla 4)

Tabla 4. *Métodos para la determinación de DQO, fósforo total, OD y SST*

Parámetro	Método
Demanda química de Oxígeno	SM 5220 C Reflujo cerrado
Fósforo Total	SM 4500 P B, E Colorimétrico
Oxígeno Disuelto	SM 4500 G Electrodo Membrana
Sólido Suspendidos Totales	SM 2540 D Gravimétrico secado 103°C – 105°C

Fuente: Tomado y adaptado de (Consultoria y Servicios CONOSER LTDA, 2020)

Posteriormente, para cada uno de los 4 puntos de muestreo en los que se midieron y tomaron muestras de parámetros fisicoquímicos, se realizaron los muestreo de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de una red limnológica tipo D, con ojo de malla de 300 micras, el proceso de captura consistió en hacer tres arrastres en forma de

zig-zag durante 15 minutos, el material colectado fue almacenado en frascos de plástico, debidamente rotulados y conservados con etanol al 70%.

6.1.2.2. Fase de laboratorio.

El material biológico colectado y preservado fue observado e identificado a nivel de familia mediante el uso del estereoscópio ZEISS Stemi 365 S/N 3946015737 del laboratorio de la Universidad Santo Tomás y uso de claves taxonómicas propuestas por Roldán 1988 y Roldán 2003.

6.1.3. Fase de cálculos y análisis de la información de parámetros fisicoquímicos.

La base de datos con el registro histórico de los parámetros fisicoquímicos y de macroinvertebrados acuáticos fue retroalimentada con la información obtenida del muestreo efectuado en enero del 2020 para los cuatro puntos de monitoreo establecidos en el anexo 1, con el fin de tener información actual de la calidad fisicoquímica del agua del humedal Jaboque; posteriormente se revisó la base de datos teniendo en cuenta la condición de que para cada año se contara con información de los parámetros fisicoquímicos para los tres sectores del humedal, por lo que, se determinó el cumplimiento de esta condición para la mayoría de los parámetros registrados para los años 2004, 2005, 2012, 2016, 2017, 2019 y 2020 (Anexo 3), razón por la cual, se analizaron espacial y temporalmente los datos de parámetros fisicoquímicos para los tres sectores en los años mencionados, a partir de la estadística descriptiva (promedio de los registros por sector para cada año). Cabe aclarar, que para el caso de pH, el promedio fue calculado a partir de los antilogaritmos.

Por otra parte, las variables de pH, grasas y aceites y tensoactivos fueron comparadas con los valores establecidos en el artículo 2.2.3.3.9.10. Criterios de calidad para preservación de flora y fauna del Decreto 1076 de 2015.

A partir de los datos de DBO5 y DQO registrados para cada uno de los puntos de muestreo para los años 2004, 2005, 2012, 2017 y 2019, se determinó la naturaleza del contaminante mediante la relación DBO5/DQO establecida por (Lucero, 2010; Ardila, Arriola, Reyes, Berrio y Fuentes, 2016 y Espejo, 2017), resultados por punto de monitoreo del registro histórico, a partir de los cuales, se calculó el promedio, determinado por año para cada sector por el valor de DBO5/DQO.

6.2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL JABOQUE A PARTIR DE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP

De acuerdo con la información recopilada y registrada en la base de datos histórica, se calcularon los índices ICA y BMWP/Col acorde a las metodologías propuestas por el IDEAM en el año 2013 y por el IAVH en el 2005, para cada uno de los puntos de muestreo registrados para los años, 2017, 2019 y 2020; debido a que, para estos tres años se contó con información de macroinvertebrados acuáticos a nivel de familia e información completa para las cinco parámetros fisicoquímicos requeridos para el cálculo del ICA (Anexo 3). Cabe destacar, que para el año 2017, 2019 y 2020 se calcularon los índices para 11, 6 y 4 puntos de muestreo respectivamente, los cuales se pueden visualizar en la *Figura 3*, en donde la ubicación de los ICAs coincide con los puntos y la cantidad de muestreos, obtenidos de la revisión bibliográfica para los años 2017 y 2019, así como, con los muestreados para el año 2020.

Por otra parte, se clasificó la calidad del agua acorde al índice ASPT, determinado a partir de la división de los valores del índice BMWP/Col y el número de familias (IAVH, 2005).

El índice ICA fue calculado a partir de los valores registrados para 5 variables OD, SST, DQO, pH, conductividad eléctrica) mediante la implementación de la siguiente ecuación:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde

- ICA_{njt} = índice de calidad del agua en una estación de monitoreo con n variables, de la calidad de agua j en un tiempo t (IDEAM, 2013).
- W_i = Peso relativo asignado a la variable de calidad i (IDEAM, 2013).
- I = valor calculado para cada variable, expresado en una escala de 0 a 1 (IDEAM, 2013)

Para el cálculo del valor I de cada variable, se utilizaron las ecuaciones relacionadas en la Tabla 5

Tabla 5. Ecuaciones para el cálculo del valor I

Variable	Ecuación
	El I_{OD} se calcula a partir de PS_{OD}
	$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p}$
	Fuente: (IDEAM, 2013)
	Donde:
	O_x = OD medido en campo (mg/L)
	C_p = Concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L) a la presión no estándar es decir oxígeno de saturación.
	Porcentaje de Saturación (PS) de OD sobre la base de Ramírez y Viña de 1998 (IDEAM, 2013; IDEAM y Centro de Investigaciones en Hidroinformática, 2007), donde C_p
Oxígeno Disuelto	$C_p = C^* \cdot P \left[\frac{\left(1 - \frac{P_w}{p}\right) \cdot (1 - \theta P)}{(1 - P_w) \cdot (1 - \theta)} \right]$
	Fuente: (IDEAM y Centro de Investigaciones en Hidroinformática, 2007)
	Donde:
	C^* = Concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L) a la presión estándar de 1 atmósfera
	P = Presión no estándar (atmósferas)
	P_w = Presión parcial de vapor de agua (atmósferas)
	θ = Factor de corrección de la temperatura (°C) a condiciones no estándar
	Una vez calculado PS_{OD} , se calcula el I_{OD} de la siguiente forma:
	$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 \cdot PS_{OD})$



Variable	Ecuación
	Cuando el porcentaje de saturación de OD es $> 100\%$, se aplica la siguiente fórmula: $I_{OD} = 1 - (0,01 \cdot PS_{OD} - 1)$
	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$
Sólidos suspendidos totales - SST	Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$ Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$
Demanda química de Oxígeno - DQO	Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$ Si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$ Si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$ Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$ Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$
Conductividad eléctrica - CE	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} CE)}$ Cuando $I_{CE} < 0$, entonces $I_{CE} = 0$
pH	Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0,1$ Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0,02628419 \cdot e^{(pH \cdot 0,520025)}$ Si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$ Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 \cdot e^{[(pH-8) \cdot -0,5187742]}$ Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$

Fuente: Tomado y adaptado de IDEAM (2013) e IDEAM y Centro de Investigaciones en Hidroinformática, 2007

Una vez realizado el cálculo de los índices de Calidad del Agua (ICA), se plasmaron geográficamente para cada uno de los tres sectores mediante la generación de mapas en el software QGIS, para lo cual, se utilizó el método de interpolación IDW.

6.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA A NIVEL ESPACIO TEMPORAL

6.3.1. Precipitación.

Posteriormente para el análisis espacial y temporal se complementó la base de datos con los valores promedio de precipitación mensual obtenidos para los meses de agosto y octubre del año 2017, julio 2019 y enero 2020, para cada uno de los tres sectores de humedal Jaboque, meses correspondientes para los cuales se registró información de parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos, según lo relacionado en la revisión de información secundaria, mientras que enero corresponde al mes en el que se realizó el muestreo del año 2020. Lo anterior, con el fin de mirar como había sido el comportamiento de la precipitación en cada sector del humedal para los meses en los que se contó con reportes.

Con base en lo anterior, se solicitaron al IDEAM datos de precipitación para diferentes estaciones pluviométricas y climatológicas, así mismo, se descargó información de estaciones pluviométricas de la página del Sistema de Alerta de Bogotá y la página de Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. Los datos faltantes de precipitación para cada estación, fueron imputados mediante la aplicación del algoritmo de Kalman, proceso efectuado en el programa Rstudio.

Para los valores de precipitación media mensual de cada sector, se georreferenciaron las estaciones pluviométricas y climatológicas, con su respectivo valor de lluvia para los meses relacionados; posteriormente, en QGIS se generaron rasters mediante la interpolación de los datos de precipitación con el método IDW, el cual según Vargas, Santos, Cárdenas y Obregón (2011), permite representar el comportamiento espacial de la variable para el caso de Bogotá. Finalmente, para la obtención de la precipitación media de cada sector se aplicó el método de curvas de Isoyetas (ecuación 4), para lo cual, a partir de los raster se generaron isoyetas con intervalo entre curvas de uno (1 mm) y se calcularon sus respectivas áreas de influencia.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) * A_{i, i+1}}{\sum_{i=1}^n A_{i, i+1}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], 2004a)

Donde:

$\bar{P}$ = Precipitación media

n = Número de curvas de igual precipitación

P_i = Precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación i

P_{i+1} = Precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación $i+1$

A_i = Área encerrada entre dos isoyetas sucesivas (Superficie encerrada entre curvas) o área entre las curvas de igual precipitación i e $i+1$

6.3.2. Distribución de probabilidad, homocedasticidad y prueba de varianza Wilcoxon.

Se consolidó una base de datos unificada con la información de parámetros fisicoquímicos (DQO, fósforo total, SST, pH, Temperatura del agua, conductividad, OD y Turbidez), valores de los índices (ASPT, ICA, BMWP/Col) y magnitudes de precipitación mensual, para cada una de los puntos de muestreo reportados para los años 2017, 2019 y 2020; variables a las cuales se les comprobó el supuesto de normalidad con la prueba Shapiro Wilk y a nivel gráfico mediante histogramas, así como, el supuesto de homocedasticidad con el test de Levene. Determinando de acuerdo a los resultados de los test el tipo de prueba (paramétrica o no paramétrica) a emplear para analizar los cambios de calidad del agua del humedal.

De acuerdo a lo anterior, para el análisis de los cambios de calidad del agua, se aplicó la prueba paramétrica Pairwise Wilcoxon Rank Sum Tests del paquete stats, para las 12 variables mencionadas anteriormente, agrupadas por sectores y por años, mediante el uso del software Rstudio, Prueba que permitió la comparación y análisis de los índices y parámetros fisicoquímicos a nivel espacial (sectores del humedal) y temporal (Años 2017, 2019 y 2020), abarcando todas la combinaciones posibles entre los sectores [S1-S2, S2-S3 y S1-S3] o años [2017-2019, 2019-2020 y 2017-2020].

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El humedal Jaboque ecosistema de sabana se divide en tres sectores, siendo el sector tres (3) el área más intervenida a nivel ingenieril, debido a que el cuerpo de agua se encuentra canalizado presentando fuertes taludes, es atravesado por dos puentes viales y en sus zonas aledañas se visualizan viviendas, en donde se evidencia el desarrollo urbanístico. Por otra parte, presenta en su cuerpo de agua residuos sólidos producto del desarrollo de las actividades antrópicas. El sector dos (2), comprendido entre los sectores tres y uno, presenta menor presión antrópica y corresponde al área en donde se conformó una isla y un mayor espejo de agua; el sector uno se caracteriza por ser el sector menos intervenido y por tener una conectividad con el río Bogotá por medio de dos tubos que atraviesan el jarillón (ver anexo 2).

7.1. CONDICIONES FISICOQUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL

El registro histórico de los parámetros fisicoquímicos recopilados a partir de la información secundaria para los tres sectores del humedal data desde el año 2004 hasta el año 2019, las variables fisicoquímicas para las cuales se obtuvieron datos históricos corresponden a DBO5, DQO, Fosforo total, Nitratos, NKT, Sólidos Suspendidos Totales, pH, temperatura del agua, grasas y aceites, tensoactivos, conductividad y Oxígeno Disuelto. La base de datos histórica fue robustecida con los valores de los parámetros medidos en el año 2020, mediciones correspondientes a DQO, fósforo total, SST, pH, Temperatura, Conductividad y OD para cada una de los cuatro puntos de muestreo relacionadas en el Anexo 1.

Se compilaron 1516 datos de parámetros fisicoquímicos, consolidados en la base de datos que data desde el 2004 al año 2020, de los cuales 78 fueron depurados, información correspondiente a variables no numéricas como ND (No Detectable), datos representados de la siguiente forma <0,1, <1,5, <10, <0,40 y dos datos atípicos. La depuración consistió en la eliminación del dato o en la aplicación del criterio estadístico

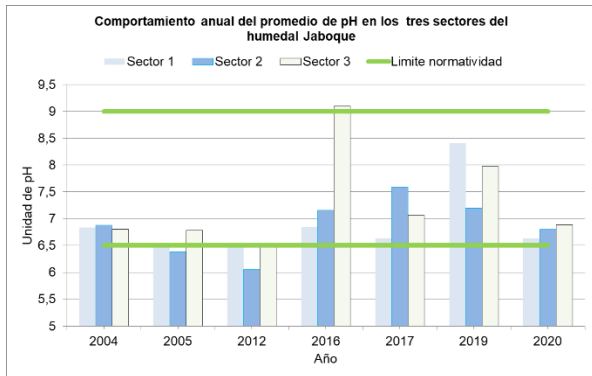
de la mitad del Límite de Detección (LD/2) (Croghan y Egeghy, 2003), siempre y cuando se contara con el límite de detección del parámetro y los datos a depurar no superaran el 30% de la serie.

Una vez, generada la base de datos de acuerdo a la estructura establecida en la *Figura 2* y respectivamente depurada, se calcularon los promedios para cada uno de los sectores de cada año para cada una de las 12 variables, de acuerdo a la información consolidada. Por otra parte, se resalta que, se calculó el promedio para los antilogaritmos del pH.

Los parámetros fisicoquímicos fueron analizados con estadística descriptiva para los tres sectores de forma anual, de acuerdo a los datos obtenidos de cada parámetro para cada sector en el año (anexo 3). Los datos registrados para el año 2008, 2009, 2010 y 2013 no fueron graficados debido a que solo se cuenta con información de los parámetros fisicoquímicos para los sectores 1 y 3 (anexo 3). Igualmente, no se graficaron los datos de tensoactivos, debido a que el 48,8% de los datos corresponden a <0,40 mg/L, ni grasas y aceites asociado a que el 48,1% de los registros son alfanuméricos.

A continuación, se relaciona los resultados y análisis para cada uno de los parámetros fisicoquímicos Tabla 6, en donde los datos de OD y pH fueron comparados con los valores establecidos en el artículo 2.2.3.3.9.10. que relaciona los criterios de calidad para preservación de flora y fauna del Decreto 1076 de 2015 y con el artículo 45 del decreto 1594 de 1984.

Tabla 6. Resultados y análisis de los parámetros fisicoquímicos

Resultado y Análisis	GRÁFICO																																
pH: Los valores de pH promedio de los años 2004, 2017, 2019 y 2020 para los tres sectores se encontraron entre el límite admisible estipulado en el Decreto Único Ambiental para la preservación de flora y fauna; por lo que, se infiere para los años en mención valores de pH adecuados para las especies presentes en el humedal, desde el punto de vista ecológico. En el sector 2, para los años 2005 y 2012, se evidenciaron valores por debajo del rango admisible, con magnitudes de 6,38 y 6,05 Unidades de pH respectivamente, valores que corresponden a aguas ligeramente acidas, condición reportada para el humedal para los años 2009 y 2010 por Mejía (2011) y Rivera <i>et al.</i> (2013a), magnitudes que pueden relacionarse con la descomposición de materia orgánica disuelta en el agua, lo cual libera el medio CO2 y permite la formación de ácido carbónico, lo que genera una disminución en el pH (Espejo, 2017). Para el año 2016, en el sector 3 el promedio de este parámetro superó el límite superior de la normatividad, indicando aguas básicas, que a su vez, puede ser limitante para algunas especies presentes en este sector del humedal (Roldán y Ramírez, 2008). La condición registrada para el sector 3, del año en cuestión podría estar asociada a la contingencia ambiental a la que estuvo sometido, correspondiente a la presencia de tinta azul por la ruptura de tubo que alimentaba a una de las rotativas de la planta de producción Printer Colombia S.A.S. (El Tiempo, 2016; Lara, 2017), xenobiótico que alteró las características fisicoquímicas del agua a pesar de la implementación del plan de atención, corrección y mitigación efectuada por la empresa SAMSA	 Comportamiento anual del promedio de pH en los tres sectores del humedal Jaboque <table><tr><th>Año</th><th>Sector 1</th><th>Sector 2</th><th>Sector 3</th></tr><tr><td>2004</td><td>6,8</td><td>6,8</td><td>6,8</td></tr><tr><td>2005</td><td>6,5</td><td>6,4</td><td>6,6</td></tr><tr><td>2012</td><td>6,5</td><td>6,1</td><td>6,5</td></tr><tr><td>2016</td><td>6,8</td><td>7,2</td><td>9,1</td></tr><tr><td>2017</td><td>6,8</td><td>7,6</td><td>7,1</td></tr><tr><td>2019</td><td>8,4</td><td>7,2</td><td>8,0</td></tr><tr><td>2020</td><td>6,8</td><td>6,8</td><td>6,8</td></tr></table> En la gráfica se observa el comportamiento anual del promedio de pH para los tres sectores del Humedal, promedio calculado a partir de los antilogaritmos	Año	Sector 1	Sector 2	Sector 3	2004	6,8	6,8	6,8	2005	6,5	6,4	6,6	2012	6,5	6,1	6,5	2016	6,8	7,2	9,1	2017	6,8	7,6	7,1	2019	8,4	7,2	8,0	2020	6,8	6,8	6,8
Año	Sector 1	Sector 2	Sector 3																														
2004	6,8	6,8	6,8																														
2005	6,5	6,4	6,6																														
2012	6,5	6,1	6,5																														
2016	6,8	7,2	9,1																														
2017	6,8	7,6	7,1																														
2019	8,4	7,2	8,0																														
2020	6,8	6,8	6,8																														

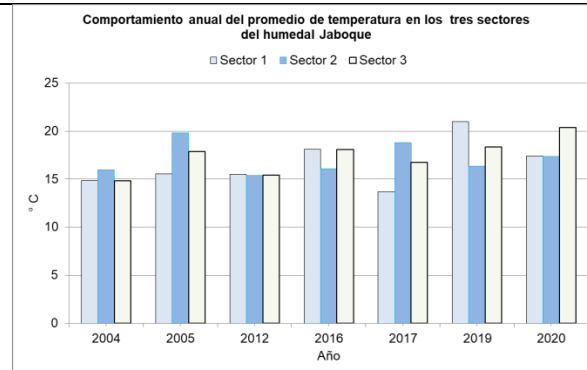
Resultado y Análisis

Temperatura:

Los promedios de la temperatura del agua registrada para los tres sectores del humedal Jaboque oscilan entre los 13,7 °C y los 21°C.

En el sector tres, para los años 2017, 2019 y 2020 se evidenció un aumento gradual de la temperatura promedio del agua, siendo este el sector intervenido a nivel ingenieril (canalización) en donde presenta áreas con espejo de agua. Lo cual podría estar asociado a islas de calor, teniendo en cuenta la forma de esta área, debido a que presenta forma alargada y menos ancha, en comparación con los otros sectores, sumado a que se encuentra sometido a mayores presiones por tensores como disposición inadecuada de los residuos sólidos. Por otra parte, el aumento gradual para los años 2017, 2019 y 2020 puede estar asociado a las épocas de muestreo, lo cual, se relaciona con los valores de precipitación determinados para los meses con los que se cuenta registro para los años en mención, por ejemplo en la *Figura 5* se visualiza mayor precipitación para los meses de agosto y octubre del año 2017 y menor precipitación para el mes de enero, lo cual, puede implicar mayor temperatura ambiente y por ende un aumento de temperatura del agua.

