

Identificación de los servicios ecosistémicos de la comunidad platónica junto a una propuesta de desarrollo y uso sostenible del humedal de Córdoba, a partir de indicadores de calidad ambiental integrado (ICAI).

Luis Felipe Amado Mejia (Cod.2214211), Álvaro Andrés Vargas Figueroa (Cod. 2201430)

RESUMEN

El Parque Ecológico Distrital del Humedal Córdoba, es un área protegida con un total de 40.4 hectáreas, que ofrece una amplia gama de servicios ecosistémicos, ya que es un importante reservorio de biodiversidad, en este ámbito las comunidades planctónicas encabezan una compleja red trófica producto de su desarrollo constante a través del tiempo y el espacio, las cuales a su vez ayudan en la depuración de aguas y retención de nutrientes.

En el presente trabajo se identificaron los servicios ecosistémicos que ofrece la comunidad planctónica del humedal de Córdoba, destacándose su importante rol como productor primario de la cadena alimenticia, la captura de carbono, la descomposición de materia orgánica y la producción de oxígeno entre otros.

Se realizó a partir de una caracterización de morfotipos presentes en 12 puntos de monitoreo distribuidos en los tres sectores que componen el mismo, durante tres temporadas diferentes (Julio, agosto, septiembre) del año 2021. Dicha información fue corroborada por medio de un análisis cualitativo donde se realizó una identificación taxonómica (presencia-ausencia de individuos) en laboratorio. A su vez, cuantitativamente se realizó un análisis mediante estadística descriptiva, determinando el comportamiento espacial y temporal de los morfotipos identificados, con base lo anterior a través del modelo PAST se calcularon los índices de diversidad Alfa, con el fin de determinar la predominancia de los morfotipos que posteriormente fueron considerados como bioindicadores para establecer la oferta de servicios ecosistémicos por parte de plancton.

La comunidad fitoplanctónica se vio representada por un total de 83 morfotipos y 2562 individuos, de estas, las más representativas y por ende consideradas indicadores fueron *Oscillatoria sp*, *Frustulia sp*, *Euglena sp* y *Phacus sp*, mientras que la comunidad Zooplanctónica se compuso por 508 individuos distribuidos en 66 morfotipos, destacándose *Macrotrachela sp*, *Brachionus sp*, *Filinia sp* y *Arcella*; a partir de estos morfotipos, la bioindicación del cuerpo hídrico está asociada a aguas con contaminación orgánica y en proceso de eutrofización.

Para el análisis del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos se utilizó el Software ICATEST v1.0® para determinar la calidad del agua según el índice National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF). Con estos resultados, se determinó la relación existente entre estos parámetros, junto con la biodiversidad planctónica identificada por medio de la conformación de un índice de calidad ambiental integrado (ICAI).

Para la conformación del ICAI, se llevó a cabo un análisis gráfico de cuartiles y medianas (Box plot), con los cuales se identificó la sensibilidad de los índices de diversidad planctónica y parámetros fisicoquímicos según las zonas intervenidas y no intervenidas, para determinar aquellos más representativos que fueron integrados a la fórmula del ICAI, estas variables fueron Shannon, Simpson, Margalef, OD, Conductividad y PO₄.

A partir de los resultados expuestos, se elaboró un último Box-plot mediante el cual se establecieron los rangos de evaluación e interpretación del ICAI. Se obtuvo que el sector 3 cuenta con la mejor calidad ambiental del humedal al ser característico de un ecosistema oligotrófico, seguido por el sector 2 con una calidad intermedia y buena, es decir, con condiciones mesotróficas y con tendencias a la oligotrofia; y por último el sector 1 contó con una calidad media, caracterizándose por su mesotrofia. Se llevó a cabo una correlación de Spearman en el Software R, para determinar si las variables presentan una relación entre ellas además de predecir el comportamiento de una variable en función de otras. Finalmente, con respecto a la información obtenida en el estudio, se realizó una propuesta de uso y manejo sostenible enfocada en la mejora del componente hídrico y la biodiversidad de la comunidad planctónica.

INTRODUCCIÓN

Los humedales ubicados en zonas urbanas prestan una serie de servicios ecosistémicos, muchos de ellos producto de las interacciones biológicas de las diferentes comunidades planctónicas que allí habitan, entre estos servicios se encuentra por ejemplo el control de inundaciones, la recarga de acuíferos, la regulación de ciclos biogeoquímicos y el soporte de una variedad de especies de fauna, debido a que son un eslabón fundamental de las relaciones ecológicas del humedal; además son también usados para el disfrute, la recreación y también para la educación y la investigación científica. (Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia, 2007)

El humedal de Córdoba, es un cuerpo de agua que ha tenido una transformación a través del tiempo debido a cambios en la dinámica hidrobiológica y fisicoquímica ocasionada por las intervenciones antrópicas presentes; actualmente afronta una serie de problemas relacionados con la pérdida de calidad de aguas aferentes por múltiples aportes de aguas combinadas y residuales drenando al humedal, la reducción del cuerpo de agua y del área inundable por la gran cantidad de sedimentos que recibe diariamente, el deterioro de las estructuras hidráulicas por acumulación de basuras y por otra parte ha sido fragmentado en tres zonas por el paso de avenidas (Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia, 2007). Las consecuencias de dichas intervenciones, se han reflejado en modificaciones físicas, químicas y biológicas del medio, las cuales repercuten en la respuesta individual, poblacional, comunitaria y ecosistémica de los organismos.

La comunidad planctónica desarrolla un papel fundamental ya que, son los productores primarios, es decir, son la base de la cadena alimenticia, adicionalmente son los encargados de la producción de oxígeno, la oferta de alimento para otras comunidades, además de ayudar a mantener los procesos ecológicos y los flujos de energía. Dichas comunidades funcionan como un indicador biológico ya que están ligadas a condiciones puntuales en cuerpos de agua que determina la ausencia o presencia de estos. Sus ciclos de vida permiten diferenciar cambios que indican algún tipo de alteración; adicionalmente, dependen directamente del estado de los parámetros fisicoquímicos como el pH, fosfatos, temperatura, DBO, OD, entre otros. (Pinilla et al., 2007)

MATERIAL Y MÉTODOS

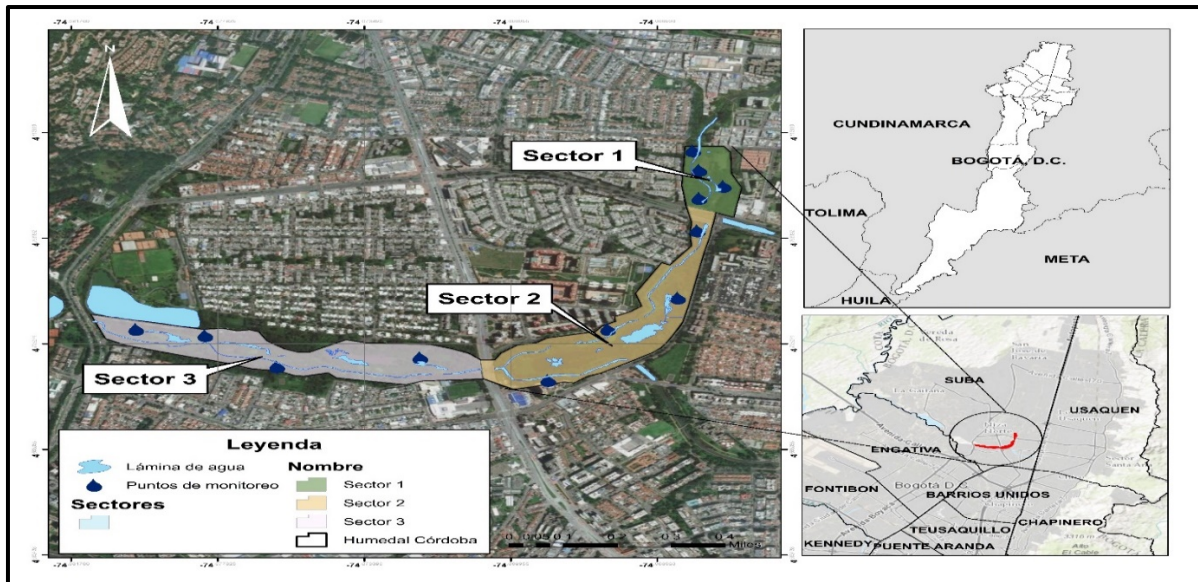
ETAPA PRELIMINAR

Se realizaron dos salidas de campo con el fin de llevar a cabo un reconocimiento general del humedal de Córdoba y determinar los 12 puntos de muestreo distribuidos al interior de los tres sectores en los cuales se divide el mismo. Mediante este monitoreo previo se identificaron las diferentes zonas de acceso al humedal, aquellas restringidas por obras o que cuentan con un difícil acceso al espejo de agua. A su vez, se consideraron las entradas y salidas del humedal, las actividades antropogénicas, tensores ambientales, condiciones organolépticas del agua, la disposición de la vegetación acuática, las zonas de preservación, las zonas de vertimientos, y características ecológicas del humedal, como la fauna y la flora. Esto con el fin de definir dentro de los puntos seleccionados aquellos que se encuentren en condición intervenida (presencia de una actividad antrópica o infraestructura) y aquellos en condición no intervenida (estado natural).

ETAPA DISEÑO DE MUESTREO

La definición de los puntos de muestreo se realizó mediante el análisis del mapa de cobertura vegetal de Humedales de Bogotá dispuesto por la Secretaría de Ambiente, para identificar condiciones y estructura ecológica del ecosistema. Con base a esto, junto con los resultados obtenidos a partir del pre monitoreos (APHA, 2012) mencionados anteriormente, se definieron 4 puntos para cada uno de los 3 sectores, resultando finalmente con 12 puntos de monitoreo, donde por cada punto fueron evaluados los parámetros fisicoquímicos (in situ) e hidrobiológicos; ejercicio que se realizó en tres temporadas diferentes (Julio, agosto, septiembre) del año 2021; y así finalmente contar con un total de 36 muestras. Los puntos de monitoreo fueron nombrados de acuerdo a su ubicación, teniendo en cuenta que estos abarcaran la mayor extensión del humedal, a partir de la georreferenciación de los mismos. En el Mapa 1, se muestra la sectorización del humedal con cada uno de los puntos de monitoreo distribuidos espacialmente.

Mapa 1. Localización puntos de muestreo en Humedal de Córdoba



Fuente: Elaboración propia

ETAPA DE CAMPO

Comunidad planctónica

En esta fase se realizó la recolección de la oferta de biodiversidad de la comunidad planctónica de forma directa con una red de fitoplancton de 23 µm, por medio de muestras de columnas de agua. El muestreo se fundamentó según lo establecido en los métodos y técnicas descritas por las entidades de American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation (APHA, 2012), junto al protocolo del (IDEAM, 2017). Con base a esto, se recolectó una muestra para cada uno de los 12 puntos de monitoreo. Las 36 muestras resultantes, fueron establecidas considerando que según el IDEAM recomienda en su diseño metodológico designar como mínimo 3 puntos de muestreo para un ecosistema que no supere las 50 hectáreas. Adicionalmente, para determinar el número de muestra, y teniendo en cuenta que se trata de una población infinita que impide calcular la varianza, se decide aplicar la ecuación de probabilidad de éxito y fracaso:

$$n = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n: número de muestras; **z:** desviación estándar; **p:** probabilidad de éxito; **q:** probabilidad de fracaso; **e:** error

Para la cual, en este estudio, se consideró un nivel de confianza del 93% y una desviación estándar del 1.81, obteniendo:

$$n = \frac{1.65^2 * 0.16 * 0.84}{0.1^2} = 36,59$$

Dichas muestras fueron almacenadas en frascos plásticos color ámbar de 60 ml, debidamente rotulados, donde se registró información como la fecha, sector, punto, hora, responsable, tipo de muestra y lugar. Su método de preservación se realizó utilizando solución transeau (30% de alcohol al 10%, 30% de formol al 10% y 40% de agua destilada), y transportadas a las instalaciones del laboratorio de microbiología de la Universidad Santo Tomás en neveras de icopor, para su posterior identificación (Lopez et al., 2011)

Parámetros Físicoquímicos

Para la medición de parámetros físicoquímicos, se tuvo en cuenta el instructivo del IDEAM para la toma de muestras de agua residuales (IDEAM, 2017) y acorde con los lineamientos del decreto 1076 de 2015 para conservación de flora y fauna (Decreto 1076 26 de mayo de 2015, 2015). La medición de estos parámetros se realizó de forma in situ utilizando una sonda multiparamétrica marca HANNA HI 9829, donde se obtuvieron los datos de temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad. Esta se realizó en el mismo lapso de horario en los diferentes muestreos, ya que estas variables se ven afectadas por el momento del día en que se realicen las mediciones. Por otra parte, para la medición de nitratos y fosfatos se utilizó el kit de

medición ACUAMERCK 111151 el cual se implementó en campo según las instrucciones establecidas para la medición de cada parámetro, para ello fue indispensable contar con los insumos necesarios de reacción.

En cuanto a la medición del DBO₅ y DQO se tomó una muestra en cada sector, durante las tres temporadas. Para ello se recolectaron 500 ml de agua del humedal en recipientes plásticos color ámbar, para luego ser transportadas al laboratorio y practicarles su respectivo análisis; para el caso de DBO₅ se utilizó el equipo OxiTop, mientras que para la medición del DQO se implementó el espectrofotómetro.

ETAPA DE LABORATORIO

Comunidad Planctónica

El análisis e identificación de la comunidad planctónica se realizó en el laboratorio de microbiología, donde se hizo la limpieza y preparación de las muestras, para posteriormente identificar los morfotipos allí presentes. El equipo que se implementó para la identificación de morfotipos fue un microscopio marca Carl Zeiss, donde se observaron las muestras de fitoplancton en aumentos hasta 40x y zooplancton en aumentos de 10x, teniendo en cuenta que estas fueron homogeneizadas manualmente por burbujeo antes de ser observadas en el microscopio óptico compuesto. A su vez se usaron diferentes manuales, libros y bases de datos de taxonomía planctónica como “Atlas de microorganismos de Agua Dulce” (Streble & Krauter, 1987), “Atlas de microorganismos planctónicos” (Consejería de Medio Ambiente, 2013) y el aplicativo AlgaeBase, como las herramientas seleccionadas para la corroboración en la identificación taxonómica.

El análisis cuantitativo de la comunidad plancton se hizo a través de una homogeneización manual de las muestras por agitación suave, usando una pipeta de Pasteur plástica de 3 ml. El conteo de morfotipos se realizó por método directo, analizando 5 diferentes láminas para cada muestra, las cuales, estaban compuesta por 4 alícuotas, equivalente cada una a 0.05ml por muestra tomada, para de esta forma garantizar la representatividad de los morfotipos. El conteo de individuos se hizo de forma directa quedando el registro de presencia-ausencia en una matriz donde se especificó el nombre del taxón, evidencia fotográfica y el conteo parcial por sectores, puntos y el total general de individuos

Parámetros fisicoquímicos

Inicialmente se realizó el análisis de DQO, esta medición se llevó a cabo inicialmente con ayuda de un termoreactor NANOCOLOR® VARIO C2, el cual se precalienta hasta 150 °C durante 30 minutos. Alcanzada esta temperatura, se ingresaron los viales de medición con la muestra, y se modificó el tiempo de reacción a dos horas. Terminado este periodo de reacción, se retiraron los viales y se esperó que estos alcancen una temperatura ambiente, posteriormente pasaron a ser ingresados al espectrofotómetro NANOCOLOR® UV/VIS II. En este, se seleccionó el método de DQO, y se procedió a calibrar con ayuda del blanco para obtener como unidad inicial de medición cero. Realizado esto, se ingresó cada uno de los viales con su respectiva muestra, para finalmente ingresar los datos a la matriz.

Luego, se procedió a medir el DBO₅, para esto se vertió 125 ml de la muestra en el recipiente de medición del OxiTop, de igual manera se colocó en el interior de estos el imán el cual permitió la mezcla continua de la muestra durante los 5 días de medición. Seguido de esto se aplicó 10 gotas del nitrificante, garantizando que se inhiban los procesos de nitrificación que van a interferir en los resultados de la muestra. Posteriormente se agregó en la cápsula de caucho de cada recipiente del oxitop 4 pastillas de sosa con el fin de acumular el CO₂ y evitar un aumento de este en el recipiente y una posible alteración de los resultados. Se hizo el debido rotulado de los recipientes y se calibraron cada uno de los dispositivos, para finalmente ser guardados en la incubadora. Pasado los 5 días requeridos para la medición, se procede a recolectar los datos obtenidos.

ETAPA DE ANÁLISIS

Comunidad Planctónica

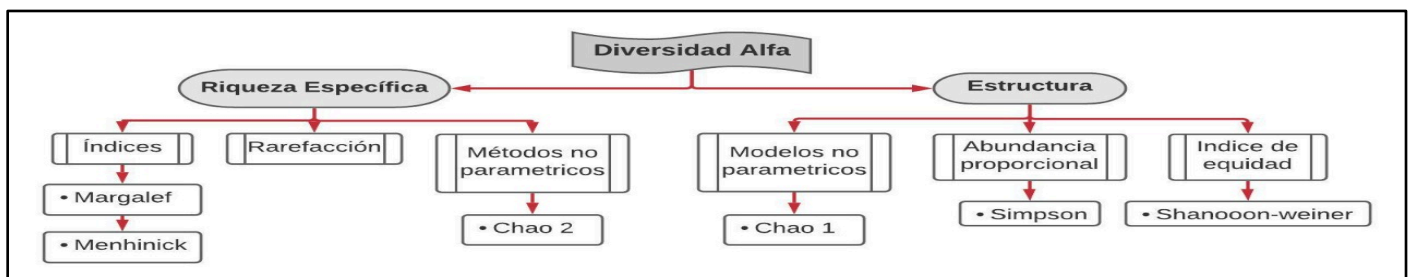
A partir del apartado de estudio, se realizó el análisis cualitativo donde se muestra y responde a la presencia y ocurrencia de taxones en cada uno de los sectores y puntos de muestreo, así como para cada temporada, aspecto que permitió estimar la riqueza de las diferentes morfotipos de plancton (fitoplancton y zooplancton), al igual que su posición taxonómica para comprender la funcionalidad ecológica y estado de las comunidades con respecto al hábitat donde se desarrollan.

Índices hidrobiológicos

Para comprender la relación entre la calidad del componente hidrobiológico en una temporada y sector diferente, en función de la vida media de los organismos se realizó la identificación de abundancia y riqueza de biodiversidad de la comunidad planctónica presente, a partir del cálculo de índices microbiológicos:

Se usó el paquete estadístico PAST, el cual cuenta con una serie de herramientas para calcular diferentes índices biológicos (diversidad, dominancia, similaridad, riqueza, etc) entre comunidades planctónicas. Esto fue posible al cargar los datos de composición de morfotipos y su abundancia, obtenidas tanto para fitoplancton y por aparte para Zooplancton, en cada uno de los puntos de monitoreo, lo que permite calcular los diferentes índices. Considerando que las comunidades no se encuentran en un entorno neutro, y para lograr comprender los cambios de la biodiversidad en relación a la estructura del ecosistema, se propone realizar el cálculo de la diversidad Alfa (riqueza de especies de una comunidad homogénea), la cual, se ve compuesta por los siguientes índices (Moreno, 2001)

Diagrama N°1. Índices Hidrobiológicos



Fuente: Elaboración propia

Análisis estadístico

Mediante el paquete PAST se calculó la estadística descriptiva tanto para los parámetros fisicoquímicos como para los hidrobiológicos para comprender el comportamiento y distribución de los datos durante el monitoreo siendo la base para la elaboración de gráficos de tortas y barras que representan la presencia y ausencia de las especies encontradas.

Así mismo, el paquete Box-plot incluido en el software Rstudio permitió representar gráficamente los valores atípicos, mediana y cuartiles mediante diagramas de cajas y bigotes para demostrar la sensibilidad de los datos registrados con base a los sectores con condiciones desfavorables y óptimas definiendo cuáles son los parámetros sensibles utilizados como indicadores al igual que para desarrollar un análisis de correlación.

Parámetros fisicoquímicos ICATEST V1.0®

En este estudio se emplea la herramienta estadística ICATEST V 1.0, la cual es un software diseñado para la evaluación de la calidad del agua, permitiendo presentar la información de una manera sencilla y entendible, en consideración a un marco unificado de criterios que ofrece el programa. Para la implementación de este se utilizó su guía instructiva (Universidad de Pamplona, 2007), y se estableció un plan de toma de muestras que nos permitió obtener datos claros que reflejen el cambio en la condición de las distintas variables medidas, para esto, este análisis se realizó tanto temporal como espacialmente para evidenciar no solo el cambio producido por las condiciones climáticas, y variaciones ambientales que se presentan en el humedal a lo largo de los meses, sino adicionalmente para comprender el estado en el que se encuentra cada sector, buscando así identificar a mayor detalle las dinámicas ecológicas del humedal y su incidencia en los servicios ecosistémicos prestados, los cuales responden a una mejor calidad del agua.

Para este estudio, fueron medidas las variables de DBO, O₃, NO₃, pH, Temperatura, PO₄, y Turbiedad, las cuales se establecen como los parámetros que el software analiza según el índice National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF), con el fin de comparar los niveles encontrados, con las condiciones más óptimas que debería tener el agua del humedal, donde al ponderar todos los puntajes registrados se obtiene un panorama general del estado del agua en determinado punto.

Formulación del Índice de calidad ambiental integrado (ICAI)

Para el desarrollo del ICAI, inicialmente se clasificaron los datos de los parámetros físico químico al igual que los indicadores biológicos en aquellos que fueron recolectados en puntos intervenidos y no intervenidos, considerando el diseño metodológico establecido inicialmente. A partir de esta clasificación realizada tanto para los datos hidrobiológicos como fisicoquímicos, se realizó para cada uno de estos un Box-plot; con el fin

de analizar la distribución y sensibilidad de la serie los datos cuantitativos. Este ejercicio permitió identificar aquellos parámetros e índices que cuentan con una mayor representatividad e incidencia dado el comportamiento de sus medias y por consiguiente son los seleccionados para conformar y formalizar las variables que componen el ICAI. Se realizó un proceso de evaluación, asignando rangos en base como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°1. Rangos de evaluación para box-plot

Rango	1	2	3	4	5
Evaluación	Muy malo (MM)	Malo (M)	Moderado (MD)	Bueno (B)	Muy bueno (MB)

Esto se realizó con base en los límites permisibles establecidos para parámetros fisicoquímicos de calidad de agua fauna (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), junto a la teoría para la evaluación de los índices hidrobiológicos (Moreno, 2001). Finalmente se aplicó el ICAI formulado en los 12 puntos de monitoreo esto con el fin de reevaluar según los rangos previamente establecidos la calidad ambiental del humedal bajo los dos componentes estudiados (hidrobiológicos-fisicoquímicos); obteniendo una fórmula y resultado independiente para cada variable.

$$\sum I_i = \frac{Simpson() + Shannon() + Margalef() + Conductividad() + OD() + Fosfatos()}{6} = ICAI$$

Estos fueron utilizados para realizar un último Box-plot, para el cual, se tomaron los resultados obtenidos según el ICAI para cada punto y fueron ingresados al programa R para su generación. Con ayuda de este último Box-plot, se establecieron los rangos finales de evaluación según los cuales fue valorada la condición de cada uno de los puntos pertenecientes al humedal de Córdoba a partir de nuestro índice integrado. Para la correlación se tomó los datos de los parámetros físicos químicos que fueron sensibles y los resultados de los índices biológicos y fueron incluidos en la herramienta Rstudio; mediante la función cor y el paquete corplot se obtuvo la matriz de correlación entre cada una de las variables incluidas.

