



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO MEDIANTE EL USO DE ÍNDICES BIOLÓGICOS Y FÍSICOQUÍMICOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN OTROS HUMEDALES

**ERIKA FIERRO ORTIZ
LUIS ENRIQUE CABALLERO RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2015**



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO MEDIANTE EL USO DE ÍNDICES BIOLÓGICOS Y FÍSICOQUÍMICOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN OTROS HUMEDALES

**ERIKA FIERRO ORTIZ
LUIS ENRIQUE CABALLERO RODRÍGUEZ**

Proyecto de trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Ambientales

**Director de Tesis
LILIANA SALAZAR LÓPEZ
BIÓLOGA M.Sc.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2015**



Nota de aceptación

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá, Abril de 2015.

***Dedicatoria***

A Dios por la luz que ha puesto en nosotros; a nuestros padres, por la semilla de superación que han sembrado a lo largo de nuestras vidas; a nuestros hermanos por su apoyo emocional y estímulo; a Liliana Salazar a quien le debemos lo que ahora somos y a Carlos Villamil por su apoyo en este proceso.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	16
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	17
1.1 GENERALIDADES DE LOS HUMEDALES.....	17
1.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS HUMEDALES	17
1.3 COMUNIDADES ACUÁTICAS	18
1.4 ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA.....	18
1.5 ÍNDICES BIOLÓGICOS.....	19
1.5.1 Fitoplancton	19
1.5.2 Zooplancton.....	20
1.5.3 Macroinvertebrados	21
1.6 HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO	21
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	25
3. OBJETIVOS	26
3.1 GENERAL.....	26
3.2 ESPECÍFICOS.....	26
4. METODOLOGÍA.....	27
4.1 SELECCIÓN DE PUNTOS Y PERIODICIDAD DEL MUESTREO.....	27
4.2 FASE DE CAMPO	28
4.2.1 Muestreo Físicoquímico.....	28
4.2.2 Muestreo Hidrobiológico	29
4.3 FASE DE LABORATORIO.....	31
4.3.1 Parámetros Físicoquímicos	31
4.3.2 Parámetros Hidrobiológicos.....	32
4.4 FASE DE ANÁLISIS	33
4.4.1 Modelo estadístico Primer V5®	33
4.4.2 Modelo estadístico PAST	35
4.4.3 Modelo BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party).....	35
4.4.4 ICATEST V1.0®	37
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1 ESPACIALIZACIÓN DEL HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO	38



5.1.1	Entrada Humedal.....	38
5.1.2	Frente a la Administración	38
5.1.3	Intermedio Entrada – Salida	39
5.1.4	Salida Humedal	39
5.2	<i>ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS</i>	<i>41</i>
5.2.1	Fitoplancton	41
a.	Comportamiento temporal de la comunidad fitoplanctónica.....	38
b.	Comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica.....	43
c.	Composición general de la comunidad fitoplanctónica.....	45
5.2.2	Zooplancton.....	59
a.	Comportamiento temporal de la comunidad zooplanctónica.....	59
b.	Comportamiento espacial de la comunidad zooplanctónica.....	60
c.	Composición general de la comunidad zooplanctónica.....	62
5.2.3	Macroinvertebrados.....	77
a.	Comportamiento temporal de la comunidad de macroinvertebrados..	77
b.	Comportamiento espacial de la comunidad de macroinvertebrados...	78
c.	Composición general de la comunidad de macroinvertebrados.....	80
5.3	<i>CONDICIONES FÍSICOQUÍMICAS DE CALIDAD DE AGUA DEL HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO.....</i>	<i>95</i>
5.3.1	Temperatura	95
5.3.2	pH.....	96
5.3.3	Oxígeno Disuelto y DBO5.....	97
5.3.4	Turbiedad	99
5.3.5	Sólidos Disueltos Totales	100
5.3.6	Fosfatos.....	101
5.3.7	Nitratos	102
5.3.8	Coliformes Totales.....	104
5.4	<i>DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA´S)</i>	<i>105</i>
5.5	<i>ESTADO TRÓFICO DEL HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO.....</i>	<i>111</i>
6.	CONCLUSIONES.....	115
7.	RECOMENDACIONES	118
	GLOSARIO.....	120
	BIBLIOGRAFÍA.....	122



LISTA DE TABLAS

Tabla1 . Rango evaluación del ICA	18
Tabla2 . Parámetros determinación del ICA	19
Tabla3 . Condiciones Fisicoquímicas del Humedal de Santa María del Lago	23
Tabla4 . Ubicación de los puntos de muestreo en el humedal de Santa María del Lago	27
Tabla5 . Parámetro, volumen para su análisis, recipientes	29
Tabla6 . Especificaciones metodológicas para la toma de muestras en campo....	30
Tabla7 . Listado de técnicas analíticas empleadas por el laboratorio ANTEK S.A.S.....	31
Tabla8 . Índices biológicos	34
Tabla 9. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.....	36
Tabla 10. Clases de calidad de agua, Valores BMWP/Col., Significado y colores para representaciones cartográficas	36
Tabla11 . Observaciones puntos de muestreo - Agua Superficial	40
Tabla 12. Distribución porcentual de las clases taxonómicas de la comunidad de fitoplancton.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 13. Composición temporal de las clases taxonómicas de fitoplancton según el número total de especies presentes.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 14. Composición espacial de las clases taxonómicas de fitoplancton según el número de especies presentes	44
Tabla 15. Composición de las familias de fitoplancton según el número total de especies presentes.....	45
Tabla 16. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio	46

Tabla 17. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio.....	48
Tabla 18. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio	50
Tabla 19 . Índices de Riqueza (S)	52
Tabla 20. Índice de Abundancia (N)	53
Tabla 21. Índice de Uniformidad (J')	53
Tabla 22. Índice de Diversidad (H')	54
Tabla 23. Índice de Predominio (1- λ).....	54
Tabla 24. Serie de Números de Hill (N1-N2-N10-N21).....	55
Tabla 25. Porcentaje de las especies para cada clase de la comunidad de zooplancton.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 26. Composición temporal de las clases taxonómicas de zooplancton según el número total de especies presentes.....	60
Tabla 27. Composición espacial de las clases taxonómicas de zooplancton según el número total de especies presentes.....	61
Tabla 28. Composición de las familias de zooplancton según el número total de especies presentes.....	62
Tabla 29. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio	63
Tabla 30. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio.....	65
Tabla 31. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio	68
Tabla 32. Índice de Riqueza (S)	70
Tabla 33. Índice de Abundancia (N)	71
Tabla 34. Índice de Uniformidad (J')	71



Tabla 35. Índice de Diversidad (H')	72
Tabla 36. Índice de Predominio ($1 - \lambda$).....	72
Tabla 37. Serie de Números de Hill (N_1 - N_2 - N_{10} - N_{21}).....	73
Tabla 38. Porcentaje de las especies para cada clase de la comunidad de Macroinvertebrados.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 39. Composición temporal de las clases taxonómicas de macroinvertebrados según el número total de especies presentes	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 40. Composición espacial de las clases taxonómicas de macroinvertebrados según el número total de especies presentes	79
Tabla 41. Composición de los macroinvertebrados según el número total de especies presentes.....	80
Tabla 42. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio.....	81
Tabla 43. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio.....	83
Tabla 44. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio.....	86
Tabla 45. Familias presentes en punto EH y su correspondiente puntuación del índice BMWP/Col.....	88
Tabla 46. Familias presentes en punto SH y su correspondiente puntuación del índice BMWP/Col.....	89
Tabla 47. Familias presentes en punto FA y su correspondiente puntuación del índice BMWP/Col.....	90
Tabla 48. Familias presentes en punto IES y su correspondiente puntuación del índice BMWP/Col.....	90
Tabla 49. Resumen del índice BMWP/Col., para los cuatro puntos de monitoreo	91
Tabla 50. Comportamiento Temperatura.....	95
Tabla 51. Comportamiento pH.....	96



Tabla 52. Comportamiento Oxígeno Disuelto.....	97
Tabla 53. Comportamiento DBO ₅	98
Tabla 54. Comportamiento Turbiedad.....	99
Tabla 55. Comportamiento Sólidos Disueltos Totales.....	100
Tabla 56. Comportamiento Fosfatos.....	101
Tabla 57. Comportamiento Nitratos.....	102
Tabla 58. Comportamiento Coliformes Totales.....	104
Tabla 59. Índice de calidad de agua (ICA'S) - EH.....	105
Tabla 60. Índice de calidad de agua (ICA'S) - SH.....	106
Tabla 61. Índice de calidad de agua (ICA'S) - FA.....	108
Tabla 62. Índice de calidad de agua (ICA'S) - IES.....	109
Tabla 63. Usos del agua según su ICA.....	111



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del humedal de Santa María del Lago	22
Figura 2. Imagen satelital del humedal de Santa María del Lago con la ubicación de los puntos de muestreo.....	27
Figura 3. Fotografías de los puntos de muestreo en el Humedal Santa María del Lago: Entrada Humedal (EH); Salida Humedal (SH); Frente Administración (FA); Intermedio entre Entrada y Salida (IES).....	28
Figura 4. Fotografías de la determinación de los parámetros fisicoquímicos ...	29
Figura 5. Fotografías de la recolección de muestras de comunidades hidrobiológicas	31
Figura 6. Fotografías de observación en el laboratorio de las muestras de fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados.....	32
Figura 7. Entrada Humedal.....	38
Figura 8. Frente a la administración	39
Figura 9. Intermedio Entrada – Salida	39
Figura 10. Salida Humedal	40



LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución porcentual de las clases taxonómicas de la comunidad de Fitoplancton.....	42
Gráfica 2. Composición temporal de las clases taxonómicas de fitoplancton según el número total de especies presentes.....	43
Gráfica 3. Composición espacial de las clases taxonómicas de fitoplancton según el número de especies presentes	44
Gráfica 4. Composición de las familias de fitoplancton según el número total de especies presentes.....	45
Gráfica 5. Abundancia de los géneros de fitoplancton por divisiones en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio	46
Gráfica 6. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio	48
Gráfica 7. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio.....	51
Gráfica 8. Similaridad 10 de junio.....	56
Gráfica 9. Similaridad 17 de junio.....	57
Gráfica 10. Similaridad 24 de junio.....	58
Gráfica 11. Porcentaje de las especies para cada clase de la comunidad de zooplancton	59
Gráfica 12. Composición temporal de las familias de zooplancton según el número total de especies presentes	60
Gráfica 13. Composición espacial de las familias de Zooplancton según el número total de especies presentes	62
Gráfica 14. Composición de las familias de zooplancton según el número total de especies presentes.....	63
Gráfica 15. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio	64
Gráfica 16. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio	66



Gráfica 17. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio	68
Gráfica 18. Similaridad 10 de junio.....	74
Gráfica 19. Similaridad 17 junio.....	75
Gráfica 20. Similaridad 24 junio.....	76
Gráfica 21. Porcentaje de las especies para cada clase de la comunidad de Macroinvertebrados.....	77
Gráfica 22. Composición temporal de Macroinvertebrados.....	78
Gráfica 23. Composición espacial del Macroinvertebrados.....	80
Gráfica 24. Composición de los Macroinvertebrados según el número total de especies presentes.....	81
Gráfica 25. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio.....	82
Gráfica 26. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio.....	84
Gráfica 27. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio.....	86
Gráfica 28. Similaridad 10 de junio.....	92
Gráfica 29. Similaridad 17 junio.....	93
Gráfica 30. Similaridad 24 de junio.....	94
Gráfica 31. Comportamiento Temperatura.....	96
Gráfica 32. Comportamiento pH.....	97
Gráfica 33. Comportamiento Oxígeno Disuelto y DBO ₅	99
Gráfica 34. Comportamiento Turbiedad.....	100
Gráfica 35. Comportamiento Sólidos Disueltos Totales.....	101
Gráfica 36. Gráfica 36. Comportamiento Fosfatos.....	102



Gráfica 37. Comportamiento Nitratos	103
Gráfica 38. Comportamiento Coliformes Totales.....	104
Gráfica 39. Índice de calidad de agua (ICA'S) - EH.....	106
Gráfica 40. Índice de calidad de agua (ICA'S) - Salida Humedal	107
Gráfica 41. Índice de calidad de agua (ICA'S) - Frente Administración.....	109
Gráfica 42. Cálculo ICA punto monitoreo IES.....	110

RESUMEN

Este estudio planteó como objetivo evaluar 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, la metodología contempló tres muestreos (10, 17 y 24 de junio de 2014) hidrobiológicos y fisicoquímicos en cuatro puntos seleccionados, los cuales fueron: Entrada Humedal (EH), Salida Humedal (SH), Frente Administración (FA) e Intermedio Entrada-Salida (IES). Los resultados evidenciaron diferencias en composición y abundancia entre las comunidades hidrobiológicas y los atributos del hábitat representados en las variables fisicoquímicas (T° , pH, DBO, turbiedad entre otros) e hidrobiológicas (índices de Riqueza, Abundancia, Uniformidad, Diversidad, Predominio, Serie números de Hill, BMWP/Col.) consideradas.

Es un hecho que la composición de las comunidades de fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados refleja la calidad de los ecosistemas. Por ello, para este estudio se obtuvo para la comunidad fitoplanctónica, la mayor presencia por parte de la clase Chlorophyceae con un porcentaje de 31,61% y 55 individuos, destacando para esta clase el género Oocystis; en la comunidad zooplanctónica la clase Monogonta obtuvo un porcentaje de 26,32% con la presencia de 33 individuos, sobresaliendo el género Lecane; para los macroinvertebrados la clase que obtuvo mayor porcentaje fue la clase Insecta con un valor de 42,06% y la presencia de 45 individuos, destacándose la familia Chironomidae en su estadio larval (Morfo 71).

Cabe resaltar que los géneros encontrados en los tres muestreos a lo largo de los cuatro puntos de monitoreo que presentaron mayor abundancia en las comunidades de fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados fueron: Trachelomonas, estadio larval de los copépodos (Morfo 3) y destacándose la familia Chironomidae en su estadio larval (Morfo 71), para cada comunidad respectivamente.

Con respecto a la caracterización fisicoquímica encontramos que los parámetros de Oxígeno disuelto, Coliformes Totales, Temperatura, y DBO_5 se hallan en límites de calidad mala a muy mala, con valores promedio 4,6 mg/L O_2 para oxígeno disuelto, 35691,7 NMP/100mL para coliformes totales, 18,6 $^{\circ}C$ para temperatura y 11,3 mg/L O_2 para DBO_5 siendo estos los parámetros responsables de que el índice de calidad de agua no alcance valores de excelente.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que el Humedal Santa María del Lago se encuentra en un estado de mesotrofia a eutrofia, así mismo se concluye que la calidad del agua es mala en relación a lo obtenido en los ICA, todo lo anterior mediante el análisis de bioindicación de cada una de las comunidades hidrobiológicas y los respectivos taxa más abundantes para cada caso.

Palabras clave: Humedal de Santa María del Lago, Estado trófico, Calidad del agua, Índices Biológicos, Índices Fisicoquímicos.



INTRODUCCIÓN

El humedal de Santa María del Lago es un humedal de planicie localizado en la ciudad de Bogotá D.C.; este ecosistema ha sido afectado por las construcciones y edificaciones en su terreno y la contaminación debido a fuentes cruzadas del sistema de alcantarillado que vierten sus aguas en diferentes puntos del cuerpo de agua del humedal¹. Actualmente, presenta un manejo y una gestión para su conservación, ya que ha sido un humedal recuperado que presenta una característica de conservación adecuada evidenciada por la oferta biótica que se observa en él.

Esta oferta biótica se enmarca en la presencia de diferentes biotopos que interfieren directamente en la calidad del agua del mismo, lo que facilita que este ecosistema sirva de laboratorio viviente para comparar la validez de diferentes índices, para evaluar la calidad del agua y establecer el estado metabólico de los ecosistemas acuáticos.

A nivel mundial es conocido el deterioro de estos cuerpos de agua por ser receptores de sustancias tóxicas, contaminantes orgánicos e inorgánicos, los cuales contaminan las aguas y los sedimentos². Como resultado de la dinámica de estos procesos, la calidad del agua puede exhibir variaciones temporales y espaciales, que se pueden identificar además del grado de concentración de las sustancias contaminantes, por la presencia y estructura de las comunidades acuáticas, que contribuye con el tiempo al incremento del proceso de eutrofización.

La comunidad planctónica y de macroinvertebrados se establecen por lo tanto, como una herramienta importante para mostrar y medir los efectos de los cambios que se producen en este sistema; así mismo, la valoración de los parámetros fisicoquímicos es fundamental para conocer los factores que posiblemente influenciados por la actividad antrópica, están causando variaciones en la comunidad planctónica y de macroinvertebrados.

El propósito fundamental de este estudio es la 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, lo que permite dilucidar su dinámica espacial y temporal y su relación con el estado trófico del humedal en el periodo de muestreo comprendido entre los días 10, 17 y 24 de junio de 2014, para poder, finalmente, implementar dicho proceso en otros humedales.