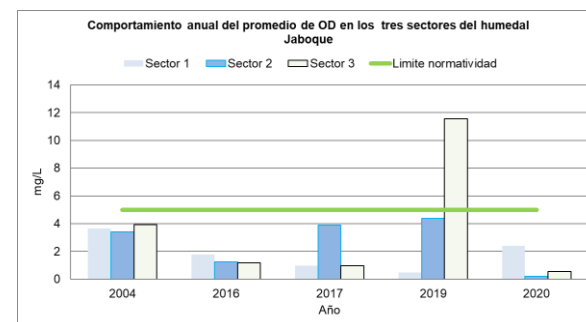
GRÁFICO



En la gráfica se visualiza el comportamiento del promedio anual de la temperatura del agua en los tres sectores del humedal Jaboque

Oxígeno Disuelto:

Los valores promedio del Oxígeno Disuelto en el agua para los tres sectores del humedal en los años 2004 [S1=3,6 mg/L, S2=3,4mg/L y S3=3,9 mg/L], 2016 [S1=1,8 mg/L, S2=1,3 mg/L y S3=1,2 mg/L], 2017 [S1=1,0 mg/L, S2=3,9 mg/L y S3=1,0 mg/L] y 2020 [S1=2,4 mg/L, S2=0,2 mg/L y S3=0,6 mg/L] se encontraron por debajo del límite admisible para la preservación de flora y fauna establecidos en los decretos 1594 de 1984 y 1076 de 2015, correspondiente a 5 mg/L



Resultado y Análisis	GRÁFICO
Acorde con Goyenola (2007), los valores entre 0 y 5 mg/L indicaron condiciones de hipoxia para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2004, 2016, 2017 y 2020, lo que contribuyó con la disminución de especies sensibles, siendo este un parámetro limitante (Roldán y Ramírez, 2008). Los datos reportados en la serie de tiempo analizada corresponden a valores similares a los establecidos por Mejía (2011) para los años 2009 y 2010, quien registró una media de 1,02mg/L para el humedal Jaboque. De igual forma, los datos obtenidos por Beltrán (2012), afirma el predominio de condiciones de déficit de oxígeno o hipoxia especialmente en las áreas de mayor intervención, así como, en las áreas donde es escaso el espejo de agua. En el año 2017, el sector dos presentó mayor concentración de OD en comparación a los otros dos sectores, lo cual se asocia a las acciones realizadas en pro de la conservación y restauración del humedal, como lo es la generación de una mayor área de espejo de agua (Ver anexo 4) acciones enmarcadas en el desarrollo de los proyectos alineados a la política Humedales del Distrito Capital y el programa de recuperación integral de humedales de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – ESP, lo que permitió contar con una mayor área para los procesos de difusión del aire en el agua, que para el caso de este cuerpo de agua lenticó es una de las formas por la que adquiere OD (Roldán y Ramírez, 2008). De acuerdo a la gráfica, para el sector 2 en el año 2019, se registra concentración promedio de oxígeno disuelto similar a la del año 2017, lo cual, permite inferir que la generación de un mayor espejo del agua sigue generando impacto positivo en la concentración de esta variable en el cuerpo de agua después de dos años aproximadamente. Para este mismo año, en el sector tres, se registró un cambio abrupto,	En la gráfica se visualiza el comportamiento del promedio anual del Oxígeno disuelto del agua en los tres sectores del humedal Jaboque

Resultado y Análisis

GRÁFICO

el cual, podría estar asociado a mayor tasa fotosintética producto de altas densidades de Fitoplancton.

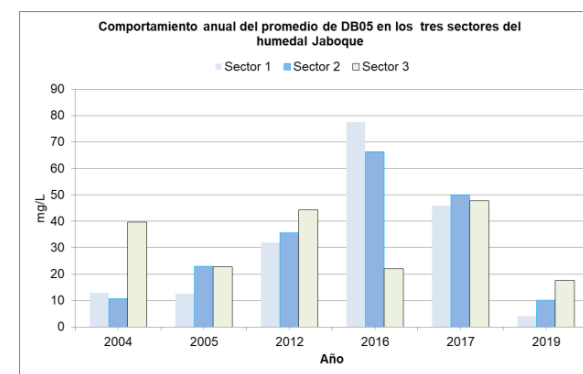
Finalmente, para el año 2020 se registra una menor concentración de OD para el sector dos, lo anterior puede estar asociado a que para este año se registró valor únicamente para un punto, el cual se encuentra localizado cerca de la obra ingenieril que permite el paso de una menor lámina de agua, como se visualiza en el Anexo 2; mientras que, para el año 2017 y 2019 se contaron con mayor cantidad de puntos de muestreo localizados en el espejo de agua, sin embargo, cabe mencionar, que el punto monitoreado para el año 2020 corresponde a uno de los monitoreados por la autoridad ambiental en el año 2017 y que los valores registrados para estos puntos en específico corresponde a 0,18 mg/L (2017) y 0,2 mg/L (2020)

DBO₅ – DQO:

La DBO₅ mide la cantidad de oxígeno que se requiere para la degradación de la materia orgánica mediante procesos biológicos y DQO la cantidad de oxígeno para oxidar químicamente la materia orgánica, estos dos parámetros indican el grado de la contaminación del cuerpo de agua (Roldán y Ramírez, 2008; Espejo, 2017).

Con base a lo anterior, los valores promedios de DBO₅ registrados para los tres sectores del humedal en la serie de tiempo indicaron aguas con indicio de contaminación y aguas contaminadas por descargas de aguas residuales, debido a que los valores se encuentran entre el rango $6 < \text{DBO}_5 \leq 30$ y $30 < \text{DBO}_5 \leq 120$ (Gobierno de México - Gerencia de Calidad del Agua, 2019).

Comparando los resultados de DBO₅ entre los tres sectores, se evidencia menores valores registrados para el sector 1 en comparación con los otros sectores, con excepción del dato promedio $77,67 \pm 49,20$ mg/L registrado para el año 2016, correspondiente al área



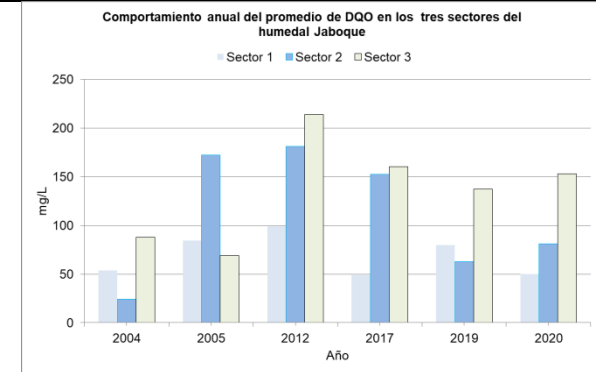
Resultado y Análisis

menos sometida a los diferentes tensores. Los valores para el sector dos del año 2016, podrían estar asociados a aumentos de la materia orgánica por vertimientos de aguas residuales producto del crecimiento urbanístico..

Los datos de DBO₅ reportados para la serie de tiempo se encuentran entre el rango y cercanos a los registrado por Beltrán (2012), correspondiente a valores entre 2 – 43 mg/L de DBO₅, lo cual, permite inferir, que el humedal ha recibido aguas residuales domésticas de forma continua, sin embargo, para el año 2019 disminuye la concentración de este parámetro para los tres sectores, lo que podría estar asociado a la corrección de conexiones erradas realizadas por el acueducto, lo anterior, teniendo en cuenta que para “aguas residuales domésticas, el valor de DBO₅, representa en promedio 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable” (Roldán y Ramírez, 2008), por lo que, al disminuir el aporte de aguas residuales domésticas, disminuye la concentración de este parámetro.

Referente a los valores promedios registrados de DQO, en la ventana de tiempo, indican aguas contaminadas por presencia de aguas residuales, probablemente de carácter industrial, especialmente para los sectores dos y tres, lo cual, podría estar asociado a que en el área aferente de estos dos sectores existen industrias, tales como las reportadas por Acherman (2007), quien registró fábricas de pintura, taller de metalmecánica, fábrica de jabones y detergentes, industrias de vidrio, industrias químicas, industria que fabrica abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados; mientras que, para el sector 1 se reportaron menores concentraciones para los años 2004, 2005, 2012, 2017, 2019 y 2020, sin embargo, se encuentran entre el rango $40 < DQO \leq 200$, por lo que, responden a la presencia de descargas residuales (Gobierno de México - Gerencia de Calidad del Agua , 2019), lo anterior, podría estar dado a la conectividad que existe entre los sectores.

GRÁFICO



En las gráficas se observa el comportamiento anual de los promedios de DBO₅ y DQO para los tres sectores del Humedal Jaboque

Resultado y Análisis

Estas dos variables permitieron determinar las condiciones de biodegradabilidad en los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2004, 2005, 2012, 2017 y 2019, así como la naturaleza del contaminante (Roldán y Ramírez, 2008). En cuanto a la relación DBO_5/DQO (Anexo 5) para los años 2004, 2012 y 2017 se registraron valores mayores a 0,6, lo que indicó la presencia de contaminantes de naturaleza orgánica biodegradable para las tres zonas del humedal en los tres años mencionados, valores atribuidos probablemente a vertimientos de aguas residuales urbanas de las zonas aledañas, mientras que para los años 2005 y 2019 se obtuvieron magnitudes menores a 0,2 indicando la presencia predominante de contaminantes no biodegradables (Lucero, 2010; Ardila *et al*, 2016 y Espejo, 2017), lo cual puede estar atribuido a vertimientos industriales (Roldán y Ramírez, 2008)

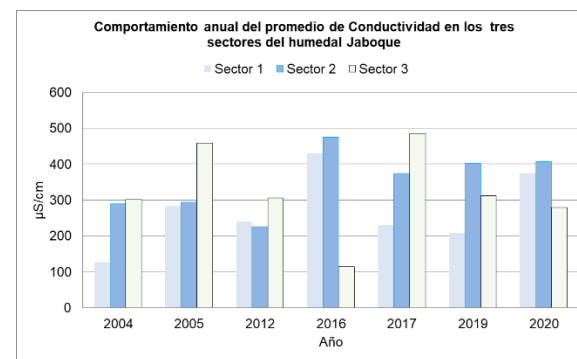
Por otra parte Beltrán (2012) indico predominio de “material biológicamente resiste” acorde a lo determinado en la relación DQO/DBO_5 , con tasas lentas de degradación como la lignina y celulosa.

Conductividad:

La conductividad “expresa la cantidad de iones disueltos en el agua” (Roldán y Ramírez, 2008), siendo este parámetro un limitante para algunas especies, cuando se encuentran expuestas a altas concentraciones debido a que genera mayor presión osmótica (Roldán y Ramírez, 2008),

Roldán y Ramírez (2008), establecen aguas de bajo contenido iónico para valores menores a 50 $\mu S/cm$ y fuertemente mineralizadas entre 500 hasta 2000 $\mu S/cm$, por lo que, las magnitudes que se reportaron para los tres sectores del humedal Jaboque en la serie de tiempo, indican aguas mineralizadas, debido a que los valores de conductividad para este cuerpo de agua oscilan entre 114,74 $\mu S/cm$ hasta 485 $\mu S/cm$. Los valores reportados

GRÁFICO



Resultado y Análisis

pueden estar asociados a los vertimientos de aguas residuales y a los procesos de descomposición de la materia.

Por otra parte, no se observó una tendencia temporal para este parámetro.

Para el año 2012, se reportaron menores concentraciones para los tres sectores del humedal Jaboque, en comparación a los otros años de la serie de tiempo. Malagón (2017) analizó una reducción para este parámetro en el humedal Jaboque para los años 2007 y 2008, quien reportó valores entre 153,2 a 168,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, infiriendo una cierta recuperación del humedal, sin embargo, de acuerdo a los datos reportados y consolidados para los años 2012, 2017, 2019 y 2020 superan los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

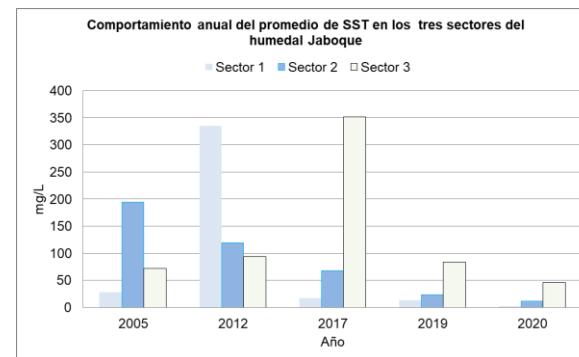
Para el sector tres, se evidencia disminución de conductividad para los últimos dos años analizados (2019 y 2020), asociado probablemente a la corrección de conexiones erradas que aportaban aguas residuales principalmente para este sector, lo anterior, de acuerdo a lo visualizado en el mapa del Seguimiento del “Plan de Identificación y Corrección de Conexiones Erradas - PICCE” de la EAAB-ESP. (Contraloría de Bogotá D.C, 2019b; EAAB-ESP, 2021).

Sólidos Suspendidos Totales:

Los Sólidos Suspendidos Totales hacen referencia a la materia orgánica presente en el cuerpo de agua, los cuales pueden ser detritus, restos de roca, arena, arcilla entre otros (Roldán y Ramírez, 2008). Los valores promedio de SST registrados para el humedal Jaboque oscilan entre los 2,50 mg/L a 351,83 mg/L. El sector tres, presenta mayor concentración de SST, en comparación a los otros dos sectores del humedal, lo cual, se asocia a los diferentes tensores a los que se encuentra sometido, tales como inadecuada disposición de residuos sólidos y vertimientos de aguas residuales (Empresa de Acueducto, Alcantarillado de Bogotá y Aseo de Bogotá [EAB], 2017b), siendo este el sector el más

GRÁFICO

En la gráfica se visualiza el comportamiento del promedio anual de la Conductividad que se registró para los tres sectores del humedal Jaboque



Resultado y Análisis	GRÁFICO
afectado por el desarrollo de las actividades antrópicas, que de acuerdo con la EAAB-ESP y ADESSA (2005) generan una aceleración en el proceso de colmatación. A nivel temporal, se evidencia en la gráfica una menor concentración de este parámetro para los últimos años de la serie de tiempo, comportamiento que probablemente se puede atribuir a las diferentes acciones que ha implementado la EAAB-ESP, la Alcaldía local de Engativá, la Secretaría Distrital de Ambiente entre otras entidades y organizaciones ambientales, acciones tales como, corrección de conexiones erradas en predios de usos doméstico, de acuerdo a lo reportado en la página del acueducto del seguimiento PICCE del humedal Jaboque en el marco del “Plan de Identificación y Corrección de Conexiones Erradas” (EAAB-ESP, 2021), erradicación de puntos críticos de residuos sólidos, retiro de sedimentos, material vegetal y remoción de residuos ordinarios, de construcción y demolición (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá [EAB-ESP], 2017a; 2017b; 2018; Contraloría de Bogotá D.C, 2019a; EAAB-ESP, 2020a; 2020b). La tendencia de disminución de concentración para este parámetro, de acuerdo a Roldán y Ramírez (2008) evita la generación de un limitante para el sistema acuático, debido a que, permite mayor paso de rayos solares, la realización de los procesos de intercambio gaseoso en los animales acuáticos, lo que a su vez brinda habitats con mejores condiciones. Esto permite inferir que el humedal ha tenido una cierta recuperación en los últimos años.	En la gráfica se visualiza el comportamiento del promedio anual de los SST que se registraron para los tres sectores del humedal Jaboque.

Resultado y Análisis

Nutrientes:

El fósforo y el nitrógeno son factores limitantes, debido a que dependiendo de las concentraciones presentes en la columna de agua permiten inferir la categoría trófica del cuerpo de agua superficial (Roldán y Ramírez, 2008).

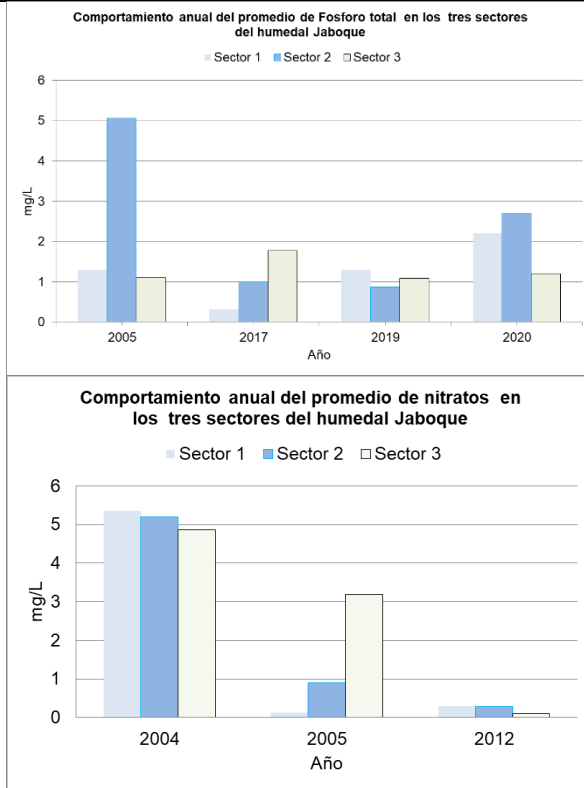
Para los años 2005, 2017, 2019 y 2020 el sector uno del humedal Jaboque presentó valores promedio de fósforo total de 0,32 a 2,2 mg/L, el sector dos de 0,87 a 5,06 mg/L y el sector tres de 1,1 a 1,7 mg/L, evidenciando condiciones de Eutrofia a hipertrofia de acuerdo a los rangos [Eutrofia: 0,02 -1,00 mg/L e Hipereutrofia>1,00mg/L] establecidos por Esteves en 1998 (como se citó en Espejo, 2017) y [Eutrófico: 35-100 mg/m³ e Hipertrofico>100] los indicado por la OCDE en 1982 (como se citó en Beltrán, 2012 y Pinilla, 2017).

En concordancia la EAAB-ESP Y ADESSA (2006) determino condiciones hipereutróficas para el ecosistema, Mejía (2006) determinó que las aguas son eutróficas, mientras que Mejía (2011) refirió para la zona media condiciones de aguas mesotróficas para los años 2009 y 2010 y eutróficas para las otras dos partes del humedal, Beltrán (2012) indico a partir de la modelación ecológica condiciones mesotróficas para el tercio bajo correspondiente a los sectores uno y dos del humedal y eutrófica para el tercio medio y alto que comprende el área del sector 3 del humedal Jaboque.

Los aportes de fósforo en el humedal se asociaron principalmente a los aportes generados por los vertimientos de aguas residuales domésticas especialmente para los sectores dos y tres, en donde se encontraron la mayor parte de conexiones erradas identificadas por la EAAB-ESP (EAAB-ESP, 2017a; 2017b).