Identificación de Servicio ecosistémicos (SE) comunidad planctónica

Para la identificación de los servicios ecosistémicos de la comunidad planctónica caracterizada en el presente estudio, se seleccionaron los morfotipos más representativos de la comunidad en general, estas fueron identificadas al observar los morfotipos con mayor predominancia de individuos tanto a nivel espacial como temporal; adicionalmente, con ayuda del modelo PAST, se realizó una transposición de los datos con los cuales se calcularon los índices de Simpson y Margalef, ya que estos se relacionan con la dominancia y riqueza específica de los individuos respectivamente.

Con ayuda de este proceso, se reconoció la eurotipicidad de las morfotipos, es decir, aquellas que cuentan con una mayor tolerancia ambiental, así como con una alta proporción y predominancia interestacional a lo largo del monitoreo. Los resultados de ambos procedimientos demostraron comportamientos similares, al establecer tanto para fitoplancton como zooplancton los mismos morfotipos considerados representativos.

Con estas, se realizó una matriz de bioindicación, en la cual se identificó los morfotipos más representativos, su importancia ecológica, su indicador ambiental y el servicio ecosistémico que presta. Finalmente, con la información dispuesta a partir del método de bioindicación, se realizó un análisis general donde se identificaron los servicios ecosistémicos prestados por la comunidad planctónica presente en el humedal de Córdoba y su comportamiento en el tiempo y el espacio. Contando con esta identificación de SE y adicionalmente conociendo a partir de los resultados obtenidos por el ICAI la calidad de cada uno de los sectores del humedal, se procede a analizar en cuál de estos la prestación de dichos servicios es mejor, según el comportamiento hidrológico y fisicoquímicos obtenido para cada punto.

Formulación propuesta de desarrollo y uso sostenible

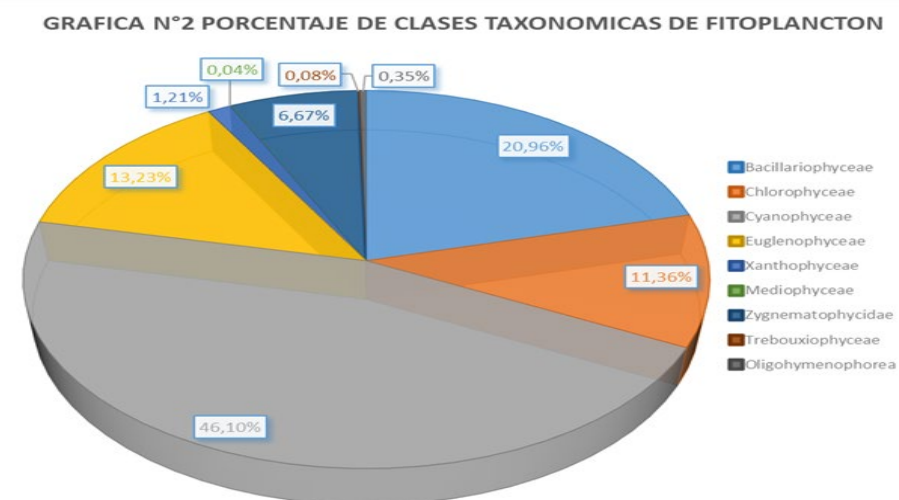
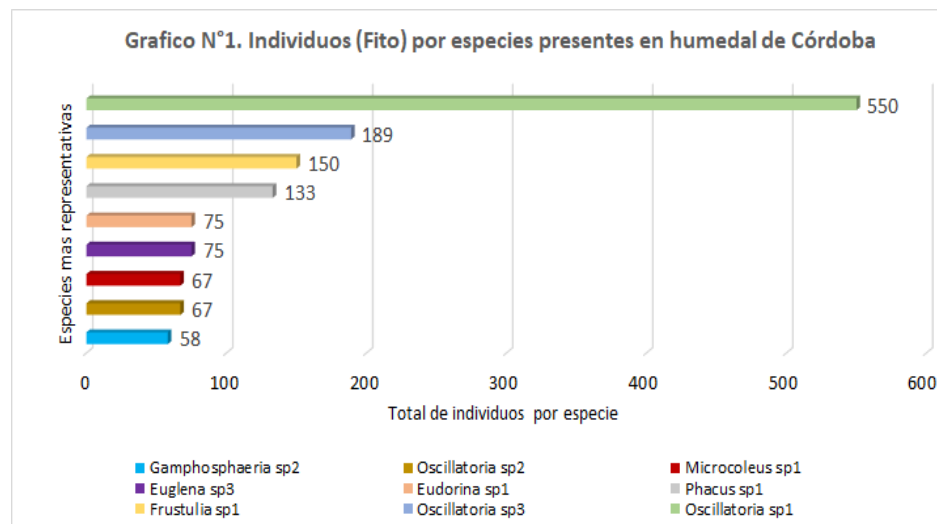
Finalmente, partiendo de la información recopilada y los datos dispuestos en el presente estudio, se conoce la calidad ambiental del humedal de Córdoba vista desde su componente fisicoquímico e hidrobiológico unificados en el ICAI. Partiendo de este resultado, se procedió a formular aquellas medidas de desarrollo y uso sostenible, necesarias para el cuidado y mejora de este ecosistema, principalmente de su componente hídrico. Para esto se propone un marco estratégico compuesto por el programa “Revitalización de la Calidad del Agua en el Humedal de Córdoba”, el cual cuenta con una meta establecida y las diferentes actividades a realizar para alcanzar tal objetivo. Como apoyo de este proceso, se usó la Política Nacional Para Humedales de Colombia (Política Nacional Para Humedales Interiores de Colombia, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura y comportamiento de las comunidades hidrobiológicas

Tabla N°2. Estadística Descriptiva Comunidad Fitoplanctónica

Análisis general

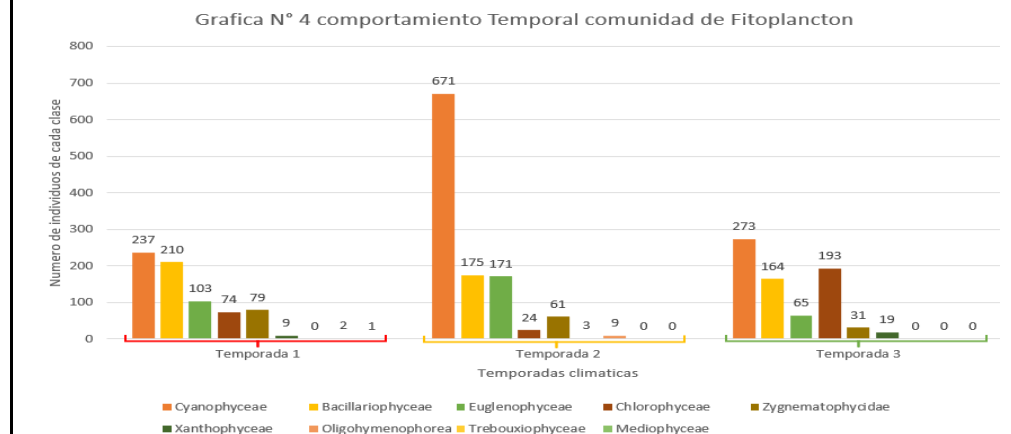
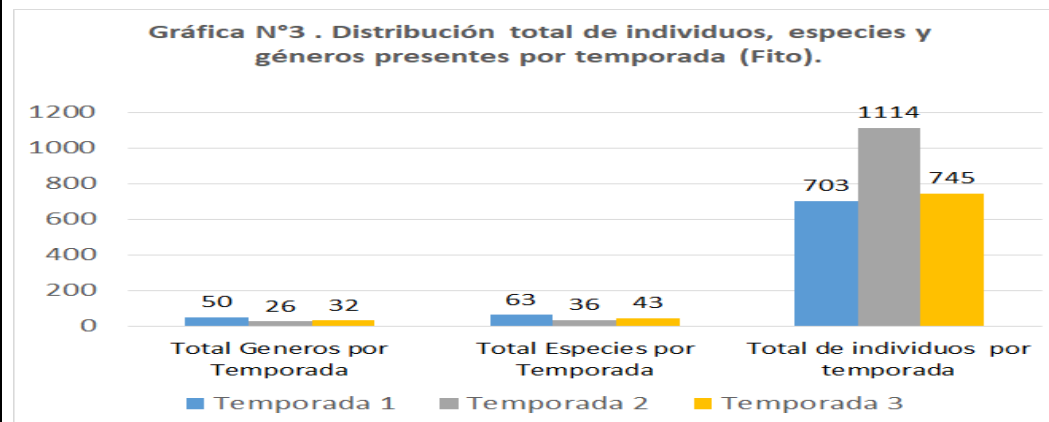


La caracterización general de la comunidad fitoplanctónica del humedal se encontró representada por un total de 83 morfotipos y 2562 individuos (ind), de estas, las más representativas y por ende consideradas indicadores fueron *Oscillatoria sp1* (550 ind), *Oscillatoria sp3* (189 ind), *Frustulia sp1* (150), *Phacus sp1* (133 ind), *Eudorina sp1* al igual que *Euglena sp3* (75 ind), *Microcoleus sp1* y *Oscillatoria sp2* (67 ind cada una) y finalmente *Gomphosphaeria sp2* (58 ind). Dado que estas no solo presentaron la mayor cantidad de individuos registrados, sino que, adicionalmente contaron con una alta presencia en casi todas las mediciones bien sea por temporadas y por sectores, con excepción de la temporada N°1 (Julio), donde los datos varían. La totalidad de especies son pertenecientes a 59 géneros encontrándose una superioridad de *Oscillatoria* (863 ind), *Frustulia* (211 ind), *Euglena* (173 ind) y *Phacus* (164 ind). Al igual que 9 clases; *Cyanophyceae* (46,10%), *Bacillariophyceae* (20,96%), *Euglenophyceae* (13,23%), las cuales, resultaron ser las más representativas según los datos dispuestos en el estudio de (Pulido, 2015) caracterizando un ecosistema con una tendencia a la Eutrofia (Salazar, 2005)

La clase *Chlorophyceae* (11,36%) es el grupo con mayor riqueza de taxones, seguido por las *Bacillariophyceae* (6,67%), *Xanthophyceae* (1,21%), *Oligohymenophorea* (0,35%), *Trebouxioophyceae* (0,08%) y *Mediophyceae* (0,04%), como se observa en el Gráfico 2. La abundancia de organismos fitoplanctónicos es alta; lo cual puede ser resultado de un bajo crecimiento de organismos dominantes como las cianobacterias que pueden desencadenar procesos de eutrofización, y conllevar a la pérdida de nivel de profundidad de

los cuerpos de agua (Chivat, 2016). Por esto, se creería que el sector N°3 posee un menor nivel de eutroficación, por lo cual, promueve la entrada de luminosidad a partir de ciertos niveles de altura en la columna de agua e indudablemente impulsa la presencia y producción de una gran variedad de organismos.

Análisis Temporal

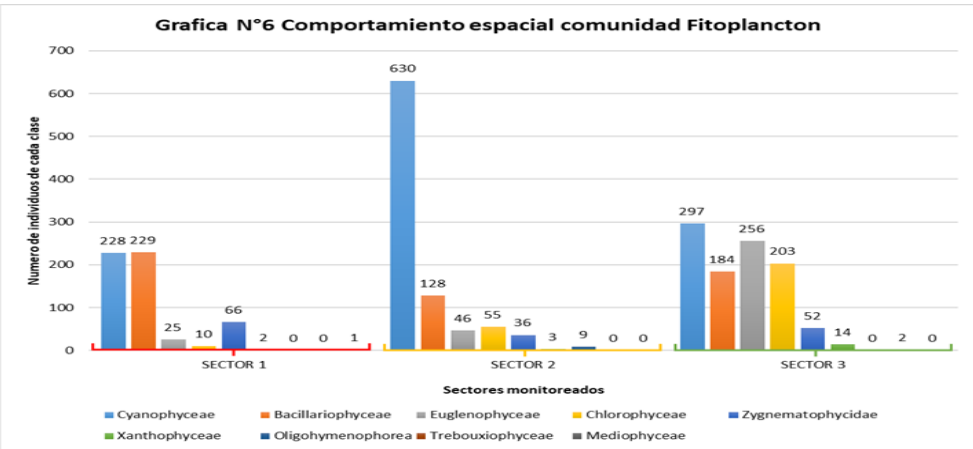
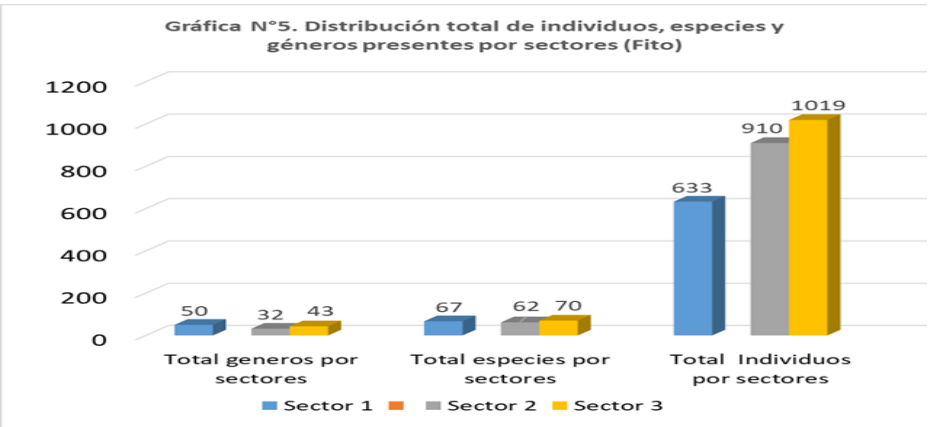


La temporada 2 (agosto) presentó el mayor número de individuos (1114) distribuidos en 36 morfotipos, donde la más representativa resultó ser *Oscillatoria sp1* (432 ind), *Oscillatoria sp3* (129 ind), *Phacus sp1* (100 ind) y *Frustulia sp1* (73 ind); al igual que 26 géneros donde se destacan *Oscillatoria* (606 ind), *Phacus* (100 ind), *Frustulia* (73 ind) y *Euglena sp* (70 ind). Seguido de esto la temporada 3 (septiembre) contó con un total de 745 individuos y 43 morfotipos entre las cuales, al igual que el comportamiento obtenido en la temporada N°2, se evidenció una alta presencia de la especie *Oscillatoria sp3* y *Oscillatoria sp1* ambas con 70 individuos, seguido por *Eudorina sp1* (69 ind) y *Gomphosphaeria sp2* (53 ind); en cuanto a géneros, se pudo identificar 32 de estos, donde nuevamente, se observó la predominancia de *Oscillatoria* (148 ind) y *Frustulia* (84 ind), pero, adicionalmente se encontró *Eudorina* (70 ind) y *Gomphosphaeria* (53 ind). Finalmente, para la temporada 1 (julio) se contó con un total de 703 individuos repartidos en 69 morfotipos. De estas, *Euglena sp2* (51 ind), *Gomphosphaeria sp2* (44 ind), *Asterococcus sp1* (41 ind) y *Oscillatoria sp1* (39 ind) son las más encontradas, siendo esta temporada la que tuvo una variabilidad en las especies predominantes, en comparación a la N°2 y 3. Por otra parte, se

En las tres temporadas de monitoreo, la clase *Cyanophyceae* fue la más dominante, pero, principalmente en la segunda temporada ya que en esta presentó 671 individuos. *Bacillariophyceae*, resultó la segunda clase más representativa para la primera (210 ind) y segunda temporada (175 ind), pero a diferencia de estas, no resulta similar en la temporada 2 donde la segunda especie más encontrada fue *Chlorophyceae* (193 ind) y seguida de esta, si se encuentra la clase *Bacillariophyceae* (164 ind). De manera general, se observó como la temporada N°1 contó con la mayor cantidad de clases, 8 de las 9 encontradas, mientras que la temporada N°2 con 7 y la temporada N°3 con 6 clases. Es decir, en la temporada donde mayor número de clases se encontraron, fue menor la cantidad de individuos, por ende, la segunda temporada en coherencia con dicho comportamiento, cuenta con la menor cantidad de géneros, pero, con la abundancia más rica de individuos.

obtuvieron 50 géneros donde principalmente abundó *Oscillatoria sp* (109 ind), *Euglena* (71 ind), *Frustulia Sp* (54 ind) y *gomphosphaeria sp* (44 ind).

Análisis espacial



El sector 3 presentó el mayor número de individuos (1019) distribuidos en 70 especies, donde la más representativa resultó ser *Phacus sp1* (128 ind), *Gomphosphaeria sp2* (76 ind), *Eudorina sp1* (73 ind) y *Asterococcus sp1* (63 ind), de esto destacamos la marcada diferencia en comparación a las principales especies encontrada en el análisis temporal. Por otra parte, se vio compuesta por 43 géneros donde se destacan *Phacus* (100 ind), *Euglena* (127 ind), *Oscillatoria* (112 ind) y *Gomphosphaeria* (78 ind). Como segundo sector con mayor cantidad de individuos encontramos el N°2, este, contó con un total de 910 distribuidos en 62 morfotipos, entre las cuales se destaca la presencia de *Oscillatoria sp1* (387 ind), *Oscillatoria sp3* (123 ind), *Frustulia sp1* (65 ind) y *Oscillatoria sp2* (47 ind). Así mismo, presentó un total de 43 géneros, destacando *Oscillatoria* (66 ind), *Frustulia* (74 ind), *Euglena* (24 ind) y finalmente *Gomphosphaeria* con 22 individuos. Por último, el sector que contó con una menor presencia de la comunidad fitoplanctónica resultó ser el primer sector (633 ind); dicha cantidad se vio compuesta por 67 especies, un total similar a los obtenidos en lo demás sectores, pero, con una predominancia de *Oscillatoria sp1*(87), *Frustulia sp1* (61), *Oscillatoria sp3* (59) y *Achnantheidium sp1* (42). Finalmente, de esta distribución, se

En los tres sectores de monitoreo, la clase *Cyanophyceae* fue la más dominante, pero, principalmente en el sector 2, ya que en esta se presentaron 630 individuos. *Bacillariophyceae*, resultó la segunda clase más representativa, sobre todo en los sectores 1 y 3 con 229 y 184 ind, sin embargo, en el sector 2 el comportamiento fue diferente ya que a pesar de ser considerada la segunda más representativa la abundancia disminuyó aproximadamente con 100 ind menos. en cuanto a la cantidad de clases el comportamiento entre sectores fue semejante, por lo que en cada sector se evidenciaron prácticamente las mismas clases, teniendo en cuenta que clases taxonómicas como *Trebouxioiophyceae* y *Mediophyceae* la presencia de taxones fue relativamente nula. Finalmente se logró evidenciar que uno de los sectores que presentó mejor comportamiento en cuanto a la abundancia de individuos fue el sector 3 con 1008 individuos, como se observa en la gráfica N°6.

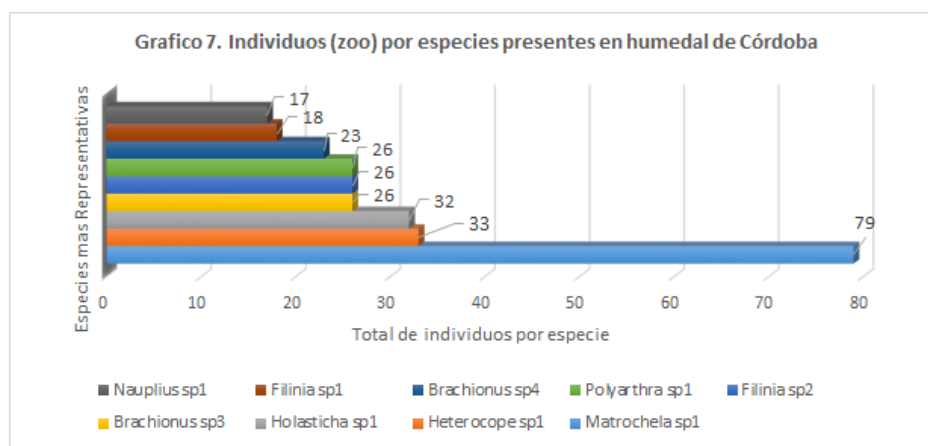
obtuvieron 50 géneros donde principalmente se encontró una alta presencia de *Oscillatoria* (164 ind), *Frustulia* (63 ind) *Achnanthyidum* (46 ind) y por último *Zygnema* (41 ind).

Análisis general temporal y espacial Fitoplancton: Se logró identificar la dinámica de la composición general de la comunidad fitoplanctónica. La presencia numérica de estos organismos denota que el humedal presenta una elevada diversidad biológica. La segunda temporada (agosto), presentó las condiciones más óptimas para el desarrollo de estas comunidades (1114 ind), contando con una diferencia importante de 369 individuos, respecto a la segunda mejor temporada (septiembre). Según la previsión meteorológica y climática mensual (2021) dispuesta por la base de Water Atlas (Atlas, 2021), la temperatura promedio en Julio, es decir, la temporada con menos individuos, fue de 18.5 °C, mientras que en agosto de 19.3 °C, condición que posiblemente aportó en la diferencia de individuos, ya que según (Colina, 2017) en términos generales, tanto para el fitoplancton como el zooplancton, a mayores temperaturas, menor es el tamaño del organismo y mayor su abundancia.