1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1 GENERALIDADES DE LOS HUMEDALES

De acuerdo a la convención de los humedales, éstos se definen como: “Las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”³.

Los humedales son ecosistemas intermedios entre el medio acuático y el terrestre, con sectores húmedos, semihúmedos y secos, caracterizado por la presencia de flora y fauna muy singular. El humedal es decisivo para la vida de muchas especies, algunas endémicas y en peligro de extinción. También es útil por tener una gran capacidad de absorción y actúa como una gran esponja que retiene el exceso de agua durante los periodos lluviosos reservándola para las temporadas secas, por lo que regula los efectos perjudiciales de las crecientes de los ríos y los consecuentes riesgos de inundación⁴.

Los humedales figuran entre los ecosistemas más productivos del mundo, son fuente de diversidad biológica y suministro de agua y productividad de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir. Dan sustento a altas concentraciones de especies de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces e invertebrados³.

1.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS HUMEDALES

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM o MEA por su sigla en inglés) publicó en el 2005 un informe sobre el estado actual de los humedales a nivel mundial; la problemática de todos ellos lamentablemente es general, siendo en algunos casos más crítica la situación para los ambientes continentales. A continuación se mencionan algunos de los aspectos de dicho informe⁴.

- Degradación y desaparición de los humedales más rápida que la experimentada por otros ecosistemas.
- El estado de las especies asociadas directa o indirectamente con ellos presenta un mayor deterioro que el de aquellas presentes en otros ecosistemas.
- Los principales generadores de este fenómeno han sido el crecimiento de la población y el creciente desarrollo económico que causan la proliferación de infraestructuras ligadas al desarrollo que interfieren o cambian la dinámica natural del hábitat.
- Los cambios en el uso del suelo, ya sea para urbanización, agricultura, extracción de agua que en algunos casos es abusiva y excede las capacidades del humedal.
- Eutrofización, contaminación, sobreexplotación de las especies de fauna y la introducción de especies exóticas invasoras, entre otros factores⁵.
- Aumento en las concentraciones de nitrógeno, fósforo, azufre y otros contaminantes asociados a los nutrientes, se ha convertido en uno de los principales y más graves

generadores de cambio en los humedales. Esto ha provocado eventos como la acidificación de ecosistemas de agua dulce y la proliferación de algas que en algunos casos son tóxicas y han causado intoxicación y muerte de grandes y pequeños animales, así como mortandades de peces debido a hipoxia o anoxia (baja concentración o ausencia de oxígeno disuelto) ⁵.

1.3 COMUNIDADES ACUÁTICAS

Las comunidades acuáticas son un grupo de organismos de diferentes especies o poblaciones, que habitan en un cuerpo hídrico de un área o región específica y por un tiempo determinado, ya sea insectos, peces, anfibios, reptiles, aves o mamíferos entre otros.⁵

Entre las comunidades acuáticas se encuentra el plancton; está constituido por pequeños animales y plantas de muy poca capacidad de locomoción, por lo que están distribuidos en el agua a merced de la corriente. Si el plancton es de origen animal se refiere al *zooplancton* y si es de origen vegetal se refiere al *fitoplancton*. El plancton, en general, constituye la base de la cadena alimenticia en el agua⁶.

1.4 ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA

Un índice de calidad de agua (ICA) es una expresión simple de una combinación de parámetros, el cual sirve como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso, un color⁷.

Los ICA tienen como objeto estimar (generalmente valores entre 0 y 1), el grado de calidad de un determinado cuerpo hídrico continental. Con ello se pretende reconocer problemas de contaminación de una forma ágil, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas; esto se resalta cuando hay que realizar una gran cantidad de evaluaciones de forma periódica acorde con el valor obtenido, la calidad de un cuerpo de agua queda definida como (Tabla 1)⁸:

Tabla 1. Rango evaluación del ICA

91 -100	Excelente
71 – 90	Buena
51 – 70	Regular
26 – 50	Mala
0 – 25	Pésima

Fuente: H. A. Muhlhauser, 6. Generalidades sobre el uso de índices de cambios ecológicos en ecosistemas acuáticos temperados” [en línea], Santiago de Chile, 2014. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/008/ad773s/AD773S07.htm>

Para la determinación de “ICA” intervienen 9 parámetros, los cuales son (Tabla 2):

Tabla2. Parámetros determinación del ICA

UNIDAD DE MEDIDA	PARAMETROS
UFC/100 ml	Coliformes Totales
unidades de pH	pH
DBO ₅ en mg/l	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días
NO ₃ en mg/l	Nitratos
PO ₄ en mg/l	Fosfatos
°C	Temperatura
FAU	Turbidez
mg/l	Oxígeno Disuelto
mg/l	Sólidos Disueltos Totales

Fuente: H. A. Muhlhauser, 6. Generalidades sobre el uso de índices de cambios ecológicos en ecosistemas acuáticos temperados [en línea], Santiago de Chile, 2014. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/008/ad773s/AD773S07.htm>.

En Colombia, el estudio y la formulación de ICA, han sido abordados desde 1997. Tal conjunto de Índices denominados Índices de “Contaminación Orgánica (ICO), tuvieron su base en los resultados de análisis multivariados de componentes principales de común utilización en monitoreos en la industria petrolera Colombiana y han demostrado enormes ventajas sobre los ICA o, sigla en inglés (WQI) Water Quality Index, debido a que como se ha ilustrado con anterioridad, los ICA generalmente dan un valor a partir de numerosas variables o parámetros que conllevan a diversos problemas”⁹.

1.5 ÍNDICES BIOLÓGICOS

Los índices biológicos son buenos integradores de calidad, ya que indican la calidad en un periodo más o menos extenso de tiempo (en función de la vida media de los organismos), y también responden a episodios cortos pero recurrentes de contaminación¹⁰. Existen varios índices para medir la diversidad, cada uno ligado al tipo de información que se desea analizar, es decir, que algunas de las variables respuesta tiene maneras diferentes de observarse. Esto significa que, dos tipos de índices (riqueza específica y estructura de las comunidades), estos dos tienen maneras diferentes de analizarse, por ejemplo, de la riqueza específica tenemos el índice de Margalef y de estructura de las comunidades tenemos la serie de Hill. Cada uno de ellos podrá ser observado diferencialmente para obtener mayor información complementaria de la localidad a analizar¹¹.

1.5.1 Fitoplancton

“D. Uhlmann y J. Hrbáček en el documento del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt “Métodos para el análisis de datos una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad”. Colombia, 2007, p. 189 – 192, han desarrollado algunos índices químicos basados en el contenido de nitrógeno y fósforo en la biomasa algal. Estos índices están relacionados con la respuesta de las algas como usuarios primarios de los nutrientes, ya que, a las distintas cargas de éstos muestran una mayor o menor relación con los niveles de nutrientes agregados”⁶.



“W. G. Sprules en el documento Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt “Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad”. Colombia, 2007, p. 189 – 192, reporta una correlación del pH con la complejidad de las comunidades de zooplancton, en relación con lagos estresados por sobreabundancia de zooplancton y por contaminación ácida. Sobre pH 5, las comunidades contenían de 9–16 especies, con tres o cuatro dominantes, y en lagos con pH menor a 5, las comunidades contenían 1–7 especies, usualmente con un solo dominante”⁶.

Así mismo, los índices numéricos de dominancia han sido propuestos para uso ecológico, sin embargo han tenido poca aplicabilidad en contaminación. “Los ecólogos han buscado a menudo maneras de redefinir comparaciones de composición comunitaria o relacionar de una manera más concluyente patrones de composición con variables ambientales que controlan estos cambios”⁶.

“Margalef en el documento Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt “Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad”. Colombia, 2007, p. 189 – 192, utilizó por primera vez un índice de diversidad específica para relacionar y detectar cambios estructurales en comunidades fitoplanctónicas sujetas a eutrofización; sin embargo, los rangos de variación pueden ser amplios.

A pesar de esto, existen índices con variaciones más pequeñas, como el índice de C. E. Shannon y W. Weaver, el cual se incrementa a medida que el número de especies y la equitabilidad de la abundancia relativa se incrementan. Este índice es relativamente insensible al efecto de cambios en el número de especies, lo cual introduce sesgos en índices basados en la riqueza específica, como el índice de R. Margalef”⁶. Ahora bien, y de acuerdo con lo estimado por P. J. Sheehan, no se debe olvidar que “también se pueden estimar los componentes de la diversidad y utilizarlos directamente como índices. Estos componentes son el número de especies presente o riqueza en especies y la distribución de todos los individuos entre esas especies o la equitabilidad o regularidad. La reducción en el número de especies en un ecosistema es una medida útil del estrés causado por algún factor alóctono”⁶.

Al mismo tiempo, la equitabilidad está basada en la idea de cuáles individuos entre las especies, son los de más alta diversidad. “E. C. Pielou desarrolló un índice de equitabilidad basado en el índice de Shannon-Weaver para la diversidad. La relación de equitabilidad y estrés es actualmente incierta, llegando a poner en duda la validez de los índices basados en la regularidad o equitabilidad”⁶.

1.5.2 Zooplancton

El zooplancton, por su posición dentro de la estructura sistémica, es muy apropiado para reflejar cambios de largo plazo debido a enriquecimiento en nutrientes. Los cambios



ambientales pueden evaluarse cualitativamente como cambios en la estructura de comunidad, composición o diversidad y cuantitativamente como número o biomasa¹¹.

Con la eutrofización, la composición del zooplancton evoluciona hacia una mayor abundancia de especies de menor tamaño, primordialmente hacia rotíferos y menor cantidad de especies mayores como calanoídeos. L. Landner propone al respecto utilizar como índices tróficos las densidades de rotíferos y microcrustáceos¹².

1.5.3 Macroinvertebrados

La comunidad de macroinvertebrados de la mayoría de los ecosistemas acuáticos es altamente diversa, y debido a sus requerimientos y características especiales, pueden servir como guía para conocer y determinar el estado de estos. Las comunidades de macroinvertebrados como indicador biológico es fácil de interpretar, ya que sus funciones esenciales son indispensables para el mantenimiento de la integridad funcional de un ecosistema acuático, y aún las especies raras pueden tener un papel importante evidente solamente después de una perturbación. La heterogeneidad física y química, incluyendo el sustrato y velocidad de la corriente, son un factor importante que puede influenciar la diversidad biótica. El estudio de macroinvertebrados es de suma importancia en la evaluación de la calidad del agua, teniendo en cuenta las características particulares de esta comunidad¹².

1.6 HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO

El humedal de Santa María del Lago, pertenece a la cuenca del río Juan Amarillo o Salitre. Conformaba una pequeña microcuenca cuya función era regular las crecientes de los cauces menores, que llegaban al humedal, para posteriormente entregar su aporte hídrico al río Juan Amarillo¹². Hoy se encuentra interconectado por drenajes subterráneos con la parte superior del sistema del río Juan Amarillo que llegan por el alcantarillado en 4 puntos de entrada ubicados en las siguientes direcciones:

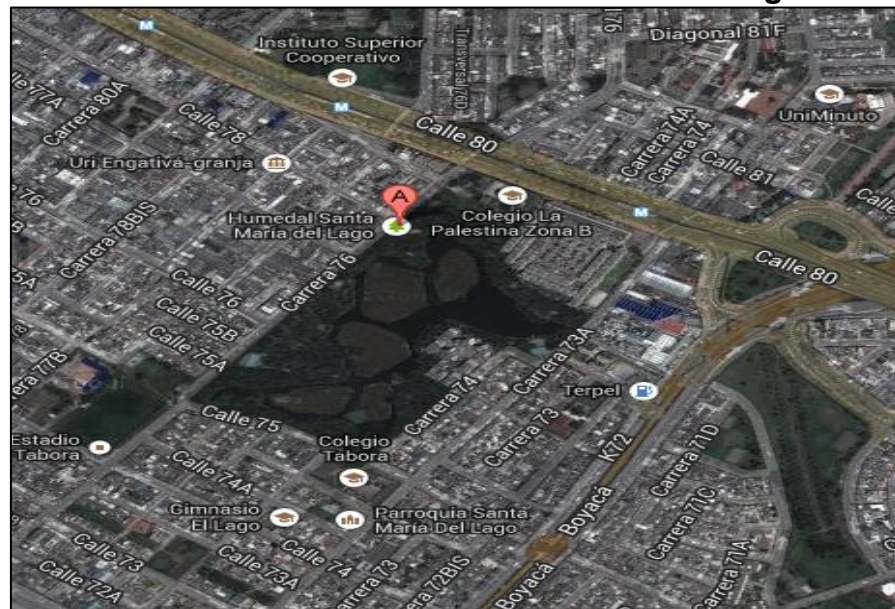
1. Carrera 76 con Calle 77^a.
2. En la esquina de la Carrera 76 con Calle 75.
3. A la altura media de la Calle 75.
4. En la esquina de la Calle 75 con Carrera 74¹³.

Estos aportes son considerados como primordiales para el humedal, ya que aunque contaminados, son los que mantienen el área cubierta por espejo de agua, ayudando al mantenimiento del ecosistema y a la permanencia del lago. La funcionalidad de este humedal se encuentra bastante disminuida por factores como, la extrema reducción de su área y por el hecho de estar rodeado totalmente por complejos urbanísticos. Estos factores hacen que las presiones antrópicas sean superiores a las de otros humedales, que aún conservan amplios sectores no urbanizados (La Conejera, Guaymaral, Tibanica, etc.)¹³.

Este humedal está ubicado en la localidad de Engativá. Limita al norte con el Centro de Estudios del Niño y el Conjunto Residencial de San Francisco; hacia el oriente con las Carreras 74 y 73A y el Conjunto Residencial Sago, por occidente con la carrera 76 y por el sur con la calle 75. Debido al urbanismo generado a sus alrededores, en la actualidad se encuentra aislado del Río Juan Amarillo con el que estaba conectado originalmente¹³.

Este humedal, a pesar de ser completamente urbano, posee una considerable riqueza biótica en diferentes puntos debido a la autodepuración de las macrófitas; así mismo, existe resiliencia en nutrientes, mas no en lo relacionado con los coliformes. Su ronda hidráulica es muy pobre en oferta de recursos para la fauna, ya que prácticamente está desprovista de cobertura vegetal nativa y la poca existencia es en su mayoría fauna exótica¹³.

Figura 1. Mapa de ubicación del humedal de Santa María del Lago



Fuente: Google Maps, “Humedal de Santa María del Lago – Ubicación” [en línea]. Bogotá D.C., Colombia, 2014 en Internet:<https://maps.google.com/maps?ct=reset&tab=ll>

El humedal Santa María del Lago, cuenta con una extensión de aproximadamente de 4 ha, el cual se encuentra legalmente protegido y demarcado. Su ronda es angosta pero se mantiene en su totalidad. Presenta una temperatura de 13.4°C, precipitación de 793 mm, evapotranspiración de 820 mm, humedad relativa del 80%, la velocidad de los vientos es de 2.1 m/s y su dirección de vientos es al noreste. Actualmente cuenta con la capacidad de almacenar agua en forma permanente y recibe un aporte hídrico continuo de aguas freáticas y lluvias¹³. Estas características permiten que el humedal cumpla las funciones de nicho ecológico, además de actuar como filtro purificador de las aguas residuales provenientes de algunos barrios aledaños; sin embargo se debe anotar que también almacenan aguas residuales vertidas en forma directa.

En el humedal Santa María del Lago se han realizado varios estudios de la búsqueda de proyectar las mejores condiciones de manejo para la preservación y conservación de este ecosistema tan singular, tales como el desarrollado por Ricardo Álvarez-León, de la Fundación Maguaré. Manizales (Caldas) Colombia, publicado en la Revista Luna Azul, y que hace parte integral del Proyecto “Recuperación del Humedal de Santa María del Lago, EAAB / DAMA”¹⁴.

Tabla 3. Condiciones Fisicoquímicas del Humedal de Santa María del Lago

VALOR	PARÁMETRO
338 y 27.3 NTU	Turbiedad
2.3 mg/L	Fósforo
48.25 y 19.5 mg/l	Nitrógeno
26.3 y 83.3 mg/l	Salinidad
-0.1 y 0.3 mg/l	Oxígeno Disuelto
22000 y 2400000 UFC/100 ml	Coliformes Totales
380000 UFC/100 ml	Coliformes Fecales

Fuente: Unidad Técnica de Recuperaciones Ambientales “Informe Final Ambiental Humedal de Santa María del Lago”, Informe, Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiental (DAMA), Bogotá, Colombia, Contrato DAMA 022-00, Ago. 2001, p. 12 -13¹⁵.

Este ecosistema a pesar de tener un alto grado de intervención, y además de estar rodeado de condiciones de crecimiento urbanístico, es uno de los pocos ecosistemas de humedales bogotanos que mantiene gran riqueza biótica ¹⁵.