Por otra parte, para el año 2004 se registraron las mayores concentraciones de nitratos para los tres sectores en comparación con lo reportado para los años 2005 y 2012,

GRÁFICO

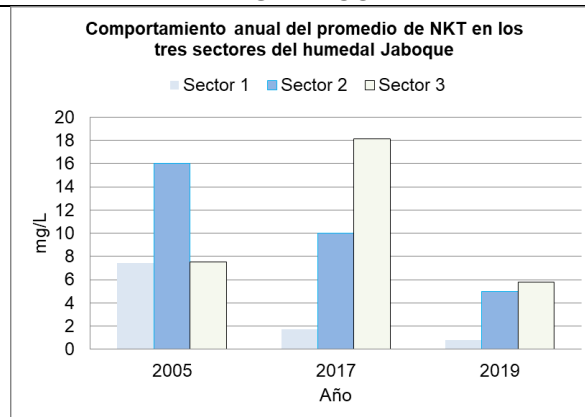


Resultado y Análisis

evidenciándose una disminución en la concentración de esta variable para el periodo comprendido entre el 2005 al 2012, para el año 2019 se obtuvieron datos <1,5 mg/L para los tres sectores. De acuerdo a Espejo (2017) el aumento de concentración para este parámetro se asocia a vertimientos de aguas residuales domésticas y al uso de fertilizantes, por lo que, se infiere que las medidas implementadas por las autoridades competentes y la EAAB-ESP ha permitido la disminución de este parámetro en el ecosistema acuático.

Para los años 2005, 2017 y 2019 se reportaron valores de NKT de 0,8 mg/L a 16 mg/L, evidenciándose menores concentraciones para el sector uno en comparación a los otros dos sectores, por otra parte, se resalta que el mayor valor se registró para el sector tres del año 2017. A nivel temporal se observó una disminución de este parámetro para los tres sectores del humedal para el año 2019, es decir menores concentraciones de NKT implica una menor concentración de Nitrógeno Orgánico y de Nitrógeno Amoniacal (IDEAM, 2007). A pesar de la disminución de NKT y fósforo total para el sector 3 del año 2019, el sector sigue presentando condiciones hipereutróficas, manteniendo las condiciones de eutrófico a hipereutrófico establecido por Rivera *et al* (2013a)

GRÁFICO



En las gráficas se visualiza el comportamiento del promedio anual de Fósforo total, nitratos y nitrógeno total Kjeldahl (NKT) que se registraron para los tres sectores del humedal Jaboque.

Aceites y Grasas:

Este parámetro se analizó cualitativamente, debido a que la mayoría de los registros para el año 2019 corresponden a datos alfanuméricos, sin embargo, se efectuó análisis espacial y temporal para los años 2017 y 2019.

Para el año 2017 en el humedal Jaboque se reportaron concentraciones de aceites y grasas de $18,4 \pm 13$ mg/L para el sector tres, los valores para el sector dos fueron $9,5 \pm 1,52$ mg/L, y de 8 mg/L para el sector uno, evidenciándose mayores magnitudes para el sector 3, concentraciones aportadas por los canales Carmelo y los Ángeles, por vertimientos o atribuidas a las 194 conexiones erradas identificadas principalmente para esta zona durante la ejecución del contrato No. 1-02-24200-1372 -2013 (EAAB-ESP, 2017a). Mientras que para el año 2019 se reportaron datos <10mg/L para los tres sectores del humedal evidenciando menores concentraciones, lo cual se atribuye principalmente a la implementación del Plan de Identificación y Corrección de Conexiones Erradas (PICCE) liderado por la EAAB-ESP, por medio del cual, para el año 2019 se corrigieron

Resultado y Análisis	GRÁFICO
el 64% de las conexiones erradas, correspondientes a 300 de 468 conexiones erradas identificadas por la EAAB-ESP (Contraloría de Bogotá D.C, 2019b). Con base en lo anterior, debido a la disminución de este parámetro especialmente para el sector tres, generó una mejor condición para el paso de la luz y la difusión del oxígeno desde la atmósfera, asociado a la menor cantidad de películas flotantes (Sierra, 2011; Espejo, 2017), lo que a su vez, generó una mejor condición para el desarrollo de la vida acuática (Sierra, 2011). Es importante anotar, que aunque presenta valores mínimos, en un cuerpo de agua y específicamente para el humedal no debe presentarse ningún tipo de concentración de grasas y aceites.	
Tensoactivos: En el humedal Jaboque para el sector tres se reportaron datos con una media de $1,27 \pm 0,63$ para el año 2017, mientras que para los otros dos sectores para el año 2017 y para el año 2019 se registraron valores $<0,40$, siendo este el límite de cuantificación. Con base en lo anterior, se infiere que el sector 3 para el año 2017 recibe más aporte de vertimientos de aguas domésticas con trazas de tensoactivos.	

Fuente: Villamil-Pasito, 2021

7.2. CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL JABOQUE A PARTIR DE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP

7.2.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA - ICA

El índice de calidad del agua (ICA), fue calculado acorde con la metodología establecida por el IDEAM (2013), para 11 puntos de monitoreo en el año 2017, 6 en (2019) y 4 en (2020), a partir de 126 datos obtenidos para las variables fisicoquímicas de pH, OD, DQO, conductividad, temperatura y SST.

Los índices calculados fueron georreferenciados y espacializados para los tres sectores del humedal Jaboque, a partir de la aplicación del método de interpolación IDW (Ponderación de distancia inversa), debido a que, el presente método de interpolación es recomendado para bases de datos pequeñas y cuando la distancia de muestreo es grande (Villatoro, Henríquez y Sancho, 2008; Kravchenko, 2003), lo cual, aplica para los datos de la serie de tiempo registrados para el humedal Jaboque; por otra parte, acorde a Yang *et al.* (2020) con la aplicación del presente método se asumió que los valores de calidad del agua de puntos no muestreados son similares a los datos conocidos de las estaciones cercanas con las que se cuenta registro.

En concordancia con Villatoro, Henríquez y Sancho (2008) y Kravchenko (2003), la precisión de la estimación de los datos no conocidos del ICA a partir de datos conocidos de este índice para el sector dos (2) del humedal mediante el método IDW, pudo estar un poco influenciado por la intensidad de muestreos compilados para el año en mención, sin embargo, se verificó los resultados de la interpolación, los cuales concuerdan con los valores calculados de ICA “magnitudes conocidas” a partir de las cinco variables conocidas.

Los datos del ICA obtenidos para las estaciones localizadas en los tres sectores del humedal Jaboque presentaron una distribución normal, con valores de p-value de 0,4034

para el año 2017, 0,7745 para 2019 y 0,6464 para el año 2020, lo anterior, como análisis exploratorio de la distribución de los datos de la variable en mención.

A continuación, se relaciona la representación de la calidad del agua en cada uno de los tres sectores del humedal Jaboque (*Figura 3*), obtenidos a partir de la interpolación mediante el método IDW, así como los valores del ICA calculado para cada uno de los puntos de muestreo registrados para el año 2017, 2019 y 2020. Cabe mencionar, que las variables que más influenciaron en los resultados del ICA para la determinación de mala y regular calidad del agua en los puntos de muestreo, correspondieron a las magnitudes de DQO, conductividad y oxígeno Disuelto reportados para los años en mención.

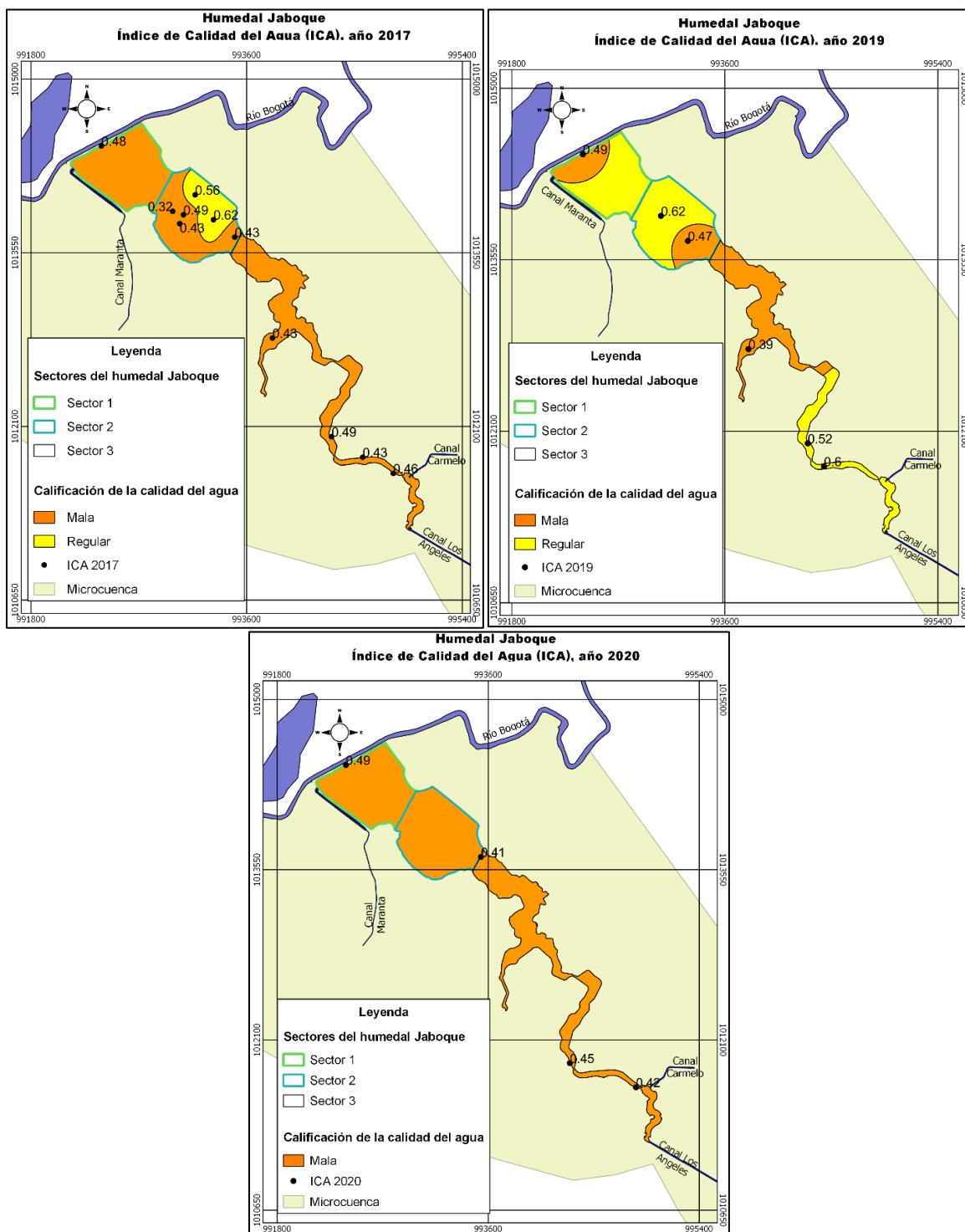


Figura 3. Comparativo de la Calidad del Agua (ICA), para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020.

Fuente: Villamil-Pasito, 2021

En la Figura 3, se observan los mapas con la distribución espacial de la calidad del agua para los tres sectores del Humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020, obtenidos a partir de la interpolación de los ICAs mediante el método IDW, así mismo, se relacionan las estaciones de muestreo con sus respectivos valores del ICA para cada uno de los años mencionados anteriormente.

Acorde a la Figura 3 se evidenció, que para el año 2017, los sectores uno y tres presentaron aguas de mala calidad, mientras que el sector dos registró dos tipos de clasificación de la calidad del agua, correspondientes a mala y regular. Por otra parte, para el año 2019 los tres sectores presentaron aguas de calidad mala y regular, cabe aclarar que la clasificación de calidad regular del sector tres se vio influenciada por los valores de Oxígeno Disuelto reportados por la autoridad ambiental [10 y 8,5 mg/L], lo cual probablemente puede estar relacionado a una mayor tasa fotosintética generada por altas densidades de Fitoplancton. Finalmente, para el año 2020 en la predicción para los tres sectores se registró mala calidad del agua, evidenciándose un cambio en el sector 2, respecto a la calidad registrada para los otros dos años de estudio, lo cual, se asoció a los puntos de muestreos, por ejemplo, para el 2017, en el sector dos se registró puntos en el centro del sector, los cuales se localizaron en el espejo de agua conformado como medida de recuperación, espejo de agua que se puede visualizar en el Anexo 4; para el sector dos del año en mención, también se contó con un punto de muestreo cercano a la obra ingenieril que atraviesa al humedal, mientras que para el año 2020, en el sector dos, se monitoreo únicamente un punto cercano a la infraestructura ingenieril mencionada, la cual, se puede visualizar en el Anexo 2, en la sección de sector dos. Con base en lo anterior, se determinó mala calidad del agua para los tres años analizados en los puntos cercanos a la obra ingenieril mencionada (ver Figura 3).

La calidad del sector uno en el punto de salida del humedal, presentó aguas de mala calidad lo cual podría estar asociado a los aportes que recibe este sector por parte del canal Maranta o por que el área del sector uno presenta mayor cobertura vegetal, lo que implica menor concentración de oxígeno.

El sector dos, para los años 2017 y 2019, presentó una mejoría en la calidad respecto al sector uno, lo cual se asoció a la conformación de la isla y la generación de un mayor espejo de agua, así como las diferentes acciones ejecutadas para este sector, medidas implementadas en el marco del Plan de acción relacionado en el Plan de Manejo Ambiental Humedal Jaboque y el programa de recuperación integral de humedales de la EAAB-ESP, los cuales se encuentran alineados a la política de humedales del Distrito Capital, estrategia de recuperación, protección y compensación, así como a la Política Nacional para Humedales interiores de Colombia (EAB, 2017b; Ortiz, 2016; CAR-SDA, 2015; EAAB-ESSP & ADESSA, s.f.; Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Por otra parte, los valores de DQO, conductividad y Oxígeno Disuelto correspondieron a las variables que más influenciaron en la determinación de las dos clases de calidad del agua [mala y regular], asociado a los valores de I DQO, I CE e I OD obtenidos mediante la implementación de la metodología propuesta por el IDEAM (2013), lo cual, acorde al análisis de los parámetros fisicoquímicos indicó la presencia de aguas contaminadas por aguas residuales, aguas mineralizadas y condiciones de hipoxia.

A nivel espacial en el sector tres para el año 2017, se observa mayor afectación o impacto negativo en la calidad del agua, producto de los diferentes tensores a los cuales se encuentra sometido este sector, tales como, disposición inadecuada de residuos sólidos y vertimientos de aguas residuales; condición de impacto antrópico reportada para los años 2009 y 2010 por (Rivera-Usme, Pinilla-Agudelo, Camacho-Pinzón, Castro-Rebolledo y Rangel-Churio, 2014)

Por otra parte, a nivel temporal y espacial para los años 2009 y 2017 Pardo (2018), calculó el ICA para el humedal Jaboque, a partir de 6 variables [OD, SST, DQO, NT/FT, conductividad y pH] de acuerdo a la metodología establecida por el IDEAM, determinando para el año 2009 condiciones de mala y regular calidad del agua, predominando el tipo de agua regular para el sector 2, mientras que en el mapa de predicción para el año 2017 para el mismo sector presentó aguas de mala y regular calidad, así como una mínima fracción de condición aceptable. Los resultados del ICA

para el año 2017 son similares a los obtenidos en la presente investigación; la variación en la predicción de calidad del agua para el año en mención en el humedal Jaboque se asoció al número de estaciones muestreadas y a la distribución o localización espacial de las mismas, lo cual, confirmó que la precisión de la representación de la variable está influenciada por la estructura espacial, acorde a lo relacionado por Villatoro *et al.* (2008) y Kravchenko (2003).

A su vez, Pardo (2018), estableció una disminución de la calidad del agua para el período 2009 y 2017 e infirió que las estrategias de la autoridad ambiental no contribuyeron al cuidado del ecosistema para el periodo evaluado, sin embargo, es de importancia considerar que la presión antrópica a la que se ha visto sometido el humedal aumentó en ese periodo de tiempo, por ejemplo, en el anexo 4 para los años 2011 al 2014 se evidenciaron procesos de urbanización en áreas aledañas al humedal, lo cual posiblemente aumentó la presión por diferentes factores en el ecosistema, por lo que, se infiere que las estrategias implementadas han contribuido en cierto grado en el cuidado del humedal, por ejemplo la conformación de la isla, el aumento del espejo de agua en el sector dos y la corrección de conexiones erradas efectuadas en el sector tres, sin embargo, acorde con Pardo (2018), se sugiere analizar y reevaluar los tiempos, la Unidad de esfuerzo y las estrategias en pro de mejorar su gestión ambiental.

7.2.2. BMWP/Col (2017, 2019 y 2020).

7.2.2.1. Macroinvertebrados.

Para los años 2017, 2019 y 2020, se analizaron un total de 126 registros de macroinvertebrados, a partir de los cuales, se registraron un total de 22 familias de macroinvertebrados acuáticos, correspondiente a 10 órdenes y 6 clases (Tabla 7). Órdenes correspondientes a Díptera, Coleóptera, Hemíptera, Odonata, Lepidóptera, Amphipoda, Basommatophora, Haplotaxida, Lumbriculida y Glossiphoniiforme, como se evidencia a continuación:

Tabla 7. Macroinvertebrados acuáticos reportados para los años 2017, 2019 y 2020 en el humedal Jaboque

				HUMEDAL JABOQUE								
				Sector 1			Sector 2			Sector 3		
Filum	Clase	Orden	Familia	2017	2019	2020	2017	2019	2020	2017	2019	2020
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	x	X	X	x	X	x	x	X	x
			Tipulidae	x	X		x					
			Ephydriidae		X			X		x	X	
			Culicidae	X	X	X	X	X		x	X	x
			Syrphidae								X	
			Psychodidae					X			X	
			Muscidae						X			
		Coleoptera	Dytiscidae	X						x	X	
			Hydrophilidae				X			x		
			Dryopidae		X							
		Hemiptera	Notonectidae				X	x		x	X	
			Corixidae				X	x			X	
		Odonata	Aeshnidae		X		X				X	
			Coenagrionidae				X					
			Lestidae				X					
		Lepidoptera	Pyralidae				X				X	
	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	X	X		X	x		x	X	
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	X	X		X	x		x	X	
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae			X			X			
			Naididae				X			x		
	Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae		X						X	
	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	X	X	X	X	x		x	X	

La Tabla 7 muestra los macroinvertebrados acuáticos reportados en los años 2017, 2019 y 2020 para los tres sectores del humedal Jaboque.

Fuente: Villamil-Pasito, 2021

Con base en lo anterior, la familia que se reportó para los tres sectores del humedal Jaboque, para los años 2017, 2019 y 2020 corresponde a Chironomidae (Tabla 7), los cuales, indican aguas contaminadas por altos contenidos de materia orgánica y aguas anóxicas (Rivera-Usme, Pínilla-Agudelo y Rangel-CH, 2013b; IAVH, 2005). La presente familia fue reportada para el área de estudio en los años 2009 y 2010, como una de las familias con mayor abundancia (Rivera *et al*, 2013a; Rivera-Usme, 2013b).

Por otra parte, para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020 se reportó la familia Culicidae, con excepción para el sector 2 en el año 2020 (Tabla 7). La presente familia se asocia a una fuerte tensión ambiental (Pérez, Martínez-Romero, Castellanos-Guerrero, Mora-Parada y Rocha-Gil, 2020), por altos contenidos de materia orgánica, asociado a los aportes de agua residual de tipo doméstica a los cuales el humedal ha estado sometido, específicamente para los sectores dos y tres.

Para los años 2017 y 2019 se registraron para los tres sectores individuos de la familia Hyalellidae, los cuales son organismos resistentes a condiciones del cuerpo de agua enriquecidos con materia orgánica (Tapia *et al*, 2018; Romero, 2015), lo cual ocurre para el humedal Jaboque; por otra parte, los organismos del género Hyallela prefieren aguas con altas conductividades (Rivera, 2013a; Moya *et al*, 2009), situación de mineralización que se evidenció para los tres sectores del humedal Jaboque acorde al rango de 209 a $485 \pm 73,14 \mu\text{s/cm}$ reportados para los años 2017 y 2019.