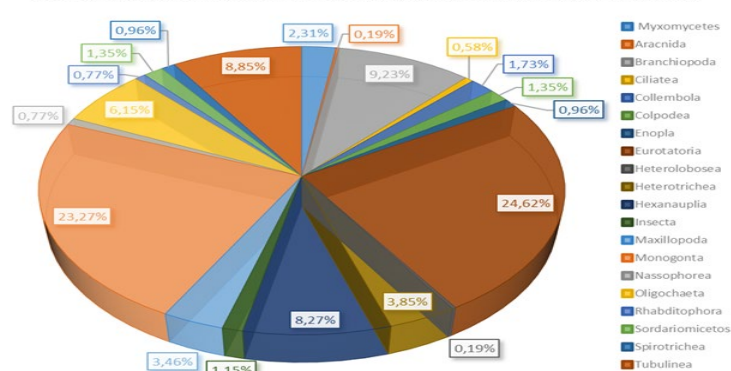
Un comportamiento similar se evidencia en el promedio de días de lluvia, ya que en la primera temporada se presentó un promedio de 24.8 días, mientras que en la tercera fue de 19.8 días, considerando que temporadas con mayores promedios de sequías, generan una mayor estabilidad de la columna de agua y mayor desarrollo de las comunidades planctónicas (Colina, 2017). A partir de lo anterior, el factor sectorial no resulta tan limitante como la variación del tiempo, ya que espacialmente se obtuvo que el sector N°3, fue el que mejores resultados presentó (1019 ind); para este caso la diferencia en comparación al segundo mejor, es tan solo de 109 individuos. Este comportamiento era el esperado, ya que el tercer sector posee las mejores condiciones, indicándonos que el sector N°1 y N°2 presenta una mayor acumulación de materia orgánica, lo cual produce cierto déficit general en la oxigenación de las aguas, y por ende limita el desarrollo y persistencia de especies poco tolerantes a la pobreza en oxígeno (Galindo Hernandez, 2006).

Tabla N°3. Estadística Descriptiva Comunidad Zooplanctónica

Análisis general

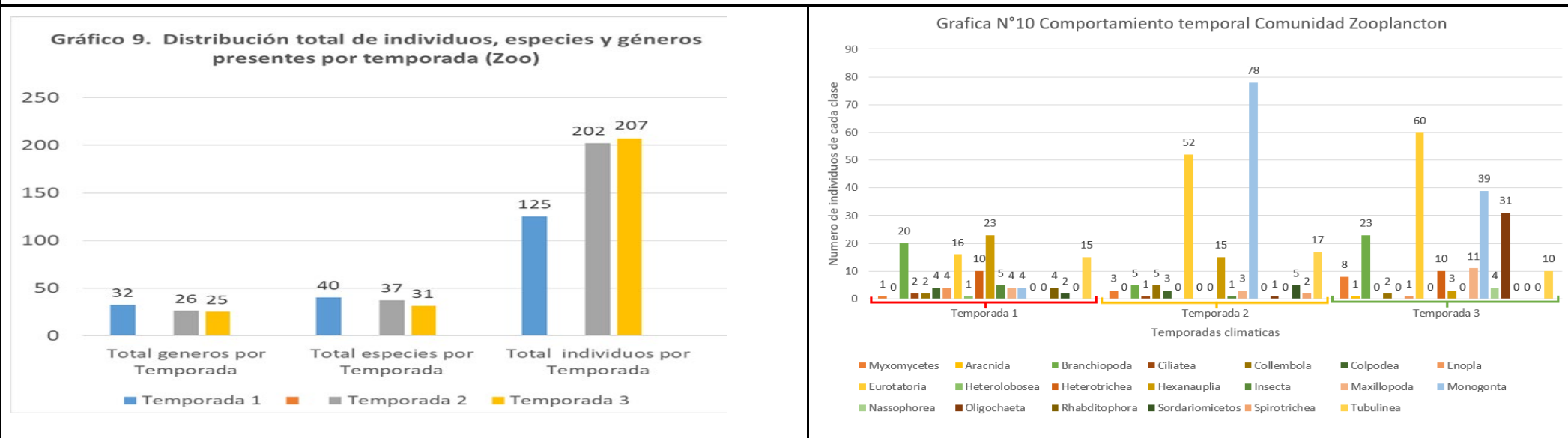


GRAFICA N°8 PORCENTAJE DE CLASES TAXONOMICAS DE ZOOPLANKTON



Los datos obtenidos en el humedal de Córdoba para el caso de la comunidad zooplanctónica se vio compuesta por un total de 508 individuos distribuidos en 66 morfotipos. Se obtuvo una predominancia bastante marcada de la especie *Macrochela sp1* con un total de 79 individuos; y seguida de esta, *Heterocope sp1* (33 ind), *Holasticha sp1* (32 ind), *Brachionus sp3*, *Filinia sp2*, al igual que *Polyarthra sp1* cada una con 26 individuos, *Brachionus sp4* (23 ind), *Filinia sp1* (18 ind) y finalmente *Nauplius sp1* (17 ind), la alta presencia de individuos obtenidos durante el monitoreo, se debe a que el zooplancton tiene la capacidad de ingerir de forma selectiva al fitoplancton y otras formas de plancton para su desarrollo, comunidades que resultaron diversas y abundantes según los análisis previos, aportando a la abundancia encontrada de estos taxones (González del Tanago & García Jalón, 1984). La diversidad de géneros contó con un total de 49 clasificaciones, de estas, con una diferencia marcada predominó el género *Macrotrachela* al contar una presencia de (95 ind), seguido por *Brachionus* (61 ind), *Filinia* (44 ind), *Arcella* (44 ind), bastante cercano encontramos *Heterocope* (33 ind) y finalmente *Holasticha* con 31 individuos; taxones que se relacionan con un ecosistema con tendencia de eutrofización, una riqueza considerable de vegetación acuática, al igual que la presencia de materia orgánica en descomposición (Salazar, 2005). Por último, se encontró un total de 20 clases, observándose una presencia de dos principales, *Eurotatoria* al componer el 24,62% y *Monogonta* con un 23%, estas seguidas por las clases *Branchipoda* (9,23%), *Tubulinea* (8,85%), *Hexanauplia* (8,27%) y *Oligochaeta* (6,16%). El resto de estas, se encontró en un promedio por debajo de él 2% y en algunos casos del 0%, como se evidencia en la gráfica 8. Se obtuvo una presencia alta de zooplancton, indicando un ecosistema con una constante filtración de agua pasiva, y con ella bacterias, detritos orgánicos y algas. Adicionalmente se relacionan con ambientes de aguas estancadas típicamente claras. Esta alta presencia zooplanctónica resulta importante ya que es capaz de definir la comunidad Zooplanctónica (estructura, biomasa, tamaños y especies dominantes (Colina, 2017).

Análisis Temporal



Para este caso se pudo observar una identificación de la comunidad zooplanctónica muy similar en la segunda y tercera temporada. Esta última (septiembre), contó con un total de 207 individuos y 31 morfotipos; principalmente *Matrochela sp1* con 32 individuos identificados, seguido por *Halasticha sp1* (30 ind), *Polyarthra sp1* (22 ind) y *Naupilus sp1* (11 ind), resultaron ser los 4 morfotipos más representativos. Al igual que 25 géneros de los cuales destacan *Matrochela* con 37 ind, *Holasticha* (30 ind), *Polyarthra* (22 ind) y *Brachionus* con 15 ind. Seguido de este, con un comportamiento muy similar, la segunda temporada (agosto) obtuvo tan sólo 5 individuos menos que la N°3, es decir 202. Se observó nuevamente un predominio de la especie *Matrochela* (45 ind), luego de esta, se encuentra *Brachionus sp4* (21 ind), *Brachionus sp3* (13 ind) y *Filinia sp2* (17 ind). Por otra parte, en esta temporada se encontraron 26 géneros, los más representativos fueron *Matrochela* y *Brachionus* cada una con 45 ind, *Filinia* (33 ind) y *Arcella* con 17 ind. Por último, con un mayor sesgo de diferencia, se encontró la primera temporada con tan solo 127 individuos, pero, un mayor número de especies (40); entre estas destaca *Heterocope sp1* (23 ind), *Arcella sp1* (9 ind), y *Esténtor sp1* al igual que *Matrochela sp2* con 7 ind. En cuanto a los géneros, se presentó un mayor número que los obtenidos en las demás temporadas, fueron 32 los encontrados, de los cuales destacan *Heterocope* con 23 ind, *Arcella* (15 ind), *Matrochela* (13 ind) y *Moina* al igual que *Esténtor* con 7 ind.

En las tres temporadas de monitoreo, la clase *Eurotatoria* fue la más dominante, pero, principalmente en la tercera temporada, ya que en esta se presentaron 60 individuos. *Monogonta*, resultó la segunda clase más representativa para la segunda (78 ind) y tercera temporada (39 ind), sin embargo, no hubo similitud en la temporada 1 donde la especie más encontrada fue *Hexanauplia* (23 ind). De manera general, se observó como la temporada N°1 contó con la mayor cantidad de clases, por lo que de las 20 clases encontradas 16 se evidenciaron. Sin embargo, en la temporada N°2 solo se evidenciaron 14 y la temporada N°3 con 13 clases. Es decir, en el sector donde mayor número de clases se encontraron, menor abundancia se presentó y en aquellos donde las clases fueron más reducidas la presencia de zooplancton sobresale.

Análisis espacial

Gráfico 11. Distribución total de individuos, especies y géneros presentes por sectores (Zoo)

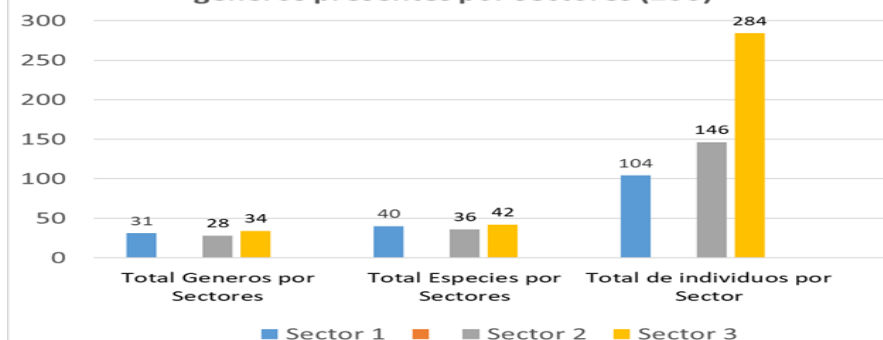
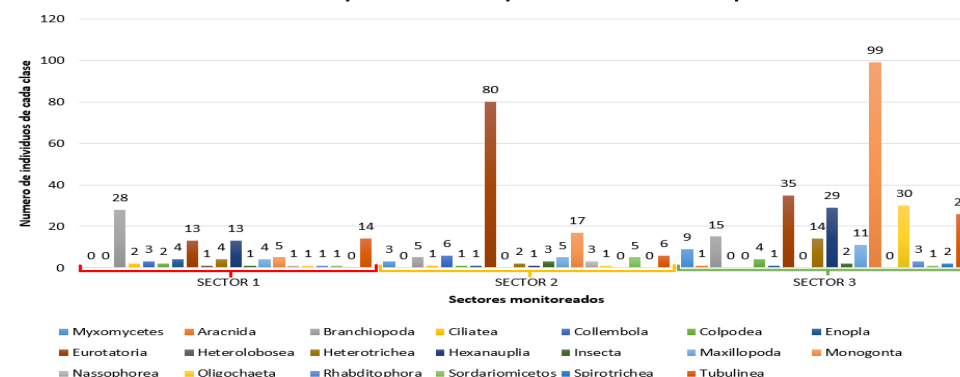


Grafico N°12 Comportamiento espacial comunidad Zooplancton



Se obtuvo un resultado que reflejó una importante diferencia entre el último sector respecto a los otros dos. Con 284 individuos, el tercer sector fue el que tuvo mayor abundancia de zooplancton, de sus 42 morfotipos, son características *Holasticha sp1* ya que cuenta con 30 individuos, *Heterocope sp1* (27 ind), *Brachionus sp3* (24 ind) y *Polyarthra sp1* (23 ind). A su vez, se identificó 34 géneros, donde continúa viéndose una importante presencia de *Brachionus* (55 ind), *Filinia* y *Holasticha* ambas con 30 individuos y *Heterocope* (27 ind). Luego de este, el sector N°2 cuenta con la siguiente mayor abundancia de individuos (146), las especies *Matrochela sp1* en este caso, contó con una abundancia bastante sobresaliente (64 ind), siendo un excelente bioindicador, seguido por *Matrochela sp2* (9 ind), *Filinia sp1* (8 ind) y *Filinia sp2* (6 ind). De los 28 géneros, los 4 principales resultaron ser *Matrochela* (76 ind) *Filinia* (14 ind) y tanto *Arcella* como *Sminthurides* (6 ind). Por último, se obtuvo que el primer sector fue el que contó con tan solo 104 individuos identificados, los cuales se distribuyen en 40 especies, estas no mostraron una marcada diferencia debido a que *Mesostoma sp1* contó con 10 individuos y fue la más predominante, seguida por *Ceriodaphnia sp1*, *Chydorus sp1* y *Arctodiaptomus sp1*, cada una con 6. Finalmente, en cuestión de géneros, se identificó un total de 31, no muy diferente a la cantidad del sector tres, pero en este caso los más representativos fueron *Arcella* (13 ind), *Mesostoma* (10 ind), *Matrochela* (9 ind) y por último *Chydorus* con 6 individuos.

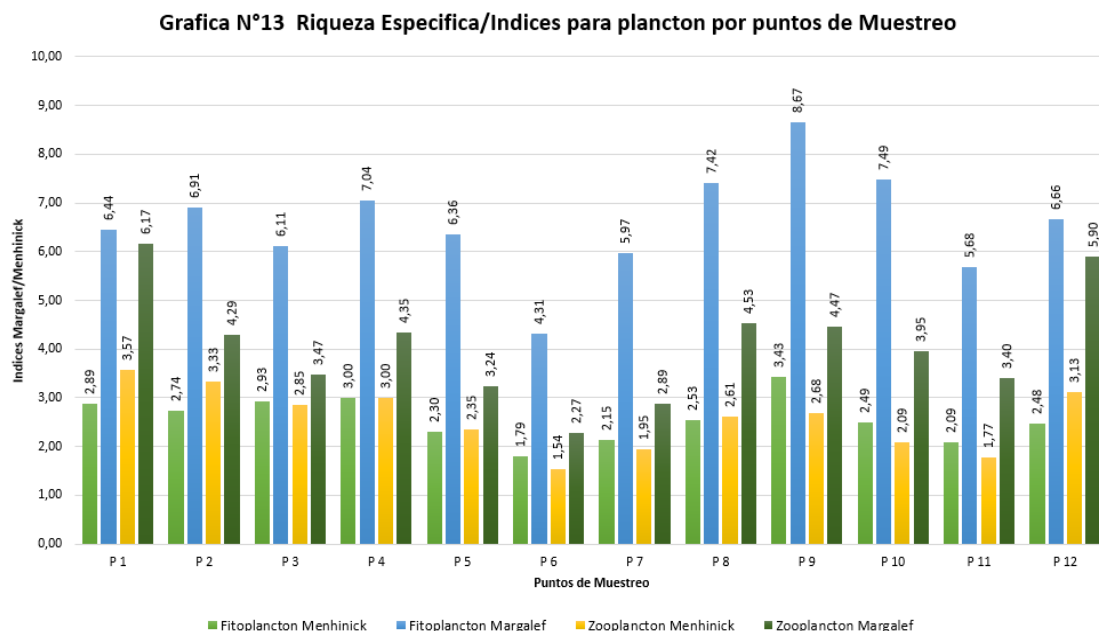
El comportamiento espacial que se presentó en los tres sectores monitoreados en cuanto a la abundancia de especies Zooplancton por clase fue muy diverso, por lo que en cada sector se evidenció una clase única predominante, es decir, en el sector 1 la clase más representativa fue la *Branchiopoda*, mientras que por otra parte para el sector 2 la *Eurotatoria* y la *Monogonta* sobresalieron en comparación a las demás. Algo similar ocurrió en el sector 3 puesto que nuevamente la clase *Monogonta* fue la más típica, ya que de manera general fue allí en este sector y con esta clase donde se evidenció la mayor cantidad de taxones. Finalmente se logró evidenciar que uno de los sectores que presentó mejor comportamiento en cuanto a la abundancia de individuos fue el sector 3 con 282 individuos, seguido del sector 2 con 140 como se observa en la gráfica N°12.

Análisis general temporal y espacial Zooplancton: De acuerdo a los resultados, esta comunidad presentó una menor biodiversidad, estructura y abundancia en comparación a la comunidad fitoplanctónica. En primera instancia, la tercera temporada (septiembre) presentó la mayor abundancia de individuos (207), sin embargo, la temporada N°2 (agosto), demostró resultados similares al contar con una cantidad de géneros y especies casi iguales; con una mínima diferencia de 5 individuos. Según (Colina, 2017) las condiciones ambientales, pueden favorecer diferentes grupos taxonómicos, y a su vez variar los tipos e intensidades de interacciones tróficas que pueden presentarse en ecosistemas con las características propias de los humedales. Se podría afirmar que la variación climatológica y su incidencia en la proliferación de comunidades fueron muy similares en la temporada N°2 y N°3; las precipitaciones medias más bajas se dieron en Agosto con una total de 45 mm y Septiembre con 56 mm, mientras que para la temporada N°1 (Julio), fue de 63 mm; es decir, al igual que los resultados obtenidos en el estudio realizado por (Pinilla et al., 2007), todas las comunidades tuvieron mayor presencia de individuos en periodos que presentaron precipitaciones relativamente bajas.

Estos comportamientos similares entre agosto y septiembre que definieron su abundancia, ocurren igualmente por ejemplo con la humedad media, ya que los meses que contaron con la humedad relativa más baja fueron agosto y septiembre con un 79%, mientras el mes de Julio presentó un 83%. Esto, evidencia lo incidente que resultan las variaciones climatológicas en la proliferación de individuos zooplanctónicos (Atlas, 2021). La abundancia y diversidad de zooplancton encontrado en el primer y segundo sector, reflejan la diferencia existente de su calidad ambiental en comparación a la del sector N°3 al contar con 180 y 138 individuos de diferencia. Dicha condición se debe a que estos dos primeros sectores son los principales afectados por los canales tributarios y de salida de agua residual, ya que confluyen con 4 canales del sistema pluvial; y adicionalmente, tiene una infraestructura de alcantarillado completa que permite drenar las aguas en forma adecuada; situación que se ve afectada por el mal manejo de residuos sólidos por parte de la comunidad, (Galindo Hernández, 2006).

Indicadores Hidrobiológicos (Alfa) Fitoplancton y Zooplancton

Margalef y Menhinick

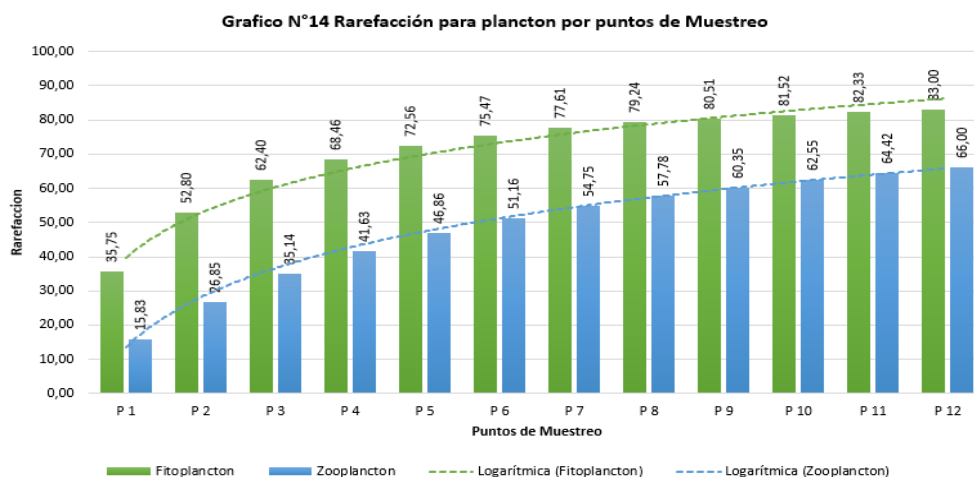


El índice de Margalef y Menhinick, fueron utilizados para hallar la riqueza específica, suponiendo que existe una relación funcional entre el número de especies presentes y el total de individuos (Cottrino, 2020). Para el índice de Margalef, se obtuvo que los valores más altos para fitoplancton se presentaron en el punto 9 (8,67) y el 10 (7,49), mientras que para el zooplancton fueron en el punto 1 (6,17) y 12 (5,90). Por otra parte, los valores más bajos se registraron para el caso de Fitoplancton en los puntos 6 (4,31) y el punto 11 (5,68). Para el zooplancton, sus valores más bajos se presentaron nuevamente en el punto 6 (2,27) seguido por el N°11 (2,89).

Para el índice de Menhinick, se evidenciaron los valores más altos para fitoplancton en el punto 9 (3,43) y 4 (3), pero, para el zooplancton fueron en el punto 1 (3,57) y 12 (3,13). Los valores más bajos para Fitoplancton se dieron en los puntos 6 (1,79) y el punto 11 (2,09). Para el zooplancton, sus valores más bajos se presentaron nuevamente en el punto 6 (1,54) seguido por el N°11 con un valor de (1,77).

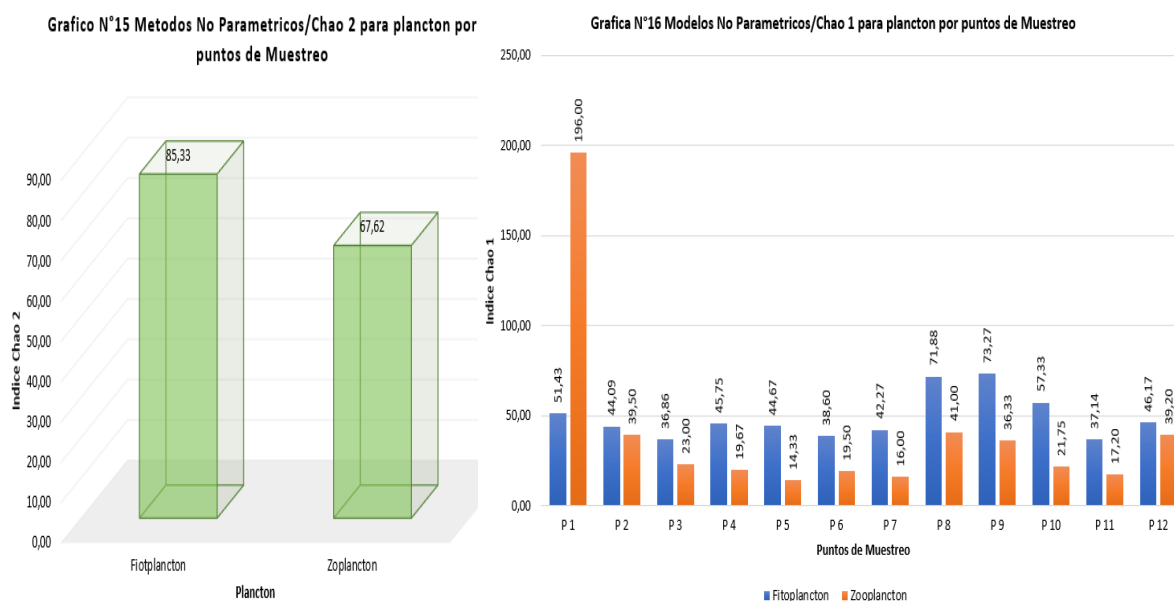
A partir del cálculo de ambos índices, se demostró una riqueza específica alta principalmente de la comunidad fitoplanctónica. Esto se fundamenta en que los valores encontrados, para el caso de Margalef están por encima de 5, particularmente en el punto 9 perteneciente al tercer sector, obteniendo el mismo comportamiento en el índice de Menhinick, pero en este caso, la abundancia reflejada es media ya que su máximo valor (3,57) no es mayor a 5. Para el zooplancton, la riqueza específica según Margalef no resulta baja ya que no cuenta con valores por debajo de 2, no obstante, la mayoría de datos están por debajo de 5, denotando una abundancia media. Mientras que en Menhinick, los valores tienden a acercarse a 2 o estar por debajo.