- Con relación al zooplancton, ocurre la presencia de Rotíferos y Copépodos, cuya presencia indica en general el grado de eutrofización y estratificación. De la misma manera, la presencia de *Daphnia* sp., indica aguas mesotróficas a eutrofizadas ¹⁵.
- Con relación al fitoplancton, la presencia de algas como *Pandorina* sp., *Volvox* sp., *Fragilaria* sp., *Navicula* sp., y *Pinnularia* sp., entre otras especies, indica aguas con tendencia a la acidez, alta concentración de materia orgánica y en general la eutrofia y alta concentración de sedimentos ¹⁵.

El humedal se ha reducido en tamaño a través del tiempo, gracias a la construcción de obras civiles, este humedal cuenta con las aguas menos contaminadas de todos los humedales del distrito. Aunque hay aporte de aguas residuales no presenta un impacto que dificulte o impida el desarrollo de especies de flora y fauna nativa ¹⁵.

Sobre la ronda del humedal se encuentran pequeñas manchas vegetales compuestas principalmente por Alisos (*Alnus glutinosa*, *Alnus cuminata*), y Saúcos (*Sambucus peruviana*). Además se encuentran especies arbóreas como Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), Acacias (*Acacia* sp) y Urapanes (*Fraxinus chinesis*) que por no ser propias del ecosistema causan una alteración en el mismo. En cuanto a la vegetación acuática se encuentra la lenteja de agua, *Lemna minor*, que desempeña varias funciones, hábitat para la reproducción de larvas de libélula, Odonata (*Libellulidae*); consumo de materia orgánica transformándola en material vegetal, entre muchas otras. También se encuentra el Junco



(*Tipha latifolia*), que también cumple importantes funciones como brindar medio adecuado para reproducción de aves acuáticas y curies (*Cavia porcellus*)¹⁵.

La especie más abundante es la Tingua de pico amarillo (*Fulica americana*), que ayuda a regular las poblaciones de flora e insectos. Otra especie importante es la Tingua de pico rojo, (*Gallinula chloropus*), junto con otras especies migratorias como la Garza africana (*Bubulcus ibis*) y la garza blanca (*Casmerodius alba*), entre otras¹⁵.



2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El metabolismo del humedal de Santa María del Lago se encuentra alterado por la acción de una serie de tensores ambientales como la fragmentación de sus biotopos, la degradación de la cobertura vegetal, el depósito de escombros, las basuras y la sedimentación proveniente del río Juan Amarillo, tensores que contribuyen fuertemente con la alteración de la calidad del agua del humedal ^{11, 12, 13,15}.

A pesar de esta degradación, se reconoce que la gestión efectuada por la Unidad Técnica de Recuperaciones Ambientales del Departamento Administrativo del Medio Ambiental (DAMA) en el año 2000, declarado por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) como Parque Ecológico del humedal Santa María del Lago, mediante el Decreto 619 de 2000, carácter que ha tenido, diversos efectos positivos en el mejoramiento de sus condiciones físicas y bióticas, a pesar de las limitaciones presupuestales y de coordinación con las Alcaldías Locales y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)¹⁶. Estas mejoras repercuten en la calidad del agua, razón por la cual éste sirve como laboratorio viviente para el desarrollo de esta investigación.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, esta investigación buscó establecer la calidad del agua mediante el uso de los Índices Físicoquímicos de Calidad de agua (ICA), y los Índices Biológicos para la determinación del estado trófico y ambiental del humedal de Santa María del Lago.



3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Evaluar 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.

3.2 ESPECÍFICOS

- Identificar la estructura de las comunidades planctónicas y de macroinvertebrados del humedal de Santa María del Lago.
- Determinar las condiciones fisicoquímicas de calidad de agua del humedal de Santa María del Lago.
- Comparar los Índices Fisicoquímicos de Calidad de agua (ICA) vs los Índices Biológicos, en la determinación del estado Trófico del humedal.
- Establecer el estado trófico del humedal de Santa María del Lago.

4. METODOLOGÍA

4.1 SELECCIÓN DE PUNTOS Y PERIODICIDAD DEL MUESTREO

Para determinar la dinámica durante un mes en el humedal Santa María del Lago se establecieron tres salidas de campo: los días 10, 17 y 24 de Junio de 2014. Durante los días de muestreo se evaluaron los índices fisicoquímicos y biológicos de cada uno de los cuatro puntos situados alrededor del humedal.

Los puntos seleccionados para el muestreo fueron nombrados de acuerdo a su ubicación, y para su selección, se tuvo en cuenta que estos abarcaran la mayor extensión del humedal, teniendo en cuenta afluente y efluente (Tabla 4).

Tabla 4. Ubicación de los puntos de muestreo en el humedal de Santa María del Lago

POSICIÓN GEOGRÁFICA	PUNTO	
N 04°41'43,7'' W 074°05'41,0''	Entrada Humedal Arriba	EH
N 04°41'40,8'' W 074°05'32,4''	Salida Humedal	SH
N 04°41'39,0'' W 074°05'41,5''	Frente la Administración	FA
N 04°41'44,0'' W 074°05'35,3''	Intermedio entre Entrada y Salida	IES

Magna Sirgas, Origen Central

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2. Imagen satelital del humedal de Santa María del Lago con la ubicación de los puntos de muestreo



Fuente: Google Earth 2014, "Humedal de Santa María del Lago – Ubicación Puntos de Muestreo". Bogotá D.C., Colombia, Junio 2014¹⁷.

La valoración de los índices fisicoquímicos y biológicos se llevó a cabo en los 4 puntos seleccionados sobre el Humedal Santa María del Lago (Figura 3).

Figura 3. Fotografías de los puntos de muestreo en el Humedal Santa María del Lago: Entrada Humedal (EH); Salida Humedal (SH); Frente Administración (FA); Intermedio entre Entrada y Salida (IES)



Fuente: Elaboración propia.

4.2 FASE DE CAMPO

4.2.1 Muestreo Físicoquímico

La caracterización físicoquímica incluyó las mediciones de Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, Turbiedad, Fosfatos, Nitratos, Sólidos Disueltos Totales, DBO₅, Coliformes Totales, se efectuaron mediante la toma de una muestra de agua superficial en cada uno de los puntos de muestreo; las muestras se envasaron (Tabla 5), se refrigeraron y se enviaron al laboratorio de análisis ANTEK S.A.S. Además, se registraron mediciones *in situ* de pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Sólidos Disueltos con un multiparámetro marca HACH HQ40d, por lo que se llevaron a cabo mediciones tanto en campo como en el laboratorio (Figura 4).

La tabla 5 relaciona los parámetros analíticos muestreados con el volumen requerido para su análisis, el tipo de recipientes en el que se realizó el envasado, y el volumen requerido para su análisis, de acuerdo con el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd edition 2012"¹⁸.

Tabla 5. Parámetro, volumen para su análisis, recipientes

RECIPIENTE	VOLUMEN REQUERIDO PARA EL ANÁLISIS (ml)	PARÁMETROS
Poliétileno translucido 2000 ml	50	Turbiedad
	N.A.	Temperatura
		pH
		Oxígeno Disuelto
Poliétileno translucido 1000 ml	100	Sólidos Suspendidos Totales
Poliétileno translucido 2000 ml	50	Nitratos
Ámbar 1000 ml	1000	DBO ₅
Poliétileno translucido 2000 ml	50	Fosfatos
Vidrio transparente 250 ml	250	Coliformes Totales

Fuente: Antek S.A.S.

La metodología para recolección de muestras sigue los lineamientos y técnicas recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos – U.S. EPA – en su Handbook for Analytical Quality Control in Water and Wastewater Laboratories – 2012, y por la Asociación Americana de trabajos del Agua – AWWA – en el American Standard Methods for Examination of Water and Wastewater/22nd ED.

Figura 4. Fotografías de la determinación de los parámetros fisicoquímicos

Fuente: Antek S.A.S.

4.2.2 Muestreo Hidrobiológico

La toma y análisis de muestras están establecidos de acuerdo a los métodos y técnicas descritas por APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works

Association) y WPCF (Water Pollution Control Federation) en el Standard Methods 22nd Edition (2012).

En la tabla 6 se exponen los diferentes métodos usados en campo para la captura y/o colecta de organismos, con su respectiva réplica toma de muestras que varían de acuerdo a la comunidad que se requiere analizar.

Tabla 6. Especificaciones metodológicas para la toma de muestras en campo

TINCIÓN	ESFUERZO MUESTREO y VOLÚMEN	TÉCNICA	EQUIPO	COMUNIDAD
Lugol de Gram	MUESTREO 10 BALDADOS DE 10 LITROS 100L	Filtración de agua/tamaño de poro 20µm	Red de fitoplancton	Plancton
	ESFUERZO MUESTREO 10 BALDADOS DE 10 LITROS 100L	Filtración de agua/ tamaño de poro 80µm	Red de zooplancton	
Rosa de bengala	0,45 m ² (ESFUERZO MUESTREO 5 TOMAS EN ÁREA DETERMINADA)	Remoción y filtración del lecho contracorriente	Red Surber	Macroinvertebrados

*Las muestras colectadas son preservadas con solución Transeau (agua destilada, alcohol 70% y formol al 10%) (6:3:1)

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a la metodología seleccionada.

La recolección de los organismos fitoplanctónicas se realizó con una red cónica simple con tamaño de poro de 20 µm, para la recolección de los organismos zooplanctónicos se realizó con una red cónica simple con tamaño de poro de 80 µm; mediante la filtración de 100 L cada una. Las muestras se envasaron en frascos de vidrio previamente rotulados con solución Transeau (6 partes de agua destilada, 3 de alcohol al 70% y 1 de formol al 10%) en proporción 1:1 con la muestra. Los frascos se almacenaron para su posterior observación en el laboratorio (Figura 5).

La recolección de los organismos macroinvertebrados se realizó con una red Surber de 200 µm, la cual se colocó sobre el sustrato con la abertura en dirección contraria a la corriente, para así barrer el fondo desplazando los sedimentos dentro del cono. Se tomaron cinco réplicas en cada punto de muestreo, con el objetivo de abarcar todos los sustratos. Luego se pasa la muestra por un tamiz de 300 µm. Las muestras se preservaron en bolsas plásticas de seguridad previamente rotuladas, la muestra fue preservada con solución Transeau.

Figura 5. Fotografías de la recolección de muestras de comunidades hidrobiológicas

Fuente: Elaboración propia.

4.3 FASE DE LABORATORIO

4.3.1 Parámetros Fisicoquímicos

La valoración de los parámetros fisicoquímicos fue proporcionada por el laboratorio de análisis ambiental y geoquímica ANTEK S.A.S., mediante técnicas analíticas reportadas en la tabla 7, siguiendo la metodología de Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater²⁰. Los datos obtenidos fueron compilados en matrices para su posterior análisis.

Tabla 7. Listado de técnicas analíticas empleadas por el laboratorio ANTEK S.A.S.

MÉTODO UTILIZADO	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADES	PARÁMETRO
SM 2550 B	Termométrico	°C	Temperatura
SM 4500H+B	Electrométrico	Unidades	pH
SM 4500-O G	Electrodo de membrana	mg/L O ₂	Oxígeno Disuelto
SM 2130 B	Nefelométrico	NTU	Turbiedad
SM 4500-P E	Ácido Ascórbico	mg/L P-PO ₄ ⁻³	Fosfatos
SM 4500-NO3 B	Espectrofotométrico UV	mg/L N-NO ₃	Nitratos
SM 2510 B	Electrométrico	mg/L	Sólidos Disueltos Totales
SM 5210 B- SM 4500-O G	Incubación 5 días – Electrodo de membrana	mg/L O ₂	DBO ₅
SM 9223 B	Ensayo de sustrato enzimático	NMP/100mL	Coliformes Totales

Fuente: Antek S.A.S.

4.3.2 Parámetros Hidrobiológicos

En el laboratorio se inicia con limpieza y preparación de las muestras para su posterior análisis, donde se realiza la identificación de los organismos (Figura 6).

Figura 6. Fotografías de observación en el laboratorio de las muestras de fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados



Fuente. Elaboración propia.

Plancton: las muestras fueron homogenizadas manualmente por burbujeo, antes de ser observadas al microscopio óptico compuesto, para fitoplancton se observaron los microorganismos en aumentos hasta 40X y zooplancton en aumento de 10X, en el cual se hicieron las identificaciones y conteos. El conteo de individuos se realizó por método directo¹⁹, analizando como mínimo 10 alícuotas de la muestra o hasta que la curva de diversidad acumulada se establezca (cinco alícuotas sin encontrar especies nuevas). Los volúmenes de cada alícuota se miden con una pipeta graduada de 1mL, paralelamente se calcula la curva de riqueza acumulada para establecer el número necesario de alícuotas. Las referencias bibliográficas para la identificación de los organismos fueron tenidas en cuenta desde manuales hasta atlas de microorganismos^{20, 21, 22} para la clasificación taxonómica se tuvo en cuenta la propuesta de Integrated Taxonomy Information System (ITIS).

Macroinvertebrados: las muestras fueron lavadas en tamices de 4 mm y 500 μ m, bajo el grifo se lavó con abundante agua hasta que desaparezca el colorante y el olor a transeau, este lavado se realizó para separar los organismos del sedimento fino y para obtener el material dividido por tamaño; posteriormente el sedimento colectado fue dispuesto en bandejas blancas y observadas con la ayuda de una lámpara y una lupa, con el fin de retirar los organismos, mientras que la parte de la muestra más pequeña, fue separada en cajas Petri con la ayuda de un estereoscopio²², después de obtener los macroinvertebrados separados, se procedió a la identificación de los organismos usando



estereoscopio y microscopio con aumento de 4X, y basándose en bibliografía especializada^{23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30}. La clasificación taxonómica se basó en la propuesta de Integrated Taxonomy Information System (ITIS).

4.4 FASE DE ANÁLISIS

Con el fin de determinar el estado de la biodiversidad de las comunidades hidrobiológicas de fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados se corrieron los paquetes estadísticos Primer V5®, PAST e ICATEST v1.0®; y se tuvo en cuenta la metodología Modelo BMWP/Col., propuesta por (Roldan, 2003) para evaluar la calidad del agua.

4.4.1 Modelo estadístico Primer V5®

Para la valoración de la diversidad de las especies se utilizó Primer V5®, el cual se basó en el cálculo y la comparación de las riquezas y abundancias de las comunidades presentes en los puntos establecidos, esto con el fin de identificar la estabilidad o causa que estén moldeando las poblaciones acuáticas, adicionalmente el análisis estadístico permitió desarrollar herramientas para establecer la estructura de las comunidades hidrobiológicas y una aproximación al estado del humedal.

El análisis de la biodiversidad está determinado por los índices biológicos (Tabla 8) de Riqueza específica (S), Abundancia (N), Pielou (J'), Shannon-Wiener (H'), Simpson (1-λ) y números de Hill (N1, N2, N10 y N21)³¹.

- Riqueza Específica (S)

Permitió medir la biodiversidad, basándose en el número de especies presentes, la manera de medir la riqueza específica es contando con un inventario que nos permita conocer el número total de especies existentes en cada comunidad³¹.

- Abundancia (N)

Permitió establecer el número de individuos por unidad de muestreo, para encontrar la abundancia perteneciente al fitoplancton y zooplancton se realizó un conteo de cada uno de los individuos presentes en una unidad de volumen establecida (mL).

- Índice de Pielou (Uniformidad)

Permitió determinar si la abundancia de las comunidades por familia fue semejante en las diferentes unidades de muestreo, es decir midió la proporción de la diversidad observada con la máxima diversidad esperada.

- Índice de Shannon-Wiener (Diversidad)

Está determinado por el número de especies presentes en cada unidad de muestreo y basándose en la escala logarítmica escogida, que permitió cuantificar la biodiversidad específica en cada una de las unidades de muestreo, teniendo en cuenta la igualdad en el número de organismos por especies. Este reflejó igualdad, pues entre más uniforme es la distribución entre las especies de la comunidad mayor es el valor.

Según el valor de este índice la clasificación de las aguas se da de la siguiente manera:

- $X < 1,5$ – Aguas muy contaminadas
 $1,5 < X < 3,5$ – Aguas ligeramente contaminadas
 $3,5 < X$ – Aguas muy limpias

- Índice de Simpson (Predominio)

Se utilizó para establecer el grado de similitud entre los puntos de monitoreo, midiendo la probabilidad de que dos individuos de una muestra tomada al azar sean de la misma especie. Este índice tuvo en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies.

- Serie de números de Hill

Esta serie permitió calcular el número efectivo de especies, es decir, una medida del número de especies en una muestra, es decir, cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa; donde N1 determina el número de especies abundantes y N2 número de especies muy abundantes, y N10 relación N1 con la riqueza y finalmente N21 establece la relación entre el número de especies abundantes y las no abundantes³².