Para los sectores 1, 2 y 3 del humedal Jaboque para los años 2017 y 2019 se reconocieron individuos de la familia Physidae, ejemplares caracterizados por vivir en ambientes con presencia de vegetación acuática, materia orgánica y carbonato de calcio, siendo este último utilizado para la construcción de sus conchas (Roldán, 1988).

La familia Glossiphoniidae conocida como sanguijuelas, fue reportada para los tres sectores del humedal para los años 2017 y 2019, así como para el sector 1 del año 2020, la presencia de esta familia según Rivera-Usme (2013b) indica altos contenidos de materia orgánica en descomposición y bajas concentraciones de oxígeno, condición acorde a lo registrado para el cuerpo lentic de acuerdo a los valores de OD reportado para los 3 sectores del humedal en los años 2017 y 2020, así como para los sectores 1 y 2 del año 2019. La presente familia fue reportada para los años 2009 y 2010 como una de las familias más abundantes asociadas a las macrófitas y a la zona bentónica del humedal Jaboque por Rivera-Usme (2013b).

En concordancia con la Tabla 7, para el año 2020 se recolectaron e identificaron 366 macroinvertebrados acuáticos en los tres sectores del humedal Jaboque. Es así que para el sector 3 se reportó el orden díptera con dos familias [Culicidae y Chironomidae], en el sector dos se registraron tres familias [Chironomidae, Muscidae y Tubificidae] correspondientes al orden díptera y en el sector 1 los macroinvertebrados acuáticos fueron agrupados en tres órdenes Díptera, Haplótaxis y Glossiphoniiformes y 4 familias con una abundancia relativa de 46% para Chironomidae, 21% Glossiphoniidae, 29% Culicidae y 4% para Tubificidae (Figura 4 y Anexo 6). Las familias Tubificidae, Chironomidae y Glossiphoniidae reportadas para el año 2020, son indicadoras de contaminación por materia orgánica con tendencia a la hipoxia (Rivera-Usme, 2013b; IAVH, 2005).

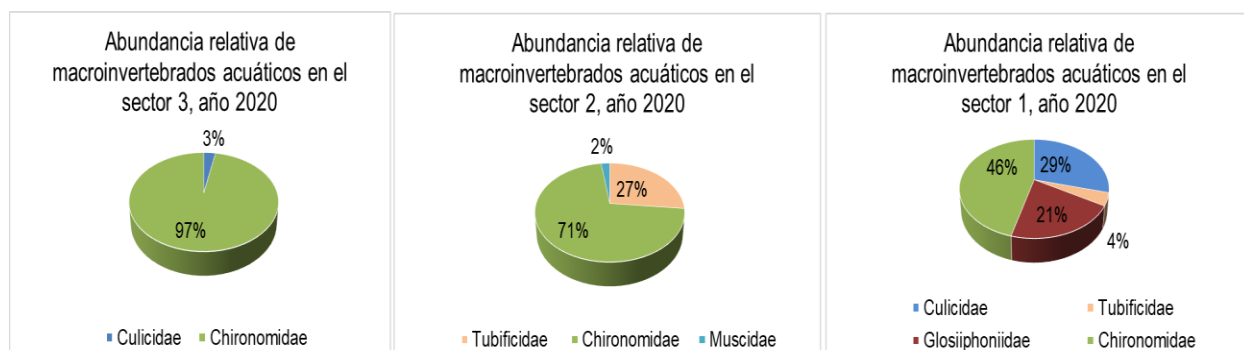


Figura 4. Abundancia relativa de macroinvertebrados acuáticos para los tres sectores del Humedal Jaboque para el año 2020

Fuente: Villamil-Pasito, 2021

7.2.2.2. BMWP/Col y ASPT.

Se determinó el BMWP/Col para cada sector del humedal Jaboque, a partir de los resultados del índice en mención, calculados para cada uno de los puntos de muestreo de acuerdo con la metodología establecida por el IAVH (2005), para lo cual, se contó con 11, 6 y 4 puntos de monitoreo registrados para el humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020.

Los datos del índice BMWP/Col obtenidos para los puntos monitoreados presentaron una distribución normal de acuerdo al test Shapiro-Wilk, con valores de p-value de 0,6225 para el año 2017, 0,3781 para el año 2019 y 0.8552 para el año 2020, lo anterior, como análisis exploratorio de la distribución de los datos de la variable en mención. A continuación, se relaciona los resultados para cada uno de los sectores del humedal Jaboque

Tabla 8. Valores de BMWP/Col calculado para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020

Sector	Año	Clase/ color	Significado BMWP/Col	Promedio del valor BMWP/Col	Desviación estándar
1	2017	IV	Aguas muy contaminadas	21	-
	2019	IV	Aguas muy contaminadas	37	-
	2020	V	Aguas fuertemente contaminadas	9	-
2	2017	IV	Aguas muy contaminadas	31,33	5,79
	2019	IV	Aguas muy contaminadas	27	4,24
	2020	V	Aguas fuertemente contaminadas	7	-
3	2017	IV	Aguas muy contaminadas	20,75	8,10
	2019	IV	Aguas muy contaminadas	23,67	13,65
	2020	V	Aguas fuertemente contaminadas	3	1,41

La Tabla 8 muestra el promedio y la desviación estándar de los valores del índice BMWP/Col para cada año en determinado sector del humedal Jaboque, en algunos casos se registra el valor de un solo dato por sector, por lo que, no se registraron datos de desviación estándar (-)

Para los años 2017, 2019 y 2020 se calculó el puntaje promedio por taxa (ASTP), a partir de los datos de BMWP/Col y del número de familias registradas para cada punto de monitoreo, obteniendo aguas de clase IV, V y en menor proporción de tipo III, como se evidencia a continuación:

Tabla 9. Valores de ASTP calculado para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020

Sector	Año	Clase/ color	Calidad	Significado	Promedio del valor ASTP	Desviación estándar
1	2017	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas	3,5	-
	2019	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas	4,11	-
	2020	V	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	2,25	-
2	2017	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas	4,48	0,29
	2019	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas	3,88	0,18
	2020	V	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	2,33	-
3	2017	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas	3,58	0,24
	2019	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas	3,78	0,69
	2020	V	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	2	0

La Tabla 9 muestra el promedio y la desviación estándar de los valores del índice ASPT para cada año en determinado sector del humedal Jaboque, en algunos casos se registra el valor de un solo dato por sector, por lo que, no se registraron datos de desviación estándar (-).

Los datos promedio de BMWP/Col y ASTP calculados para el humedal Jaboque evidenciaron aguas fuertemente contaminadas para el año 2020 y aguas muy contaminadas para los años 2017 y 2019 (Tabla 8 y Tabla 9). A su vez, a nivel espacial no se evidenció un cambio notorio de la calidad del agua entre los tres sectores del humedal, sin embargo, es de importancia mencionar que para el año 2017 en el sector dos se registraron dos estaciones con calidad dudosa, de acuerdo con los resultados de ASPT.

Respecto al dato de BMWP/Col registrado para el sector dos en el año 2020, se infirió que posiblemente representa en cierto porcentaje la calidad del agua en lugares cercanos a la isla y espejo de agua, puntos localizados en la mitad del sector dos; lo anterior teniendo en cuenta los datos calculados para los años 2019 y 2017 para algunos de los puntos de monitoreo que se ubicaron en el centro del sector 2, espejo de agua que se visualiza en el Anexo 4, así como la posición geográfica del punto monitoreado para el año 2020, a su vez, representa la calidad del agua del punto muestreado del sector en mención para el año 2020.

En concordancia con Venegas (2017), es de importancia tener en cuenta que estos ecosistemas toleran de forma natural elevadas concentraciones de nutrientes y materia orgánica, debido a las actividades que se desarrollan en su alrededor, por lo que, los valores registrados de BMWP/Col para estos tipos de cuerpos de agua son relativamente bajos, sin embargo, a nivel temporal se evidenció acorde a este índice mayor contaminación para el humedal. Por ejemplo, para los años 2007 y 2008 Venegas (2017) determinó valores de BMWP/Col de 59 y 70 para el humedal Jaboque en temporada seca y húmeda respectivamente, para el año 2016 Perdomo (2017) registró valores entre 25 a 60 para puntos de monitoreo localizados en el sector tres, para este mismo año Calderón (2019) reportó para el tercio bajo, el cual comprende los sectores uno y dos valores de BMWP/Col de 18 a 45 en época de sequía y 18 a 49 en época de lluvia, predominando los menores valores para las estaciones localizadas al suroccidente del sector uno, mientras que para el año 2017, se registraron datos en los puntos de muestreo de 13 a 39, reflejando menores valores de BMWP/Col, lo cual indicó a nivel temporal impacto negativo en la calidad del agua.

7.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA A NIVEL ESPACIO TEMPORAL

7.3.1. Precipitación.

La base de datos con información histórica, para los años 2017, 2019 y 2020, se retroalimentó con datos mensuales de precipitación, a partir de la información suministrada por el IDEAM y por la obtenida en la página del sistema de Alerta de Bogotá

(SIRE) de la Alcaldía Mayor de Bogotá y el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, así como, la información descargada de la página de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) de la Secretaria Distrital de Ambiente.

El IDEAM suministró datos diarios de precipitación y temperatura ambiente, los descargados de la página del Sistema de Alerta de Bogotá, correspondieron a datos de precipitación para cada minuto y los del RMCAB correspondieron a valores para cada hora.

La información de precipitación, presentó valores faltantes entre el 5% al 25% para las estaciones Enmanuel D. Alzon: Enero 2020, Jardín Botánico: enero 2020, Sede Ideam: julio 2019, Las Ferias: octubre 2017, por lo que, se realizó imputación de los datos faltantes en el programa Rstudio, por medio de la función “TS”, función utilizada para series de tiempo (Moritz y Bartz-Beielstein, 2017), a través de Seasonally Decomposed Missing Value Imputation “Na_seadec” con algoritmo de Kalman (Moritz, 2021).

A continuación, se relacionan las estaciones para las cuales se obtuvo información de precipitación (Tabla 10), estaciones que se encuentran cercanas al humedal o que corresponden a estaciones que permitieron disminuir el efecto borde en el proceso de generación de isoyetas para el área de estudio y por ende en los valores obtenidos a partir de la interpolación por el método IDW.

Tabla 10. Estaciones climatológicas y pluviométricas cercanas al área de estudio

Estación	Tipo	Coordenadas Geográficas		Precipitación				Fuente
		Latitud	Longitud	2020	2019	2017		
				Ene	Jul	Agost	Oct	
El Dorado CATAM [21205791]	CP	4°42'20.10"	74° 9'2.40"		X	X	X	IDEAM
Enmanuel D Alzon [21201230]	M	4°42'4.05"	74° 4'13.10"	X	X	X	X	
Jardín Botánico [21205710]	CO	4°40'9.60"	74° 6'9.60"	X	X	X	X	
Sede IDEAM calle 25D KRA [21202280]	PM	4°41'2.40"	74° 7'44.40"	X	X	X	X	
Estación Colegio Magdalena Ortega De Nariño (IED)	PM	4°41'11.90"	74° 4'58.66"	X				IDIGER –
Estación Colegio Carlo Federici (IED)	PM	4°40'18.05"	74° 9'32.18"	X				Alcaldía Mayor

Estación	Tipo	Coordenadas Geográficas		Precipitación				Fuente
		Latitud	Longitud	2020	2019	2017		
				Ene	Jul	Agost	Oct	
Estación Colegio Rodolfo Llinás (IED)	PM	4°43'12.45"	74° 6'29.84"	X	X			de Bogotá
Estación Colegio La Felicidad (IED)	PM	4°39'21.60"	74° 7'52.00"	X				
Estación IDIGER	PM	4°40'29.76"	74° 6'48.99"	X	X			
Estación Colegio Alberto Lleras Camargo (IED)	PM	4°44'35.88"	74° 6'8.25"	X	X	X	X	
Estación las Ferias	-	4°41'26.38"	74° 4'57.08"	X	X	X	X	SDA

Fuente: Tomado y adaptado de (IDEAM, 2021; IDIGER y Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2021 y SDA, 2020)

En la Tabla 10 se visualiza las estaciones para las cuales se obtuvo información de precipitación (x). Así como, los tipos de estaciones correspondientes a Climática Principal (CP), climática Ordinaria (CO), meteorológica (M) y pluviométrica (PM).

A partir de la información de precipitación se generaron mapas de isoyetas de precipitación mensual (Figura 5), correspondientes a agosto y octubre del año 2017, julio 2019 y enero 2020, meses para los cuales se calcularon los índices y se recopiló información de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos.

Acorde con el método de curvas isoyetas para enero de 2020 se obtuvieron valores de precipitación media de 19,64 mm, 19,79 mm y 19,10 mm para los sectores 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que para julio de 2019 se calcularon valores de 37,40mm, 37,15mm y 36,72mm. Por otra parte, para el año 2017 para el mes de agosto se obtuvieron valores 64,60mm para el sector 3 y 64,50 para los sectores uno y dos del humedal, finalmente para este mismo año, para los sectores uno, dos y tres en el mes de octubre se obtuvo magnitudes de 84,91mm, 85,05mm y 85,61 mm respectivamente. Datos que concuerdan con el comportamiento temporal de la precipitación registrada para el área de estudio, correspondiente a “Régimen Bimodal” de acuerdo a la EAAB-ESP y ADESSA (2006) y por Rivera-Usme (2013b)

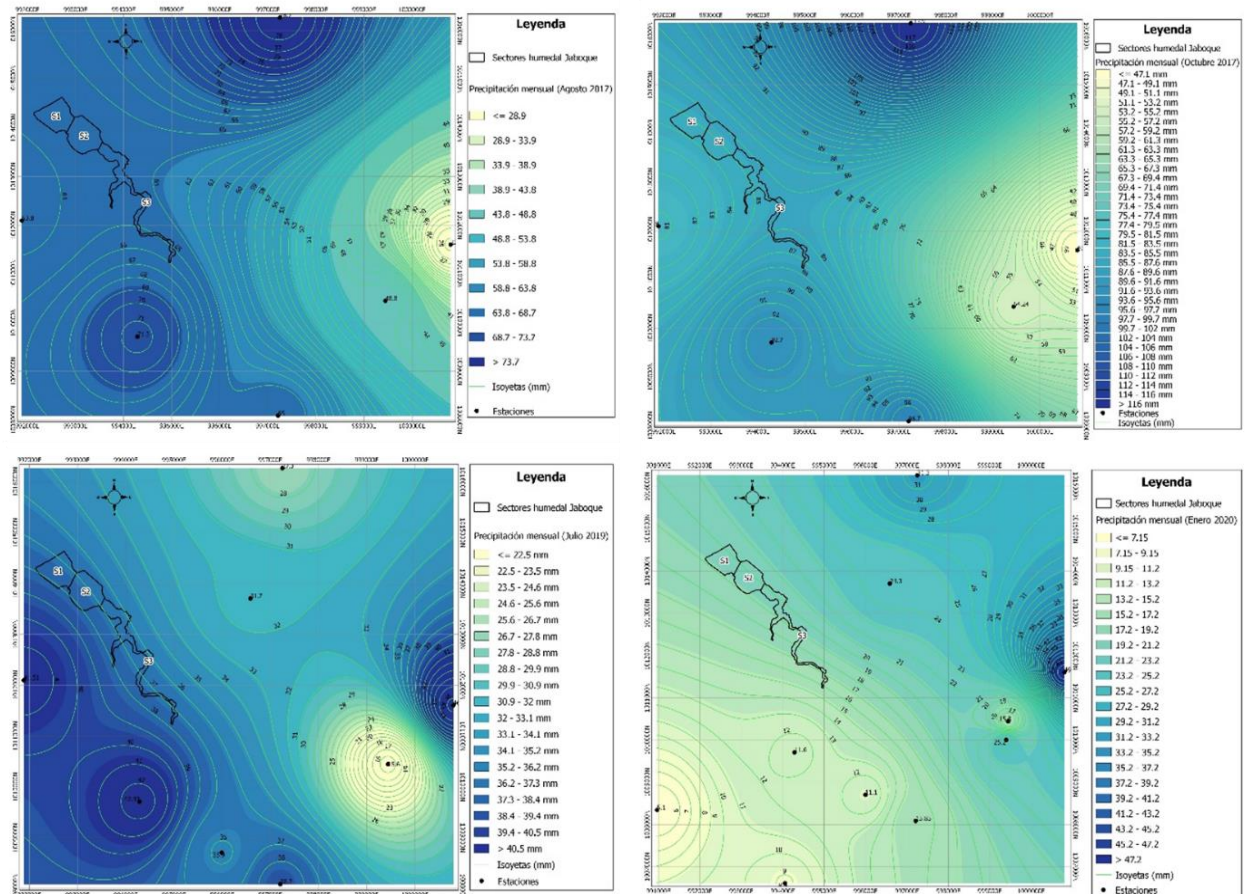
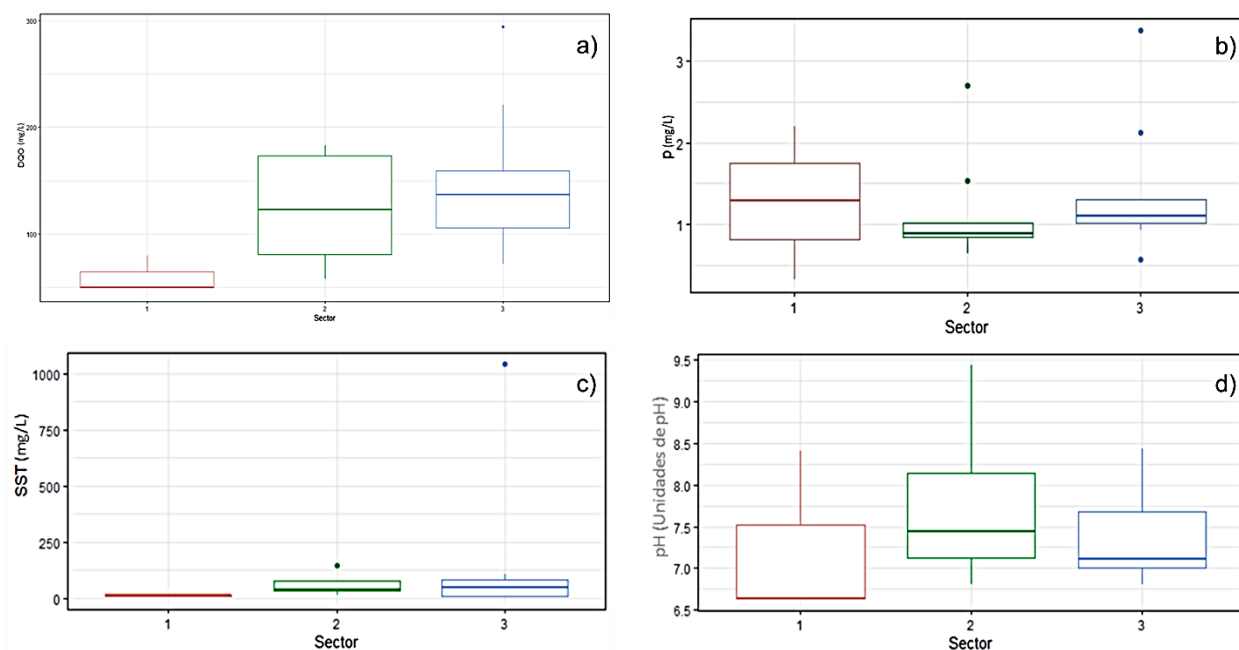


Figura 5. Representación de la precipitación mensual para agosto 2017, octubre 2017, julio 2019 y enero 2020.