Rarefacción



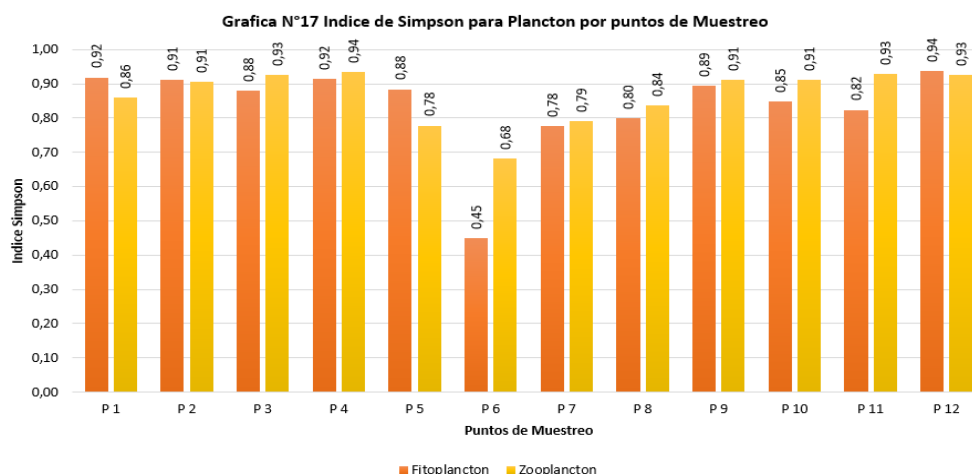
Uno de los problemas relacionados al momento de medir la riqueza de comunidades, es su dependencia del tamaño muestra (Vargas, 2017). Para poder comparar índices de diversidad-alfa entre hábitats, se requiere realizar una corrección matemática en la cual, el número de individuos sea igual. Este procedimiento recibe el nombre de rarefacción, y se utiliza para comparar índices de diversidad entre hábitats en base a un mismo número de individuos (Víctor D. Carmona-Galindo, 2015). Aplicando esta técnica, y ya contando con el índice promedio, se identificó un comportamiento ascendente para la comunidad planctónica en general a medida que se avanza en los puntos de monitoreo, reflejando valores altos en los índices de diversidad en los puntos 9, 10, 11 y 12 pertenecientes al tercer sector. Se podría decir que, aun así, reduciendo la muestra a un tamaño estándar, el número esperado de especies continúa siendo mayor en los últimos dos sectores, reflejando una mala calidad en las condiciones del sector N°1.

Modelos no paramétricos (Chao 2) y paramétricos (Chao 1)



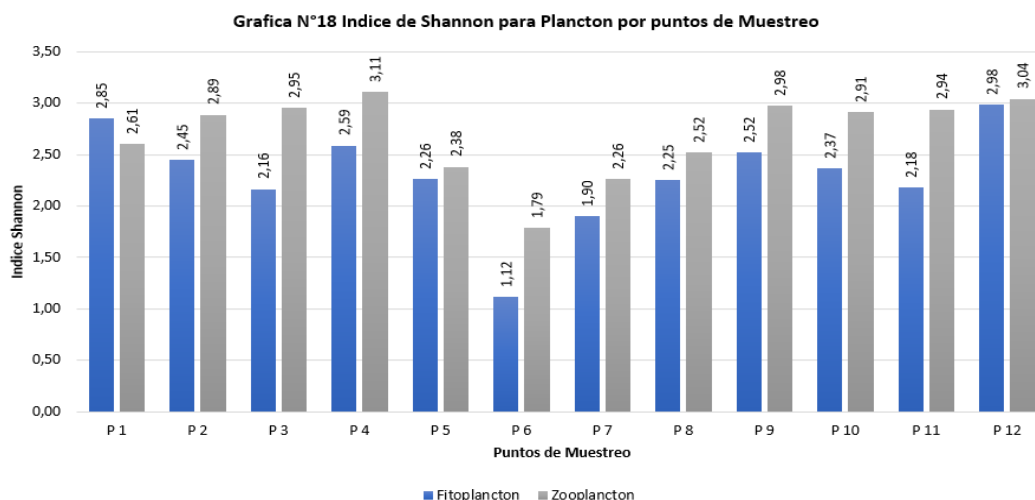
Según el índice Chao 2, se corrobora el predominio del número de especies estimadas (Escalante Espinosa, 2007) en fitoplancton en comparación a la de zooplancton. Adicionalmente, se calculó el índice Chao 1, basado en la abundancia, con este se buscó estimar el número de especies esperadas considerando la relación existente entre el número de especies representadas por un solo individuo en la muestra (singletons) y el número de especies representadas por dos individuos en las muestras (doubletons) (Escalante, 2003). En base al gráfico anterior, observamos que en el punto 1 se presentó un comportamiento especial, ya que contó con la mayor abundancia esperada de especies singletons de zooplancton, indicándonos que el fitoplancton cuenta con una mayor cantidad de individuos doubletons. Condición que no se repite en los demás puntos, ya que, en estos, se observó como el fitoplancton contó con mayor cantidad de individuos singletons y el zooplancton con una predominancia de individuos doubletons. En general, se obtiene que los puntos 8 y 9 pertenecientes al segundo y tercer sector respectivamente, presentaron la mayor predominancia de especies singletons.

Simpson



Este índice, es empleado para determinar la dominancia que posee cada una de las especies, teniendo en cuenta la representatividad que tiene la misma en cuanto a la importancia y predominio que posee dentro de la comunidad. Según los datos, se puede observar que los valores más altos para el caso del fitoplancton se presentaron en el punto 12 (0,94), seguido del punto 1 y 4, ambos con 0,92. A su vez, para Zooplancton, el punto 4 presentó el valor más alto (0,94), mientras que los puntos 3, 11 y 12 presentaron un valor de 0,93. Por el contrario, el punto con valores más bajos para el fitoplancton se evidenció en el N°6 (0,45), seguido por el punto N°7 (0,78) y el N°8 (0,80). Mientras que, para el caso del Zooplancton, nuevamente se presentó un comportamiento similar al de fitoplancton ya que en puntos como el 5, 6 y 7 los valores fluctuaron entre los 0.68 y 0.79. Teniendo en cuenta lo anterior, se afirma que puntos como el 5, 6 y 7 pertenecientes al segundo sector, son indicadores de una heterogeneidad en la distribución de especies, puesto que sus valores se aproximan a cero. A diferencia de los puntos 4 y 12, que contaron con valores más cercanos a uno, evidenciando una homogeneidad en su distribución además de una alta diversidad y baja dominancia.

Shannon-wiener



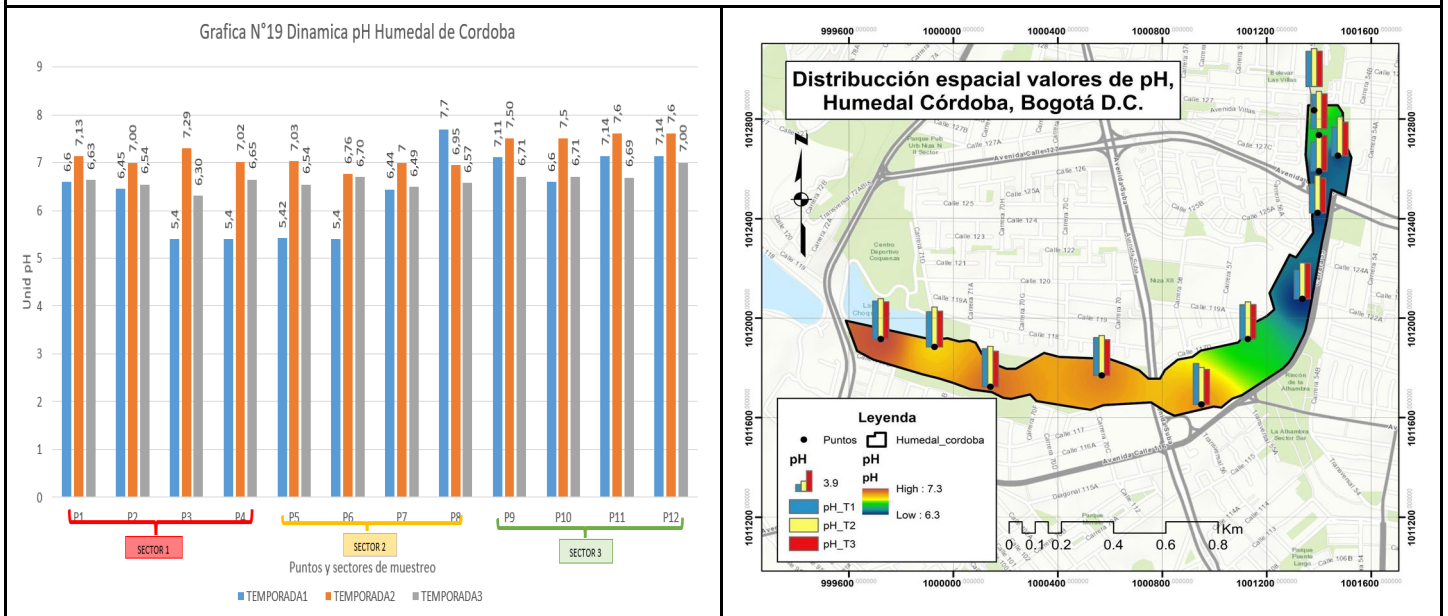
El índice de Shannon incorpora la abundancia proporcional de las especies, pero en este caso a partir de la equidad, pues este, mide la diversidad y uniformidad por individuos para cada una de los puntos. Para el caso de la comunidad Fitoplanctónica, se observó que los valores más altos se registraron en el punto 12 (2,98), y en el punto 1 (2,85).

Para el caso del Zooplancton, el punto N°4 (3,11) y el N°12 (3,04) fueron los que resultaron con valores mayores. Ahora bien, los valores más bajos para el fitoplancton se dieron en los puntos N°6 (1,12) y N°7 (1,90); al igual, para zooplancton con el punto N°6 (1,79) y N°7 (2,26). Con base a esto, se afirma que el punto N°12, perteneciente al sector 3, resultó ser tanto para fitoplancton y zooplancton, el punto donde se presenta una mayor uniformidad de la distribución y abundancia de las especies, al calcular valores próximos o superiores a 3, es decir, no se reportó ningún género con una diversidad considerablemente alta, sino por el contrario, se evidenció uniformidad. Mientras que en los puntos N°6 y 7, correspondientes al segundo sector; ambas comunidades contaron con valores por debajo de 2, indicando una baja diversidad en la distribución de especies y posiblemente expresando que algunos géneros cuentan con una uniformidad mayor que los demás.

Condiciones fisicoquímicas de calidad de agua presentes en humedal de córdoba

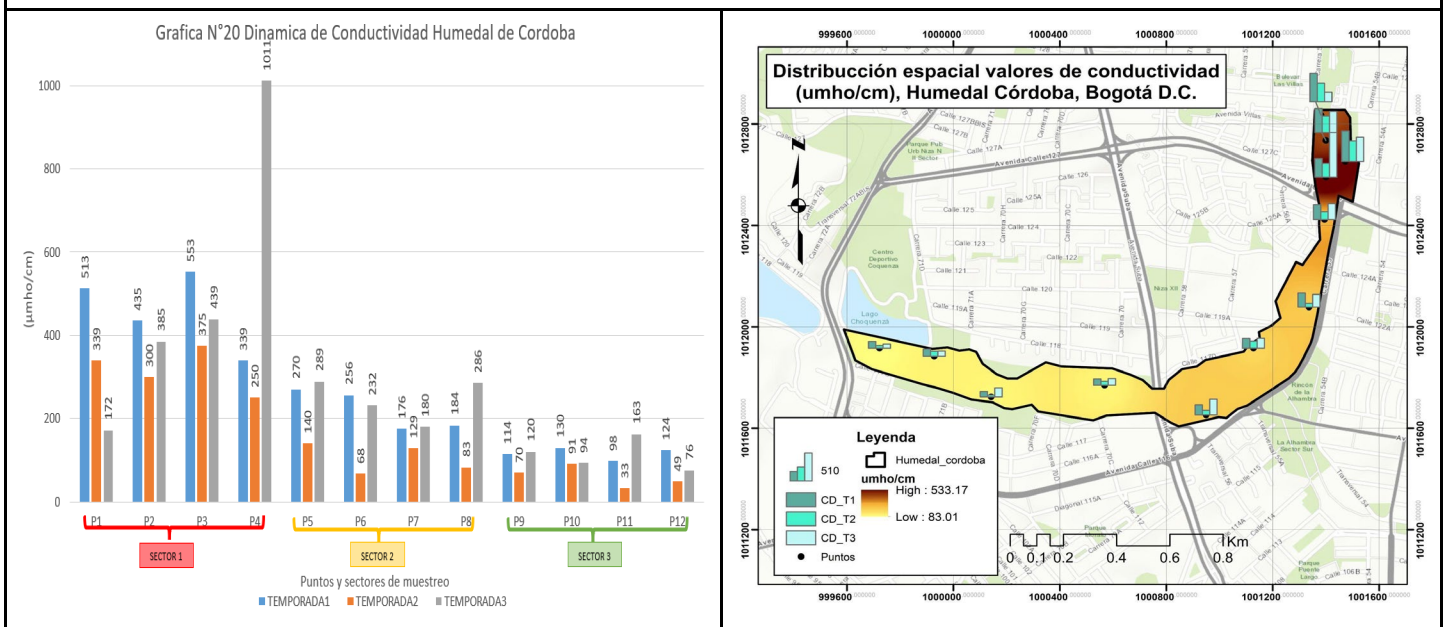
Tabla N°4. Estadística descriptiva Parámetros Fisicoquímicos

Parámetro: pH



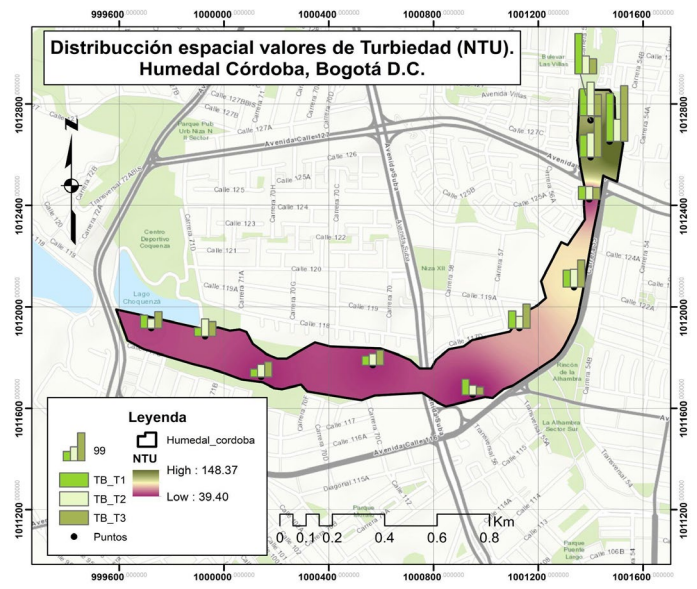
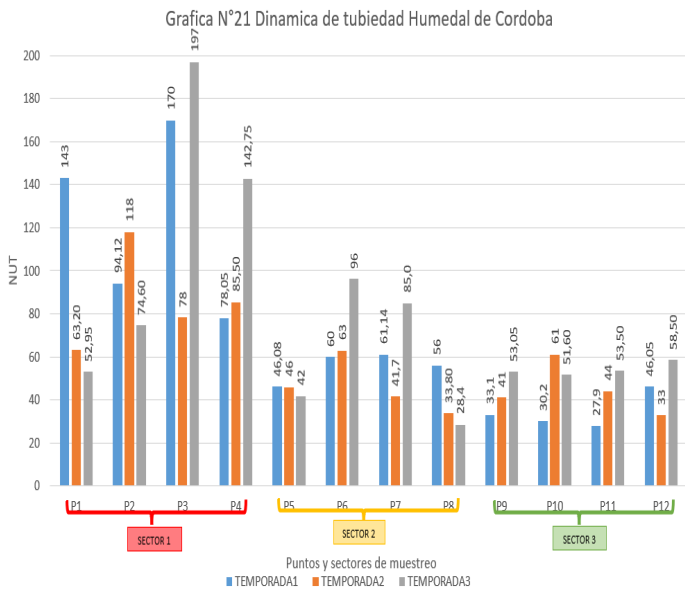
Los valores de pH para la temporada 1 oscilaron entre los 5.4 y 7.7 und; para la temporada 2 las unidades de pH estuvieron entre los 6.76 y 7.6 und, algo similar resultó para la temporada 3 pues los valores oscilaron entre los 6.3 y 7, es decir mayoritariamente las aguas del humedal se caracterizan por ser ácidas en el sector 1 y 3 lo cual puede estar asociado a las bajas precipitaciones que se presentaron en las temporadas climáticas y a las altas concentraciones de materia orgánica dentro del sistema acuático, mientras que para el sector 2 los valores tienden a ser neutros.

Parámetro: Conductividad



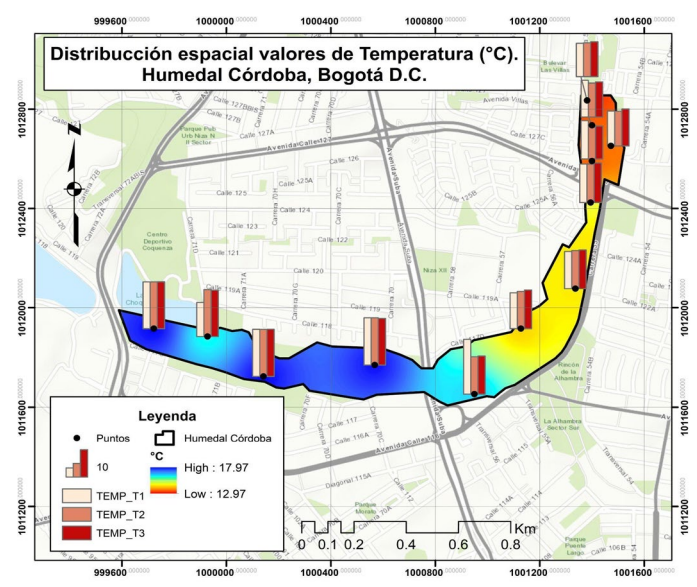
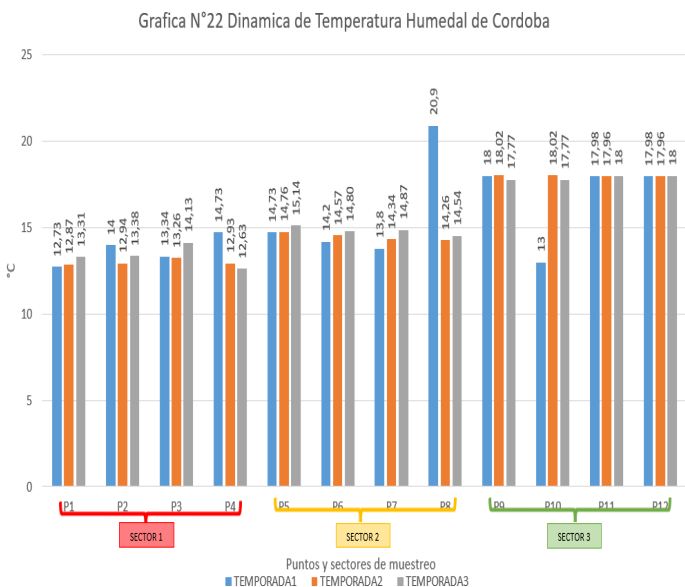
La conductividad que se presentó en el humedal fue diversa entre las tres temporadas de monitoreo, pues como se ve en la gráfica N°14 la temporada 3 presentó valores muy altos con respecto a las otras, entre los 76 y 1011 $\mu\text{mho/cm}$, seguido de la temporada 1 con registros que oscilaron entre los 98 y 553 $\mu\text{mS/cm}$, por último, la temporada 2 con valores entre los 33 y 375 $\mu\text{mho/cm}$. Con base a lo anterior se puede evidenciar que, a partir del mapa espacial, el sector 2 fue el que presentó los valores más bajos de conductividad en comparación con el 1 y el 3 esto debido a la abundante descomposición de la MO, concentración de nutrientes y la capacidad de estos de incrementar la presencia de sólidos disueltos (Espejo, 2017).

Parámetro: Turbiedad



Los valores de turbiedad en las tres temporadas fluctuaron entre los 27.9 y 197 NUT. Teniendo en cuenta que la temporada 2 fue la que presentó los valores más bajos (33-118 NUT) en comparación a las otras. Ahora bien la temporada 1 con valores entre 27.9 y 170 NUT fue la condición intermedia, a diferencia de la temporada 3 que presentó los valores más altos del monitoreo ya que el registro más bajo fue de 28.4 NUT y el máximo de 197 NUT, estos valores son indicadores de altas concentraciones de material particulado, detritus, sedimentos y demás sólidos suspendidos que puedan contener material orgánico e inorgánico, proveniente del suelo y de los eventuales vertimientos de agua residual y demás sólidos arrastrados por escorrentía superficial. Dentro de la caracterización espacial se puede observar en el mapa que evidentemente el sector 2 mantiene un rango de turbidez bajo en relación con los otros sectores que presentaron valores superiores a 100 NUT.