Tabla 8. Índices biológicos

RANGO	VARIABLES	FÓRMULA	ÍNDICE
0 – 1	J' = Índice de Pielou H' = Índice de Shannon-Wiener	$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$	Pielou (Uniformidad)
0 – 1	D = índice de Simpson n = número de individuos de la especie i N = número total de individuos	$D_{Si} = \frac{\sum_{i=1}^s N(n-1)}{N(N-1)}$	Simpson (Predominio)
0 – 5 Con algunas excepciones supera el valor máximo	H' = Índice de Shannon-Wiener Pi = abundancia relativa de la especie i Ni = número de individuos de la especie i N = número total de especies	$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$ Pi = Ni/N	Shannon Wiener (Diversidad)
Sin límite	N1 = número de especies abundantes N2 = número de especies muy abundantes N10 = relación N1 con la riqueza N21 = relación N2 con N1	$N1 = e^{H'}$ $N2 = \frac{1}{\lambda}$ $N10 = N1/S$ $N21 = N2/N1$	Serie de números de Hill

Fuente: Facultad de Ciencias Naturales y Museo. “Estimación de la diversidad específica”, Universidad Nacional de La Plata, La Plata- Argentina, 2008, p. 2.
<http://www.fcnyu.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3.pdf>

4.4.2 Modelo estadístico PAST

El análisis de Similaridad se realizó mediante el paquete estadístico PAST, el cual cuenta con un módulo diseñado para calcular diferentes atributos biológicos (diversidad, dominancia, similaridad, entre otros, etc) dentro y entre comunidades. Simplemente cargando los datos de composición de especies y su abundancia poblacional se pueden calcular diferentes índices de diversidad (Shannon, Simpson, Sorenson, Pielou, Jaccard, entre otros) y curvas que permiten caracterizar al ensamble de especies de una comunidad.

Para la determinación de la similaridad de las comunidades del humedal se determinó el índice de similaridad de Jaccard, el cual es un índice cualitativo que indica la semejanza entre dos o más puntos de muestreo, sólo considerando la composición de especies, relacionando el número de especies compartidas con el número total de especies. El índice puede tomar un valor entre (0-1), donde 0 = ningún taxa compartida y 1 = mayor número de taxa compartidas.

Los índices de similaridad son herramientas que integran las asociaciones basadas en el grado de similitud entre dos o más conjuntos de datos, específicamente para este caso se fundamenta en la estructura del ensamblaje fitoplanctónico, zooplanctónico y de macroinvertebrados relacionando la composición en términos de riqueza y densidad, el cual se lleva a cabo mediante un análisis multivariado de clasificación aglomerativo y jerárquico de agrupación promedio.

El índice de similaridad se da mediante la siguiente fórmula:

$$I_J = \frac{a}{a+b+c} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

a = Número de especies en el sitio A.

b = Número de especies en el sitio B.

c = Número de especies presentes.

4.4.3 Modelo BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party)

Para una evaluación rápida y acertada de la comunidad de Macroinvertebrados se aplicó el modelo BMWP, este modelo se basó en ponderaciones de sensibilidad a los rangos de tolerancia ambiental de los macroinvertebrados acuáticos, ya que la presencia o ausencia de cierto tipo de organismo indica las variaciones de las condiciones fisicoquímicas del ecosistema acuático³³.

El método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. La suma de todos los puntajes de todas las familias






proporciona el puntaje total BMWP. El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxón), esto es, el puntaje total para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación. Los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia²⁴.

Tabla 9. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaempnidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coroxidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymneidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2
Turbificidae.	1

Fuente: G. Roldán, "Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col." Editorial Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y Tecnología. Medellín, 2003.

Tabla 10. Clases de calidad de agua, Valores BMWP/Col., Significado y colores para representaciones cartográficas

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>150, 102-120	Aguas muy limpias a limpias	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: G. Roldán, "Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col." Editorial Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y Tecnología. Medellín, 2003.



4.4.4 ICATEST V1.0®

El análisis fisicoquímico se basó en el cálculo y la comparación de los parámetros fisicoquímicos presentes en los puntos establecidos, esto con el fin de realizar un análisis comparativo del índice de Calidad de Agua “Water Quality Index” (WQI), desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF), adicionalmente el análisis es una herramienta para la valoración de la calidad del agua del estado del humedal.

El análisis está determinado por nueve variables identificadas de mayor importancia de acuerdo a los parámetros establecidos por la National Sanitation Foundation (NSF) (Tabla 9, capítulo siguiente, Resultados); para el cálculo del índice de calidad del agua se realizó mediante el programa estadístico ICATEST V1.0®, este programa es una herramienta de apoyo a la investigación que facilita los procedimientos de cálculo de cada gran número de índices de calidad de agua y contaminación. Fue programado en Microsoft Visual Basic 6.0®, a partir de una metodología de desarrollo orientada a componentes. Cada uno de los índices fue programado y perfeccionado por separado, en consideración a la escasa homogeneidad en lo que a sus diferentes formas de cálculo y tipo de información disponible se refiere. Los componentes fueron posteriormente ensamblados en un solo paquete de software capaz de utilizar éstas rutinas de diferente manera, como el cálculo separado de los índices o la ejecución de cálculos comparativos³⁴.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ESPACIALIZACIÓN DEL HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO

5.1.1 Entrada Humedal

Sistema lentico de lecho limoso con abundante materia orgánica y macrófitas, el agua es turbia y presenta olor al remover el sedimento, su vegetación nativa es de tipo arbórea y se encuentran algunas gramíneas y pastos; en este punto ingresan residuos de las alcantarillas provenientes de las aguas lluvias, además se evidencia la presencia de fauna silvestre (Figura 7).

Figura 7. Entrada Humedal



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Frente a la Administración

Humedal de lecho limoso con abundante presencia de macrófitas, además se observó gran cantidad de materia orgánica en descomposición como raíces y hojas en el fondo; el agua es transparente y permanece en movimiento por la acción del viento, la incidencia solar directa es alta. En la vegetación que cubre las orillas del sistema predominan los árboles y gramíneas, además la zona cuenta con senderos ecológicos y se observan Tinguas (Figura 8).

Figura 8. Frente a la administración



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Intermedio Entrada – Salida

Cuerpo de agua lenticó con incidencia de luz solar directa, el sustrato es tipo lodoso y el lecho es cóncavo, en donde se encuentra gran cantidad de materia orgánica como hojas, palizadas y raíces, además abundan las macrófitas; se observan algunas aves en el sector llamadas Tinguas y su vegetación se conforma por árboles nativos y pastos principalmente. Se evidencia un aumento de las comunidades de macroinvertebrados en el punto monitoreado y alrededor del sistema se encuentran senderos peatonales (Figura 9).

Figura 9. Intermedio Entrada – Salida



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Salida Humedal

Sistema lenticó de lecho lodoso con abundante materia orgánica en descomposición, heces de aves (Tinguas) y macrófitas, su vegetación se caracteriza por la presencia de gramíneas, aunque se encuentran algunos juncos y árboles como alisos y laureles, los cuales permiten un óptimo paso de la luz sobre el espejo de agua (Figura 10).

Figura 10. Salida Humedal

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10 se describen las observaciones en cada punto de muestreo mencionado anteriormente durante los tres días de monitoreo.

Tabla 11. Observaciones puntos de muestreo - Agua Superficial

Observaciones	Puntos de Monitoreo
<p>Observaciones 10 de junio de 2014: Este punto presenta material vegetal sobre el espejo de agua, el agua se caracterizó por presentar turbiedad y coloración verdosa.</p> <p>Observaciones 17 de junio de 2014: Se observa una capa de material vegetal sobre el espejo de agua, el cuerpo de agua no presenta movimiento.</p> <p>Observaciones 24 de junio 2014: El agua se toma en un remanente de agua que sale de un tubo de 90 cm, presenta tierra y vegetación, la muestra de agua presenta olor, color e iridiscencia, hay presencia de macrófitas y basura en el lecho de agua, hay características lodosas en la zona.</p>	EH
<p>Observaciones 10 de junio de 2014: En este punto el espejo de agua no presenta material vegetal suspendido, se evidencia una baja población de macrófitas, la zona no presenta una lata vegetación.</p> <p>Observaciones 17 de junio de 2014: El agua se presenta translúcida, con una profundidad 50 cm, se presentan troncos y hojas en el fondo, en este punto el agua sale del humedal hacia la planta el Salitre, no presenta color, olor ni iridiscencia.</p> <p>Observaciones 24 de junio 2014: El borde de agua en este punto es de concreto, el lecho de agua se presenta como lodos, hay presencia de macrófitas, no se presenta profundidad, las muestras de agua presenta olor, color e iridiscencia.</p>	SH
<p>Observaciones 10 de junio de 2014: La muestra sobre un canal angosto rodeado de una capa vegetal, conformada por árboles y macrófitas.</p> <p>Observaciones 17 de junio de 2014: Se observa el canal de agua protegido por vegetación, no se observa color, ni iridiscencia, se observa diferente especies de árboles y vegetación riverena.</p> <p>Observaciones 24 de junio 2014: La muestra de agua se toma al margen del humedal, se presenta en la superficie macrófitas, el lecho del cuerpo de agua es lodoso, no se presentan características organolépticas, hay presencia de</p>	FA



aves y de invertebrados de mayor tamaño.	
<p>Observaciones 10 de junio de 2014: La muestra se toma sobre la zona en la que se evidencia una sección del humedal que contiene un amplio espejo de agua, en este espacio no se presenta barreras vegetales, en este punto el cuerpo de agua presenta movimiento.</p> <p>Observaciones 17 de junio de 2014: Este punto presenta sedimentos y heces de animales (aves), el cuerpo de agua presenta una capa de material vegetal sobre el espejo de agua.</p> <p>Observaciones 24 de junio 2014: La muestra de agua se toma detrás del área familiar, presenta una zona amplia de espejo de agua, hay una presencia reducida de macrófitas, la muestra de agua no presenta olor, color ni iridiscencia.</p>	IES

Fuente: Elaboración propia.

5.2 ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS

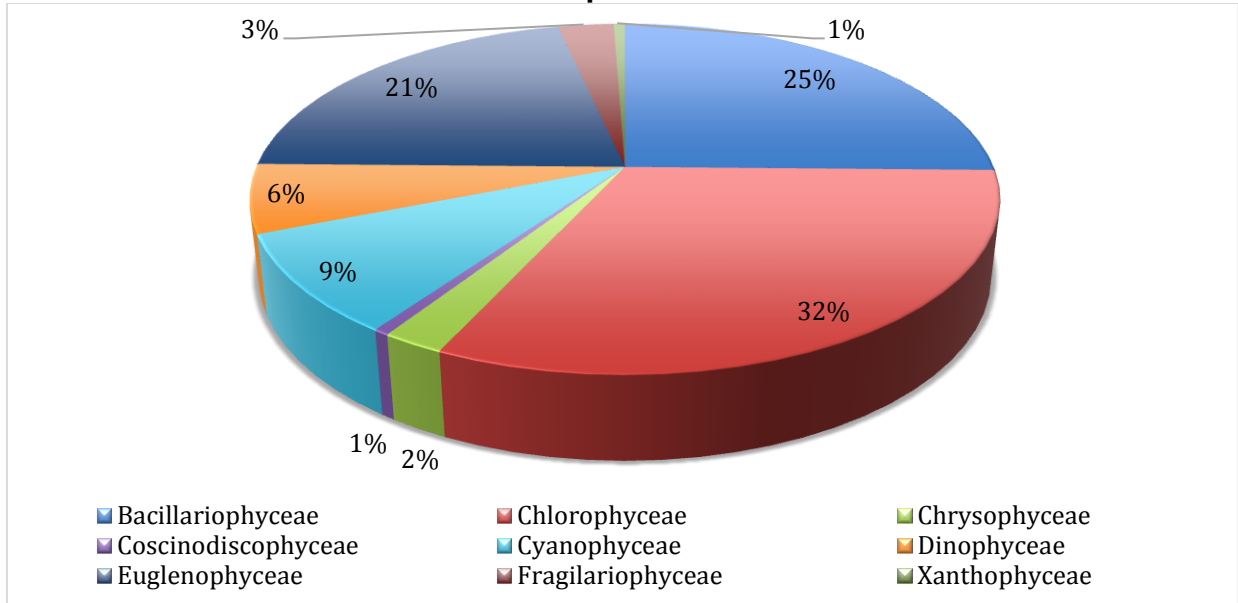
5.2.1 Fitoplancton

5.2.1.1 Presencia / ausencia de los Fitoplancton (Cualitativo)

La caracterización de la comunidad fitoplanctónica del humedal se encontró representada por un total de 174 individuos y 51 géneros pertenecientes a 9 clases; Chlorophyceae (31,61%), Bacillariophyceae (25,29%), Euglenophyceae (21,26%), Cyanophyceae (9,20%), Dinophyceae (6,32%), Fragilariophyceae (2,87%), Chrysophyceae (2,30%), Coscinodiscophyceae (0,57%) y Xanthophyceae (0,57%).

La distribución de las 3 primeras clases le dio al humedal un carácter de oligomesotrofia, es decir, un enriquecimiento de materia orgánica proveniente de la descomposición, producto del metabolismo de las macrófitas y la vegetación de contorno (Anexo A) (Gráfica 1).

Gráfica 1. Distribución porcentual de las clases taxonómicas de la comunidad de Fitoplancton



Fuente: Elaboración Propia.

a. Comportamiento temporal de la comunidad fitoplanctónica

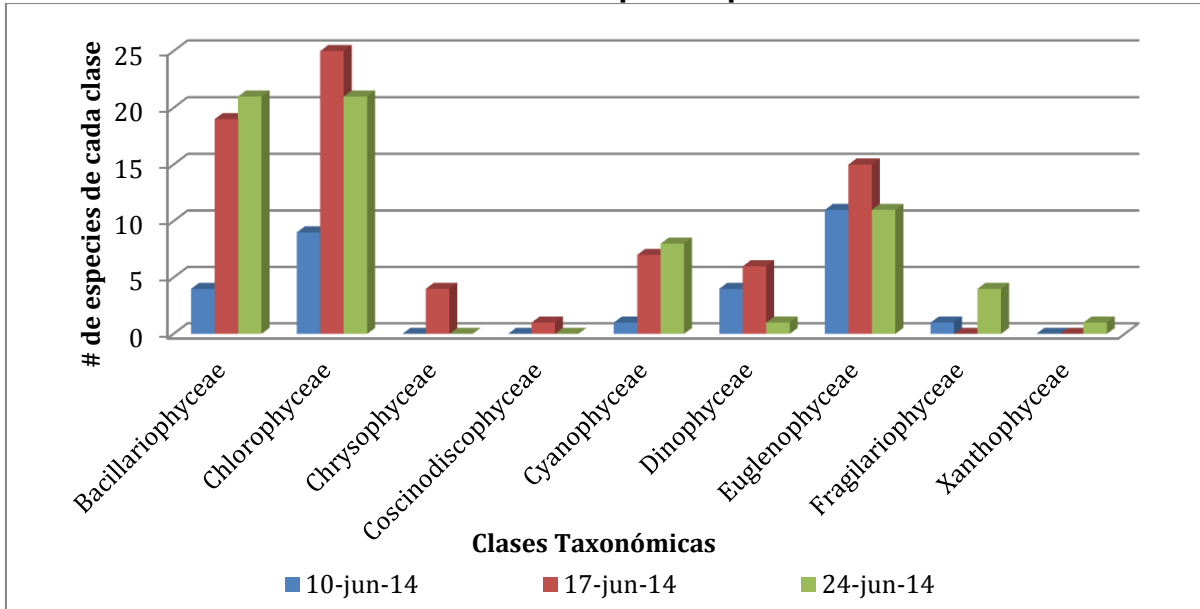
El mayor número de especies se registró el 17 de junio con (77) individuos, seguido del 24 de junio con (67) individuos y el 10 de junio con (30) individuos (Tabla 11 y Gráfica 2). Las *Trachelomonas* fueron el género identificado en cada una de los puntos y días de monitoreo, estas microalgas fueron la más representativa con (12) individuos. En todas las fechas de monitoreo, la clase Chlorophyceae fue la más dominante con un total de (55) individuos. La mayoría de los individuos pertenecientes al fitoplancton, encontrados dentro de esta clase pertenece a la familia Oocystaceae donde el género más representativo resultó ser *Oocystis* con (10) individuos.

Tabla 12. Composición temporal de las clases taxonómicas de fitoplancton según el número total de especies presentes

Clases Taxonómicas	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Bacillariophyceae	4	19	21
Chlorophyceae	9	25	21
Chrysophyceae	0	4	0
Coscinodiscophyceae	0	1	0
Cyanophyceae	1	7	8
Dinophyceae	4	6	1
Euglenophyceae	11	15	11
Fragilariophyceae	1	0	4
Xanthophyceae	0	0	1

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Composición temporal de las clases taxonómicas de fitoplancton según el número total de especies presentes



Fuente: Elaboración propia.

b. Comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica

Con respecto a la composición espacial se encontró que el punto con mayor número de especies fue EH con 58 individuos, seguido de FA con 42 individuos, el punto IES con 38 individuos y SH con 36 individuos. En todos los puntos de monitoreo, la clase Chlorophyceae fue la más dominante, dando el carácter mesotrófico, seguido de Bacillariophyceae dando un carácter oligotrófico y Euglenophyceae da una carácter eutrófico (Tabla 13).