Fuente: Villamil-Pasito, 2021

7.3.2. Comportamiento espacial de los parámetros fisicoquímicos e índices

Para la visualización del comportamiento sectorial de los datos registrados para los años 2017, 2019 y 2020 para cada una de las 11 variables, se representaron los valores mediante diagramas de caja para cada uno de los sectores, como se visualiza en las figuras 6, 7 y 8.



Fuente: Villamil-Pasito, 2021

Figura 6. Diagramas de caja, en las cuales se visualiza el comportamiento espacial de las variables a) DQO, b) fósforo total, c) Sólidos suspendidos totales y d) pH para los tres sectores del humedal, así como la mediana (línea más gruesa), el primer cuartil (límite inferior de la caja y tercer cuartil (límite superior de la caja).

En la Figura 6 literal a, los valores de DQO para los sectores dos y tres tienden a agruparse en valores superiores a los del sector uno del humedal Jaboque, por lo que, se registraron valores de medianas de 123mg/L para el sector dos, 137 mg/L en el sector 3 y 50mg/L para el sector uno, siendo este último sector el menos sometido a los

diferentes tensores, sin embargo, se encuentra entre el rango de 40 a 200 mg/L, por lo que, refleja en menor proporción la presencia de aguas residuales (Gobierno de México - Gerencia de Calidad del Agua , 2019). A su vez, se observa para la variable en mención una menor dispersión de los datos para el sector uno, en comparación con los otros dos sectores, los cuales oscilan entre 49 mg/L y 79,6 mg/L, con una distribución de los datos sesgada hacia la parte inferior, por lo que, la media (59,53 mg/L) es mayor que la mediana (50 mg/L). Por otra parte, en el sector tres, se registró un valor atípico de DQO, correspondiente al punto de monitoreo cercano al área en donde confluyen el canal Carmelo y el Canal los Ángeles, magnitud que podría estar asociado a aguas residuales producto de vertimientos.

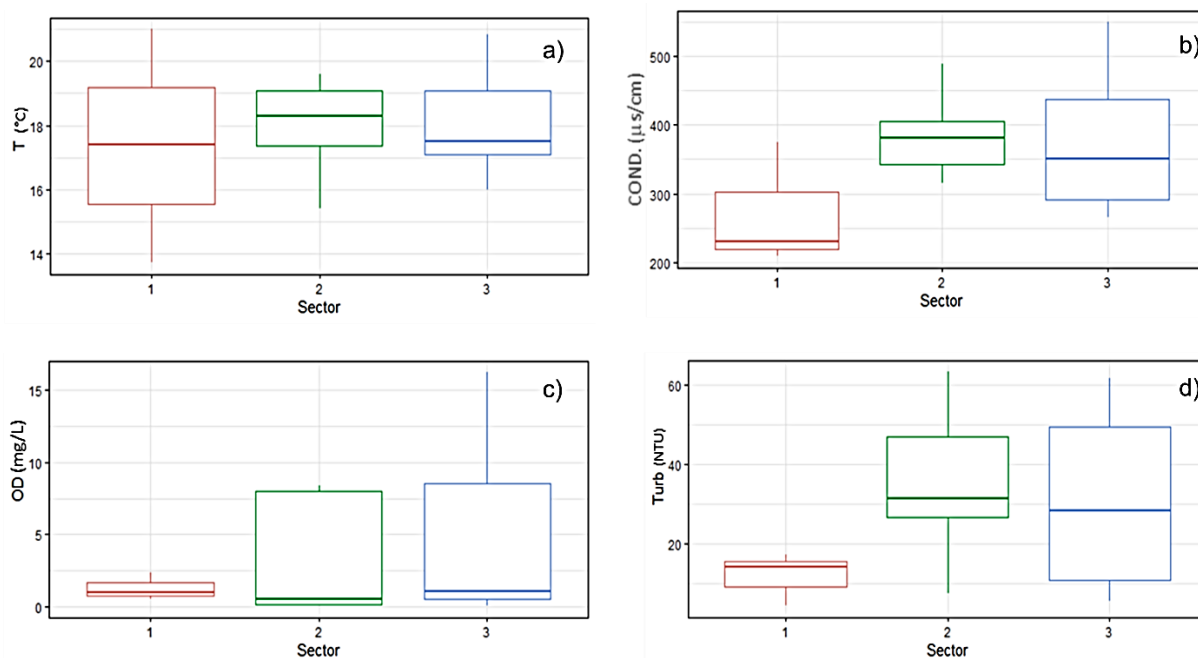
Por otra parte, los valores de fósforo total para el sector uno, tienden a agruparse en valores superiores a los del sector dos y tres, sin embargo, para los sectores que se encuentran sometidos a mayor presión antrópica registraron datos atípicos, específicamente para el sector tres, datos atípicos que pueden asociarse a vertimientos de aguas residuales. Los sectores uno, dos y tres presentaron datos de mediana de 1,30 mg/L, 0,89 mg/L y 1,10mg/L, así como datos de media de 1,27mg/L, 1,03 mg/L y 1,42 mg/L respectivamente, magnitudes que reflejan condiciones de eutrofia a hipertrofia de acuerdo a los rangos establecidos por Esteves en 1998 (como se citó en Espejo, 2017). Para el sector 1, los datos compilados para los años 2017, 2019 y 2020, registraron un mínimo de 0,3mg/L y un valor máximo de 1,27mg/L, en el sector dos los datos oscilaron entre 0,63mg/L y 2,7 mg/L y el sector tres de 0,63 mg/L a 3,4mg/L, siendo este último valor un dato atípico, como se visualiza en la Figura 6, literal B.

En cuanto a los Sólidos Suspendidos Totales (SST), Para los sectores uno, dos y tres se registraron valores de medianas de 13,0 mg/L, 37,8mg/L y 49 mg/L y medias de 10,8mg/L, 47,0 mg/L y 155, 5 mg/L respectivamente, por otra parte, se evidencia un dato atípico para el sector 3, valor que reflejan para este sector una mayor presión antrópica, así mismo, se evidenciaron para el sector uno menores magnitudes del parámetro, lo cual se asoció a la menor presión por vertimientos por conexiones erradas a la que se

encuentra sometido este sector, acorde a lo visualizado en el mapa interactivo del seguimiento del PICCE “Plan de Identificación y Corrección de Conexiones Erradas” de la (EAAB-ESP, 2021).

Para los datos de pH registrados para cada sector del humedal Jaboque, durante los años 2017, 2019 y 2020, reportó como valor de mediana de 6,63 unidades de pH el sector uno, 7,44 en el sector dos y 7,11 para el sector tres (Figura 6, literal d). Los tres sectores del humedal Jaboque presentaron aguas tendientes a la neutralidad.

A continuación, se relaciona el comportamiento por sector de los datos registrados para los años 2017, 2019 y 2020 de las variables de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y turbiedad.



Fuente: Villamil-Pasito, 2021

Figura 7. Diagramas de caja, en las cuales se visualiza comportamiento espacial de las variables a) temperatura del agua, b) conductividad, c) oxígeno disuelto y d) turbiedad

para los tres sectores del humedal, así como la mediana (línea más gruesa), el primer cuartil (límite inferior de la caja y tercer cuartil (límite superior de la caja).

Los datos de temperatura, registraron medianas de 17,41 °C en el sector uno, 18,30°C para el sector dos y 17,50 °C en el sector tres (Figura 7, literal a) y medias de 17,37°C, 16,29°C y 18,09°C respectivamente. El sector uno presentó mayor rango de temperatura [mínimo = 13,70°C y máximo = 21,00°C], lo cual podría asociarse a la hora de toma de muestra y a las condiciones de cobertura vegetal.

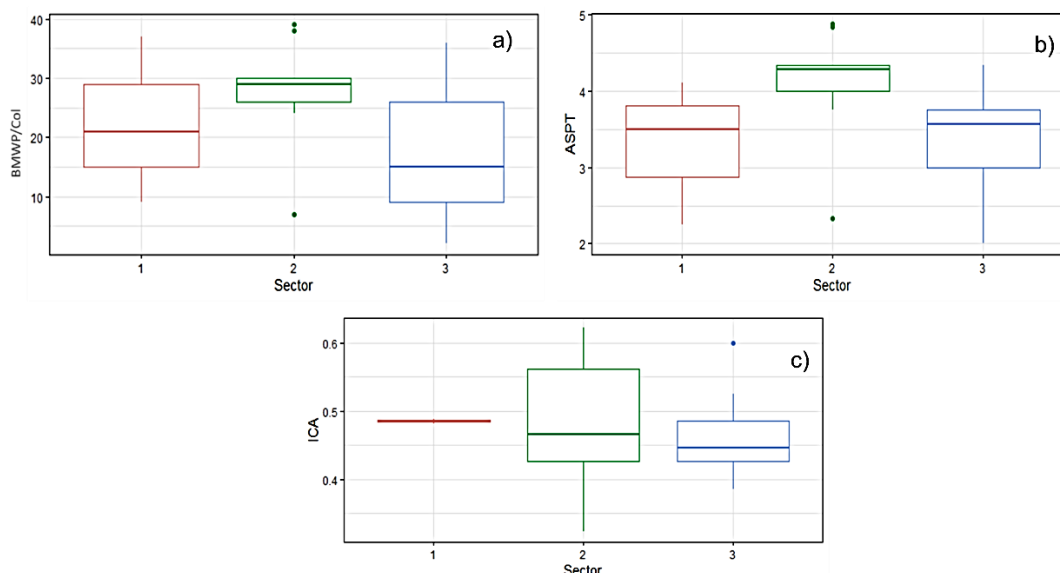
Acorde al diagrama de caja (Figura 7, literal b), se observa que el sector 3, presenta mayores conductividades, magnitudes que de acuerdo al rango establecido por Roldán y Ramírez (2008), indican aguas mineralizadas a fuertemente mineralizadas, lo cual se podría asociar a los vertimientos de aguas residuales a los que se encuentra expuesto el área en mención; para el sector dos, las magnitudes indican aguas mineralizadas, mientras que para el sector uno se visualizan menores concentraciones de conductividad, lo anterior, es coherente acorde a las conexiones erradas identificadas para el humedal Jaboque, las cuales predominan para los sectores tres y dos, de acuerdo a lo reportado por la EAAB-ESP (2020a; 2020b, 2021); en concordancia se reportaron datos de medianas de 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 381 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 351 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y medias de 271 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 346 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 381 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para los sectores uno, dos y tres respectivamente.

Por otra parte, los valores de Oxígeno Disuelto en el agua para los sectores uno, dos y tres presentaron valores de medianas de 0,96mg/L, 0,50mg/L y 1,10 mg/L respectivamente, los cuales se encuentran por debajo del límite admisible para la preservación de flora y fauna establecido en el decreto 1076 de 2015.

En cuanto a los valores de Turbiedad, para los sectores dos y tres tienden a agruparse en valores superiores a los del sector uno del humedal Jaboque. En concordancia, se registró valores de medianas de 28,4 NTU en el sector tres, 31,4NTU para el sector dos y 14,2NTU en el sector uno y medias de 29,1NTU, 31,9 NTU y 11,93 NTU respectivamente, lo cual, está acorde a las condiciones ambientales y a los sensores a

los que se encuentra sometido cada sector, por ejemplo, el sector uno, el cual corresponde al área menos intervenida, registró una dispersión menor de los datos, con magnitudes entre 4,39NTU y 17,20NTU.

En la Figura 8, se visualiza el comportamiento de los datos registrados para los años 2017, 2019 y 2020 en cada sector, para los índices de BWMP, ASPT e ICA.



Fuente: Villamil-Pasito, 2021

Figura 8. Diagramas de caja, en las cuales se visualiza el comportamiento espacial de los índices a) BMWP/Col, b) ASPT y c) ICA para los tres sectores del humedal.

Referente la Figura 8 literal a, los valores de BMWP/Col del sector dos y sector uno tienden a agruparse en magnitudes superiores en comparación a los registrados para el sector tres, lo anterior, se refleja en los valores de la mediana, correspondientes a 29 (sector 2), 21 (sector 1) y 15 (sector 3). De acuerdo a la clasificación y el significado ecológico del índice relacionado en la metodología para la utilización de MAI como indicadores (IAVH, 2005), los datos de la mediana para esta variable indicaron aguas fuertemente contaminadas (Clase V) para el sector tres y aguas muy contaminadas (clase IV) para los sectores 2 y 1.

En concordancia con los valores de BMWP/Col, las medianas que se obtuvieron para las variables de ASPT en los sectores 1, 2 y 3 corresponden a 3,50, 4,29 y 3,57 respectivamente, magnitudes que indican aguas muy contaminadas, acorde a la clasificación ajustada por el IAVH (2005).

Finalmente, para el índice ICA, los valores de la mediana calculadas para cada sector [S1=0,49, S2=0,47 y S3=0,45] indicaron aguas de mala calidad, sin embargo para el sector dos, se visualizó en el diagrama una mayor dispersión de los datos, lo que, permitió inferir, que este sector presenta aguas de calidad mala a regular, lo anterior, podría estar asociado a la conformación de un mayor espejo de agua para finales del año 2016, aproximadamente para el mes de noviembre de acuerdo a lo visualizado en las imágenes de Google Earth (Ver anexo 4).

Para el sector uno, no se diferencia entre la mediana y los cuartiles, debido a que la dispersión de los datos es muy pequeña, es decir, los datos de esta variable son muy similares, lo anterior, se podría asociar al número de puntos de monitoreo, que para el caso corresponde al mismo punto localizado geográficamente en el área que comprende este sector para los años 2017, 2019 y 2020.

7.3.3. Distribución de probabilidad y homocedasticidad

Se aplicó la prueba Shapiro-Wilk para comprobar el supuesto de normalidad de las variables de DQO, fósforo total, sólidos suspendidos totales, pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, Bmwp/Col, ASPT, ICA y precipitación mensual. De acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk la mayoría de las variables no cumplen con la hipótesis de normalidad, debido a que registraron valores de $p\text{-value} < 0,05$, como se puede visualizar en la Tabla 11; lo anterior, se encuentra acorde a lo mencionado por Sierra (2011), quien afirma que la mayoría de los datos de calidad del agua no siguen una distribución normal. Sin embargo, algunos parámetros registrados para el humedal Jaboque, sí cumplen este supuesto, tales como DQO, Temperatura del agua, Conductividad, Bmwp/Col e ICA, como se evidencia en la Tabla 11.

Adicionalmente a lo anterior, se comprobó el comportamiento de las diferentes distribuciones mediante el uso de histogramas de las variables para cada sector y para cada año [2017, 2019 y 2020] (Anexo 8), evidenciando claramente distribuciones normales, no normales y homogéneas, por ejemplo, para el año 2017 la variable DQO presenta un comportamiento gaussiano.

Por otra parte, se realizó análisis de la homogeneidad de varianza (homocedasticidad), para lo cual, se aplicó el Test de Levene agrupado a partir de la mediana. En el presente test se asumieron dos hipótesis, correspondientes a:

Ho = la varianza de la variable de cada sector no es diferente, cuando f-value > 5% y
H1=La varianza de la variable de cada sector es diferente.

Con base en los resultados del test, se aceptó la hipótesis Ho, es decir no se encuentra diferencias significativas entre las varianzas de determinada variable de cada sector, como se evidencia en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de la prueba Shapiro-Wilk y homogeneidad

Variable	Normalidad	Homogeneidad de varianzas
	Shapiro -Wilk p-Value	(Variable ~ Sector) F-value
DQO	0.1403	1.1817
Fosforo total	0.002845	0.2419
SST	1.529e-08	0.7412
pH	0.01076	0.5052
Temperatura	0.8234	1.7514
Conductividad	0.7076	1.1892
OD	0.0001907	0.65
Turbidez	0.04551	1.9873
Bmwp/col	0.1296	0.7627
ASPT	0.04161	0.2012
ICA	0.2154	2.5989
Precipitación	0.00753	0.0111

En la Tabla 11, se visualizan los resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Test de Levene); Fuente: Villamil-Pasito, 2021

7.3.4. Prueba de Varianza Wilcoxon.

Se aplicó la prueba Pairwise Wilcoxon Rank Sum Tests del paquete stats, para 12 variables agrupadas por sectores y por años, mediante el uso del software Rstudio. Para lo cual, se planteó la siguiente hipótesis nula:

H_0 Temporal o sectorial : $MeVariableX, año o sector = MeVariableX, año o sector$
comparando cada combinación posible entre años (2017-2019, 2019-2020 y 2017-2020) o sectores (S1-S2, S2-S3 y S1-S3), siendo Me (mediana).

De acuerdo con los resultados de la Tabla 12, se tiene que ninguna de las variables estudiadas a nivel espacial posee diferencias estadísticas significativas, debido a que p-Value es mayor al 5 %, es decir tienden a ser estadísticamente muy similares para los tres sectores, lo anterior, podría estar asociado a la conectividad longitudinal entre los sectores del humedal Jaboque, lo cual, refleja que el impacto en la calidad del agua generado por los diferentes tensores a los que se encuentra sometido específicamente los sectores 3 y 2 afectaron a todo el cuerpo del humedal, sin embargo, teniendo en cuenta los análisis descriptivos, cabe mencionar que se visualizó a nivel espacial un pequeño cambio en algunas de las variables de calidad de agua para el sector 1, tales como SST (Figura 6, literal C), conductividad y turbiedad (Figura 7, literales b y d) e ICA (Figura 8, literal C), lo cual refleja, que el sistema trata de realizar la función de retención de sedimentos y contaminantes.

Por otra parte, a nivel temporal, para las variables de DQO, Fósforo Total, Sólidos Suspendidos Totales, temperatura del agua, conductividad, oxígeno disuelto, turbiedad e ICA, se obtuvieron valores de $p > 5\%$, lo cual indicó, que los valores de las medianas para estas variables de calidad de agua son estadísticamente similares, sin embargo, para las comparaciones entre los años 2019 – 2020 y 2017 – 2020 los datos de BMWP/Col y ASPT registrados para el humedal, obtuvieron valores de p-value inferiores a 0,05, por lo que, temporalmente estas dos variables son estadísticamente diferentes, gracias a que las intervenciones en pro de la recuperación del humedal, como fue: corrección de conexiones erradas, erradicación de material vegetal y remoción de

residuos sólidos, actividades registradas para estos años (EAB-ESP, 2017a; 2017b; 2018; Contraloría de Bogotá D.C, 2019a; EAAB-ESP, 2020a; 2020b). A su vez, también podría estar asociado al número y posición geográfica de los puntos monitoreados en el humedal para cada año, que para el caso del 2020 se encuentran cercanos a la zona de transición, mientras que para el año 2017 y 2019 incluye puntos de monitoreo en el centro de este cuerpo de agua. Finalmente, la variable de precipitación a nivel temporal registró valores menores al 5%, indicando que estadísticamente son diferentes cada grupo de año analizado.