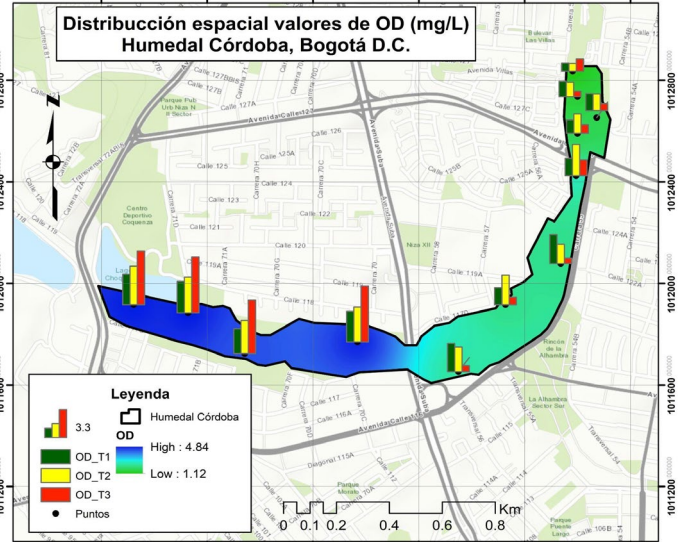
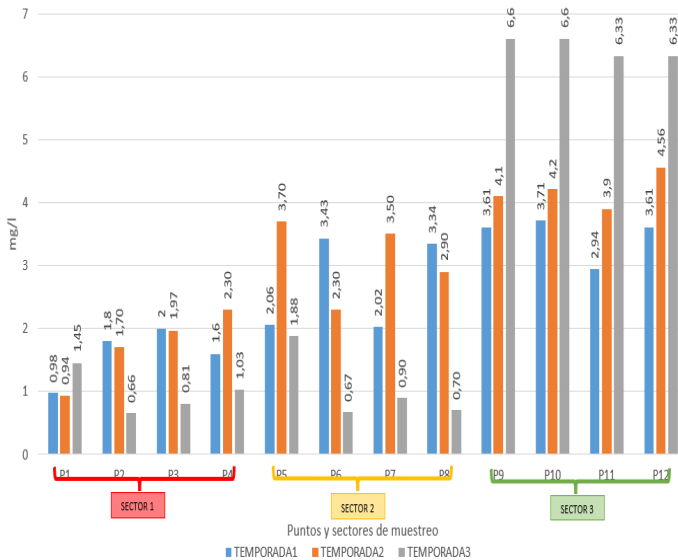
Parámetro: Temperatura



Los valores de temperatura durante el monitoreo por temporadas estuvieron relativamente uniformes, puesto que los valores oscilaron entre los 12 y 18°C. No obstante, durante la temporada 1 la temperatura del agua del humedal alcanzó un valor de 20°C. En cuanto al comportamiento sectorizado de temperatura se logra observar que el sector 1 presentó las temperaturas más altas ya que, por lo general el agua se mantiene entre 17 y 18°C esto debido a la ausencia de macrófitas y plantas acuáticas, en cambio los otros dos sectores restantes mantuvieron una temperatura entre los 12 y 14°C, esta dinámica se puede ver en el mapa del comportamiento espacial de temperatura

Parámetro: Oxígeno Disuelto

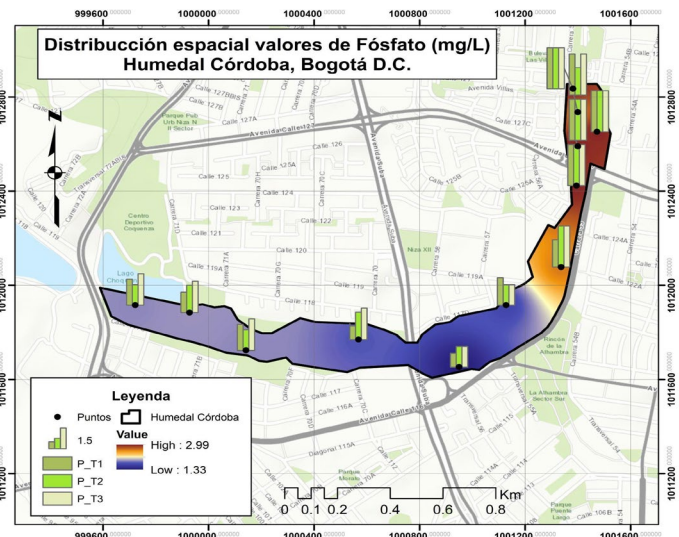
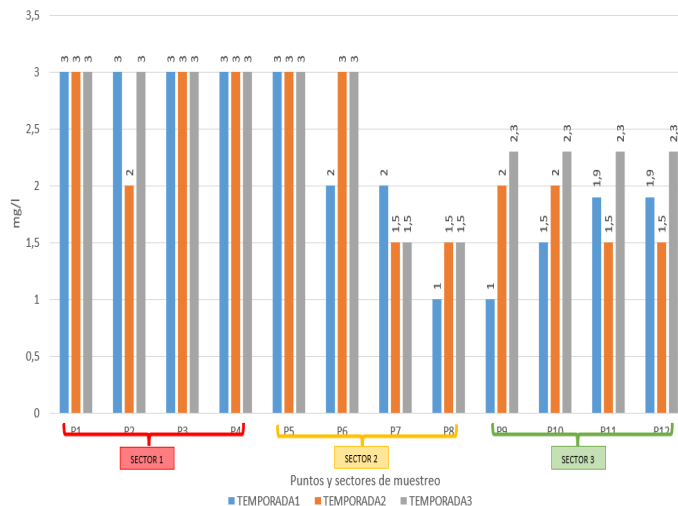
Grafica N°23 Dinamica de OD Humedal de Cordoba



El OD, presentó un comportamiento disparejo entre temporadas, pues en el caso de la temporada 1 los valores oscilaron entre los 0.98 y 3.71 mg/l, para la temporada 2 entre 0.94 y 4.56 mg/l y por último la temporada 3 con valores relativamente altos entre los 0.66 y 6.6 mg/l. Esta situación puede ocurrir porque el OD es directamente proporcional con la temperatura, ya que a menor temperatura mayor es el contenido de OD; por ejemplo, en la temporada 3 al presentarse los valores más altos de OD y al hacer comparación con la temperatura, evidentemente hay una relación directa entre parámetros, puesto que al analizar las otras temporadas donde la temperatura fue superior el resultado de OD fue inferior en comparación a la temporada 3. Esto misma dinámica se presentó en el comportamiento espacial, ya que como se observa en el mapa el sector 1 permaneció con un déficit en cuanto al contenido de OD, esto debido a que según la sectorización del humedal los rangos más altos de temperatura durante el tiempo de monitoreo siempre prevalecieron en este sector.

Parámetro: Fosfatos

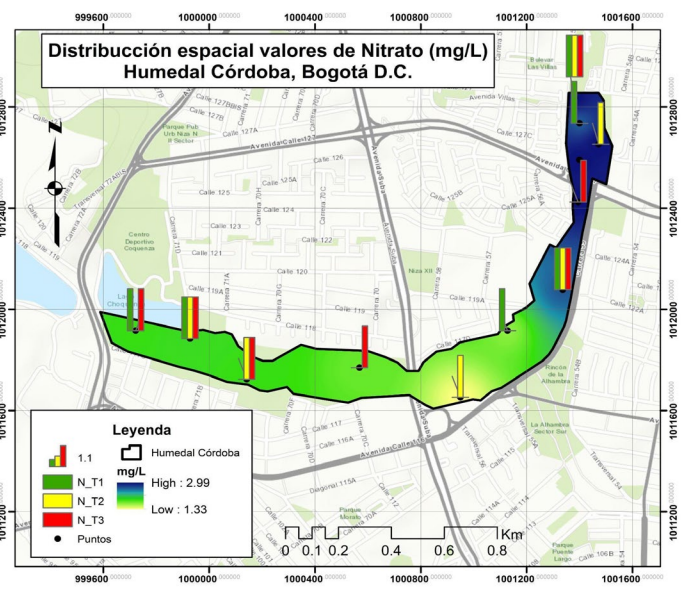
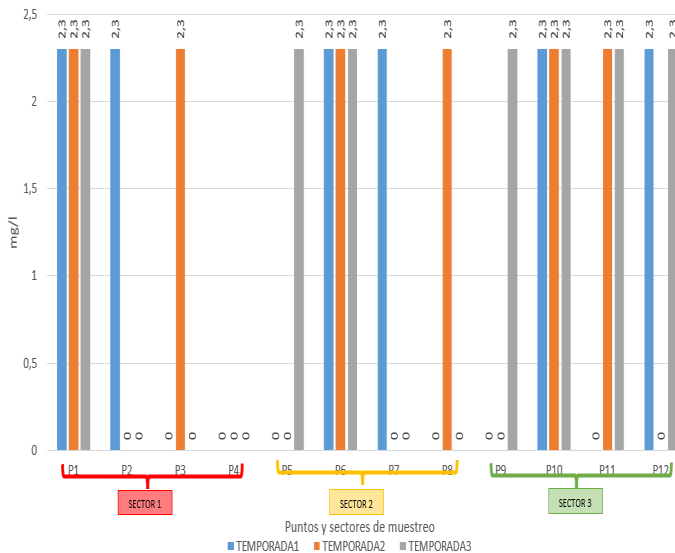
Grafica N°24 Dinamica de concentración de Fosforo Humedal de Cordoba



Los valores de fosfatos se comportaron de una manera similar entre temporadas pues los datos oscilaron entre los 1 y 3,5 mg/l, predominando durante la mayoría del monitoreo una concentración de 3 mg/l, como se ve representado en la gráfica N°18. Por otro lado, en el comportamiento espacial de fósforo se denoto altas concentraciones en el sector 1 en comparación a los otros, ya que en este sector los valores permanecieron mayormente en una concentración de 3 mg/l a excepción de un punto de monitoreo donde la concentración se mantuvo en 2 mg/l. Esta conducta se debe a la presencia de vertimientos de aguas residuales y por ende al enriquecimiento elevado de nutrientes en este sector; factor que evidencia el proceso de transformación eutrófica a hipertrófica del humedal (Espejo, 2017). En cuanto al sector dos fue el lugar donde los rangos permanecieron bajos, por lo que los valores en su mayoría estuvieron entre los 2 y 1,5 mg/l.

Parámetro: Nitratos

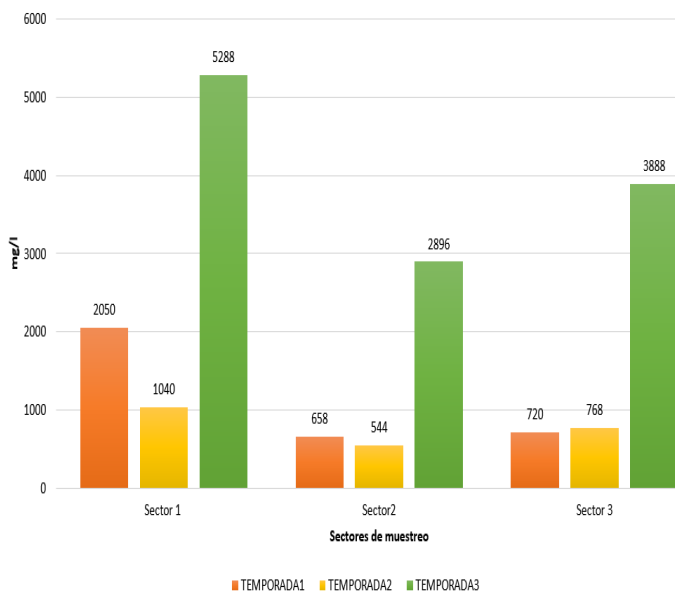
Gráfica N°25 Dinámica de concentración de Nitrogeno Humedal de Cordoba



Al igual que la concentración de fósforo en el humedal, los nitratos mantuvieron una dinámica muy parecida, pues en este caso los valores fueron exactamente 2,3 y 0 mg/l. Sin embargo, hubo temporadas como la 3 donde las concentraciones fueron más evidentes y en la mayoría de monitoreos se mantuvo el valor de 2,3 mg/l. La distribución espacial de la concentración de nitratos demostró que para el sector 1 la presencia de este compuesto inorgánico fue elevada, posiblemente por la ausencia de plantas que contribuyen con el consumo de nitrógeno en sus procesos fotosintéticos y demás metabolismo. A su vez la presencia de nitratos en el sector 2 y 3 fue homogéneo pues las concentraciones estuvieron siempre estables en valores promedio de 2 mg lo que representó uniformidad en el mapa anterior.

Parámetro: DBO5

Gráfica N°26 Dinámica de concentración de DBOs Humedal de Cordoba

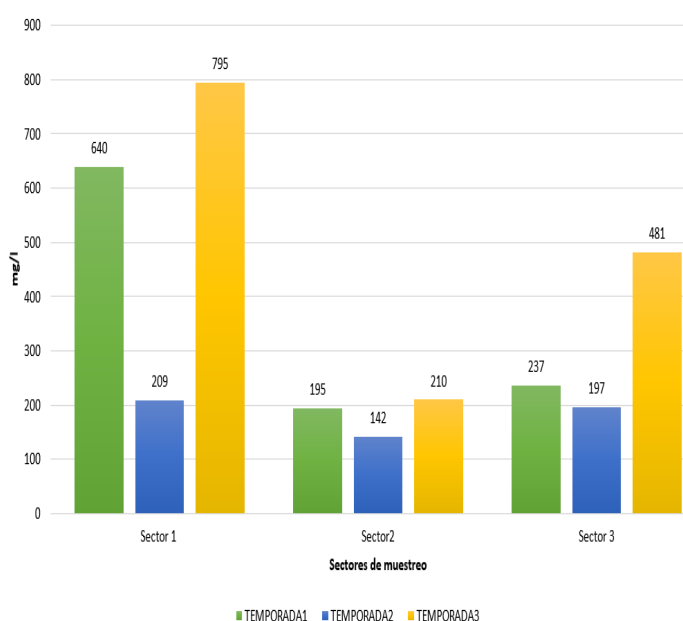


Teniendo en cuenta que para la medición de este parámetro solo se tomó tres muestras por temporada, se pudo evidenciar que la temporada 3 registró los valores más altos de DBO, pues los datos obtenidos oscilaron entre los 2896 y 5288 mg/l. Para el caso de las otras temporadas restantes, se puede observar que los datos varían entre los 544 y 2050 mg/l, que resultan de igual manera ser altos, pero no en la misma magnitud que la temporada 3.

En cuanto al comportamiento del parámetro en los tres sectores del humedal es posible a partir de la gráfica determinar que el sector 1 presenta los registros más altos seguido del sector 3 en contraste con el 2 que maneja los valores más bajos de todo el monitoreo. Teniendo en cuenta lo anterior todas las valoraciones superaron el límite permisible según el decreto 1594/84 para el uso de preservación de flora y fauna que es de 501 mg/, esto es producto de las frecuentes descargas de materia orgánica, generadas por los canales que vierten al humedal de aguas residuales domésticas.

Parámetro: DQO

Gráfica N°27 Dinámica de concentración de DQO Humedal de Córdoba



Al igual que en el parámetro de DBO este monitoreo de Demanda química de Oxígeno se realizó tres veces por temporada. Se pudo evidenciar que tanto la temporada 3 como la 1 registraron los valores más altos de DQO, pues los datos obtenidos oscilaron entre los 195 y 795 mg/l. Para el caso de la temporada 2, se puede observar que los datos varían entre los 142 y 209 mg/l. En cuanto al comportamiento del parámetro en los tres sectores del humedal es posible a partir de la gráfica determinar que el sector 1 presenta los registros más altos seguido del sector 3 en contraste con el 2 que maneja los valores más bajos de todo el monitoreo.

Teniendo en cuenta lo anterior el humedal está presentado una tendencia a la contaminación orgánica lo que demuestra un desequilibrio en cuanto al límite permisible según el decreto 1594/84 para el uso de preservación de flora y fauna que es de 501 mg/l, esto es producto de las frecuentes descargas de materia orgánica, y la elevada actividad anaerobia de un sistema en un proceso de eutrofización.

El humedal de Córdoba ha presentado según lo analizado con anterioridad y los estudios realizados de caracterización y zonificación, unas condiciones desfavorables en cuanto a la calidad fisicoquímica del agua, pues se logra evidenciar a partir de los monitoreos realizados en campo que la mayoría de parámetros tomados se encuentran sobrepasando los límites permisibles para este tipo de ecosistemas, esto es provocado por una serie de aspectos ambientales y factores tensionantes como el aporte de múltiples aguas combinadas y residuales aferentes al humedal que son drenadas y descargadas en estos sectores por medio de los canales Niza, Córdoba y Callejas, sin contar con la variedad de vertimientos de forma directa que se presentan en el humedal por las erradas conexiones existentes entre los barrios Niza, Pontevedra y demás colectores sanitarios que se ubican sobre la Av. Córdoba y adicionalmente la fragmentación de su área total, que dan como resultado la afectación del componente hidrogeológico desde un punto de vista físico, ecológico, económico y sociocultural.

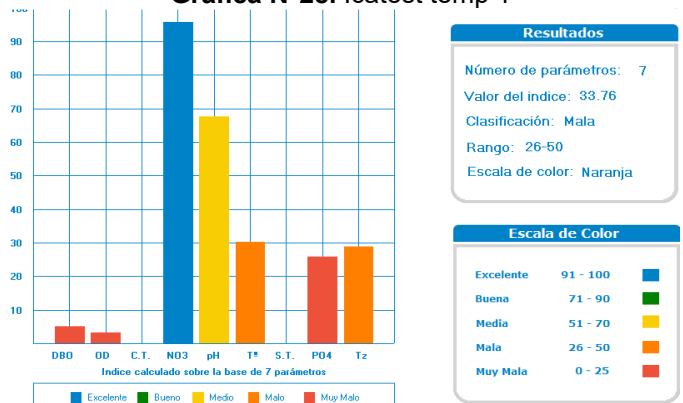
3.2.2 Indicadores calidad del agua (ICA) parámetros fisicoquímicos

A continuación, presentamos los resultados obtenidos del análisis de parámetros fisicoquímicos por medio del software ICATEST v1.0, donde presentamos el análisis temporal y espacial, y los índices obtenidos.

Tabla N°5. Análisis ICATEST v1.0®

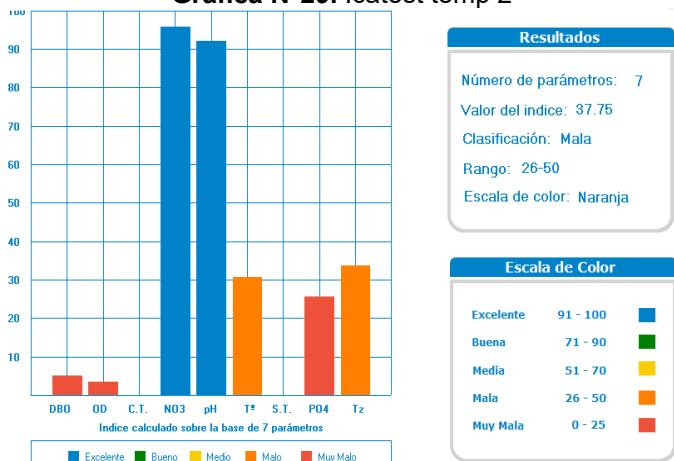
Análisis Temporal

Gráfica N°28. Icatemp 1



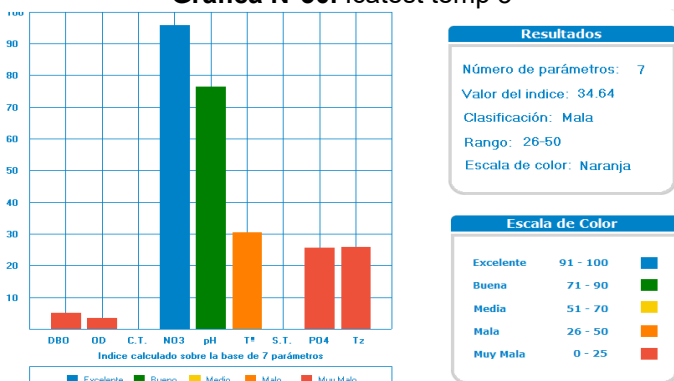
Temporada 1: En el caso del análisis temporal correspondiente al primer mes del estudio, de los 7 parámetros evaluados se obtuvo un índice excelente en la variable de NO₃, y un índice medio para el pH, y por otra parte obteniendo calificaciones muy malas para las variables de DBO, OD, y PO₄, encontrando resultados muy parecidos por lo bajo en las variables de turbiedad y temperatura, dando como resultado un índice general clasificado como malo con un índice promedio de 33,76, en el rango de mala calidad que corresponde a puntajes entre 26 y 50.

Gráfica N°29. Ictest temp 2



Temporada 2: Para el análisis del segundo mes que corresponde a Agosto evaluamos los 7 parámetros establecidos encontrando resultados excelentes para las variables de NO3 y pH obteniendo puntajes de índice de calidad muy cercanos a 100, por otra parte las variables calificadas como muy malas con puntajes menores a 25 son la DBO, OD, y PO4, siendo estos parámetros estimados en magnitudes iguales a las del mes pasado, al igual que las calificaciones malas de las variables de turbiedad y temperatura, debido a esto el índice para este mes estuvo calificado en 37,75 correspondiendo a una valoración baja, ligeramente mayor a la del mes pasado por efecto de una mejoría en la variable pH.

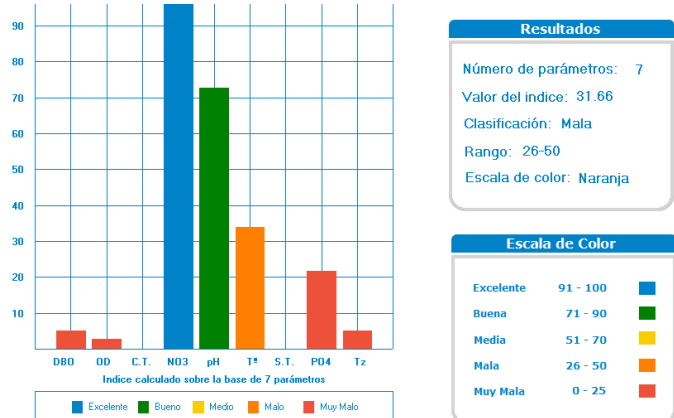
Gráfica N°30. Ictest temp 3



Temporada 3: El mes de septiembre fue el tercer momento de toma de muestra donde se analizaron los 7 parámetros fisicoquímicos encontrando un resultado excelente para la variable de NO3, y una valoración buena para el pH, siguiendo así la tendencia de los meses pasados, se observó una disminución en el índice de calidad de la variable de turbiedad, la cual al igual que las variables de DBO, OD, y PO4 fueron valoradas con índices de calidad muy malos, de esta manera se obtiene una clasificación general de 34,64 correspondiendo a un índice de calidad malo, siendo este un puntaje ligeramente menor al estimado en los meses pasados.