En la Gráfica 3 se puede observar que en los cuatro puntos de monitoreo la clase Chlorophyceae tiene mayor presencia en el punto EH con 21 especies respecto al resto de las clases; siendo el género Closterium el más abundante dando una condición de aguas oligotróficas y ácidas, seguida por los géneros Oocystis y Sphaerocystis, los cuales son cosmopolitas propias de aguas dulces.

A continuación se observa los géneros de algas más representativos del humedal y su presencia en cada punto de monitoreo:



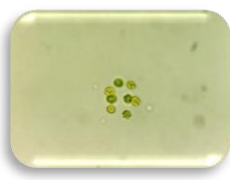
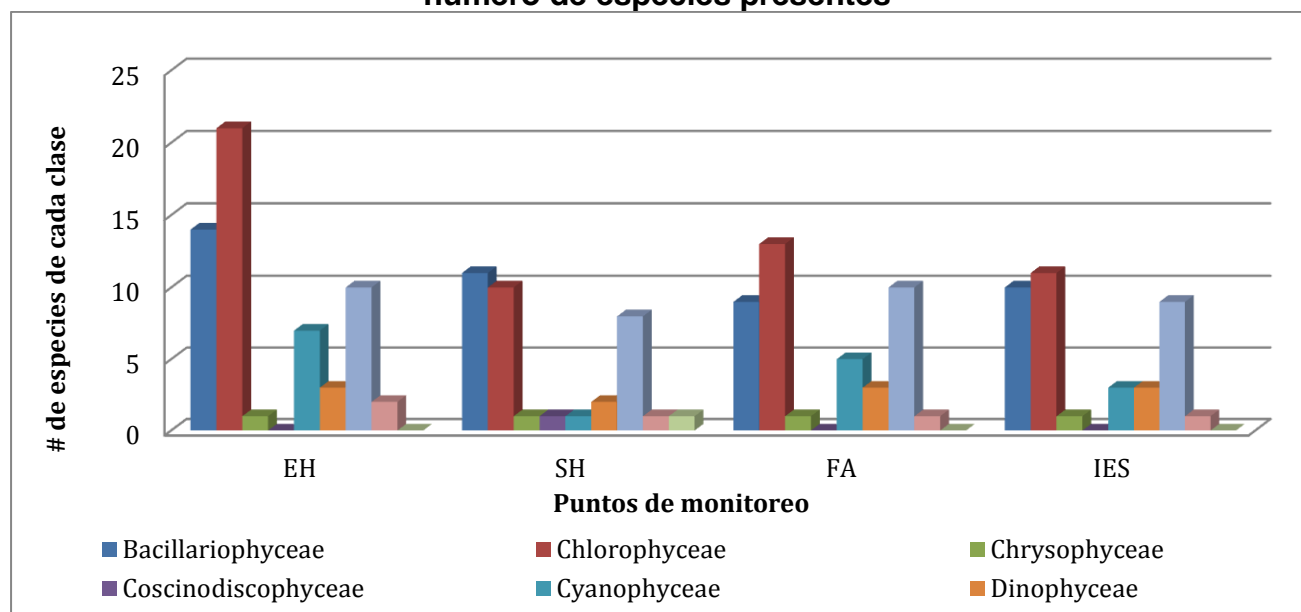
			
	Closterium	Oocystis	Sphaerocystis
10 Junio	EH	EH, SH, FA	EH
17 Junio	EH, FA, IES	EH, SH, FA, IES	EH, SH, FA, IES
24 Junio	EH, SH	EH, FA, IES	EH, FA, IES

Tabla 13. Composición espacial de las clases taxonómicas de fitoplancton según el número de especies presentes

Clases Taxonómicas	EH	SH	FA	IES
Bacillariophyceae	14	11	9	10
Chlorophyceae	21	10	13	11
Chrysophyceae	1	1	1	1
Coccinodiscophyceae	0	1	0	0
Cyanophyceae	7	1	5	3
Dinophyceae	3	2	3	3
Euglenophyceae	10	8	10	9
Fragilariophyceae	2	1	1	1
Xanthophyceae	0	1	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Composición espacial de las clases taxonómicas de fitoplancton según el número de especies presentes



Fuente: Elaboración propia.

c. Composición general de la comunidad fitoplanctónica

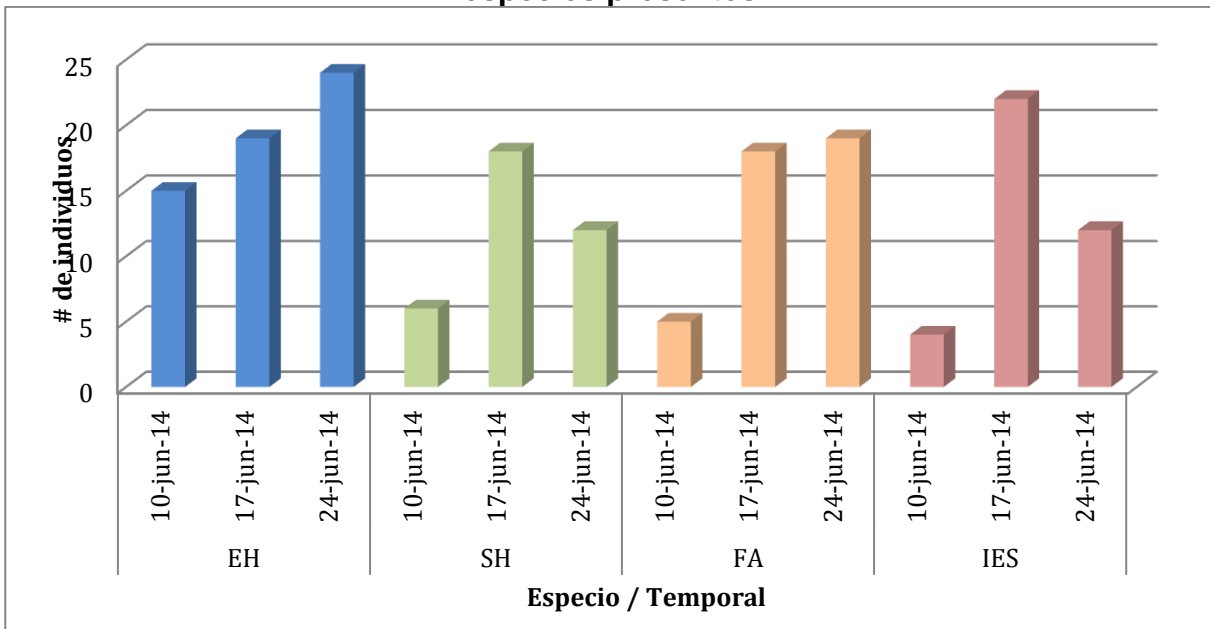
La dinámica de la composición general de la comunidad de fitoplancton se representó con mayor número de especies el 24 de junio del punto de monitoreo EH con 24 individuos, seguido del 17 de junio del punto de monitoreo IES con 22 individuos, los días con menor número de especies fue el 10 de junio del punto IES con cuatro individuos, seguido de FA con cinco individuos. Se puede observar que el punto de EH con un total de 58 individuos tiene la mayor presencia de especies encontradas, seguido de FA un total de 42 individuos; siendo los puntos de monitoreo IES un total de 38 géneros y SH un total de 36 géneros los que presentaron la menor presencia de especies (Tabla 14 y Gráfica 4).

Tabla 14. Composición de las familias de fitoplancton según el número total de especies presentes

EH			SH			FA			IES		
10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
15	19	24	6	18	12	5	18	19	4	22	12
58			36			42			38		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Composición de las familias de fitoplancton según el número total de especies presentes



Fuente: Elaboración propia.

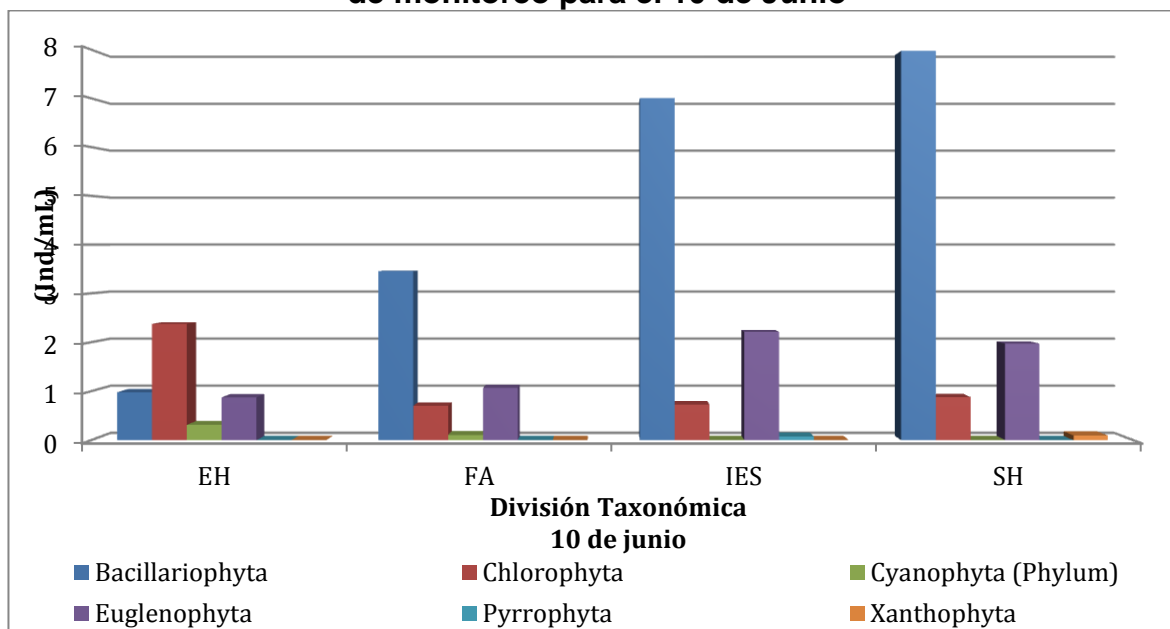
5.2.1.2 Abundancia de la comunidad de fitoplancton (Cuantitativo)

Tabla 15. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio

Divisiones Taxonómicas (ind/mL)	10 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Bacillariophyta	0,979	3,453	7,002	7,973
Chlorophyta	2,374	0,7	0,727	0,879
Cyanophyta (Phylum)	0,313	0,104	0,000	0,000
Euglenophyta	0,875	1,068	2,211	1,973
Pyrrophyta	0,000	0,000	0,073	0,000
Xanthophyta	0,000	0,000	0,000	0,097

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5. Abundancia de los géneros de fitoplancton por divisiones en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

El análisis realizado a partir de las muestras colectadas el 10 de Junio se estableció un predominio de géneros de la división Bacillariophyta algunos conocidos como diatomeas, con bajas densidades en los puntos EH (0,979 ind/mL) y FA (3,453 ind/mL), en las zonas del IES y SH aportó el 49% de la abundancia total reportada por la comunidad en los cuatro puntos; además fue el grupo taxonómico más diverso al encontrarse compuesto por la presencia de 25 taxa (Gráfica 15), de los cuales los más dominantes fueron *Synedra* que se relaciona con ambientes mesotróficos, *Asterionella* característica de aguas dulces ricas en nutrientes con temperaturas cercanas a la ambiente, tolerantes a condiciones alcalinas y salinidades relativamente bajas donde es un componente importante de la

floración de la de diatomeas; y *Trachelomonas* las cuales viven en aguas contaminadas con materia orgánica.

Las diatomeas constituyeron el grupo más diverso y abundante dentro de las comunidades algales debido a que son consideradas especies cosmopolitas ya que se distribuyen en muchas regiones geográficas. Además de esto, son importantes bioindicadores dentro de un ecosistema debido a que son susceptibles a cambios y resisten muchas sustancias que de una u otra forma causan modificaciones a un determinado ambiente³⁵. Pinilla (2000) las describe como indicadoras de un pH neutro a ligeramente ácido, de una relación N/P alta y bajas concentraciones de calcio³⁶. Las altas densidades de las diatomeas se pueden ver asociadas con la cantidad de sílice soluble en el cuerpo de agua, ya que es el compuesto básico para construir sus frústulas. Las algas diatomáceas son las principales consumidoras de sílice, se espera encontrar valores bajos en la zona eutrófica de los lagos y valores altos en la zona afótica³⁷.

Dentro de este grupo la mayor abundancia fue aportada por *Asterionella* sp., esta microalga es característica del fitoplancton de cuerpos de agua templados ricos en nutrientes, donde es un componente importante de la floración de diatomeas. El rápido aumento de la población de esta especie conduce a la extracción de aniones (nitrato disuelto, fosfatos y silicatos) del agua del lago que rodea³⁸, lo que resulta en el agotamiento de nutrientes. Reducción en la disponibilidad de nutrientes, especialmente silicato agua del lago, es un factor importante que conduce a disminución de la población súbita³⁹.

Así como en los otros puntos la división Euglenophyta también fue reportada en altas densidades con una densidad de 6,127 ind/mL se conformó por la presencia de *Euglena* sp., *Trachelomonas* sp., *Phacus* sp., *Lepocinclis* sp., y *Strombomonas* sp. Estas algas en general son usadas como bioindicadores de alto contenido de materia orgánica, estratificación, meso a oligotrofia, abundancia de nitrógeno (N₂) y estabilidad hidrodinámica. Se encuentran en el estrato superior de la columna de agua, en donde la penetración lumínica es mayor y por ende pueden aprovecharla al máximo³⁶.

La división Chlorophyta contó con gran representatividad de *Sphaerocystis* sp., presente en todos los puntos excepción de la SH, aportando una densidad total de 2,278 ind/mL, esta especie de alga verde puede alcanzar concentraciones elevadas en la superficie de lagos naturales y artificiales. Es un género ampliamente distribuido en una gran variedad de lagos, tanto en aguas duras como en aguas blandas⁴⁰.

Por su parte, el Phylum Cyanophyta registró su presencia en los puntos EH y FA con densidades de 0,313 ind/mL y 0,104 ind/mL, respectivamente de la especie que se halló con mayor frecuencia fue *Oscillatoria* sp., (0,128 ind/mL); estos organismos son indicadores de desechos industriales de papel y polución salina³⁶.

Ceratium sp., fue la única especie representante de la división Pyrrophyta, se identificó en el punto IES con una densidad de 0,073 ind/mL; este grupo tiene una importancia en el

plancton de la mayoría de lagos tropicales, ya que están casi siempre presentes, aunque generalmente en poca abundancia⁴¹.

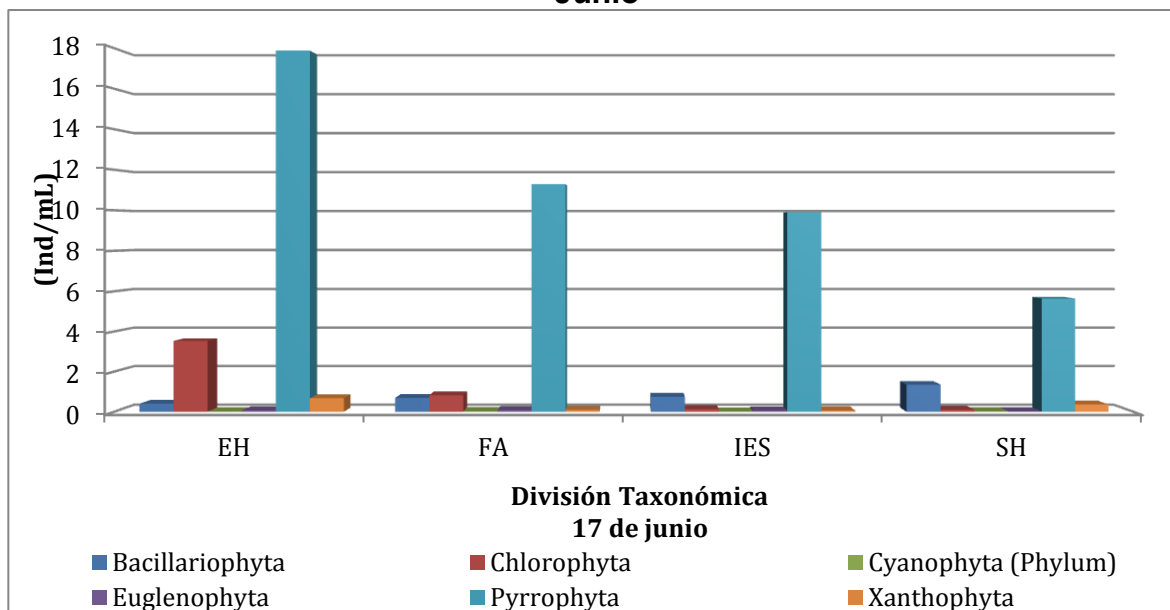
Para finalizar, en este monitoreo se incluyó la presencia de la división Xanthophyta en el punto SH (0,097 ind/mL), se conocen comúnmente como heterocontas por su color verde amarillento y la especie identificada fue *Tribonema* sp., son algas cosmopolita⁴², que se encuentran principalmente en tierra húmeda y en zonas de corriente lenta⁴³, que finalmente permiten distinguir condicione de oligotrofia³⁶.