Tabla 12. Resultados de la prueba Pairwise Wilcoxon Rank Sum Tests

Variable	Espacial			Temporal		
	S1-S2	S2-S3	S1-S3	2017-2019	2019-2020	2017-2020
DQO	0.073	0.566	0.055	0.43	0.79	0.79
Fósforo Total	1.00	0.57	1.00	0.59	0.11	0.16
SST	0.28	0.93	0.56	1.00	0.85	1.00
pH	0.8	0.8	0.8	0.269	0.042	0.052
Temperatura del agua	1	1	1	1	1	1
Conductividad	0.30	0.73	0.30	0.29	0.91	0.45
OD	1	1	1	0.24	0.24	0.95
Turbiedad	0.30	0.75	0.75	1	1	1
BMWP/COL	0.92	0.28	0.92	0.960	0.037	0.015
ASPT	0.191	0.071	1.000	0.578	0.027	0.015
ICA	1	1	1	0.51	0.51	0.51
Precipitación	1	1	1	0.0025	0.0125	0.0077

Fuente: Villamil-Pasito, 2021

8. Conclusiones

A nivel fisicoquímico, para los tres sectores del humedal Jaboque en la ventana de tiempo comprendida entre el 2004 al 2020, predominaron condiciones de hipoxia, por lo que, los datos del histórico asociado a esta variable se encuentran por debajo del límite establecido para la preservación de flora y fauna acorde al artículo 2.2.3.3.9.10. del Decreto 1076 de 2015, así mismo, se evidenció para el sector 2 aumento de las concentraciones de OD para los años 2017 y 2019, cambio atribuido a las diferentes

medidas y acciones implementadas por las autoridades competentes en pro de la recuperación del humedal Jaboque, tales como, corrección de conexiones erradas y recuperación de la lámina de agua, entre otras. Se evidenció a nivel temporal, para la variable de SST menores concentraciones de este parámetro para los años 2019 y 2020, a partir de lo cual, se infirió que las medidas implementadas para la recuperación del humedal han contribuido en tratar de mejorar en cierto grado la calidad del agua para el ecosistema acuático, por otra parte, los valores de conductividad indicaron aguas mineralizadas para los tres sectores y las concentraciones de DBO_5 aguas contaminadas por descargas residuales, principalmente para los sectores dos y tres. Para los sectores del humedal se evidenció menores concentraciones de DBO_5 para el año 2019, lo cual, reflejó que la corrección de conexiones erradas disminuye el aporte de material orgánico. Finalmente, para el parámetro de pH se reportaron en su mayoría datos dentro del límite admisible estipulado en el Decreto Único Ambiental para la preservación de flora y fauna, correspondiente a 6,5 y 9,0 Unidades de pH

A nivel espacio-temporal, de acuerdo a los valores de los ICAs calculados para cada sector mediante la metodología establecida por el IDEAM (2013) y acorde a los mapas con la distribución espacial obtenidos a partir de interpolación por el método IDW, se evidenció cambio en la calidad del agua entre los sectores para el año 2017, pasando de mala calidad en el sector tres a mala y regular en el sector dos y posteriormente calidad mala para el sector uno, lo cual, a nivel espacial se atribuyó a las diferentes acciones implementadas para este sector, principalmente a la conformación de un mayor espejo de agua. Para el año, 2019 los tres sectores registraron aguas de calidad regular y mala, la determinación de regular se asoció a los impactos positivos que generó la presencia de un mayor espejo de agua y la corrección de conexiones erradas. Finalmente, para el año 2020, cada uno de los tres sectores registraron mala calidad de agua, debido a que los resultados del ICA, corresponden únicamente a puntos de muestreos localizados en la orilla del humedal.

Los índices BMWP/Col y ASPT calculados para cada sector del humedal, no evidenciaron a nivel sectorial o espacial cambios en la calidad del agua, debido a que para el año 2017 los tres sectores registraron aguas muy contaminadas, al igual que para el año 2019, mientras que temporalmente, los valores de BMWP/Col y de ASPT calculados para los tres sectores del humedal Jaboque para los años 2017, 2019 y 2020, indicaron aguas muy contaminadas a aguas fuertemente contaminadas. Para el año 2017, el sector 2 registró mayores valores para las dos variables en mención (Tabla 8 y Tabla 9), lo cual evidenció, una leve mejora en la calidad del agua, asociado a las diferentes acciones implementadas en el sector para la recuperación del cuerpo de agua.

Espacialmente no existe diferencias estadísticamente significativas para las 11 variables de calidad de agua y la variable climática, de acuerdo con los datos del año 2017, 2019 y 2020 analizados para cada sector con la prueba de Wilcoxon. Cabe resaltar, que con base en la estadística descriptiva, para el año 2020 el sector 1 registró menor concentración de SST [< 5 mg/L] y el sector 3 menor conductividad promedio [278,5 μ s/cm]. El sector uno se encuentra sometido.

A nivel temporal, para los años 2017, 2019 y 2020 no existe diferencias estadísticamente significativas para las variables de DQO, Fósforo Total, Sólidos Suspendidos Totales, temperatura del agua, conductividad, oxígeno disuelto, turbiedad e ICA de acuerdo a la prueba Wilcoxon, lo que permitió inferir, que las medidas implementadas por las diferentes autoridades ambientales han contribuido hasta el momento en el cuidado del cuerpo de agua, evitando que las condiciones del humedal sean más desfavorables, lo anterior teniendo en cuenta que ha aumentado la urbanización en el área aferente durante los últimos años y por ende la presión antrópica a la que se encuentra sometido el humedal es mayor.

De acuerdo a la prueba de Wilcoxon no se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre sectores, lo cual, de acuerdo a la conectividad entre las áreas del

humedal, implicó que las medidas de recuperación efectuadas en cierta parte del humedal, repercuten en todo el humedal.

9. Recomendaciones

Se recomienda a las autoridades competentes fortalecer y seguir priorizando los programas, planes y acciones en los sectores 3 y 2, para la recuperación de este cuerpo de agua, debido a que, las actividades y acciones implementadas no solo se verán reflejadas en estos dos sectores sino también en el sector 1, asociado a la conectividad longitudinal visualizada en el análisis espacial de la prueba de Wilcoxon y en la espacialización de los mapas.

De acuerdo a la información recopilada y analizada en la presente investigación, se recomienda a las autoridades competentes concertar los puntos de muestreo, los cuales, incluyan en lo posible los espejos de agua, zonas centrales y litorales, así como incrementar los puntos de muestreo en el sector 1, con el objeto de aunar esfuerzos.

REFERENCIAS

- Acherman, J. (2007). *Análisis del estado de alteración y contaminación del Humedal Jaboque (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, Bogotá.
- Acuña, E. (s.f). *Pruebas no paramétricas* . Obtenido de <https://academic.uprm.edu/eacuna/miniman11sl.pdf>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2006). *Política de humedales del distrito Capital*. Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=b3186a1c-c2a6-4cae-8e85-3eaecfee4fb7&groupId=55886
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2007). *Decreto 624 de 2007 Por el cual se adopta la visión, objetivos y principios de la Política de Humedales del Distrito Capital* . Bogotá D.C.: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=28132>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2013). *Decreto 364 de 2013, por el cual se modifican excepcionalmente las normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D. C. , adoptado mediante Decreto Distrital 619 de 2000, revisado por el Decreto Distrital 469 de 2003 y*. Bogotá D.C .
- Alcaldía Mayor de Bogotá y Departamento Administrativo del Medio Ambiente. (2006). *Política de humedales del distrito capital* . Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=b3186a1c-c2a6-4cae-8e85-3eaecfee4fb7&groupId=55886
- Amat, J. (2016). *Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon*. Obtenido de https://www.cienciadedatos.net/documentos/18_prueba_de_los_rangos_con_signo_de_wilcoxon

- Ardila, A., Arriola, E., Reyes, J., Berrio, E y Fuentes, G. (2016). Mineralización de etilenglicol por foto-fenton asistido con ferrioxalato. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(2), 213-226. doi 10.20937/RICA.2016.32.02.07.
- Beltrán, D. (2017). *Aplicación de índices de vegetación para evaluar procesos de restauración ecológica en el parque forestal embalse del Neusa (Tesis de pregrado)*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17210/BeltranHernandezDiegoHernan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Beltrán, J. (2012). *Formulación de un modelo dinámico de simulación ecológica del Humedal de Jaboque – Bogotá D.C., con fines de restauración y conservación (Tesis doctoral)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/8092/1/julioeduardobeltranvargas.2012.pdf>
- Cabrera-Amaya, D., Lopera-Doncel, C., Vásquez-Valderrama, M., Sandoval-Ramos, M y López-Cruz, J. (2017). *Diversidad florística y cambios en las coberturas de la cuenca del humedal Jaboque y el parque La Florida (Bogotá, Colombia)*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40 (160). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082017000300326&lang=es
- Caho-Rodríguez, C y López-Barrera, E. (2017). *Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI*. *Producción + Limpia*, 12(2). Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n2/1909-0455-pml-12-02-00035.pdf>
- Calderón, J. (2019). *Evaluación de la calidad del agua en el tercio bajo del humedal Jaboque Bogotá - Colombia, mediane el uso de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas (Tesis de pregrado)*. Universidad Manuela Beltrá, Bogotá D.C, Colombia.

- CAR. (2011). *Humedales del Territorio CAR*. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5adf57a6d882c.pdf>
- CAR-SDA. (2015). Resolución Conjunta No. 01 de 13 febrero de 2015. Por la cual se aprueba el Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecologico Distrital del Humedal Jaboque y se toman otras determinaciones.
- Casallas, K. (2016). *SISTEMA ESTRATÉGICO DE EQUIPAMIENTOS Y ESPACIOS COLECTIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CIUDAD EDUCADORA EN ENGATIVÁ. Orientado a generar conciencia ambiental y la recuperación del cuerpo hídrico humedal Jaboque. [pregrado] Pontificia Universidad Javeriana.*
- Castellanos, C. (2013). *Diagnóstico del humedal Jaboque, propiedades físicas, químicas, biológicas y cartografía social (Tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C.* Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9941/CastellanosSeguraCesarAugusto2013.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Castro, F., Rincón, I y Moreno, L. (2005). *Evaluación de la calidad del agua y diagnóstico ambiental del humedal Jaboque. Tecnogestión, 2(1), 77-83.* Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/4330/6060>
- Concejo de Bogotá D.C. (1999). *ACUERDO 35 DE 1999, por el cual se definen las zonas de ronda y las zonas de manejo y preservación ambiental de los humedales de Juan Amarillo, La Vaca y El Jaboque y se dictan otras disposiciones.* Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2075>
- Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 del 22 de diciembre de 1993 Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental.* Bogotá D.C.: Congreso de Colombia.

Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES 3918]. (2018). *Departamento Nacional de Planeación, Presidencia de la República, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Departamento Administrativo para la Prosperidad Social, Agencia Presidencial de Cooperación, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación y Departamento Administrativo de la Función Pública. Colombia*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>

Consultoria y Servicios CONOSER LTDA. (2020). *Resultados de laboratorio*.

Contraloría de Bogotá D.C. (2019a). *Informe final de auditoría de regularidad EAAB-ESP, auditoría No. 170, periodo auditado 2018*. Obtenido de http://www.contraloriabogota.gov.co/sites/default/files/Contenido/Informes/Auditoria/Direcci%C3%B3n%20Sector%20Servicios%20P%C3%BAblicos/PAD_2019/EN%20-%20JN/Regularidad/R_EAAB_CODIGO170.pdf

Contraloría de Bogotá D.C. (2019b). *Informe final de auditoría de desempeño EAAB-ESP, auditoría a humedales y canales del distrito capital. Auditoría N° 186*. Obtenido de https://www.acueducto.com.co/wps/wcm/connect/EAB2/3d5ebc25-2361-4942-be20-69c46d44111a/Informe+Auditor%C3%ADa+a+Humedales+y+canales+del+Distrito+Capital+%E2%80%93COD+186+%E2%80%9301062016+A+30092019+-+PAD+2019.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE.Z18_K

Contreras, S. (2014). *Desarrollo de medidas estructurales y no estructurales para la conservación del humedal Jaboque, basadas en el análisis WQI. (Tesis de especialización)*. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá.

Corte Constitucional. (1991). *Constitución política de Colombia del 6 de julio de 1991*. Bogotá D.C.: Corte Constitucional.

- Cotrino, J. (2020). *Análisis de la calidad del agua del humedal Jaboque mediante la identificación de la comunidad fitoplanctónica y las condiciones fisicoquímicas del agua* (tesis de pregrado). Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30505/2020jenniffercotrino.pdf?sequence=4&isAllowed=yhttps://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/4330/6336>
- Croghan, C y P P. Egeghy. (2003). *Métodos de tratamiento de valores por debajo del límite de detección utilizando SAS*. Obtenido de https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NERL&dirEntryId=64046
- Díaz, V. (2016). *Sistema complejo adaptativo en el humedal Jaboque. [Tesis de pregrado] Pontificia Universidad Javeriana*.
- EAAB-ESP & ADESSA. (2006). *Plan de Manejo Ambiental Humedal Jaboque*. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2316609/Diagn%C3%B3stico+PMA+Humedal+Jaboque+06-13.pdf>
- EAAB-ESP. (21 de 03 de 2018). *Cuenca. Bogotá D.C.* Obtenido de <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/cuenca-bogota-d-c>
- EAAB-ESSP & ADESSA. (s.f.). *Plan de Manejo Ambiental Humedal Jaboque, Plan de Acción*. Bogotá D.C.
- El Tiempo. (03 de 04 de 2016). *Firma Printer avanza en la limpieza de humedal Jaboque*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16554019>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB-ESP. (21 de 03 de 2018). *Cuerpo de agua. Bogotá D.C.* Obtenido de <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/cuerpo-de-agua-bogota-d-c>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá [EAAB-ESP]. (2021). *Seguimiento PICCE humedal Jaboque*. Obtenido de <https://eab-sigue.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/e08eb696fad649f69fa12cda919aa756>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP. (Agosto de 2020a). *Informe seguimiento Sentencia Río Bogotá No. 12*. Obtenido de <http://orarbo.gov.co/es/el-observatorio-y-los-municipios/informe-seguimiento-sentencia-no-12-br-empresa-de-acueducto-y-alcantarillado-de-bogota-eaab-esp>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP. (2020b). *Informe de gestión 2020 EAAB-ESP*. Obtenido de https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/la-empresa/rendicion-de-cuentas/informes-de-gestion!/ut/p/z1/IZBBC4JAEIV_SwePOdNqYt3UIAqptESbS2jYKqgbZkn_vqgORbHV3Gb43pvHA4IlqIpPOY-bXFRxcd3XZGwMz8GeiWyGptFHjw0WK90dMY0ZEN4AfBkLbZ_ZGuJ4zoD-1z87_aaXACS3D4Fk

Empresa de Acueducto, Alcantarillado de Bogotá y Aseo de Bogotá. (2017b). *Informe seguimiento planes de manejo ambiental parques ecológicos distritales de humedal vigencia 2017*. Obtenido de http://orarbo.gov.co/aplicativo-humedales/reportes/2017-primer_semestre-esp.pdf

Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá . (2018). *Informe seguimiento planes de manejo ambiental parques ecológicos distritales de humedal vigencia 2018*. Obtenido de http://orarbo.gov.co/aplicativo-humedales/reportes/2018-primer_semestre-esp.pdf

Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá. (2017a). *Plan de identificación y corrección de conexiones erradas, Version 02*. Obtenido de

<http://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/plan-de-identificacion-y-correccion-de-conexiones-erradas-version-02>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP. *Resultados de análisis fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos realizados a las entradas, salidas y cuerpos de agua del humedal Jaboque de la cuenca Jaboque*

Escobar, J. (2018). *Humedales Ramsar en Colombia*. Obtenido de <http://humedalesbogota.com/2018/01/25/humedales-ramsar-colombia/>

Espejo, M. (2017). *Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del humedal el juncal y su reconocimiento como ecosistema estratégico dentro de la educación básica primaria (Tesis de maestría)*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/2398/Documento%20Tesis%20Maestria%20en%20Ciencias%20Ambientales%20Eliana%20Espejo.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Gobierno de México - Gerencia de Calidad del Agua . (2019). *Indicadores de calidad del agua* . Obtenido de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce

Gómez, M y Triana, E. (2015). *Propuesta de mejora al Plan de Manejo Ambiental del Humedal Jaboque, mediante la Evaluación del Impacto Ambiental, caso de estudio Barrio Unir II en el tercio medio del humedal, Bogotá D.C. (Tesis de pregrado)*. Universidad Piloto de Colombia.

Goyenola. (2007). *Oxígeno Disuelto*. Obtenido de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf

- IDEAM. (2007). *NITROGENO TOTAL EN AGUA POR EL METODO SEMI-MICRO KJELDAHL - ELECTRODO DE AMONIACO*. . Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitr%C3%B3geno+Total+en+agua+M%C3%A9todo+Kjeldahl+Electrodo+de+Amoniac.pdf/6eac7192-9d88-41cf-b4f0-7b5332467901#:~:text=Es%20un%20m%C3%A9todo%20electrom%C3%A9trico%2C%20en,Org%C3%A1nico%20y%20el%20Nitr%C3%B3g>
- IDEAM. (2013). *Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales, Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/3.02+HM+Indice+calidad+agua.pdf/c5a50442-79de-4cab-881a-824fe057fbc1>
- IDEAM. (2018). *Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua 2018*. Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla_ENA_%202018.pdf
- IDEAM. (2021). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometereológicos*. Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM y Centro de Investigaciones en Hidroinformática. (2007). *Informe Final Contrato 111/2007*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - IAVH. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*.
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [IDIGER] y Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2021). *Sistema de Alerta de Bogotá*. Obtenido de <https://www.sire.gov.co/web/sab/informacion-hidrometeorologica>

Javier, C. (2019). *No paramétrica*. Obtenido de <https://bookdown.org/cjrinconr/np2019/NP2019.pdf>

Kravchenko, A. (2003). Influence of Spatial Structure on Accuracy of Interpolation Methods. *Soil Science society of America*, 67, 1564–1571.

Lara, D. (2017). El enfoque socioecosistémico aplicado a la evaluación de conflictos en los humedales interiores de Colombia (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia.

Lucero, M. (17 de 06 de 2010). *Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10383/Annex.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Malgón, A. (2017). Estado trófico de los humedales Tibanica, Guaymaral, Jaboque y Meridor a partir de la composición, biomasa y producción del fitoplancton. En G. y. Guillot, *Estudios ecológicos en Humedales de Bogotá, aplicaciones para su evaluación seguimiento y manejo* (págs. 126-146). Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.

Mejía, A. (2006). *Estudio evaluativo descriptivo de los humedales Juan Amarillo, Córdoba y Jaboque como mitigadores del cambio climático y planteamiento de una estrategia de fortalecimiento para este potencial (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Mejía, D. (2011). Diatomeas perifíticas y algunas características limnológicas de un humedal urbano en la sabana de Bogotá (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional, Bogotá , Colombia.

Ministerio de Agricultura. (1976). *Decreto 1541 del 26 de julio de 1978 por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974*:. Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura.

Ministerio de Agricultura (1981). *Decreto 2857 del 13 de octubre de 1981 por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones*. (1981). Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura.

Ministerio de Agricultura (1984). *Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 Por el cual se reglamenta parcialmente el [Título I de la Ley 9 de 1979], así como el [Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto Ley 2811 de 1974]*. (1984). Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2014). *Guía técnica para la formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Gu%C3%ADa_POMCAS/1._Gu%C3%ADa_T%C3%A9cnica_pomcas.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS. (2018a). *Se firma decreto que designa el complejo de humedales de Bogotá como sitio Ramsar*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4091-se-firma-decreto-que-designa-el-complejo-de-humedales-de-bogota-como-sitio-ramsar>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Decreto 1640 de 2012 por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 26 de mayo de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector*

Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C.: Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018b). *Decreto 1468 de 2018 por el cual se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, con el fin de designar al Complejo de Humedales Urbanos del Distrito Capital de Bogotá para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en . Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018c). *Guía Metodológica para la formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas.* Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/GU%C3%8DA%20PMA%20de%20Microcuencas.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial . (2004a). Resolución 865 del 22 de julio de 2004 por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial .

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial . (2004b). *Resolución 0157 de 2004 por la cual se reglamentan el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales, y se desarrollan aspectos referidos a los mismos en aplicación de la Convención Ramsar.* Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial .

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *Resolución 196 de 2006 por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo.* Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Decreto 1729 del 2002 por el cual se reglamenta la Parte XIII , Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas*

hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5o. de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C: Ministerio del medio ambiente.

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Política Nacional para Humedales interiores de Colombia. Bogotá D.C, Colombia. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Políticas/polit_nal_humedales_int_colombia.pdf

Minitab. (2019). *Explicación de los métodos no paramétricos* . Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/nonparametrics/supporting-topics/understanding-nonparametric-methods/>

Moritz, S. (2021). *Package ‘imputeTS’, version 3.2*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/imputeTS/imputeTS.pdf>

Moritz, S y Bartz-Beielstein, T. (2017). imputeTS: Time Series Missing Value Imputation in R. *The R Journal*, 9(1), 207-218. Obtenido de <https://journal.r-project.org/archive/2017/RJ-2017-009/RJ-2017-009.pdf>

Moya, C., Valdovinos, C., Moraga, A., Romero, F., Debels, P y Oyanedel, A. (2009). Patrones de distribución espacial de ensambles de macroinvertebrados bentónicos de un sistema fluvial Andino Patagónico. *Revista chilena de historia natural*, 82(3), 425-442.

Ortiz, C. (2016). *IMPACTO SOBRE EL CONTROL DE INUNDACIONES, DE LA ADECUACIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA EN HUMEDALES DE BOGOTÁ, INTEGRANDO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. CASO DE ESTUDIO: HUMEDAL JABOQUE (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

- Pardo, D. (2018). Análisis multitemporal del índice de calidad de agua (ICA) determinado por métodos geoestadísticos para el humedal Jaboque en la ciudad de Bogotá para los años 2009 y 2017 (tesis de especialización). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C, Colombia.
- Perdomo, E. (2017). Diagnóstico de la calidad del agua del humedal Jaboque zona Engativa mediante la implementación del método BMWP/Col y gestión de recuperación (Tesis de pregrado). Universidad Manuela Beltrán, Bogotá , Colombia.
- Pérez, J., Martínez-Romero, L., Castellanos-Guerrero, L., Mora-Parada, A y Rocha-Gil, Z. (2020). Macroinvertebrados bioindicadores de calidad de agua en sistemas hídricos artificiales del Departamento de Boyacá, Colombia. *REVISTA PRODUCCIÓN + LIMPIA*, 15(1), 35-48, DOI: 10.22507/pml.v15n1a3.
- Pinilla, G. (2017). *Prácticas de limnología guías de laboratorio y campo*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Quino, I y Quintanilla, J. (2013). Índice de calidad del agua en la cuenca del lago Poopó-Uru Uru aplicando herramienta SIG. *Revista Boliviana de Química*, 30(1), 91-101.
- Ramírez Aguilar, E. (2016). *Paisajes eco-existentes - (trans) fusión paisajística del humedal Jaboque con su contexto urbano Engativá - Bogotá. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle.*
- República de Colombia, Congreso Nacional. (1997). *Ley 357 del 21 de enero de 1997 por la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas", suscrita en Ramsar el dos (2) de febrero de mil novecientos setenta y uno (1971)*. Bogotá D.C.: Congreso Nacional.

- República de Colombia (1974). *Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección*. (1974). Bogotá D. C.: República de Colombia.
- Rivera, J., Pinilla, G y Camacho, D. (2013a). Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta biológica Colombiana*, (18), 279 - 292.
- Rivera-Usme, J., Pínilla-Agudelo, G y Rangel-CH, J. (2013b). Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia . *Caldasía*, 35(2), 389-408.
- Rivera-Usme, J., Pinilla-Agudelo, G., Camacho-Pinzón, D., Castro-Rebolledo, M y Rangel-Churio, J. (2014). Relación entre el peso seco y la longitud total de los géneros de invertebrados acuáticos *Helodella* (Hirudinea: Glossiphoniidae) y *Asellus* (Crustacea: Asellidae) de un humedal andino de Colombia. *Actualidades Biológicas*, 36(100), 39-45.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Bogotá: Fondo Fen. ISBN: 958-9129-04-8.
- Roldán, G y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical*, 2a. edición. ISBN 978-958-714-144-3.
- Roldán-Perez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col*. Antioquia: Uniersidad de Antioquia .
- Roldán-Pérez, G. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274. doi: <http://dx.doi.org/10.18257/racc>.

- Romero, L. (2015). *DIAGNÓSTICO HIDROBIOLÓGICO (MACRÓFITAS Y MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS) PARA EL HUMEDAL URBANO PANAMERICANO EN EL VALLE DEL CAUCA, COMO INSUMO PARA LA FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO* (tesis de pregrado), Santiago de Cali. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/8351/T06304.pdf;jsessionid=38921EC4F2FD7D11D4B05069561375B0?sequence=1>
- Sapna, K., Thangavelu, A., Mithran, S y Shanthi, K. (2018). Spatial Analysis of river water quality using inverse distance weighted interpolation in Noyyal Watershed in Coimbatore, Tamilnadu, India. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 4(1), 150-161. DOI 10.26479/2018.0401.13.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6ª edición*. Obtenido de <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>
- Secretaria Distrital de Ambiente [SDA]. (2020). *Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá* RMCAB. Obtenido de <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Report/stationreport>
- Secretaria Distrital de Ambiente y Corporación Autónoma Regional. (2017). *Informe Técnico No. 394 DMMLA del 2017-08-17*.
- Secretaria Distrital de Ambiente y Corporación Autónoma Regional. (2017). *Informe Técnico No. 650 del del 2019-10-28*.
- Senhadji-Navarro, K., Ruiz-Ochoa, M y Rodríguez, J. (2017). *Estado ecológico de algunos humedales Colombianos en los últimos 15 años: Una evaluación prospectiva*. Obtenido de Colombia Forestal, Volumen 20(2):

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392017000200007&lang=es#Ramsar_2013

- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. Bogotá D.C: Universidad de Medellín. ISBN 978-958-8692-06-7.
- Tapia, L., Sánchez, T., Baylón, M., Jara, E., Arteaga, C., Maceda, D y Salvatierra, A. (2018). INVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA EN LAGUNAS ALTOANDINAS DEL PERÚ. *Ecología Aplicada*, 17(2), 149-163. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i2.1235>.
- Vargas, A., Santos, A., Cárdenas, E y Obregón, N. (2011). Análisis de la distribución e interpolación espacial de las lluvias en Bogotá, Colombia. *Dyna*, (167), 151-159.
- Venegas, M. (2017). Estado limnológico de los humedales Tibanica, Guaymaral, Jaboque y Meridor utilizando macroinvertebrados como bioindicadores. En G. y Guillot Monroy, *Estudios Ecológicos en Humedales de Bogotá: aplicaciones para su evaluación, seguimiento y manejo* (págs. 218 - 231). Bogotá D.C: U. Nacional.
- Villatoro, M., Henríquez, C y Sancho, F. (2008). Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 95-105.
- Yang, w., Zhao, Y., Wang, D., Wu, H., Lin, A y He. L. (2020). Using Principal Components Analysis and IDW Interpolation to Determine Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality of Xin'anjiang River in Huangshan, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 1-14. doi: 10.3390/ijerph17082942.

Anexos

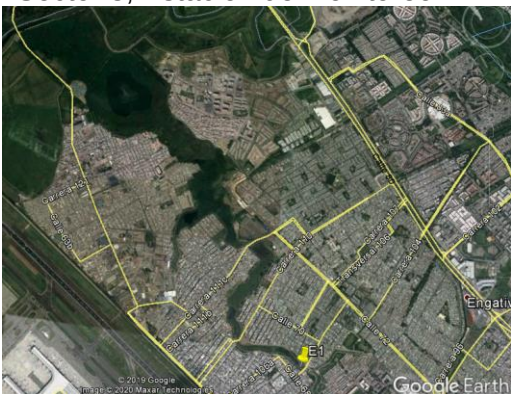
Anexo 1. Estaciones de muestreo año 2020

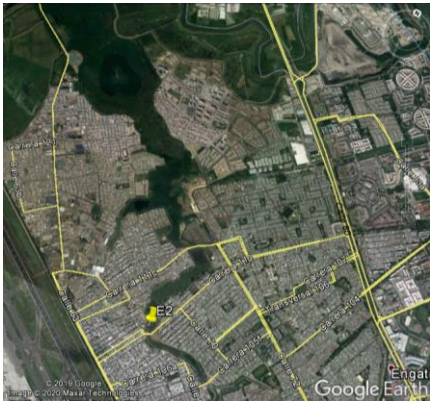
Sector del humedal	Longitud	Latitud
3	74° 7'25.80" O	4°42'7.10" N
3	74° 7'44.10" O	4°42'13.80"N
2	74° 8'8.72" O	4°43'10.98"N
1	74° 8'46.10" O	4°43'36.50"N

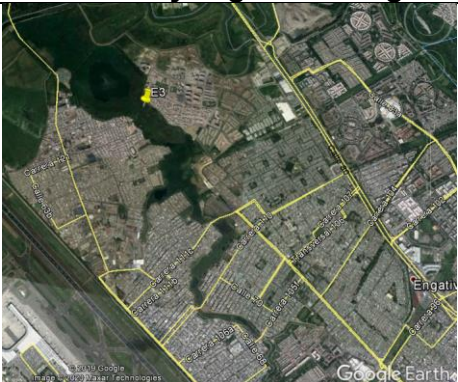
El anexo 1 muestra la longitud y latitud de las estaciones muestreadas en el humedal Jaboque en enero del año 2020

Fuente: Villamil Pasito, 2020

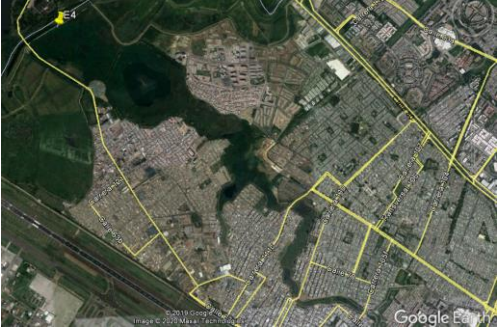
Anexo 2. Ficha reconocimiento del humedal Jaboque y registro de campo

Localización y registro fotográfico	Descripción
Sector 3, Estación de monitoreo N° 1  	La primera estación muestreada se encuentra localizada en el sector. Esta zona se caracteriza a nivel ecosistémico por ser una zona de sabana, a nivel ambiental presenta olores ofensivos y se evidencia residuos sólidos en el cuerpo de agua. El cuerpo hídrico de carácter léntico se encuentra canalizado presentando fuertes taludes, lo que evidencia una alteración en la zona riparia para este tramo del humedal; por otra parte, este sector se encuentra intervenido por la presencia de un puente vehicular. La parte canalizada del humedal no presenta vegetación emergente ni flotante, mientras que en el centro se evidencia juncas y cobertura continua de pasto (Gramíneas). En el entorno de la estación de muestreo se encuentra un corredor peatonal que hace parte

Localización y registro fotográfico	Descripción
Sector 3, Estación de monitoreo N° 1  	del PEDH del humedal Jaboque y continuo a esta área se presentan zonas urbanizadas. La segunda estación de muestreo se encuentra ubicada en el sector 3 a una altitud de 2547 msnm. Este se caracteriza a nivel ecosistémico por ser una zona de sabana, a nivel ambiental presenta olores ofensivos y se evidencia residuos sólidos en el cuerpo de agua. El cuerpo hídrico de carácter léntico se encuentra canalizado presentando fuertes taludes, lo que evidencia una alteración en la zona riparia para este tramo del humedal; por otra parte, este ecosistema acuático se encuentra intervenido al igual que en la estación 1 por la presencia de un puente vehicular. La parte canalizada del humedal no presenta vegetación emergente ni flotante, mientras que en el centro se evidencia juncas, así como la intervención para el cuidado y preservación del humedal con la poda de vegetación; por otra parte, se observó la presencia de garzas en el espejo de agua, como se evidencia en el registro fotográfico. En el entorno de la estación de muestreo se encuentra un corredor peatonal que hace parte del PEDH del humedal Jaboque y continuo a esta área se presentan zonas urbanizadas.
Sector 2, Estación de monitoreo N° 3	La tercera estación de muestreo se encuentra localizada en el sector 2 o tercio medio a una altitud de 2547 msnm.

Localización y registro fotográfico	Descripción
 	A nivel ambiental, el área de estudio presenta olor característico de ácido sulfhídrico y se evidencia residuos sólidos en el cuerpo de agua como bolsas plásticas, debido a que los habitantes aledaños utilizan este material en el momento de cruzar el humedal en donde la profundidad de la lámina del agua no supera los 30 cm, debido a la infraestructura ingenieril de un metro de ancho aproximadamente que atraviesa el humedal. La infraestructura genera acumulación de sedimentos y un pequeño salto hidráulico que permite oxigenación del agua una vez cruza la obra ingenieril. Cabe destacar que la presente estación no se encuentra canalizada como es el caso de las estaciones 1 y 2 del sector 3. Respecto a la flora, la estación presenta áreas con cobertura continua de buchón de agua, helechos y otras especies vegetales, disminuyendo la zona del espejo de agua. En cuanto a las zonas riparia y alta no presentan vegetación característica, observando parches de gramíneas (pastos). En el entorno de la estación de muestreo se encuentra en construcción el proyecto de



Localización y registro fotográfico	Descripción
Sector 1, Estación de monitoreo N° 4  	ciclorruta y en la zona alta la presencia de viviendas. La cuarta estación de muestreo se encuentra localizada en el sector 1 a una altitud de 2546 msnm. El punto de monitoreo se localiza en la salida del humedal, el cual vierte sus aguas en el río Bogotá por medio de dos tubos que atraviesan el jarilón, construido para el control de inundaciones. Por otra parte, se observó huellas y estiércol de ganado presente en la zona de protección del humedal. Respecto a la flora, la estación presenta áreas con cobertura continua con escasas zonas de espejo de agua; en el área de protección se evidencia gramíneas (pasto) y en la zona alta del humedal escasos árboles.

FUENTE: Villamil - Pasito, 2020

Anexo 3. Registro histórico de parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos

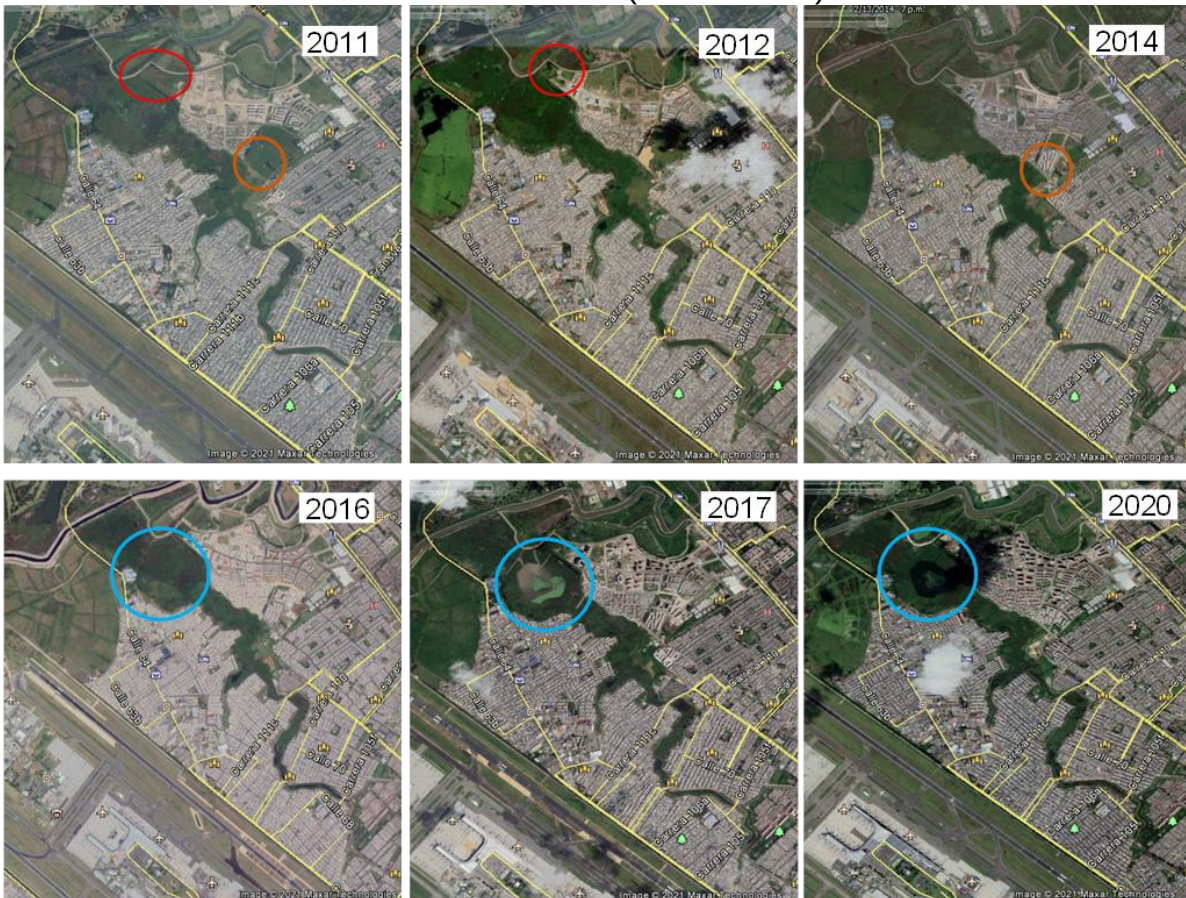
Año	Sector	Grasas y aceites	DBO ₅	DQO*	Fosforo total	Nitratos	NKT	Tensoactivos	SST*	pH*	Temperatura	Conductividad*	OD*	MAI
2004	3		X	X		X				X	X	X	X	X
	2		X	X		X				X	X	X	X	X
	1		X	X		X				X	X	X	X	X
2005	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2008	3		X	X	X	X	X		X	X	X	X		
	2													
	1		X	X	X	X	X		X	X	X	X		
2009	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	2													
	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2010	3		X	X	X	X	X		X	X	X	X		
	2													
	1		X	X	X	X	X		X	X	X	X		
2012	3		X	X		X			X	X	X	X		
	2		X	X		X			X	X	X	X		
	1		X	X		X			X	X	X	X		
2013	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	2													
	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2016	3		X	X						X	X	X	X	X
	2		X							X	X	X	X	X
	1		X							X	X	X	X	X
2017	3	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	2	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	1	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
2019	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2020**	3			X	X				X	X	X	X	X	X
	2			X	X				X	X	X	X	X	X
	1			X	X				X	X	X	X	X	X

En el anexo 3 se evidencia con una (x) la recopilación de información secundaria de un dato como mínimo de los parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos reportados para el humedal Jaboque desde el año 2004 hasta el año 2019, así como los datos generados durante las fases de campo y laboratorio para el año 2020**.

Las variables fisicoquímicas con asterisco (*) corresponden a los datos requeridos para el cálculo del índice ICA, acorde a la metodología propuesta por el IDEAM.