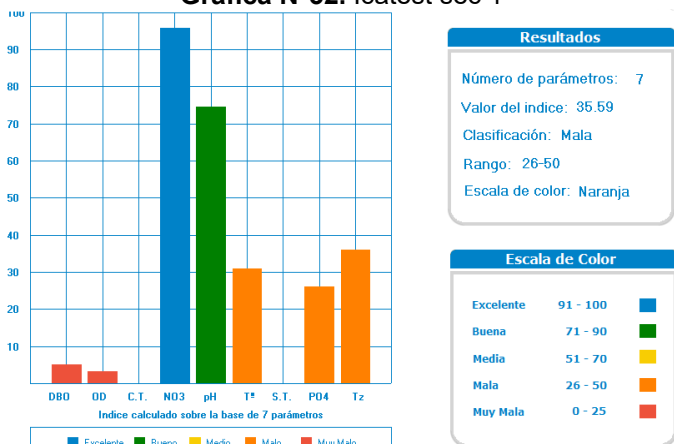
Análisis Espacial

Gráfica N°31. Ictest sec 1

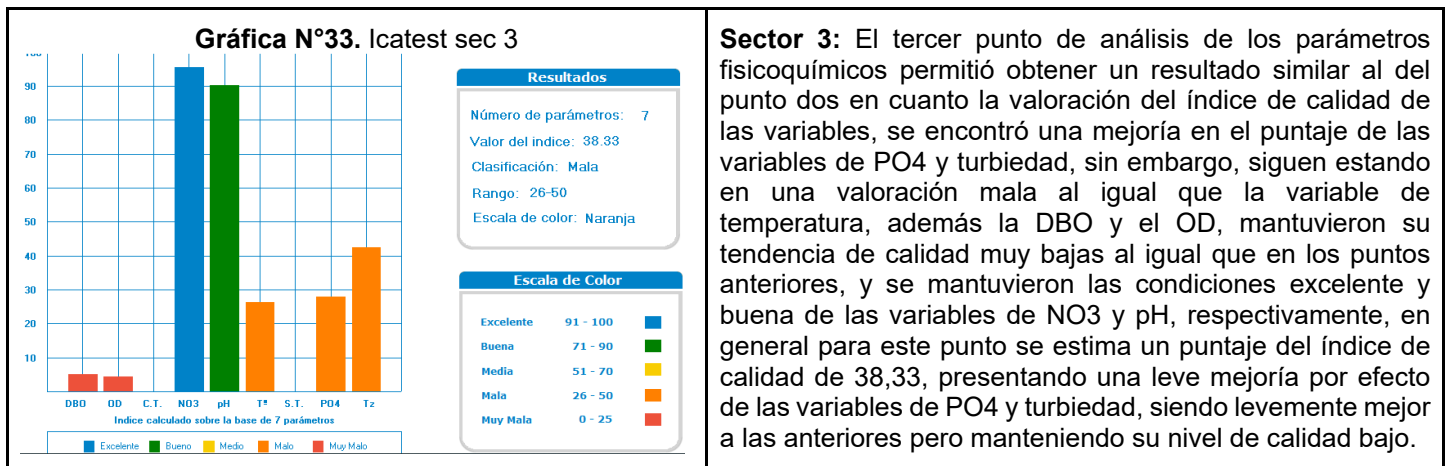


Sector 1: El primer punto de muestra nos permite obtener un panorama particular de cada una de las variables determinadas en un punto del humedal, en este punto encontramos una valoración del índice de calidad excelente para el parámetro de NO3, y una valoración buena para el pH, por otra parte los parámetros de DBO, OD, PO4, y turbiedad, se encuentran en una valoración muy mala con puntajes correspondientes menores a 25, por lo tanto el panorama general de este punto en cuanto al índice de calidad del agua nos permite obtener una valoración mala con un puntaje de 31,66, correspondiendo a un valor entre el rango de 25 y 50 que expresa un nivel de calidad general no óptimo para las condiciones fisicoquímicas en este punto del humedal.

Gráfica N°32. Ictest sec 1



Sector 2: El segundo punto de muestra del humedal nos permitió obtener una valoración general para la calidad de agua del humedal en otro punto del cuerpo de agua más lejano a las partes intervenidas por el hombre, en este caso encontramos una mejoría en las variables de PO4, y turbiedad las cuales se valoran con un puntaje malo, que a pesar de su magnitud es mayor al registrado en el punto anterior, por otra parte los parámetros mejor calificados fueron el pH y los NO3, y los peor valorados la DBO, y el OD, por lo tanto la valoración general para este punto corresponde a un puntaje del índice de calidad de 35,59 correspondiendo a un nivel malo, con una valoración ligeramente mejor a la del punto anterior.



Sector 3: El tercer punto de análisis de los parámetros fisicoquímicos permitió obtener un resultado similar al del punto dos en cuanto la valoración del índice de calidad de las variables, se encontró una mejoría en el puntaje de las variables de PO4 y turbiedad, sin embargo, siguen estando en una valoración mala al igual que la variable de temperatura, además la DBO y el OD, mantuvieron su tendencia de calidad muy bajas al igual que en los puntos anteriores, y se mantuvieron las condiciones excelente y buena de las variables de NO3 y pH, respectivamente, en general para este punto se estima un puntaje del índice de calidad de 38,33, presentando una leve mejoría por efecto de las variables de PO4 y turbiedad, siendo levemente mejor a las anteriores pero manteniendo su nivel de calidad bajo.

Análisis General: El índice de calidad que se estima mediante el software ICATEST v.10 representa una valoración unificada de los parámetros medidos, y ofrece un resultado a nivel numérico en cuanto a la calidad del agua con respecto al parámetro medido, es decir mide la cercanía de las mediciones a la condición más adecuada que debería tener la variable medida, y nos permite dar una clasificación con respecto a este grado numérico estimado para las variables.

En este caso evaluamos 7 parámetros fisicoquímicos del agua en el humedal de Córdoba que fueron DBO, OD, NO3, pH, temperatura, turbiedad, y PO4. En general encontramos que el humedal presenta condiciones buenas y excelentes en los parámetros de NO3 y pH a lo largo de toda su extensión, y estas no varían en el tiempo, por otra parte, identificamos una tendencia baja en los niveles del índice de calidad de las variables de DBO y OD, presentando valoraciones con puntajes muy bajos en toda su extensión a lo largo de los meses. Esta condición puede responder a la gran cantidad de materia orgánica que presenta el humedal, la cual realiza interacciones constantes y presenta la formación constante de nitritos por efectos del ciclo del nitrógeno en el humedal, debido a esta gran cantidad de materia orgánica existe una DBO y un OD muy bajos, porque todo el oxígeno disponible es constantemente procesado y absorbido por la micro vegetación y las comunidades de diferentes especies de protozoarios y algas los cuales disponen de este oxígeno constantemente para sus procesos metabólicos y sus interacciones biológicas.

Por otra parte los parámetros de temperatura, PO4 y turbiedad mantienen una condición mala y muy mala a lo largo del humedal y en los meses evaluados, estas variables afectan el panorama general de estas variables fisicoquímicas debido a que el valor del índice tuvo valoraciones malas en todos los puntos y momentos evaluados, dados por valores estimados del índice entre 30 y 40, rangos en los cuales el programa clasifica valoraciones malas que van de 25 a 50 puntos en cuanto a la calidad del agua. En este caso se identificó que la tendencia a una valoración negativa de la turbiedad responde la cantidad alta de sólidos disueltos en el agua y de materia orgánica que no necesariamente responden a residuos de intervención del hombre sino a la condición constante de las dinámicas naturales del ecosistema que representa un nicho ecológico para muchas especies que encuentran allí condiciones aptas para realizar sus interacciones biológicas, y mantienen la oferta biológica en un nivel óptimo para disponer los servicios ecosistémicos que regulan estas interacciones y los beneficios naturales que el humedal ofrece.

Relación entre caracterización comunidad planctónica y parámetros fisicoquímicos

Al analizar los distintos escenarios de estudio encontramos algunas tendencias muy marcadas en algunos parámetros fisicoquímicos del humedal, inicialmente encontramos que en los tres meses analizados al igual que en las tres secciones del humedal, se obtuvo niveles bajos en los parámetros OD, y DBO, en relación a las variables que debe tener un agua con condiciones más óptimas para el desarrollo de dichas comunidades según lo dispuesto por el decreto 1076 de 2015 (Decreto 1076 26 de Mayo de 2015, 2015), sin embargo, esto más que ser un indicador de agua de baja calidad para consumo humano, nos habla del efecto de las comunidades planctónicas en el agua del humedal, puesto que las especies fitoplancton presentes realizan un proceso de fotosíntesis que es fundamental para el equilibrio ecosistémico del mismo, este proceso transforma, gracias a la luz solar, la materia inorgánica disponible, es decir, agua y CO2, en orgánica, siendo la base de la red trófica y además de liberar oxígeno a la atmósfera.(Chacón, 2011) Debido a esto los indicadores de oxígeno en el agua son muy bajos porque la materia orgánica que se encuentra en cantidad abundante por la presencia de vegetación aledaña a las aguas del humedal, procesa este oxígeno en forma

de CO₂ y lo envía fuera del agua en forma de O₂, es por ello que encontramos niveles bajos en estos parámetros (Roldán & Ramírez, 2008).

Algo similar pero en menor medida sucede con el parámetro de PO₄ el cual también presenta una tendencia de calidad baja en su índice de calidad, debido a que su presencia es mayor de la deseada en un agua de buena calidad porque el nitrógeno y el fósforo contenidos en moléculas de rocas o desechos que han llegado al agua por efecto del hombre, actúan como fertilizantes para las plantas, ya que las células fitoplanctónicas construyen con ellas proteínas, ácidos nucleicos y otras estructuras celulares indispensables para sobrevivir y reproducirse, lo cual estimula la reproducción de estas especies y la formación de abundantes comunidades planctónicas como las que encontramos en el humedal (Conde et al., 2004). En cuanto a la relación con el nitrógeno autores como (Unnrein, 2001), afirman que con el tiempo en el campo científico se fue generalizando la idea de que el fósforo era el principal nutriente limitante y que el N raramente llegaría a serlo, es decir que solo el fósforo determinaba de manera total la proliferación de los individuos. Estas suposiciones se basan además en que el nitrógeno (N₂) es un gas soluble en agua y existen organismos como bacterias y cianobacterias que lo puede fijar e incorporar al sistema. Contrariamente, el fósforo forma compuestos insolubles y si se establece un equilibrio es con los sedimentos o con la roca y no con la atmósfera, por lo tanto, su disponibilidad para los organismos sería limitada. Sin embargo, numerosos estudios posteriores demostraron que tal generalización no puede ser aplicada a todos los cuerpos de agua. Experimentalmente se comprobó que en muchas ocasiones el N puede ser el principal factor limitante para el desarrollo del fitoplancton, sobre todo en ambientes tropicales, debido a esto encontramos niveles de nitritos con índices muy altos en todas las temporadas porque este es un nutriente absorbido con más facilidad por los microorganismos del agua debido a su condición de solubilidad (Roldán & Ramírez, 2008).

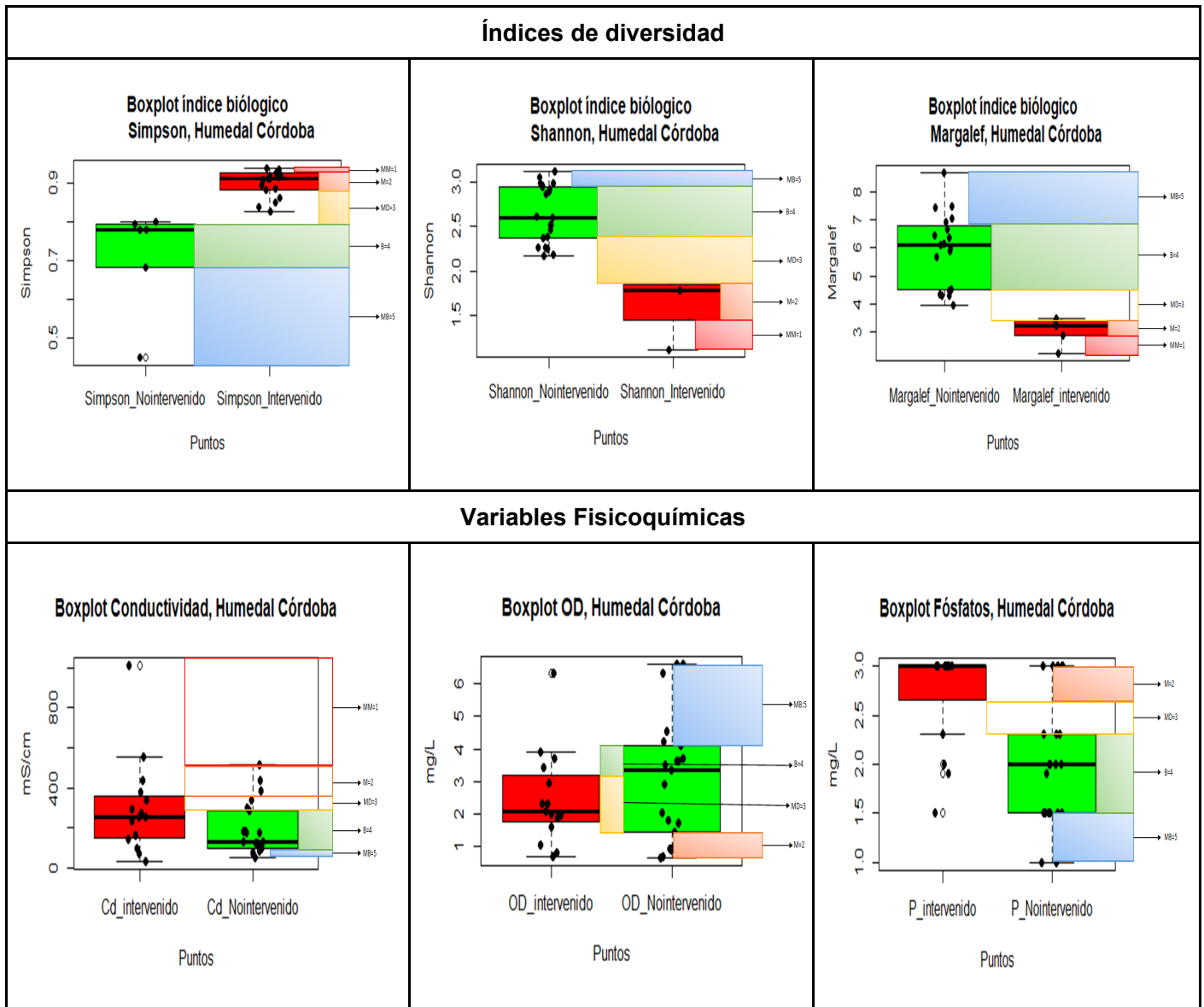
Por otra parte, encontramos en el análisis temporal que existen fluctuaciones en los niveles estimados para el parámetro de pH, lo cual es un caso particular considerando que los demás parámetros se mantienen estables durante todas las temporadas. En este caso encontramos valores más altos en el mes de agosto, lo cual nos indica que hubo niveles de calidad más apropiado durante estos días, existen mecanismos que podrían estar influyendo, tales como los procesos de liberación y consumo de CO₂ y O₂ (respiración y fotosíntesis) que también afectan en forma directa el pH, dada la gran concentración de materia orgánica acumulada en los sedimentos es razonable suponer que la respiración en el agua debe ser elevada, lo cual aumenta la concentración de sales en el agua generando una mayor conductividad y afectando al pH (Jiménez-Delgadillo et al., 2018). En estudios como el de Margalef (Margalef, 1983), se ha demostrado que el pH puede aumentar en épocas de veranos puesto que mayor temperatura, mayor es el desprendimiento salino de los sedimentos.

Finalmente, el análisis espacial nos permite determinar que el sector uno presenta una tendencia diferente al de los otros dos en cuanto a sus condiciones en los parámetros de turbiedad y PO₄, al obtener en este los resultados más altos, lo cual puede responder a una condición de agua con mayor presencia de plantas, sedimentos, y materiales que dificultan el tránsito del agua y que albergan especies que procesan el fósforo disponible aumentando así la proliferación de las poblaciones planctónicas.

Índice de calidad integrado (ICAI)

Partiendo del análisis de cada uno del Box-plot de las 13 variables o parámetros medidos tanto fisicoquímicos como hidrobiológicos, se obtuvo que 6 de estos contaron con una mayor representatividad, dado que la diferencia de medias entre el diagrama de puntos intervenido y no intervenidos de dichas variables, resultaron las más amplias y por ende fueron a las cuales se les asignó su propio rango según sus cuartiles. Estos fueron establecidos de 1 a 5 donde se consideró: 1 (Muy malo), 2 (Malo), 3 (Medio), 4 (Bueno) y 5 (Muy bueno), obteniendo:

Tabla N°6. Variables integradoras del ICAI.



Contando con los diagramas y rangos de la Tabla 5, se identificaron tres variables hidrobiológicas representativas (Simpson, Shannon y Margalef) considerando que estas cumplen un papel importante en cuanto a la medición de biodiversidad y riqueza de morfotipos en relación a una diversidad esperada, así como los cambios recurrentes en esta, para de alguna manera relacionar las diferentes comunidades con la estructura del paisaje y lograr medir y hacer seguimiento a los efectos generados por la actividad humana (Moreno, 2001). Estos índices resultan variables significativas al momento de conformar el ICAI, considerando que en primera instancia cumplieron con los criterios básicos para el análisis matemático de sus datos, adicionalmente, estos al ser parte de la medición de diversidad alfa, representan el resultado del proceso evolutivo manifestado la existencia de diferentes especies dentro de un hábitat particular, como lo es el humedal de Córdoba.

Margalef, se destaca por ser el índice de mayor representatividad a nivel hidrológico puesto que la riqueza específica, se ajustó a los análisis temporales y espaciales de la comunidad planctónica, lo cual se ve reflejado en su boxplot ya que al realizar la comparación entre puntos intervenido y no intervenidos, los resultados de este índice reflejan que los valores estuvieron dentro de los rangos de interpretación según (Moreno, 2001). Seguido de este, el índice de Shannon-Weiner resultó ser la segunda variable hidrobiológica más representativa dentro del ICAI; reflejando en su box-plot, una media tanto para puntos intervenidos como no intervenidos muy cercanas a el valor óptimo de interpretación, es decir, dichos resultados se encuentran próximos a 2, indicando una buena equidad de individuos. Por último, el índice de Simpson a pesar de contar con resultados distantes del rango de evaluación óptimo, es decir, cercanos a cero y lejanos de uno, resultó considerada una variable representativa puesto que la distancia entre sus medias, demostraron una de las mayores sensibilidades. De esta manera se considera que estos tres índices

hidrobiológicos, abordan los componentes necesarios que unifican y permiten conocer el comportamiento real de la comunidad planctónica en el humedal.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se reconoce que cada uno de estos son de gran importancia para determinar una buena calidad en el componente hídrico, pero, de estos se destacan 3 representativos, inicialmente los fosfatos contaron con una mayor diferencia en sus medias, resultado coherente considerando que según (Villabona-González et al., 2020) la conductividad eléctrica y los nutrientes, particularmente el fósforo, son los mejores predictores de un ecosistema con tendencias a la eutrofización, condición particular del primer sector del humedal. En correspondencia a esto, considerando los resultados obtenidos por medio del ICATEST, se obtuvo de igual manera que dicho parámetro contó con una calidad mala y muy mala en la extensión de los tres sectores del humedal, esto corrobora la gran incidencia de este parámetro en el ecosistema, ya que dependiendo de la cantidad de fósforo presente se regula la proliferación de comunidades planctónicas; por lo cual resulta una de las variables fisicoquímicas de mayor peso.

El siguiente parámetro fisicoquímico más representativos resultó ser el OD, este es quizás uno de los parámetros más importantes de los sistemas acuáticos, puesto que, a partir de la concentración de este oxígeno gaseoso disuelto en el agua, se puede determinar las entradas de oxígeno al sistema y la cantidad que logran consumir los organismos vivos. Así mismo el OD aparte de ser responsable de la respiración de los organismos es fundamental para la descomposición de la materia orgánica pues bajo su capacidad oxidativa puede interactuar con diversas bacterias y hongos para degradar cualquier desecho de seres vivos; de esta manera se puede determinar que un ecosistema con altos niveles de OD presenta entornos sanos y estables y su capacidad de resiliencia y mantener diversidad de organismos será prospera en comparación con aguas con déficits en el oxígeno gaseoso (Universidad Complutense de Madrid, 2001), como se presenta en el caso del humedal de Córdoba. Finalmente la conductividad fue identificada como el tercer parámetros a nivel fisicoquímico con más representatividad, teniendo en cuenta nuevamente que esta variable a nivel estadístico demostró una sensibilidad significativa en sus medias, a su vez es una variable que está directamente enlazada con la concentración de sólidos disueltos totales, relación importante para establecer la dinámica e interacción entre iones conductores de electricidad en aguas con tendencia a la eutrofización o con alto contenido de contaminantes (Vásquez Zapata et al., 2012)

Para la conformación del (ICAI), se tomaron estas 6 variables las cuales fueron integradas en la fórmula, sus valores parten de los rangos establecidos en cada uno de sus Box-plots. Dichos valores se dividen sobre la cantidad de variables:

Ejemplo formula N°2 ICAI Punto 1

$$\sum I_i = \frac{Simpson(2) + Shannon(4) + Margalef(4) + Conductividad(3) + OD(2) + Fosfatos(2)}{6} = 2,83$$

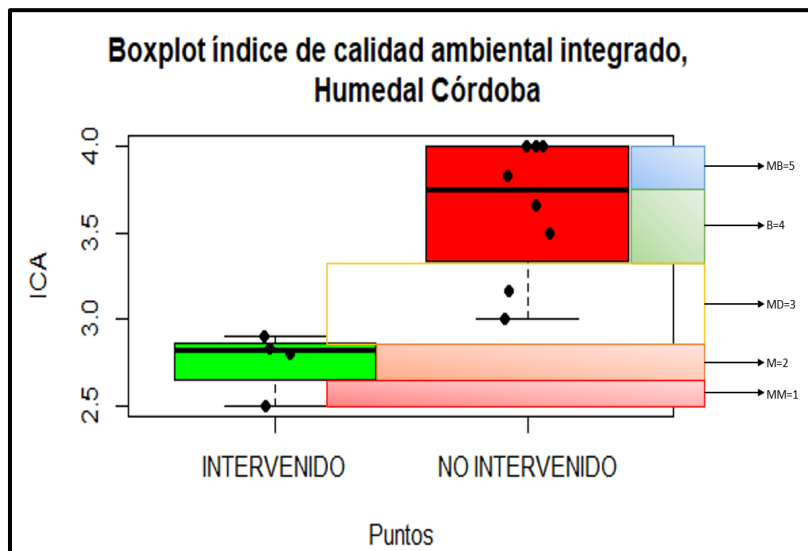
Esta se aplicó de manera independiente para cada uno de los puntos de monitoreo, teniendo en cuenta cuales de esta era intervenidos (IN) o no intervenidos (NI), el resultado obtenido se evidencia en la tabla 7.

Tabla N°7. Resultados obtenidos del ICAI por punto de monitoreo

Sector N°1	P1 (NI)	2,83	Sector N°2	P5 (IN)	3,16	Sector N°3	P9 (IN)	3,83
	P2 (IN)	3		P6 (IN)	2,83		P10 (NI)	4
	P3 (NI)	2,83		P7 (NI)	3,5		P11(NI)	4
	P4 (IN)	2,5		P8 (NI)	3,66		P12 (NI)	4

A partir del siguiente Box-plot se demostraron los resultados obtenidos del ICAI para cada punto de monitoreo, con este se establecieron los rangos finales e integrados según los cuales se definió y evaluó la calidad general del humedal.