Tabla 16. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio

Divisiones Taxonómicas (ind/mL)	17 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Bacillariophyta	0,4	0,686	0,752	1,349
Chlorophyta	3,533	0,821	0,125	0,09
Chrysophyta	0,012	0,024	0,009	0,02
Cyanophyta (Phylum)	0,066	0,078	0,05	0,015
Euglenophyta	17,882	11,285	9,908	5,641
Pyrrophyta	0,674	0,096	0,06	0,363

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

Los organismos de la división Euglenophyta fueron el principal componente de la comunidad fitoplanctónica, representando el 83% de la abundancia reportada en los cuatro puntos monitoreados el 17 de Junio, con una densidad de 44,716 ind/mL y la presencia de 15 taxa.

Las Euglenophytas son abundantes en charcas y lagunas temporales con alta concentración de materia orgánica; son poco importantes en la mayoría de los cuerpos de agua, con excepción de *Trachelomonas* sp., y *Euglena* sp,³⁷. La densidad más alta se halló en el punto EH, en donde se contó con 17,882 ind/mL (Gráfica 6), encontrando dominancia de *Trachelomonas* sp. (17,590 ind/mL); la intensidad del color de la lorica de algunas especies de este género está determinada por la cantidad de hierro y manganeso presente en el cuerpo de agua, pues estos elementos impregnan la lorica dada la naturaleza péptica de ésta⁴⁴.

Adicionalmente, dentro de esta división se incluyó la presencia de *Phacus* sp., y *Lepocinclis* sp., en los cuatro puntos de monitoreo; en general, las especies de estos géneros viven en aguas contaminadas ricas en materia orgánica⁴⁰.

Como se observa en la Gráfica 6, los otros cinco grupos taxonómicos identificados se encontraron con muy baja representatividad en términos de abundancia; la división Chlorophyta aportó 4,569 ind/mL, Bacillariophyta 3,187 ind/mL, Pyrrophyta 1,193 ind/mL, Chrysophyta 0,065 ind/mL y el Phylum Cyanophyta 0,065 ind/mL, obteniendo así una densidad total de 53,939 ind/mL.

En cuanto a la riqueza de la comunidad, se destacó la división Chlorophyta por medio de la presencia de taxa en cada uno de los puntos, a excepción el punto IES en donde se identificaron siete especies de algas verdes; en total estos 25 taxa se distribuyen en las especies *Pandorina* sp., *Closterium* sp., *Kirchneriella* sp., *Pandorina* sp., *Ankistrodesmus* sp., *Tetraedron* sp., *Oocystis* sp., *Sphaerocystis* sp., *Mougeotia* sp., y *Staurastrum* sp., siendo estos cuatro últimos, los únicos taxa identificadas en los cuatro puntos, lo cual se asocia con la contaminación por materia orgánica en las zonas de monitoreo, sedimentación alóctona o con aportes de aguas residuales⁴⁵, corroborándose con la presencia de coliformes.

Se considera que las algas verdes son las más biodiversas aunque su importancia es secundaria frente a las euglenofíceas en cuanto al contenido de biomasa. La mayoría de estas algas están adaptadas para vivir bajo una buena intensidad de luz ya que los cloroplastos que las conforman son capaces de utilizar mejor la longitud de onda roja en lugar de la verde, por tanto, a mayor profundidad o en aguas turbias, solo podrán vivir mejor adaptadas las algas rojas y pardas, en general aquellas que puedan usar diferentes longitudes de onda³⁷.

La división Bacillariophyta presenta un comportamiento recíproco al predominio de las euglenofitas, quienes aumentan su densidad siguiendo la ubicación de los puntos de EH a SH, mientras que las bacilariofitas se encuentran de manera más abundante en la SH (1,349 ind/mL) y en su paso por los otros puntos hasta la EH (0,4 ind/mL) baja su densidad gradualmente (Gráfica 6). La utilidad de las diatomeas como bioindicadores radica en los cambios en las estructuras debidas a factores estresantes y la proliferación de especies asociadas a aportes de determinadas sustancias. Se ha establecido que hábitats de agua dulce en ambientes sin polución existirán muchas especies cada una con poblaciones

reducidas y en ambientes alterados o polutos existirá un bajo número de especies, en algunos casos con altas abundancias debido a los factores ecológicos limitantes impuestos por la sustancia contaminante⁴⁶.

Por su parte la división Pyrrophyta estuvo representada por *Ceratium* sp y *Peridinium* sp., el primero se observó en todos los puntos de monitoreo, este dinoflagelado es utilizado como bioindicador de aguas meso a eutróficas, con pH neutro a ligeramente alcalino y se considera susceptible al sulfato de cobre⁴⁰. Y en el punto EH y FA incluyó la presencia de *Peridinium* sp., con densidades de 0,653 ind//mL y 0,018 ind/mL, respectivamente; especie muy común en los lagos oligotróficos⁴⁰.

Las especies del Phylum Cyanophyta fueron identificadas como *Anabaena* sp., *Lyngbya* sp., *Oscillatoria* sp., y *Chamaesiphon* sp. Las cianófitas se desarrollan especialmente cuando las condiciones ambientales se desvían notablemente de las relaciones habituales; así, todo cambio en la relación de concentración del nitrógeno y fósforo acaba manifestándose en un avance o retroceso de las mismas⁴⁰.

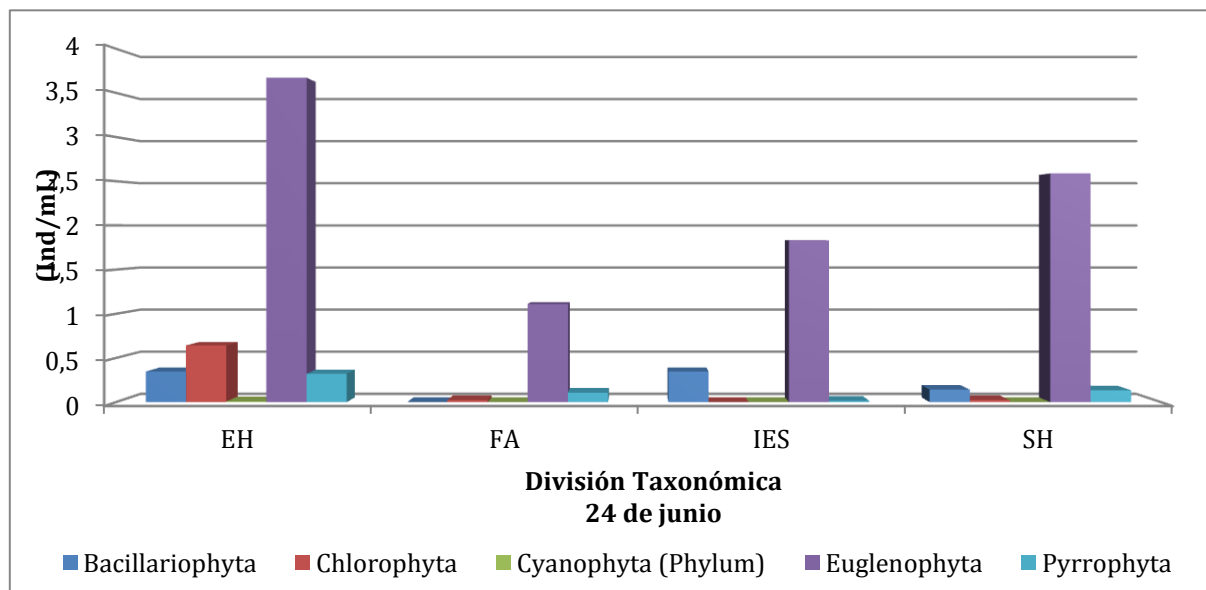
En todos los puntos se identificó la clase Chrysophyta por medio de *Mallomonas* sp., estas algas comúnmente conocidas como algas doradas o pardo-amarillas viven en la mayoría de los lagos y lagunas de aguas dulces limpias y frías, y algunas especies son marinas. Generalmente, se presentan como formas unicelulares flageladas, muchas forman colonias con formas, incluso, muy elaboradas³⁶.

Tabla 17. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio

Divisiones Taxonómicas (ind/mL)	24 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Bacillariophyta	0,347	0,000	0,347	0,142
Chlorophyta	0,642	0,022	0,000	0,022
Cyanophyta (Phylum)	0,009	0,000	0,000	0,000
Euglenophyta	3,67	1,108	1,829	2,588
Pyrrophyphyta	0,321	0,108	0,015	0,135

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 7. Abundancia de fitoplancton en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo mostrado en la Gráfica 7, la presencia de los euglenófitos enmarcó un predominio dentro de la comunidad en todos los puntos monitoreados el día 24 de Junio del 2014. Dentro de esta división se reportó la presencia de 11 taxa, ya que en cada punto se identificaron tres especies, a excepción del punto IES, en donde únicamente se halló *Lepocinclis* sp., y *Trachelomonas* sp.

La división Euglenophyta por medio de una densidad de 9,195 ind/mL, representó el 83% de la abundancia total alcanzada por la comunidad de microalgas planctónicas en los cuatro puntos de monitoreo; puede decirse que los organismos pertenecientes a esta división son casi enteramente dulceacuícolas, se encuentran normalmente en cuerpos de agua ricos en materia orgánica y, en general, son organismos unicelulares solitarios⁴⁰. *Trachelomonas* sp., especie identificada en cada uno de los puntos, fue la microalga más representativa aportando una densidad de 8,343 ind/mL, y logró su máxima abundancia en la EH (3,465 ind/mL); Margalef (1983) reporta el género como un componente de lagos oligotróficos a mesotróficos⁴⁷. Se considera característico de etapas intermedias de la sucesión, en la transición de mezcla a estratificación³⁷.

Así como los euglenófitos, la división Pyrrophyta se encontró presente en todos los puntos de monitoreo (Gráfica 7), en el punto EH y FA estuvo representada por *Peridinium* sp., con densidades de 0,321 ind/mL y 0,108 ind/mL, respectivamente, este género es el dinoflagelado más abundante en aguas dulces⁴⁸, estos organismos están capacitados para formar estados enquistados en respuesta a condiciones desfavorables. Son típicas en estiaje tardío, cuando los cuerpos lacustres pasa de aguas turbulentas y ricas a aguas estratificadas y pobres⁴⁰. Y *Ceratium* sp., fue identificado en IES (0,015 ind/mL) y SH

(0,135 ind/mL), las especies del género pueden producir florecimientos que se denominan mareas rojas; algunos de esos blooms se relacionan con la producción de toxinas⁴⁰.

La asociación de los géneros *Ceratium* con *Peridinium* es una floración común formando los dinoflagelados en lagos de agua dulce, y se proliferan en hábitats relativamente pobres en nutrientes pero ricos orgánicamente⁴⁹.

La división Chlorophyta se catalogó como un grupo algal importante, aunque estuvo ausente en el punto IES; su mayor abundancia y riqueza se registró en EH, en donde por medio de siete especies (*Oocystis* sp., *Pandorina* sp., *Sphaerocystis* sp., *Volvox* sp., *Closterium* sp., *Mougeotia* sp., y *Staurastrum* sp.) aportó una densidad de 0,642 ind/mL (Gráfica 7). La única especie que se identificó en los tres puntos fue *Oocystis* sp., son algas de superficie que pueden existir en gran número en lagos o en pequeñas lagunas y pozos; dependiendo de la especie, pueden ser usadas como bioindicadores de aguas blandas ricas en materia orgánica, o aguas duras⁴⁰.

Esta división quien obtuvo una abundancia total de 0,686 ind/mL, no mostró una diferencia significativa con la división Bacillariophyta; las diatomeas aportaron 0,687 ind/mL encontrándose conformada por *Asterionella* sp., *Cocconeis* sp., *Navicula* sp., y *Synedra* sp., al igual que las algas verdes, este grupo taxonómico se ausentó en uno de los puntos monitoreados, en este caso fue FA; se considera que dentro del ensamblaje fitoplanctónico su presencia no es común debido a que estos organismos se caracterizan por adherirse al sustrato mediante estructuras a base de sílice⁴⁵. Las especies planctónicas son más frágiles y presentan una serie de adaptaciones para permanecer suspendidas⁴⁰.

Para finalizar, dentro del Phylum Cyanophyta se reportó exclusivamente la presencia de *Oscillatoria* sp., identificado en la punto de EH; esta especie se caracteriza por producir afloramientos, los cuales reducen la entrada de luz al espejo de agua.

5.2.1.3 Determinación de la diversidad de especie (Índices ecológicos)

Tabla 18. Índices de Riqueza (S)

Riqueza (S)	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	15	19	24
SH	6	18	12
FA	5	18	19
IES	4	22	12

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 se observó mayor riqueza el 24 de junio del punto de monitoreo EH con 24 individuos, seguido por el 17 de junio del punto de monitoreo IES con 22 individuos, los días con menor riqueza fueron el 10 de junio del punto IES con cuatro individuos, seguido de FA con cinco individuos. A pesar que algunos puntos presentan una riqueza alta con

respecto a otros, esta riqueza temporal es menor que la riqueza total del muestreo; cabe destacar que para la comunidad de fitoplancton se obtuvo un total de 51 géneros, concluyendo que para el humedal existe un valor medio de riqueza de géneros de fitoplancton.

Tabla 19. Índice de Abundancia (N)

Abundancia (N)	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	4,99	22,567	4,541
SH	2,89	7,478	10,922
FA	1,24	12,99	5,325
IES	2,04	10,904	10,013

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19 se describen las abundancias reportadas para el día 17 de junio, teniendo en cuenta lo anterior es posible determinar que la mayor abundancia se presentó para el punto de monitoreo EH con 22,567 ind/mL, seguido del punto SH con 10,922 ind/mL, los días con menor abundancia fueron el 10 de junio del punto FA con 1,24 ind/mL, seguido de IES con 2,04 ind/mL. Al comparar las abundancias obtenidas el 10 de junio con respecto al total para esa fecha encontramos un valor bajo de abundancia para el humedal, ya que para esa fecha el valor más alto de abundancia encontrado fue en EH con 4,99 ind/mL y la abundancia total obtenida fue de 30,801 ind/mL; por otro lado, al comparar las abundancias obtenidas el 17 de junio con respecto al total cabe destacar que para esa fecha encontramos un valor medio de abundancia, ya que el valor más alto de abundancia se reportó en el punto de muestreo EH con 22,567 ind/mL y la abundancia total obtenida fue de 53,939 ind/mL. Por otro lado, al comparar las abundancias obtenidas para el 24 de junio con respecto al total para esa fecha encontramos un valor alto de abundancia para el humedal, ya que para esa fecha el valor más alto de abundancia encontrado fue SH con 10,922 ind/mL y la abundancia total obtenida fue de 11,305 ind/mL.

Tabla 20. Índice de Uniformidad (J')

Uniformidad Pielou (J')	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	0,49	0,32	0,73
SH	0,40	0,33	0,49
FA	0,60	0,25	0,48
IES	0,40	0,16	0,41

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20 se observó mayor uniformidad el 24 de junio del punto de monitoreo EH con un valor de 0,73, seguido del punto FA con un valor de 0,60, los días con baja uniformidad fueron el 17 de junio del punto IES con un valor de 0,16, seguido de FA con un valor de 0,25. Para EH - 24 de junio y FA - 10 junio encontramos valores altos uniformidad (0,73 y 0,60 respectivamente), indicándonos que todos los géneros tienen una abundancia similar, es decir no hay géneros más abundantes que otros; mientras que los demás resultados

obtenidos nos indican una baja uniformidad, lo que implica que las abundancias de los géneros no son iguales, es decir que existen géneros más abundantes que otros.

Tabla 21. Índice de Diversidad (H')

Diversidad Shannon- Wiener (H')	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	1,91	1,37	3,36
SH	1,03	1,39	1,75
FA	1,39	1,06	2,03
IES	0,79	0,71	1,48

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 21 se observó mayor diversidad el 24 de junio del punto de monitoreo EH con un valor de 3,36, seguido del punto FA con un valor de 2,03, los días con baja uniformidad fueron el 17 de junio del punto IES con un valor de 0,71, seguido de 10 junio del punto IES con un valor de 0,79. Para 24 de junio en los punto EH y FA encontramos valores altos diversidad (3,36 y 2,03 respectivamente), indicándonos que existe mayor uniformidad en la distribución de las especies, es decir que ninguno de los géneros encontrados reportó una diversidad considerablemente mayor que los demás géneros encontrados; mientras que los demás resultados obtenidos nos indican una baja diversidad en la distribución de especies, es decir que es probable que algunos géneros presenten una uniformidad mayor que los demás.