FUENTE: Villamil Pasito, 2021

Anexo 4. Comparación temporal de los principales cambios en el Humedal Jaboque y áreas aledañas (2011 – 2020)



En el anexo 4 se evidencia los procesos de Urbanización en zonas aledañas al humedal, así como la intervención en el sector 2 para la generación de una isla y aumento del espejo de agua para el año 2017.

FUENTE: Google Earth Pro

Anexo 5. Relación DBO5/DQO

Sector del Humedal Jaboque	Año	Promedio	Desviación estándar	Mediana	Naturaleza del contaminante
Sector 1	2004	1,36928	1,3850	1,3693	*
	2005	0,14928	0,0111	0,1493	**
	2012	0,33120	0,2076	0,3315	*
	2017	0,93878 ^(*)	(-)	(-)	*
	2019	0,05151 ^(*)	(-)	(-)	**
Sector 2	2004	1,42882	1,6121	1,4288	*
	2005	0,13372 ^(*)	(-)	(-)	**
	2012	0,23269	0,2153	0,1720	*
	2017	0,36202	0,2492	0,3654	*
	2019	0,16362	0,0588	0,1636	**
Sector 3	2004	0,48503	0,3757	0,2926	*
	2005	0,36137	0,2822	0,2826	*
	2012	0,30118	0,2202	0,2263	*
	2017	0,36617	0,2523	0,3800	*
	2019	0,13779	0,0313	0,1244	**

En el anexo 5 se observa el promedio, la desviación estándar y la mediana de la relación DBO₅/DQO calculada anualmente para cada sector del humedal Jaboque, teniendo en cuenta el rango escala de razón [0 absoluto]; en algunos casos se registra el valor de un dato (*), por lo que no se registraron datos de desviación estándar ni la mediana (-). A partir de los resultados de la relación se determinó la naturaleza del contaminante, siendo * contaminantes de naturaleza orgánica biodegradable y ** contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable, acorde a los rangos establecidos por Lucero en el 2010, Ardila *et al* en el 2016 y Espejo en el 2017.

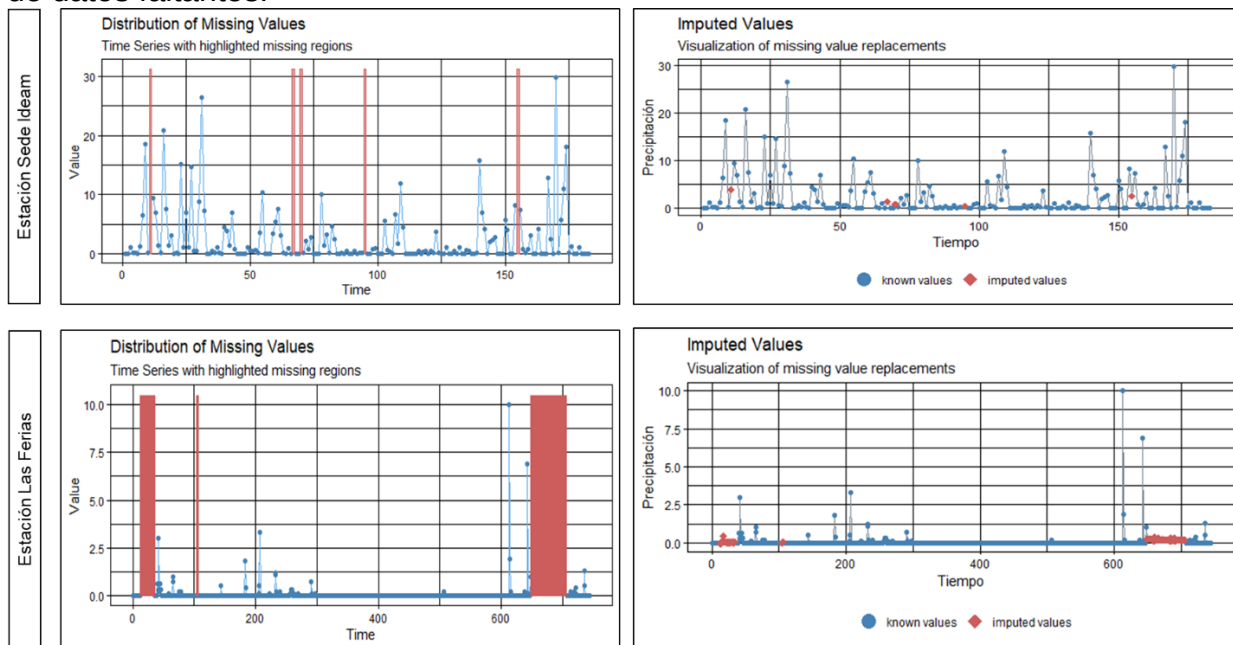
Anexo 6. Macroinvertebrados acuáticos colectados en el año 2020



En el anexo 4 se visualizan los Macroinvertebrados Acuáticos colectados en el Humedal Jaboque e identificados a nivel de familia, siendo a. Chironomidae, b. Culicidae (culex), B. Culicidae (Uranotaenia), c. Tubificidae, d. Muscidae y e. Glosiophoniidae.

Fuente: Villamil Pasito, 2021

Anexo 7. Representación de datos faltantes y valores obtenidos mediante la imputación de datos faltantes.



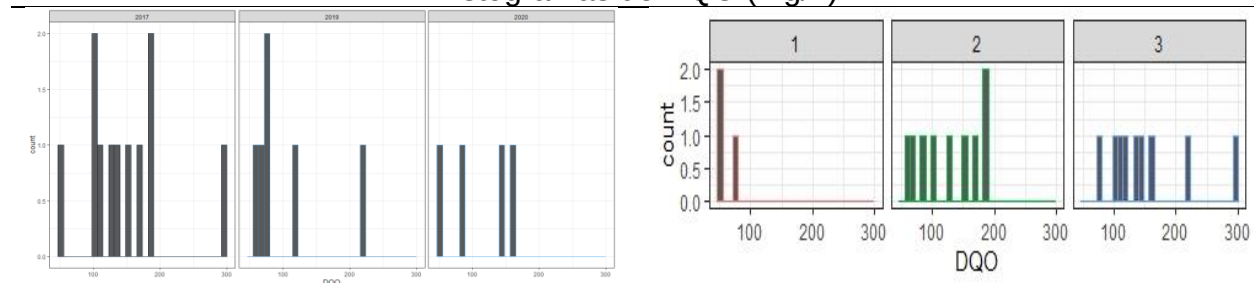
En el anexo 7, se visualizan los datos de la precipitación en color azul para las estaciones Sede Ideam y Las Ferias; las líneas rojas representan los datos faltantes para cada serie y los puntos rojos en las imágenes de la derecha, corresponden a los valores obtenidos a partir de la imputación de los datos faltantes.

Fuente: Villamil Pasito, 2021

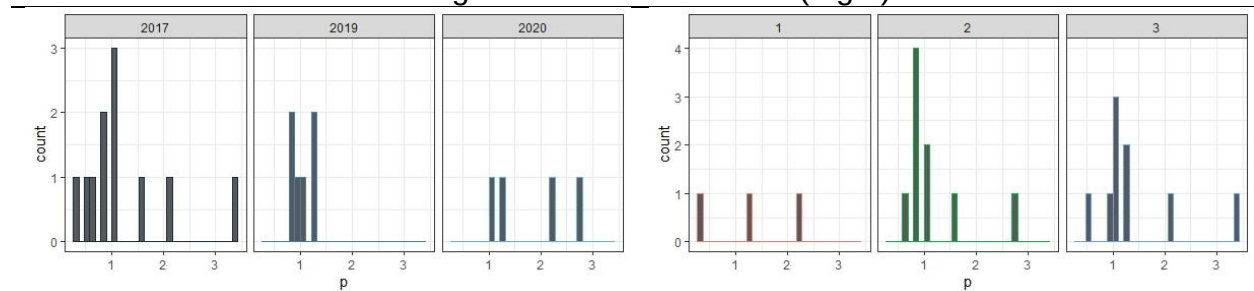


Anexo 8. Histogramas

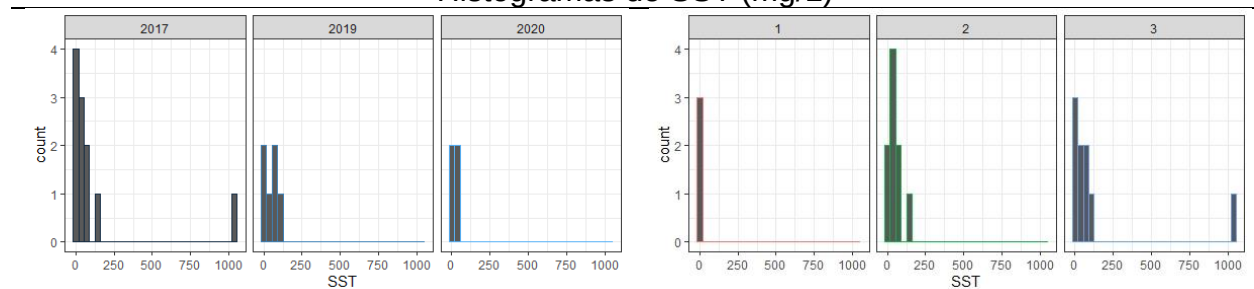
Histogramas de DQO (mg/L)



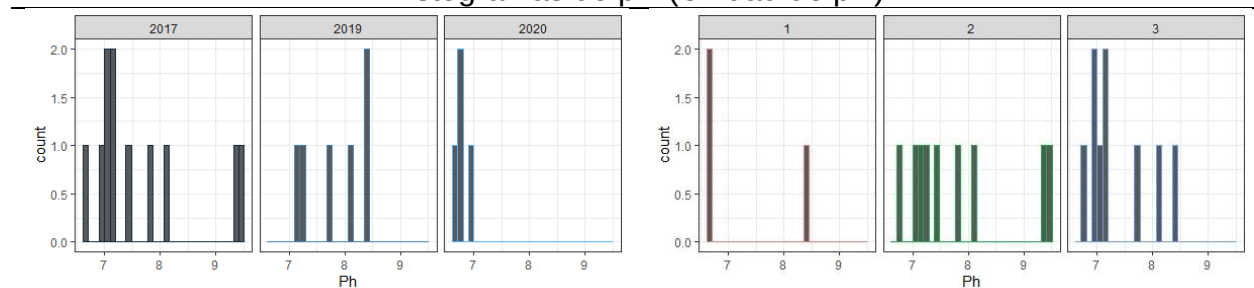
Histogramas de Fósforo total (mg/L)



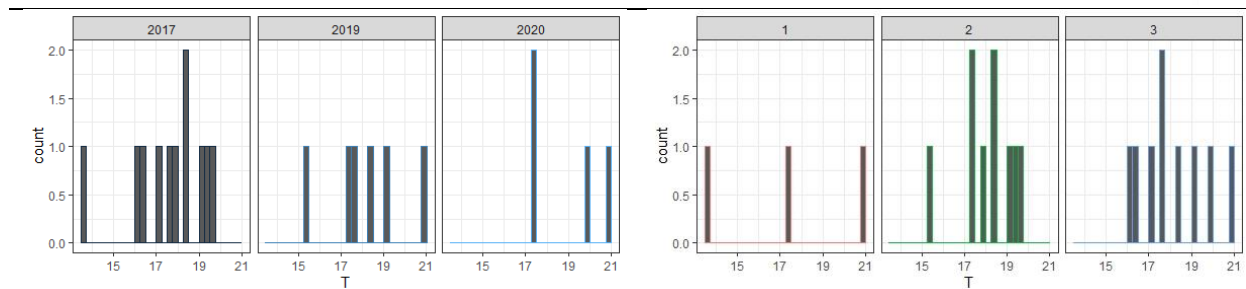
Histogramas de SST (mg/L)



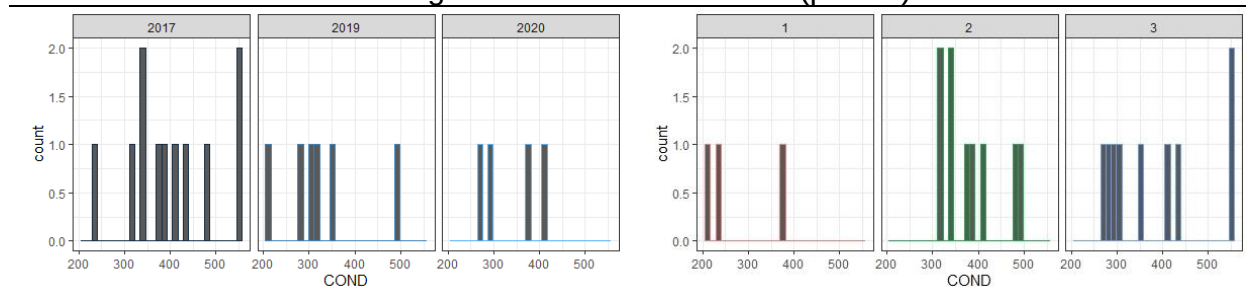
Histogramas de pH (Unidad de pH)



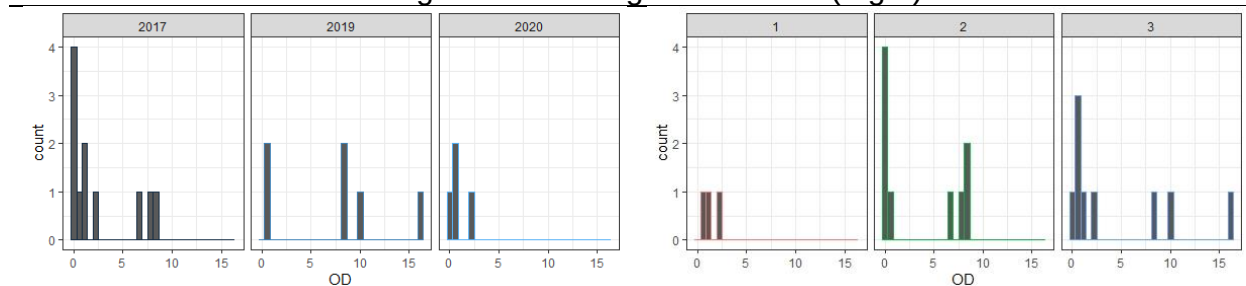
Histogramas de temperatura del agua (°C)



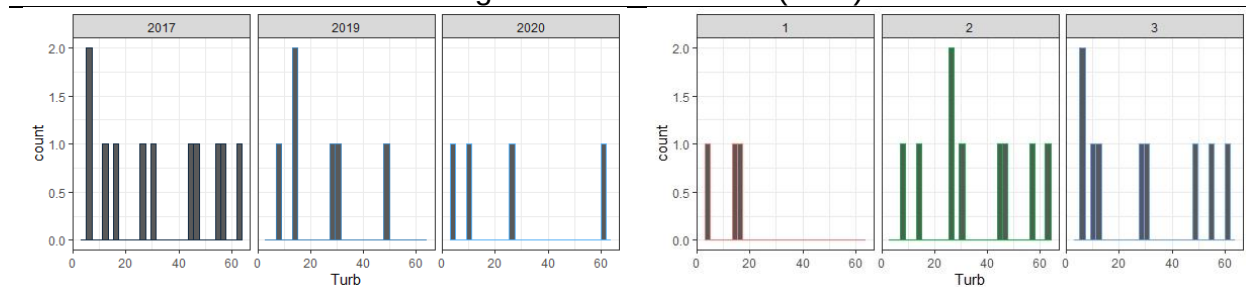
Histogramas de Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)



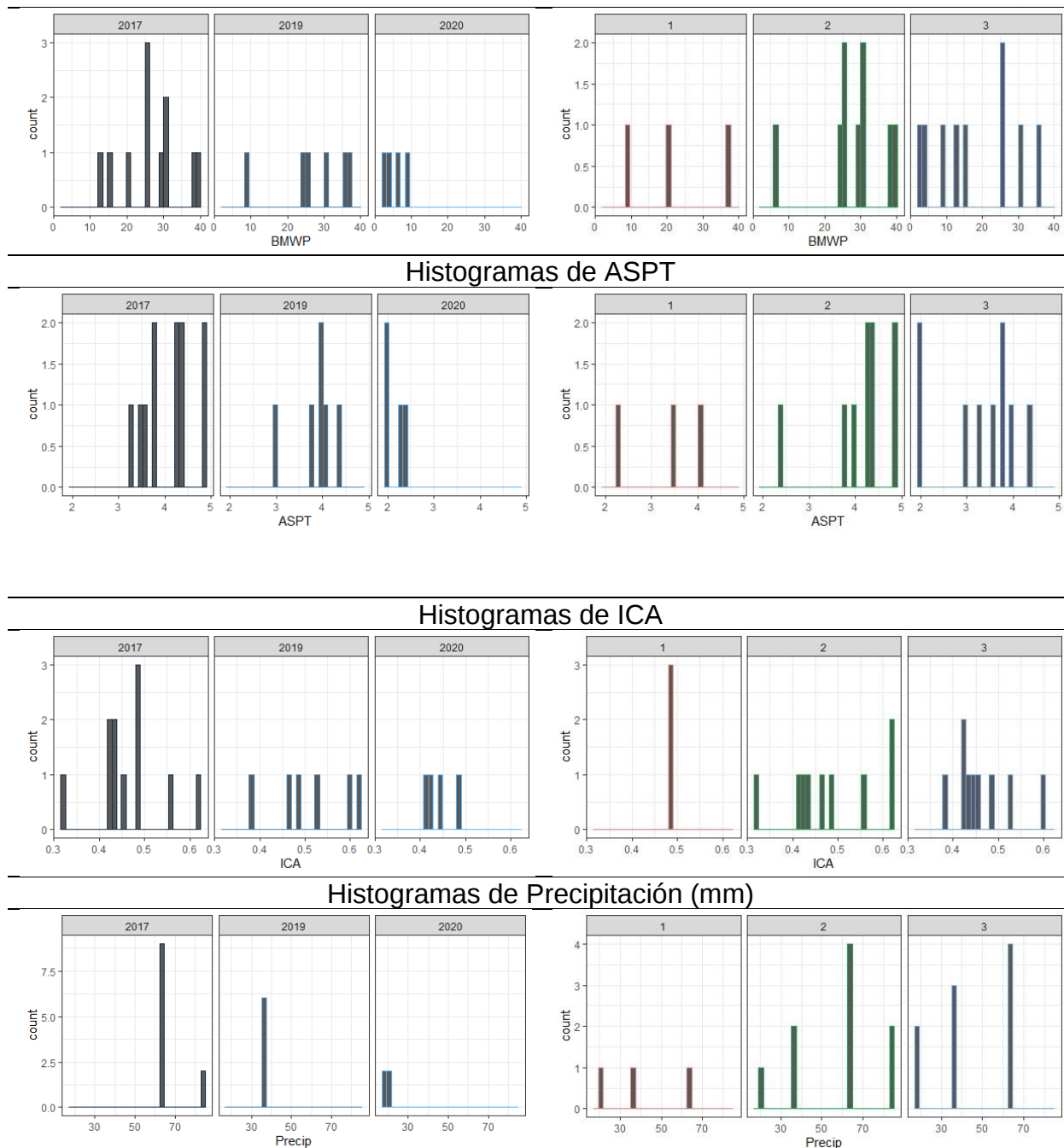
Histogramas de Oxígeno Disuelto (mg/L)



Histogramas de turbiedad (NTU)



Histogramas de BMWP/Col



En el anexo 8, se visualizan los histogramas para cada una de las 12 variables. Para cada variable se observan dos graficas con histogramas, correspondientes a los histogramas de la variable X para cada año (grafica de la izquierda) e histogramas de la variable x para cada sector del humedal Jaboque (gráfica de la derecha).

Fuente: Villamil Pasito, 2021