Diagrama de cajas N°1. ICAI humedal de Córdoba.



La manera de interpretar los resultados del Box-plot final, para definir el estado del humedal parte y se fundamenta según la siguiente escala de rangos.

Tabla N°8. Rangos para interpretación del ICAI

Calificación	Calidad y Rango	Interpretación
5	Muy buena (4-3,74)	El agua del humedal se encuentra en óptimas condiciones para la conservación de flora y fauna, la biodiversidad de organismos es muy alta y la abundancia baja. Los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de lo establecido por el decreto 1076 de 2015 (artículo 2.2.3.3.9.10.), contando con un estado de calidad del agua oligotrófico . Se caracteriza por presentar una muy baja productividad primaria, y niveles demasiado bajos de nutrientes vegetales, por lo tanto, es un cuerpo de agua improductivo.
4	Buena (3.33-3,73)	El agua del humedal se encuentra en buenas condiciones, la biodiversidad de morfotipos es alta y es representativa de un cuerpo de agua oligotrófico . Posee aguas pobres en nutrientes y de baja productividad. En cuanto a su espejo de agua, cuenta con una buena transparencia. Se pueden encontrar algunas especies herbívoras y acuáticas. En general son afectados por el vertido de aguas residuales o la incorporación de abonos usados en los cultivos
3	Media (2,75-3,32)	El espejo de agua se encuentra en un estado de mesotrofia . Sus aguas contienen cantidades moderadas o intermedias de nutrientes que pueden contribuir a un mayor desarrollo de organismos fitoplanctónicos, su abundancia y diversidad de morfotipos al igual que su productividad es intermedia. Estos ecosistemas tienen comúnmente aguas claras y poco profundas.
2	Mala (2,67-2,74)	El agua del humedal se encuentra en una condición media, presentándose una baja biodiversidad de organismos y una alta abundancia debido a contar con suplemento de nutrientes amplio o excesivo (nitrógeno y fósforo) que pueden generar un mayor nivel de productividad y de biomasa, pero con aguas pobres en oxígeno. Es representativo de un espejo de agua eutrófico . Cuenta con un incremento de la biomasa fitoplanctónica, pero disminución en la cobertura de macrófitas. Generalmente la cantidad de nutrientes se debe a que recibe desechos y residuos orgánicos y minerales que se relacionan con el aumento de materia orgánica.
1	Muy mala (2,5-2,66)	El agua del humedal se encuentra en una condición de extrema eutrofia, todas las variables se encuentran por debajo de los rangos permisibles. Se caracteriza por contar con aguas hipertróficas con excesiva abundancia de nutrientes. La biodiversidad de morfotipos es baja o relativamente nula. La comunidad estará constituida principalmente por microfiltradores, ya que predominan las microalgas y bacterias, así como también es casi nula la presencia de biomasa de peces y moluscos. En estos. La luz es el factor medioambiental dominante de control de crecimiento, y no los nutrientes.

Partiendo de la interpretación establecida según los rangos del ICAI conformado, de manera general se puede identificar que el tercer sector cuenta con una calidad ambiental superior respecto a los otros dos.

El sector N°1 se caracterizó por contar con un cuerpo de agua eutrófico, predominando valores que fluctúan entre 2,83 a 3, destacándose que el comportamiento presente en el cuarto punto de monitoreo fue atípico, ya que en este se obtuvo características de un ecosistema hipertrófico (2,5). Por otra parte, el segundo sector, presentó una calidad intermedia y buena, es decir, su cuerpo hídrico se caracteriza por ser mesotrófico con tendencias a la oligotrofia, ahora bien para el punto 5 y 6, sus rangos (2,83 y 3,16) determinan una valoración media, mientras que en los puntos 7 y 8 (3,5 y 3,66) es buena, condiciones que corresponden a una calidad aceptable; evidenciándose como en este sector se presenta una importante depuración del agua, una presencia intermedia de nutrientes, con tendencia a una mejora en sus características ambientales a medida que avanza en su extensión y por ende un incremento en la cantidad de morfotipos y en la prestación de sus servicios ecosistémicos.

Finalmente los datos en el tercer sector, indican la mejor calidad encontrada en todo el humedal de Córdoba, considerando en los puntos 9, 10, 11 y 12 se obtuvieron resultados de 3.83, 4, 4, 4 respectivamente, denotando un cuerpo de agua con características oligotróficas, asociada a los resultados obtenidos previamente en el trabajo realizado en campo al igual que los análisis previos, donde se identificó que este sector cuenta con la mejor diversidad de morfotipos planctónicos, al igual que ser el único sector que presentó una alta biodiversidad de especies neoton, así como también cuenta con el cuerpo de agua más claro.

Correlación variables integradoras del ICAI

Imagen N°1. Correlación puntos no intervenidos

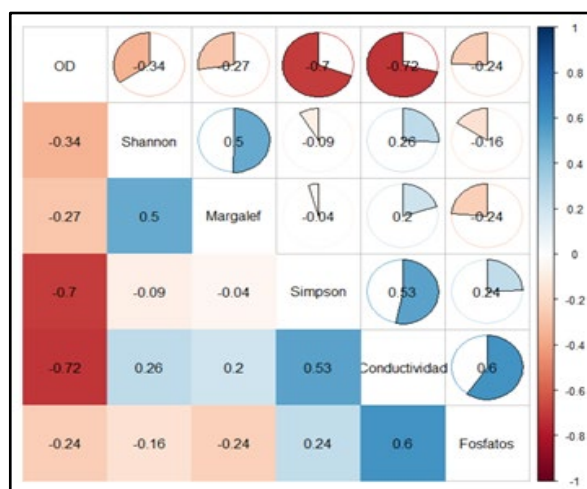
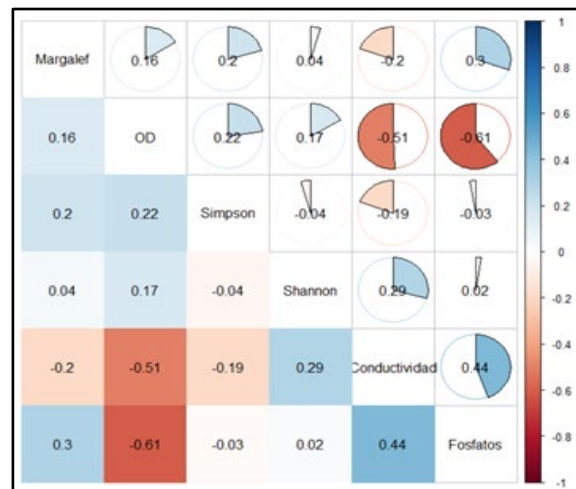


Imagen N°2. Correlación puntos intervenidos



El estudio de fitoplancton y zooplancton como organismos indicadores de la calidad del agua permite establecer si estos se ven o no afectados por las propiedades fisicoquímicas de su hábitat, es por esto que es necesario realizar un análisis de correlación por el método de correlación de Spearman, con el objetivo de determinar si las variables estudiadas presentan una relación entre ellas, además de predecir el comportamiento de una variable en función de otras; dicho método oscila entre valores de +1 y -1 donde valores cercanos a la unidad indican una correlación fuerte ya sea positiva o negativa, mientras que valores próximos a 0 indican que no existe una correlación. En este caso, mediante la función cor.test se encontró el valor de la significancia obteniendo p-valor es < 0.05 rechazamos la normalidad en ambas variables. Lo ideal entonces fue utilizar la correlación de Spearman en lugar de la de Pearson.

Las gráficas de correlación muestran un rango de tonalidades de azul a rojo que representan las relaciones existentes entre los factores físicos químicos y los índices biológicos, variando la intensidad del color de acuerdo al valor propio de relación.

Para el sector no intervenido se observa una correlación negativa entre oxígeno disuelto y los índices biológicos evaluados, donde el índice Simpson ($r = -0.7$) presenta la mayor correlación negativa, puesto que este cuantifica la biodiversidad presente por lo que ante la mayoritaria presencia de especies en el humedal existe un mayor requerimiento de oxígeno, disminuyendo las cantidades del parámetro en el cuerpo acuático, cabe destacar este resultado puesto que permite tener una medida indirecta de los índices con solo conocer los valores de oxígeno presentes en el agua. De igual forma se presenta una correlación negativa fuerte ($r = -0.72$) entre OD y conductividad dado que, ante la mayor presencia de sales en el agua, los niveles de oxígeno disminuyen significativamente, lo que un análisis de alguno de los dos parámetros es suficiente para emitir un criterio de la contaminación presente en el ecosistema. La existencia de una

correlación positiva entre el índice de Shannon y Margalef ($r = 0.5$) indica la conformidad existente entre la diversidad y abundancia biológica presente en el humedal

Por otra parte, en el sector intervenido se sigue la misma tendencia de la correlación negativa entre OD y conductividad y fosfatos, esto en mayor medida por la presencia de salinidad en el agua que tiene incidencia directa en el incremento de la actividad microbiana y, por ende, en el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos.

Identificación de servicios de la comunidad planctónica

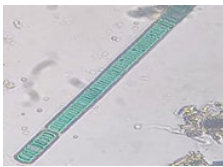
La medición de calidad del agua generalmente está asociada al monitoreo de parámetros físico químicos, no obstante, ha sido una herramienta de evaluación que permite analizar las condiciones del agua y sus efectos adversos en un tiempo relativamente corto. Por tal razón se ha implementado la bioindicación por métodos biológicos puesto que en éste hay una respuesta más robusta en cuanto al estado en que se encuentra el recurso hídrico, a partir de microalgas y demás microorganismos que precisan aquellos impactos en el ecosistema en tiempos más prolongados (Pinilla A., 1998). Teniendo en cuenta lo anterior, el indicador biológico al estar directamente relacionado con la calidad del agua, permite llevar a cabo el análisis de procesos ecológicos partiendo de la abundancia de especies, donde su existencia responde a un espacio y momento determinado, y por consiguiente a su capacidad de adaptación a diferentes factores ambientales; mientras que por otra parte, la ausencia de éstos representa el resultado de las alteraciones (impactos) que se presentan en dichas condiciones (Sarmiento, 2017).

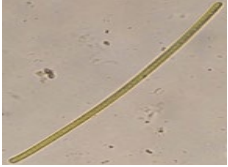
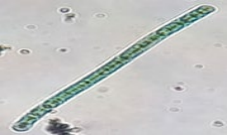
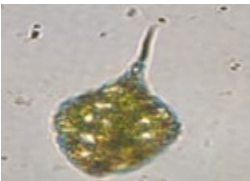
Todo organismo puede considerarse como un buen indicador de las condiciones del ecosistema donde desarrolla gran parte de su ciclo vital, sin embargo, en términos más estrictos y menos generales, un indicador biológico acuático es considerado relevante si su presencia y abundancia sobresalen de los demás individuos y responden a algún estado o proceso del sistema en el que habita, es decir, si cuenta con una importancia ecológica (Campo & Duval, 2014).

Estos indicadores biológicos se consideran una herramienta confiable para identificar los SE de la comunidad planctónica encontrada en ambientes acuáticos, teniendo como base la respuesta de los mismos a las condiciones ambientales de estos ambientes; así teniendo en cuenta que las poblaciones de plancton cuentan con la característica de acumular información de cambios intermitentes en los sistemas acuáticos, es posible que mediante su presencia y respuesta al metabolismo estereotípico de las especies, éstas puedan fácilmente mostrar su nicho ecológico en el ecosistema y así poder definir su rol como aportante de servicios ecosistémicos, que en caso de estas especies radica en la captura de carbono, producción de oxígeno, autodepuración del agua entre otros servicios (Santillán-Aredo & Guerrero-Padilla, 2018).

El humedal de Córdoba registra la presencia de un total de 83 morfotipos de fitoplancton y 66 de zooplancton, las cuales cumplen un papel relevante en el ecosistema acuático, para la determinación del papel de estos morfotipos como prestadores de servicios ecosistémicos se determinaron los más representativos de acuerdo a su composición, presencia a lo largo de espejo y columna de agua del humedal, su abundancia, dominancia, riqueza específica, incidencia y equitatividad entre estaciones, encontrando que los morfotipos más relevantes son los que se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla N° 9. Bioindicadores comunidad fitoplanctónica

Morfotipo	Importancia Ecológica	Indicador	Servicio Ecosistémico
 <i>Oscillatoria sp1 (550 ind)</i> Clase: Cyanophyceae	- Incrementa la producción de biomasa - Almacena fósforo como polifosfatos y meta fosfatos (Roldán & Ramírez, 2008).	- Altas cargas orgánicas (Fuenmayor et al., 2009). - Eutrofia - Aguas con altos contenidos	- Productor primario. - Captura de carbono. - Producción de oxígeno. - Regulación de la

 <i>Oscillatoria sp3 (189 ind)</i> Clase: Cyanophyceae	- La presencia de procesos de eutrofización producen un aumento de la frecuencia y densidad del morfotipo y por ende su papel en la cadena trófica. (Consejería de Medio Ambiente, 2013). - Se distinguen por ser fotoautótrofos oxigénicos, es decir son organismos fotosintéticos que producen O₂. - Únicas algas capaces de fijar nitrógeno atmosférico (Cubas, 2008).	de sedimentos - Aguas residuales (Streble & Krauter, 1987) - Aguas ricas en fosfatos - Aguas con presencia de pesticidas. - Alta conductividad - Baja refracción solar	biodiversidad. - Almacenamiento de fósforo - Contribuye con el crecimiento algal de diatomeas. - Capacidad de fijar nitrógeno - Regulación climática - Cultural: Bioindicación, investigaciones. etc.
 <i>Oscillatoria sp2 (67 ind)</i> Clase: Cyanophyceae			
 <i>Frustulia sp1 (150 ind)</i> Clase: Bacillariophyceae	-Sensible a la polución del agua, por lo constituye una buena indicadora de su calidad (Flicker, 2008). -Poseen una gran variedad de estrategias adaptativas, además, su corto ciclo de vida les permite responder rápidamente a los cambios ambientales por lo que son uno de los indicadores biológicos más utilizados (Taboada et al., 2018). - Gran rol dentro de la productividad primaria global, debido a que son algunos de los fotosintetizadores más importantes. - Incorporan oxígeno contribuyendo igualmente a la oxidación de la materia orgánica y al aumento del oxígeno disuelto en el agua.	- Aguas con pH <7 (ácidas) - Aguas litorales (Salazar, 2005) - Aguas con alta carga contaminante - Presencia de nutrientes. - Alta conductividad y temperatura. - Fenómenos climáticos (El Niño)	- Productor primario - Captura de carbono. - Producción de oxígeno. - Regulación de la biodiversidad. - Regulación climática - Depuradores de agua. - Constituyentes de la base de cadenas tróficas acuáticas. - Cultural: Bioindicación, investigaciones. etc.
 <i>Phacus sp1 (133 ind)</i> Clase: Euglenoidea	- Importantes indicadores de calidad del agua en diferentes unidades de tratamiento de aguas servidas. - Almacenan paramilo. - Son dominantes en aguas ricas en materia orgánica disuelta (Roldán & Ramírez, 2008).	- Ambientes muy sedimentados y de alta conductividad y con tendencia al enriquecimiento de materia orgánica, - Respondiendo a la tendencia a la mesotrófica (Pinilla A., 1998). - Indicadores de transición de condiciones mesotróficas a eutróficas del agua, - Abundancia de compuestos ferrosos, calcio y sales de amonio (Vasquez et al., 2006). - Aguas residuales.	- Productor primario. - Captura de carbono. - Producción de oxígeno. - Regulación de la biodiversidad. - Regulación climática.
 <i>Euglena sp3 (75 ind)</i> Clase: Euglenoidea	- Son persistente en los sistemas de distribución - Especie más resistente a los alguicidas.	- Aguas con alto contenido de sedimentos - Alta conductividad - Aguas ricas en materia orgánica - Presencia de pesticidas en el agua. - Rangos de salinidad y acidez bastante altos. - Carga elevada de metales pesados y cieno putrefacto. - Altas concentraciones de nitratos y fosfatos (Sarmiento, 2017).	- Altos niveles de procesos fotosintéticos. - Abastecimiento humano: fines biotecnológicos (Lifede, 2019)

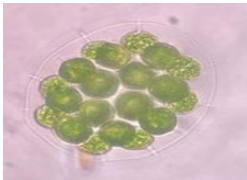
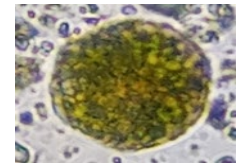
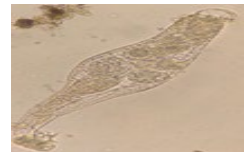
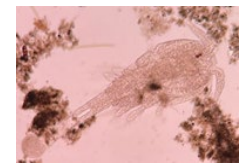
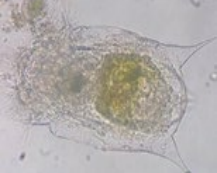
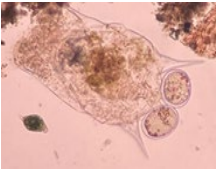
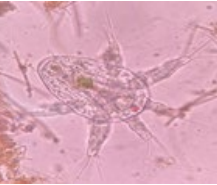
 <i>Eudorina sp1</i> (75 ind) Clase: Chlorophyceae	- Se desarrolla principalmente en primavera y otoño (Consejería de Medio Ambiente, 2013). - Consolidan el sustrato por medio de sus rizoides para evitar la erosión - Si bien la mayoría de las especies viven en hábitats de agua dulce y un gran número en hábitats marinos, otras especies se adaptan a una amplia gama de entornos.	- Baja mineralización, meso a eutrofia, periodo seco (Pinilla A., 1998). - Aparece formando parte del plancton de todo tipo de aguas estancadas, pero principalmente aparece en aguas someras de nivel trófico elevado. - Alta carga de materia orgánica y pH neutro.	- Productor primario. - Captura de carbono. - Producción de oxígeno. - Regulación de la biodiversidad.
 <i>Microcoleus sp1</i> (67 ind) Clase: Chlorophyceae	- Son uno de los principales y más representativos suministradores de Nitrógeno a cadenas tróficas de los mares - Responsables del cambio de una capa atmosférica reductora a una atmósfera oxigénica.	- Aguas corrientes y estancadas. - Sistemas lénticos, así como riberas húmedas y con tendencia a eutrofia (Streble & Krauter, 1987). - Aguas con elevada salinidad.	- Productor primario. - Captura de carbono y nitrógeno atmosférico al agua. - Producción de oxígeno. - Regulación de la biodiversidad. - Cultural: Bioindicación, investigaciones. etc.
 <i>Gomphosphaeria sp2</i> (58 ind) Clase: Cyanophyceae	- Suele utilizarse de forma excepcional para identificar aguas salinas o cargadas de materia orgánica. - Importantes para la circulación de nutrientes, incorporando nitrógeno a la cadena alimentaria.	- Ecosistema con tendencia de Mesotrófica a Eutrofia. - Condiciones extremas de salinidad. - Aguas estancadas.	- Productor primario. - Captura de carbono. - Producción de oxígeno. - Regulación de la biodiversidad.

Tabla 10. Bioindicadores comunidad zooplanctónica

Morfotipo	Importancia Ecológica	Indicador	Servicio Ecosistémico
 <i>Macrotrachela sp1</i> (79 ind) Clase: Bdelloidea	-Tienen tasas reproductivas altas -Tienen una alta eficiencia en cuanto a la transferencia de energía por parte de los productores primarios a consumidores secundarios	- Presencia de eutrofización. - Aguas con moderada concentración de metales pesados. - Aguas ácidas y distróficas - Sistemas con peces Planctívoros	- Control de bacterias, algas, levaduras y materia orgánica particulada. - Facilitan la transformación de la materia vegetal en tejido animal
 <i>Heterocope sp1</i> (33 ind) Clase: Hexanauplia	- Son especies con una taxonomía diversa pues por lo general se modifican su estructura y fisiología de forma prolongada (Cervantes Martinez et al., 2012). - Tienen un alto patrón corporal y debido a sus modificaciones físicas y fisiológicas son uno de los grupos de crustáceos más diversos del mundo.	- Aguas con baja o moderada concentración salina - Aguas mesotróficas a eutróficas - Presencia de metales pesados en el agua - Fuente importante para la biomagnificación de contaminantes tóxicos en las redes alimentarias acuáticas (Viteri Garcés et al., 2017).	- Fuente de alimento a diferentes seres vivos - Ciclado de nutrientes - Hospedadores de parásitos - Controladores de larvas de mosquitos

 <i>Brachionus sp3 (26 ind)</i> Clase: Monogononta	- Tienen tasas reproductivas altas - Ocupan aproximadamente el 30% de la totalidad de la biomasa zooplanctónica. - Importante intermediario en la constitución de cadenas tróficas marinas desde niveles primarios hasta consumidores finales.	- Indica que el ecosistema posee altas salinidades y durezas (Roldán & Ramírez, 2008) - Aguas eutróficas. - Aguas estancadas. - Aguas alcalinas (Márquez et al., 2013) - Aguas mesosaprobias y polisaprobias. - Asociado a la presencia de materia Orgánica. - Altos contenidos de Ca, cloruros, sulfatos y carbonatos -Sistemas con peces Planctívoros	- Estudios de biodiversidad por medio de análisis de fenotípicos, etológicos, genéticos, fisiológicos (culturales). - Constituyentes de cadenas tróficas acuáticas en consumidores de mayor tamaño. - Facilitan la transformación de la materia vegetal en tejido animal - Control de las poblaciones impidiendo afloramientos - Fuente de alimento para los alevinos (Lagos et al., 2014). - Contribución con procesos de descomposición de organismos muertos
 <i>Filinia sp2 (26 ind)</i> Clase: Monogononta	- Son morfotipos con la cualidad de soportar bajas concentraciones de oxígeno.	- Aguas alcalinas. - Aguas mesosaprobias y polisaprobias. - Sistemas eutróficos -Altos rangos de salinidad.	
 <i>Polyarthra sp1 (26 ind)</i> Clase: Monogononta	Esta especie es capaz de soportar un amplio rango de temperaturas para vivir, pero prefiere las aguas superficiales y los ambientes muy oxigenados (Microscopico, 2014).	- Aguas mesotróficas a eutróficas - Sistemas inmaduros (Pinilla A., 1998) - Altas temperaturas. - pH elevados y altas concentraciones de minerales (Caballero Rodríguez & Fierro Ortiz, 2015).	
 <i>Brachionus sp4 (23 ind)</i> Clase: Monogononta	-Tolera eutrofia y contaminación por materia orgánica. - Importante intermediario en la constitución de cadenas tróficas marinas desde niveles primarios hasta consumidores finales.	- Aguas estancadas. - Humedales de alta salinidad. - Aguas eutróficas y con pH alcalino. - Aguas alcalinas. - Altos contenidos de Ca, cloruros, sulfatos y carbonatos. - Materia orgánica.	
 <i>Nauplius sp1 (17 ind)</i> Clase: Hexanauplia	En estado larvario actúan como micro filtradores pasivos.	- Indicador de eutrofia [13]. - Aguas mesotróficas a eutróficas	- Se utilizan en la alimentación de peces dado su alto valor en proteínas, y en la de otras especies de interés comercial. - Fuente de alimento a diferentes seres vivos - Ciclado de nutrientes - Hospedadores de parásitos - Controladores de larvas de mosquitos

Para identificar los servicios ecosistémicos expuestos anteriormente se hace necesario evaluar las tendencias de comportamiento de las comunidades, así como las condiciones del agua en que habitan, según (Tallis et al., 2012), existen 4 componentes básicos a la hora de analizar los SE, como lo son su oferta y demanda potencial, el bienestar que estos generan en las sociedades, y la valoración que hacen las sociedades de estos. Por lo tanto, a partir de los indicadores evaluados encontramos que los servicios ecosistémicos considerados más relevantes son aquellos que tienen que ver con la producción primaria y la captura de carbono, siendo estos servicios de abastecimiento y de regulación muy valorados a nivel ambiental y social.