Tabla 22. Índice de Predominio ($1-\lambda$)

Predominio de Simpson ($1-\lambda$)	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	0,51	0,38	0,84
SH	0,31	0,45	0,53
FA	0,53	0,28	0,61
IES	0,27	0,19	0,49

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 22 permite determinar que existe un mayor predominio reportado para el 24 de junio del punto de monitoreo EH con un valor de 0,84, seguido del punto FA con un valor de 0,61, los días con valores bajos de predominio fueron el 17 de junio del punto IES con un valor de 0,19, seguido de 10 junio del punto IES con un valor de 0,27. Los valores del índice de predominio reportados que se encuentran cercanos a uno nos indican que existe una baja homogeneidad en la distribución de las especies; mientras que los valores reportados cercanos a cero nos indican que existe mayor homogeneidad en la distribución de las especies.

Tabla 23. Serie de Números de Hill (N1-N2-N10-N21)

Serie Número de Hill (N1)	10 de Junio				17 de Junio				24 de Junio			
	N1	N2	N10	N21	N1	N2	N10	N21	N1	N2	N10	N21
EH	4	2	0,25	0,54	3	2	0,14	0,63	10	6	0,43	0,63
SH	2	1	0,34	0,71	3	2	0,15	0,69	3	2	0,28	0,63
FA	3	2	0,52	0,82	2	1	0,12	0,67	4	3	0,21	0,62
IES	2	1	0,43	0,79	2	1	0,07	0,75	3	2	0,23	0,69

Primer v5, 2001.

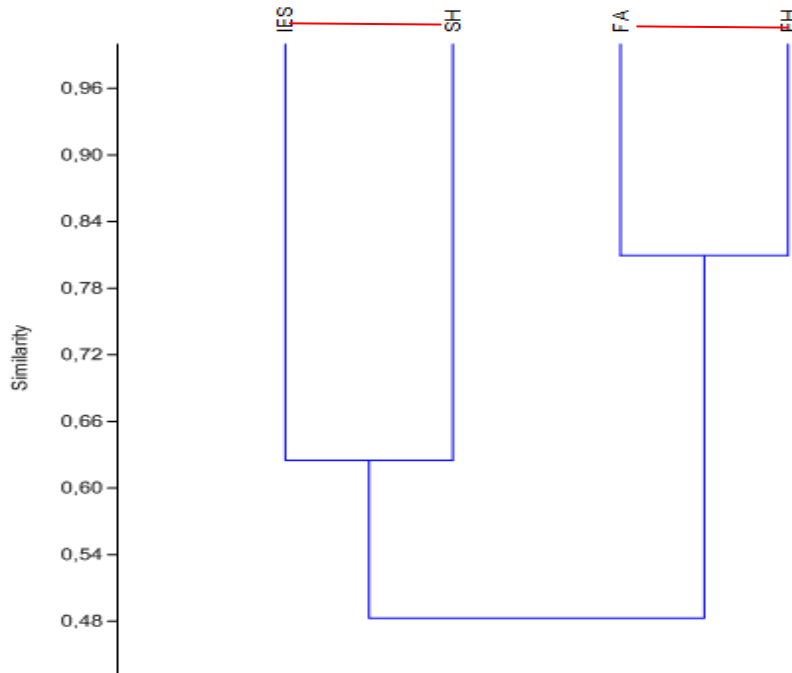
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 se observa que el punto EH presenta valores altos de N1 y N2 en todas las fechas de muestreo con respecto a los demás puntos de monitoreo, teniendo para el 24 de junio un ensamblaje que evidencia una distribución homogénea en relación a la densidad reportada por los géneros, ya que N1 arroja un valor de diez géneros abundantes, de las cuales seis son muy abundantes, donde la clase Euglenophyceae obtuvo la mayor abundancia de géneros con (3,67 ind/mL) respecto a las demás clases; de los cuatro géneros menos abundantes tenemos: Oscillatoria (0,009 ind/mL), Volvox (0,009 ind/mL), Pandorina (0,018 ind/mL) y Closterium (0,036 ind/mL)(Anexo A). Por su parte el ensamblaje fitoplanctónico correspondiente a los puntos ubicados en la SH, FA e IES, obedecen a un predominio por parte del género Trachelomonas.

Mientras que el punto SH presenta el menor valor de N1 (2) y N2 (1) en la fecha 10 de junio con respecto a los demás puntos de monitoreo, para el 17 de junio y 24 de junio el punto IES presenta el menor valor de N1 (2) (3) y N2 (1) (2) respectivamente.

5.2.1.4 Índice de Similaridad de Jaccard

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se muestran los dendrogramas relacionados con la comunidad fitoplanctónica.

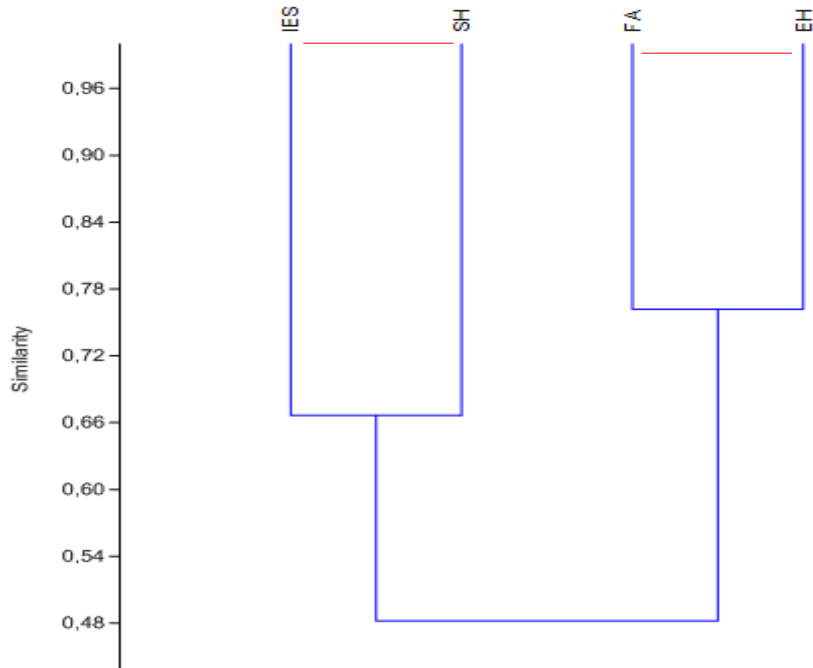
Gráfica 8. Similaridad 10 de junio

PAST versión 2.17c, 2013

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo mostrado en la Gráfica 8 se puede apreciar que a partir del análisis de similitud obtenido mediante el índice de Jaccard los individuos reportados para la comunidad de fitoplancton durante el muestreo realizado el día 10 de junio se distribuyen en dos clúster los cuales agrupan las 4 estaciones de monitoreo planteadas; la distribución de los taxa reportados permite establecer que existen dos relaciones importantes: la primera existe entre lo encontrado para las estaciones IES y SH, las cuales comparten más del 65% de las géneros encontrados; la segunda relación se presenta entre las estaciones FA y EH, con más del 78% de las especies compartidas.

La anterior afirmación se puede justificar si se observan las divisiones a las cuales pertenecen de microalgas reportados para cada caso, por ejemplo en las estaciones IES y SH se tienen las divisiones Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenophyta y Xanthophyta. Cabe destacar la importancia en ambos casos del género Asterionella, el cual reportó una abundancia promedio de 7 ind/mL y del género Trachelomonas, con un valor de abundancia de 1,5 ind/mL, adicionalmente estos taxa permiten establecer la bioindicación y condiciones descritas en apartados anteriores.

Gráfica 9. Similaridad 17 de junio

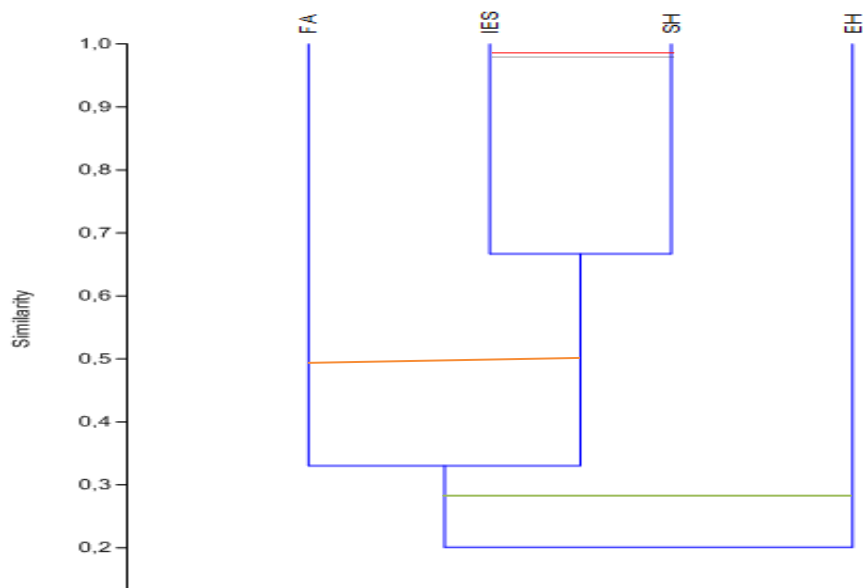
PAST versión 2.17c, 2013

Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 9 se muestra el análisis de similaridad estimado para el muestreo realizado el día 17 de junio. Paralelamente, con lo mostrado para la anterior fecha de muestreo, en esta caso cabe destacar que las estaciones IES y SH también se agruparon en un clúster, compartiendo así más del 66% de los taxa reportados, en contraste se evidenció un segundo grupo se encontraron las estaciones FA y EH con más del 70% de géneros compartidos.

Es importante tener en cuenta que en las dos estaciones de muestro agrupadas en el primer clúster (>66%) se reportaron las divisiones Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta y el phylum Cyanophyta destacándose la presencia de los géneros Trachelomonas y Asterionella, con abundancias netas de 15,197 ind/mL y 1,988 ind/mL, respectivamente.

Para el caso del clúster conformado por las estaciones FA y EH es importante establecer que en ambos casos se reportaron las divisiones Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta y el phylum Cyanophyta, adicionalmente en cada estación el género registró una abundancia neta de más de 20 ind/mL, por ende es congruente determinar que gracias a este valor de abundancia para este organismo permita la formación de este clado dentro del dendrograma.

Gráfica 10. Similaridad 24 de junio

PAST versión 2.17c, 2013

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de lo visto anteriormente para las dos fechas de muestreo, en el caso de lo encontrado para el muestreo realizado el día 24 de junio cabe destacar que se formaron tres clúster claramente diferenciados, claro está, al tener en cuenta los valores de abundancia y los organismos determinados en cada caso.

En primer lugar se tiene que las microalgas que componen la comunidad determinada en la estación EH se establecen en un clúster indiferente de las demás, ya que comparten menos del 20% de géneros con los otros grupos, pero a pesar de esta condición, es en este punto donde se reportó la mayor abundancia de algas fitoplanctónicas: un total de 4,989 ind/mL; este ensamblaje estuvo conformado por las divisiones Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta y el phylum Cyanophyta; de los cuales sobresale la presencia de los géneros *Trachelomonas* y *Synedra*, con abundancias de 3,465 ind/mL y 0,214 ind/mL, respectivamente indicando mesotrofia.

Un segundo clúster fue conformado por los géneros determinados en la estación FA, sin embargo este grupo presentó menos del 40% de las especies compartidas, para este lugar la riqueza fue únicamente de 5 taxa, sin embargo se encontraron las divisiones Chlorophyta, Euglenophyta y Pyrrophyta, cada una con una abundancia relativamente baja (menos de 0,300 ind/mL).

Finalmente, existe un tercer clúster conformado por las microalgas encontradas en las estaciones IES y EH, con más del 65% de los taxa reportados en ambos casos. Tal como se describe en otros apartados, estos dos puntos de muestreo solo difieren en los géneros *Phacus* y *Oocystis*, con una abundancia de 2,887 ind/mL y 2,042 ind/mL respectivamente.

Lo más probable es que esta baja densidad de individuos permita agrupar estas dos estaciones en un solo clúster.

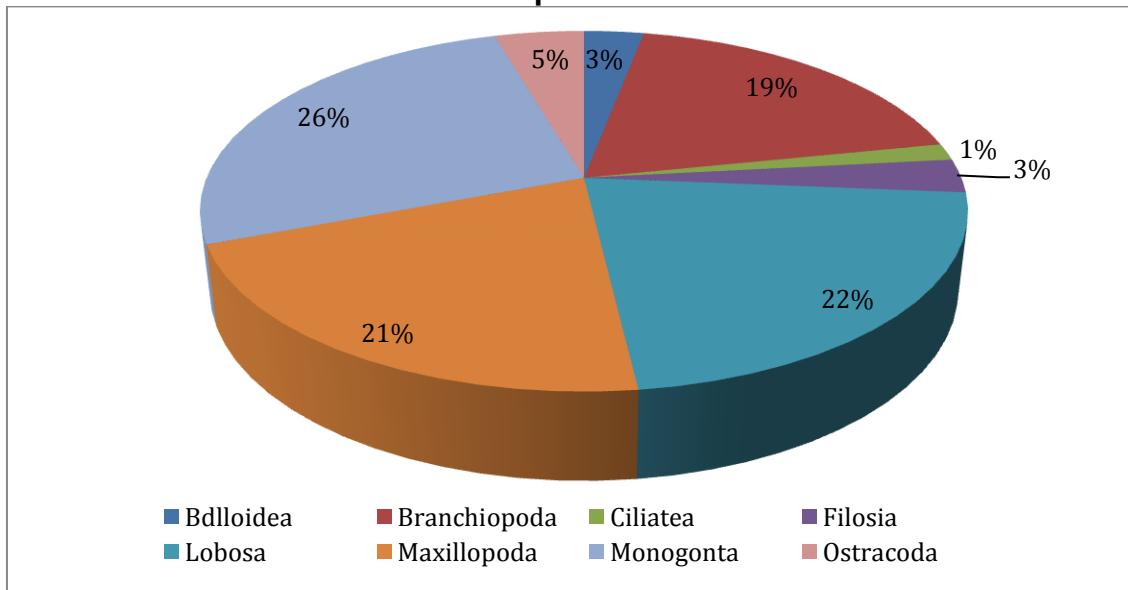
5.2.2 Zooplancton

5.2.2.1 Presencia / ausencia de los Zooplancton (Cualitativo)

La caracterización de la comunidad zooplanctónica del humedal se encontró representada por un total de 133 individuos y 33 géneros pertenecientes a 8 clases: Monogonta (26,32%), Lobosa (21,80%), Maxillopoda (21,05%), Branchiopoda (18,80%), Ostracoda (4,51%) Bdelloidea (3,01%), Filosia (3,01%), Ciliatea (1,50%).

La distribución de las 3 primeras clases le dio al humedal un carácter de eutrofia, es decir, un enriquecimiento de materia orgánica proveniente de la descomposición propia del sistema y entradas exógenas al mismo, altos niveles de sólidos suspendidos y minerales (Anexo B) (Gráfica 11).