Cómo es posible identificar en la tabla anterior, la tendencia principal de los servicios ecosistémicos prestados por las comunidades de fitoplancton es en primer lugar la de productor primario de la cadena alimenticia del ecosistema en que habitan; en los ecosistemas como el humedal de Córdoba el fitoplancton es primordialmente responsable de la transformación del dióxido de carbono en carbono orgánico. Especies de las clases *Cyanophyceae* y *Chlorophyceae* se caracterizan por ser cianobacterias que frecuentemente aglomeran material para sedimentación en el tiempo, siendo así fijadores de carbono a largo plazo, por otra parte las especies de fitoplancton evaluadas albergan también fosfatos y nitritos de los cuales se alimentan otras especies.

El segundo servicio ecosistémico más destacado en estas comunidades fue la producción de oxígeno, el cual se da como resultado de la fotosíntesis de estos organismos los cuales convierten las moléculas de agua y CO₂ que posteriormente son liberadas a la atmósfera, autores como (Díaz et al., 2018) han afirmado que las comunidades planctónicas son responsables del 50% del oxígeno que albergan los humedales urbanos, siendo este mecanismo una variable fundamental para el resto de vegetación y especies de fauna del humedal.

En la segunda tabla se analizan las comunidades zooplanctónicas las cuales están constituidas esencialmente por rotíferos y crustáceos principalmente, los rotíferos juegan un papel fundamental en las cadenas tróficas pelágicas, no solamente por su papel en la cadena alimenticia sino porque son un eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios, cumpliendo así una función de control de bacterias, algas, levaduras y materia orgánica particulada, donde además pueden transferir materia y energía desde bacterias y partículas detríticas de pequeño tamaño, que son recursos no utilizables por otros organismos planctónicos, facilitando así la transformación de la materia vegetal en tejido animal. Por otra parte cumplen un papel fundamental en la regulación y ciclo de nutrientes a nivel terrestre acuático, autores como (Conde-Porcuna et al., 2002) sostienen que en los sistemas acuáticos y terrestres el nitrógeno y el fósforo pueden encontrarse en concentraciones más bajas en las plantas que en los herbívoros y, en consecuencia, los nutrientes de la dieta pueden limitar el crecimiento y la reproducción de estos organismos debido a que en sistemas oligotróficos, las entradas atmosféricas de fósforo y las diferencias en las cuencas de captación pueden controlar la abundancia de los organismos zooplanctónicos en una escala local.

Podemos determinar que los servicios de abastecimiento y regulación son los que más frecuentemente prestan este tipo de comunidades en el humedal de Córdoba, sin embargo existen servicios de apoyo y culturales que si bien se pueden considerar producto de la interacción de los distintos sectores del humedal son también atribuibles a los efectos de las comunidades planctónicas que funcionan como primer eslabón en las interacciones biológicas que ocurren en todo el ecosistema, no solo aportando a la cadena alimenticia y en procesamiento de micronutrientes, sino que también regulan la biodiversidad al albergar larvas y bacterias, y depurando el agua dulce la cual es el hábitat de muchas más especies del humedal que requieren de ciertas condiciones del agua para poder subsistir, las cuales se pretende mantener mientras existan unas condiciones ambientales adecuadas en el humedal.

Por último, al conocer la calidad de los tres sectores que conforman el humedal de Córdoba, a partir de los resultados obtenidos por el ICAI, se determina que la presencia de estos servicios antes identificados, se darán en mayor abundancia en el segundo sector, ya que este cuenta con una calidad intermedia, que no lo convierte en su totalidad en un ecosistema improductivo como resulta para el caso del tercer sector, pero, tampoco en uno sobresaturado de nutrientes como se evidencio en el primer sector.

Propuesta medidas de desarrollo y uso sostenible.

Tabla N°11. Propuestas para el humedal de Córdoba.

Programa Revitalización de la Calidad del Agua en el Humedal de Córdoba
Meta: Disminuir los contaminantes presentes en el agua del humedal y mejorar la calidad de los parámetros fisicoquímicos que tensionan los procesos naturales del ecosistema, de los cuales, depende la biodiversidad planctónica y sus servicios
Actividades
1. Revegetalización y adecuación de la ronda en las entradas del componente hídrico de cada sector del humedal.
2. Mantener una constante localización, monitoreo y control de los puntos en los cuales los canales y los

colectores de aguas lluvias reciben vertimientos de tipo doméstico e industrial, debido a que se generan nuevas conexiones constantemente. Según la gravedad de éstos, se puede realizar su sellamiento definitivo, drenar y encauzar las aguas residuales a lugares aptos para el tratamiento distante del humedal y su área de influencia, o el elevamiento del fondo de los drenajes, para conservar los niveles de agua dentro del humedal; según el caso.

3. Caracterización continua de cada uno de los canales aferentes (Córdoba, Callejas y Molinos) para determinar qué usuarios son los que están incorporando aguas sanitarias al sistema de aguas lluvias.

4. Para controlar el recurrente arrastre de residuos sólidos se requiere inicialmente limitar el acceso libre al humedal por su perímetro a partir de un cerramiento completo, adicionalmente, se requiere de la instalación de mallas de retención ubicadas en los sitios de entrada de los afluentes al humedal, junto a un continuo mantenimiento de estas para evitar colmataciones, represamientos y su deterioro.

5. Desarrollo de diferentes tipos estructurales de vegetación acuática y semiacuática con geometría bien conformada que permita un máximo de diversidad planctónica.

6. Reconociendo la importancia del tiempo de residencia del agua en el humedal, ya que este determina la capacidad de irrigación efectiva y disminuye la distribución de nutrientes y materia orgánica que deben ser retenidos por el humedal; se requiere aumentar la retención de agua, manteniendo un conocimiento detallado de la hidrología y la batimetría del este, evitando principalmente un flujo rectilíneo. Para esto se debe asegurar que el diseño y operación de las estructuras hidráulicas aseguren el funcionamiento hidrodinámico correcto, y también se pueden llevar a cabo dragados en el humedal de tal forma que se aumenten los tiempos de retención.

7. Considerando las obras que actualmente se desarrollan en el humedal, se debe evitar la intervención de estas en las zonas fuentes o las zonas litorales del mismo, para no alterar sus estructuras ecológicas ya consolidadas y así evitar posibles modificaciones de sus características hídricas actuales.

8. Con el fin de controlar los sedimentos, excesos de materia orgánica y otros contaminantes, se requiere de la construcción de sedimentadores que disminuyan la velocidad de flujo y retengan los sólidos sedimentables y nutrientes.

9. Contar con personal de vigilancia y seguridad capacitados y dotados con sistemas de monitoreo para regular la disposición inadecuada de escombros, residuos sólidos y líquidos contaminantes en el espejo de agua.

10. Extracción y control de plantas y especies invasoras para mejoramiento de actividades ecológicas en el recurso hídrico en especial el nicho ecológico de comunidades planctónicas.

11. Vinculación por medio de convenios con diversas universidades e instituciones de nivel superior, que puedan desarrollar actividades de investigación en el marco de tesis de pregrado y postgrado, aportando información valiosa y actualizada para mantener un monitoreo constante de la calidad hidrológica y biodiversidad planctónica.

12. Para el caso específico del predio privado perteneciente al primer sector, se requiere una constante regulación de semovientes (vacas, gansos, ovejas y gallinas) y de perros; ya que la presencia de estos al igual que sus residuos, se suman a la mala calidad que va a dar aguas abajo, considerando que en diferentes épocas se reproducen y aumentan su cantidad.

13. Llevar a cabo jornadas de limpieza permanentes, principalmente en la franja en que se extiende el cuerpo de agua.

14. Ejecutar limpieza del alcantarillado pluvial mediante el equipo de succión-presión.

CONCLUSIONES

En el estudio realizado en el humedal de Córdoba se identificó una diversidad alta de morfotipos de fitoplancton durante las tres temporadas de muestreo, dominada por *Oscillatoria sp1*, *Frustulia sp*, *Phacus sp* y *Euglena sp*; que se relacionan con la oferta de oxígeno disuelto al agua, la captura de carbono, la descomposición de materia orgánica y la autodepuración del agua por contaminación orgánica, entre otros servicios ecosistémicos.

El zooplancton presentó una menor biodiversidad, estructura y abundancia, en comparación con la comunidad fitoplanctónica, pero, contando con morfotipos representativos como lo son *Matrochela sp*, *Heterocope sp*, *Holasticha sp* y *Brachionus sp* cuya bioindicación, responde a aguas con condiciones de mesotrofia.

A partir del análisis temporal se evidenció que el mes de agosto (temporada 3), fue donde se identificó una mayor abundancia de estos morfotipos considerando que este mes contó con características climatológicas (temperatura promedio, precipitaciones medias, humedad relativa) óptimas para el desarrollo de dichas comunidades.

Desde un punto de vista espacial, se evidenció que el tercer sector dispone de condiciones hidrobiológicas y físico químicas que permitieron contar con las mayores abundancias de los morfotipos en comparación a los otros dos sectores, denotando una condición de tendencia a la oligotrofia, es decir con menor enriquecimiento de materia orgánica y mejor calidad del agua.

A partir de dichos morfotipos representativos y los índices hidrobiológicos (riqueza, equidad y dominancia), se determinó que el cuerpo hídrico del humedal cuenta con condiciones características de un ecosistema con tendencias a la eutrofización y con altos contenidos de materia orgánica, producto de las actividades antrópicas desarrolladas en el mismo.

En cuanto a las variables fisicoquímicas, parámetros como el DBO y OD en los tres meses analizados, presentaron niveles bajos, condiciones asociadas a un cuerpo de agua con anoxia, por ende, con un menor desarrollo metabólico por parte de la comunidad planctónica.

La concentración de fosfatos mantuvo una presencia mayor a la necesaria, reconociendo lo determinante que resulta su papel en la proliferación de los individuos. Se destaca que el segundo y tercer sector presentaron condiciones fisicoquímicas similares, mientras que el primer sector fue el que contó con una variación principalmente de la turbiedad y PO₄, con resultados altos, condiciones por las cuales dicho sector fue el que presentó la menor proliferación de morfotipos.

De acuerdo con el ICAI, se obtuvo que el tercer sector durante todo el monitoreo contó con la mejor calidad, seguido a este, se encontró el segundo sector con condiciones intermedias siendo el primer sector el que en peor estado se encuentra, en función del análisis general del humedal y los rangos de interpretación establecido para el mismo.

Se destaca la manera en que este índice logró incorporar los parámetros fisicoquímicos (conductividad, OD y fosfatos) e indicadores hidrobiológicos (Margalef, Simpson y Shannon), como aquellas variables que contaron con una mayor sensibilidad según el análisis estadístico. Este resultado refleja la utilidad de este índice como herramienta para determinar la calidad de los humedales.

La correlación por el método de Spearman permitió establecer una relación negativa entre el OD y los índices biológicos, mayoritariamente, con el índice de Simpson puesto que ante una mayor presencia de biodiversidad en el ecosistema existe un mayor requerimiento de oxígeno por lo que las cantidades de este parámetro disminuyen en función de la presencia de los organismos; de igual forma, se puede concluir que el oxígeno es una medida indirecta de los índices biológicos trabajados. A su vez, se destaca una correlación negativa, en ambos sectores, entre el OD y la conductividad, dado que a mayor presencia de salinidad en el agua se incrementa la actividad microbiana y, por ende, el consumo de oxígeno para los microorganismos.

Identificada la calidad general del recurso hídrico del humedal y el comportamiento de la comunidad planctónica en el tiempo y el espacio, se reconoce la necesidad de enfocar las propuestas de desarrollo y uso sostenible a la mejora de la calidad del agua, con el fin de que los parámetros fisicoquímicos presente

una condición más óptima para dichas comunidades, y de esta manera, mejorar la prestación de sus servicios ecosistémicos.

REFERENCIAS

- APHA. (2012). *American Public Health Association*. <https://www.apha.org/>
- Atlas, W. (2021). *Previsión Meteorológica y Clima Mensual, Colombia*. Recuperado el (6 de octubre de 2021) de <https://www.weather-atlas.com/es/colombia/bogota-clima>
- Caballero Rodríguez, L. E., & Fierro Ortiz, E. (2015). *Evaluación de la calidad del agua del humedal de Santa María del Lago mediante el uso de índices biológicos y fisicoquímicos para su implementación en otros humedales*. (Grado Académico). Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.
- Campo, A. M., & Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 34(2), 25–42. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071
- Cervantes Martinez, A., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Delgado Blas, V. H., & Ruíz Ramirez, J. D. (2012). Especies De Zooplancton Dulceacuicola De Cozumel. In *Universidad de Quintana Roo*. https://www.researchgate.net/publication/287773330_Cladoceros_y_copepodos_dulceacuicolas
- Chacon, K. (2011). Efecto del Fitoplancton sobre diferentes concentraciones de Manganese (Mn) en la planta de tratamiento de Tibitoc S.A. In *Phys. Rev. E*. (Grado Académico). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>
- Chivata, J. T. (2016). *Fitoplancton y zooplancton Bogotá Humedales*. Universidad Francisco José de Caldas. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19362.66247>
- Colina, L. M. (2017). *Variabilidad funcional e interacciones tróficas en comunidades planctónicas: efecto del estado trófico y la región climática en lagos*. (Grado Académico). Universidad De la Republica de Uruguay, Montevideo, Uruguay. 1–109.
- Conde, J., Ramos, E., & Morales, R. (2004). *El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos*. Asociación Española de Ecología Terrestre 13(2), 23–29.
- Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E., & Pérez-Martínez, C. (2002). Correlations between nutrient concentrations and zooplankton populations in a mesotrophic reservoir. *Freshwater Biology*, 47(8), 1463–1473. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00882.x>
- Consejería de Medio Ambiente, J. de A. (2013). *Atlas de Microorganismos*. Recuperado el (12 de agosto de 2021). http://personal.telefonica.terra.es/web/ayma/atlas_m.htm
- Cottrino, J. (2020). Análisis de la Calidad del Agua del Humedal Jaboque mediante la identificación de la comunidad fitoplanctonica y las condiciones fisicoquímicas del agua (Grado Académico). Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.
- Cubas, P. (2008). *Cyanophyta*. Botánica, 1–4. Recuperado de <http://www.aulados.net>
- Díaz, I., Sedas, E., & Burguillo, M. (2018). *Servicios Ecosistémicos En Humedales* (Sedema). Espejo Imagen S.A. Veracruz, Mexico.
- Escalante Espinosa, T. (Facultad de C. (2007). ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 14, 56–58.
- Escalante, T. (2003). ¿Cuántas especies hay? los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos*, 52(January 2003), 53–56.
- Flickr. (2008). *Proyecto Agua-Frustulia*. <https://www.flickr.com/photos/microagua/2561427841>
- Fuenmayor, G., Jonte, L., Rosales-loaiza, N., & Morales, E. (2009). *Crecimiento de la cianobacteria marina Oscillatoria sp . MOF-06 en relación al pH en cultivos discontinuos*. 29(317–973x), 21–25.
- Galindo Hernández, G. (2006). *Prólogo al plan de manejo ambiental del humedal de Córdoba*. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 430.
- González del Tanago, M., & García Jalón, D. (1984). Desarrollo De un Indice Biologico Para Estimar La Calidad De Las Aguas De La Cuenca Del Duero. *Limnetica*, 1(2), 263–272.

- IDEAM. (2017). Protocolo de Monitoreo del Agua - Colombia. In *Ideam* (pp. 1–587).
http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO_MONITOREO_AGUA_IDEAM.pdf
- Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia. (2007). *Plan de Manejo Ambiental del Humedal Córdoba - Plan Acción*. 172.
- Jiménez-Delgadillo, R., Valdés-Rodríguez, S. E., Olalde-Portugal, V., Abraham-Juárez, R., & García-Hernández, J. L. (2018). Efecto del pH y temperatura sobre el crecimiento y actividad antagónica de *Bacillus subtilis* sobre *Rhizoctonia solani*. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 36(2), 256–275. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1711-3>
- Lagos, A. M., Angulo, A., Daza, A., Toro, D., González, J. A., León, M. V., López, M., Naar, O., Polanco, P. P., Londoño, R., & Quiroga, S. (2014). Zooplankton. *InfoZoa*, 3, 1–22.
https://www.unimagdalena.edu.co/Content/Public/Docs/Entrada_Facultad3/adjunto_1029-20181004104749_622.pdf
- Lifede. (2019). *Euglenophyta: características, reproducción, nutrición, clasificación*. Recuperado el (23 de agosto de 2021) <https://www.lifeder.com/euglenophyta/>
- López, J., Olivera, E., Rey, G., & Nava, G. (2011). *Manual de Instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*. Instituto Nacional de Salud. Bogotá, Colombia
- Margalef, R. (1983). *Limnología* (Omega).
- Márquez, J. L. G., Mendoza, B. P., Santiago, J. L. G., & Pineda, V. G. (2013). Composición, abundancia del zooplankton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos TT - Zooplankton composition, abundance and water quality in a microreservoir at Morelos State. *Hidrobiológica*, 23(2), 227–240. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972013000200011&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v23n2/v23n2a11.pdf
- Microscopico, M. (2014). *Polyarthra vulgaris*. <https://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Polyarthra-vulgaris-img1244.html>
- Decreto 1076 26 de mayo de 2015, 1 Diario Oficial 654 (2015).
<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>
- Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia, 67 (2002).
- Moreno, C. (2001). *Metodos para medir la Biodiversidad*. CYTEP. Zaragoza, España
- Pinilla A., G. A. (Gabriel A. P. A. (1998). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones Científicas.
- Pinilla, G. A., Canosa, A., Vargas, A., Gavilán, M., & López, L. (2007). Acoplamiento entre las comunidades planctónicas de un lago amazónico de aguas claras (lago Boa, Colombia). *Limnetica*, 26(1), 53–65.
- Pulido, P. (2015). *El Fitoplancton en la Determinacion del Estado Trofico del Humedal el Salitre (Bogotá D.C., Colombia) en epocas climaticas contrastantes*. 3, 8–90.
<http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000>
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. In U. Católica & U. de Antioquia (Eds.), *Editorial Universidad de Antioquia* (Vol. 2). <http://www.ianas.com/docs/books/wbp14.pdf>
- Salazar, L. (2005). *Plan de Manejo Ambiental del Proyecto de Recuperación Hidrica y Biotica del Humedal de Cordoba*. Bogota, Colombia. 20.
- Santillán-Aredo, S. R., & Guerrero-Padilla, A. M. (2018). Macroinvertebrados y fitoplancton como bioindicadores de contaminación en la cuenca del río Chicama, Perú. *Revista Tecnología En Marcha*, 31, 97–110. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i4.3968>
- Sarmiento, M. (2017). Microalgas como Indicadores Biologicos de Estado Trofico de las Cienagas de Malambo y Santo Tomas, en el departamento de Atlantico. In *Occupational Medicine* (Vol. 53, Issue 4).
- Streble, H., & Krauter, D. (1987). *Atlas de los microorganismos de Agua Dulce La vida en una Gota de Agua* (Omega, S.a).

- Taboada, M. de los Á., Martínez De Marco, S. N., Bustos, M. S., & Tracanna, B. (2018). Nuevos registros de Bacillariophyceae en ecosistemas lóticos del Noroeste de Argentina II. *Lilloa*, 55(1), 81–97. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2018.55.1/7>
- Tallis, H., Mooney, H., Andelman, S., Balvanera, P., Cramer, W., Karp, D., Polasky, S., Reyers, B., Ricketts, T., Running, S., Thonicke, K., Tietjen, B., & Walz, A. (2012). A global system for monitoring ecosystem service change. *BioScience*, 62(11), 977–986. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.11.7>
- Universidad Complutense de Madrid. (2001). Variable Indicador Del Agua - Oxígeno disuelto en agua. *Repositorio*, 1–4. [https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Oxigeno disuelto f.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Oxigeno%20disuelto%20f.pdf)
- Universidad de Pamplona. (2007). Capítulo III: índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. *Índices De Calidad Y De Contaminación Del Agua*, 76. http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
- Unnrein, F. (2001). Efecto de los nutrientes y el ph sobre el crecimiento y la estructura del fitoplancton en ambientes de la llanura aluvial del Paraná Inferior. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Vargas, C. (2017). *Efecto de borde sobre la composición de quirópteros filostómidos en el derecho de vía, del Proyecto Poliducto Pascuales Cuenca, en un tramo del bosque San José, CañarEcuador*.
- Vasquez, C., Ariza, A., & Pinilla, G. (2006). Descripción Del Estado Trófico De Diez Humedales Del Altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum*, 11(2), 61–75.
- Vásquez Zapata, G. L., Herrera Orozco, L., Cantera Kintz, J. R., Galvis Castaño, A., Cardona Zea, D. A., & Hurtado Sánchez, I. C. (2012). Methodology for Determining Eutrophication Levels in Aquatic Ecosystems. *Rev. Asoc. Col. Cienc.(Col.)*, 24, 112–128.
- Víctor D. Carmona-Galindo, T. V. C. (2015). La Diversidad De Los Análisis De Diversidad. *Bioma*, 14(November), 54–71.
- Villabona-González, S. L., Benjumea-Hoyos, C. A., Gutiérrez-Monsalve, J. A., López-Muñoz, M. T., & González, E. J. (2020). Main physicochemical and biological variables in the trophic state of five Colombian Andean reservoirs. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 344–359. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1051>
- Viteri Garcés, M., Chalen Medina, J., & Cevallos Revelo, Z. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Dominio de Las Ciencias*, 3(3), 628–646. <https://doi.org/10.23857/dc.v3i3.497>