Gráfica 11. Porcentaje de las especies para cada clase de la comunidad de zooplancton



Fuente: Elaboración Propia.

a. Comportamiento temporal de la comunidad zooplanctónica

El mayor número de especies se registró el 17 de junio con 51 individuos seguido del 24 de junio con 49 individuos, el día 10 de junio con 33 individuos (Tabla 24 y Gráfica 12). Morfo 1, fue el género en cada una de los puntos y días de monitoreo, estos ciclopoideos fueron los más representativos con identificado 12 individuos. En todas las fechas de monitoreo, la clase Monogonta fue la más dominante con un total de 35 individuos. La mayoría de los individuos pertenecientes al zooplancton, encontrados dentro de esta clase

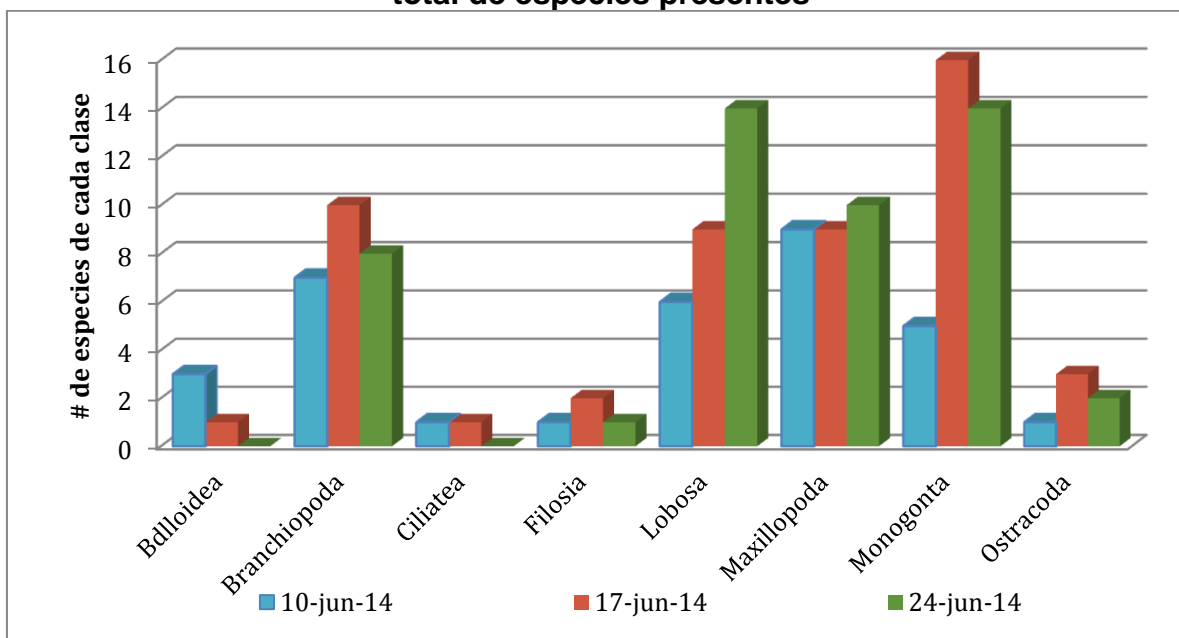
pertenece a la familia Branchionidae donde el género más representativo resultó ser Anuraeopsis con seis individuos.

Tabla 24. Composición temporal de las clases taxonómicas de zooplancton según el número total de especies presentes

Clase Taxonómicas	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Bdelloidea	3	1	0
Branchiopoda	7	10	8
Ciliatea	1	1	0
Filosia	1	2	1
Lobosa	6	9	14
Maxillopoda	9	9	10
Monogonta	5	16	14
Ostracoda	1	3	2

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 12. Composición temporal de las familias de zooplancton según el número total de especies presentes



Fuente: Elaboración propia

b. Comportamiento espacial de la comunidad zooplanctónica

Con respecto a la composición espacial se encontró que el punto con mayor número de especies fue EH con 37 individuos, seguido de FA con 35 individuos. En todos los puntos de monitoreo, la clase Monogonta fue la más dominante, donde le da un carácter eutrófico, seguido de Lobosa dando altos niveles de sólidos suspendidos y Branchiopoda quien permite determinar un contenido considerable de oxígeno en el sistema, ya que estos

organismos son filtradores; por ende se establece en sistemas de agua de carácter oligotrófico a eutrófico (Tabla 25).

En la gráfica 10 se puede observar que en los cuatro puntos de monitoreo la clase Monogonta tiene mayor presencia en los puntos EH y FA con 11 especies en cada punto respecto al resto de las clases; siendo el género Anuraeopsis el más abundante dando una condición de oligotrofía, teniendo en cuenta que los géneros Asplanchna, Keratella y Polyarthra pertenecen a la clase Monogonta, cabe resaltar que se encuentran en sistemas en estados de eutrofía con pH elevados y altas concentraciones de minerales.

A continuación se observa los géneros de la comunidad zooplanctónica más representativos del humedal y su presencia en cada punto de monitoreo:



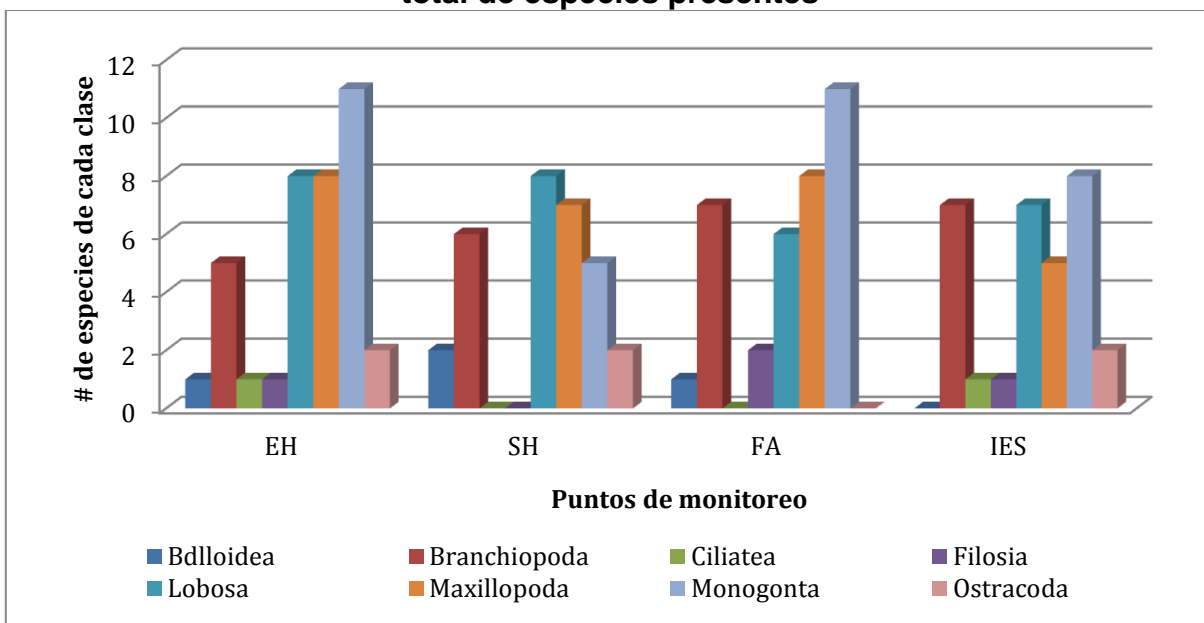
	 Anuraeopsis	 Asplanchna	 Keratella	 Polyarthra
10 Junio	FA	-	-	-
17 Junio	EH, FA, IES	SH, IES	EH, FA	EH, FA, IES
24 Junio	EH, FA	EH, SH, IES	EH, SH, IES	EH, FA

Tabla 25. Composición espacial de las clases taxonómicas de zooplancton según el número total de especies presentes

Clase Taxonómicas	EH	SH	FA	IES
Bdelloidea	1	2	1	0
Branchiopoda	5	6	7	7
Ciliata	1	0	0	1
Filosa	1	0	2	1
Lobosa	8	8	6	7
Maxillopoda	8	7	8	5
Monogonta	11	5	11	8
Ostracoda	2	2	0	2

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 13. Composición espacial de las familias de Zooplancton según el número total de especies presentes



Fuente: Elaboración propia.

c. Composición general de la comunidad zooplanctonica

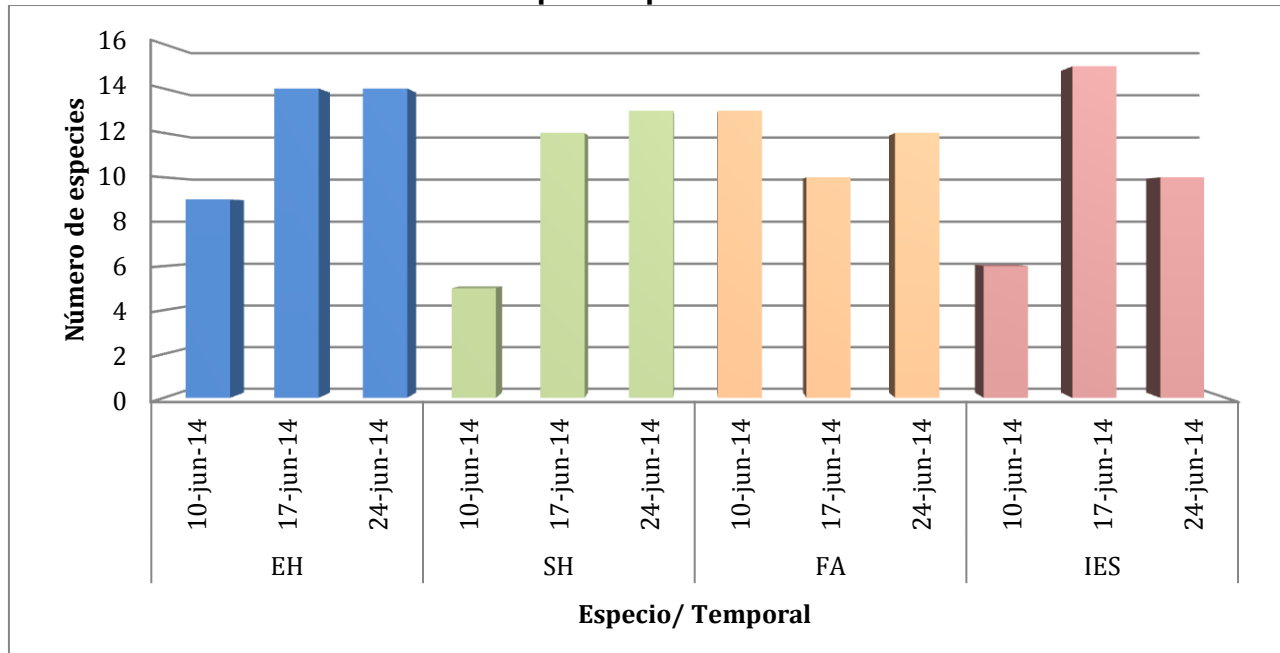
En la composición general de las familias de zooplancton se encontró con mayor número de especies el 17 de junio del punto de monitoreo EH con 15 individuos, seguido del 17 y 24 de junio del punto de monitoreo EH con 14 individuos, los días con menor número de especies fue el 10 de junio del punto SH con cinco individuos, seguido de IES con seis individuos. Se puede observar que el punto de EH con un total de 37 individuos tiene la mayor presencia de especies encontradas, seguido de FA un total de 35 individuos; siendo los puntos de monitoreo IES un total de 31 individuos y SH un total de 30 individuos los que presentaron la menor presencia de especies (Tabla 26 y Gráfica 14).

Tabla 26. Composición de las familias de zooplancton según el número total de especies presentes

EH			SH			FA			IES		
10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
9	14	14	5	12	13	13	10	12	6	15	10
37			30			35			31		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 14. Composición de las familias de zooplancton según el número total de especies presentes



Fuente: Elaboración propia.

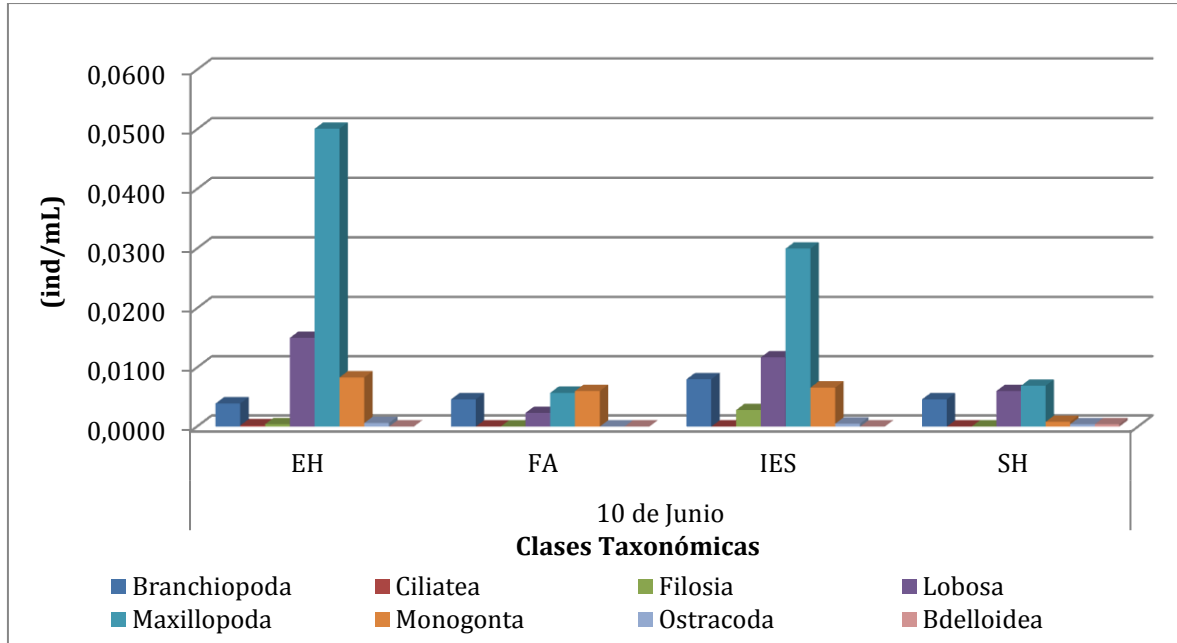
5.2.2.2 Abundancia de la comunidad de Zooplancton (Cuantitativo)

Tabla 27. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio

Clases Taxonómicas (ind/mL)	10 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Branchiopoda	0,0039	0,0046	0,008	0,0046
Ciliatea	0,0002	0,000	0,000	0,000
Filosia	0,0004	0,000	0,0028	0,000
Lobosa	0,015	0,0023	0,0117	0,006
Maxillopoda	0,0501	0,0057	0,03	0,0069
Monogonta	0,0083	0,006	0,0066	0,0008
Ostracoda	0,0006	0,000	0,0005	0,0004
Bdelloidea	0,000	0,000	0,000	0,0004

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 15. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

El ensamblaje zooplanctónico reportó una abundancia total de 0,0844 ind/mL, el cual tuvo una distribución equitativa entre los cuatro puntos muestreados, el punto EH aportó 0,0271 ind/mL, FA se contó con 0,02 ind/mL, el punto IES obtuvo 0,0133 ind/mL y en la SH se registró una densidad de 0,024 ind/mL, en todos los puntos se logró identificar especies de la clase Branchiopoda, Maxillopoda, Monogonta y Lobosa, siendo esta última la más abundante (0,0367 ind/mL) y diversa encontrándose conformada por 15 taxa (Gráfica 15),

Los tecamebianos o testáceos son organismos unicelulares (60-300 μm) provistos de una teca o conchilla rígida y de pseudópodos de naturaleza variable. Se encuentran en agua dulce (ríos y lagos), agua salobre, en el suelo, humus, turberas, tubo digestivo de batracios y lombrices, en musgos, líquenes, hojas de árboles, etc.⁵⁰; además, sirven de alimento a hidrobiontes más grandes, como: ciliados libres, oligoquetos, nemátodos, larvas y pequeños peces. Recordemos que la presencia de especies como *Arcella* sp., *Centropyxis* sp., y *Diffugia* sp., indican la existencia de nutrientes, ya que se dedican al reciclaje de los mismos en aguas posiblemente afectadas (Zapata, 2006), tienen preferencia a sistemas con altas concentraciones de calcio (Ca)⁵¹ y aguas poco ácidas según Jardin *et al.* (2007)⁵².

Por su parte, los maxilópodos (Calanoida, Cyclopoida y larva nauplio) constituyen la mayor clase de pequeños crustáceos, con más de 8.500 especies descritas, juegan un papel muy importante en los procesos de transferencia de energía de los productores primarios (fito y bacterioplancton) a organismos de niveles tróficos superiores como peces⁵³. En las zonas tropicales existe una gran cantidad de especies, siendo los calanoídeos dominantes

en número y diversidad en los primeros 100m de profundidad, es el grupo de mayor endemismo y son utilizados como indicadores de sensibilidad ante cambios físicos y/o químicos en los cuerpos de agua⁵⁴.

La clase Monogonta aportó una densidad total de 0,0123 ind/mL, concentrándose la mayor parte de su abundancia y riqueza en el punto EH contando con 0,056 ind/mL. Su taxón más representativo fue *Anuraeopsis* sp., quien aportó 0,036 ind/mL entre los puntos EH y FA en donde se registró su presencia, según Streble y Krauter (1987) este género se considera propio del plancton estival de charcas y estanques.

Bosmina sp., fue la especie más predominante dentro de la clase Branchiopoda, este cladóceros fue hallado en la mayoría de los puntos, a excepción de EH, en total registró una densidad de 0,131 ind/mL y se caracteriza por ser un animal filtrador que consume algas y protozoos, pueden encontrarse en todo tipo de masas de agua, desde lagos pequeños hasta los pequeños charcos, evitando únicamente las aguas de corriente rápidas; además son propios de aguas con tendencia a la eutrofia y no toleran variaciones bruscas del oxígeno³⁶.

Los ostrácodos referenciados por el Morfo 7 fueron identificados en los puntos IES y SH, con densidades de 0,0004 ind/mL y 0,0003 ind/mL, respectivamente. Son un grupo de microcrustáceos que viven en todo tipo de ambientes acuáticos, se considera que son muy diversificados y sensibles a los cambios que se producen en el ambiente donde viven, por lo que resultan de gran utilidad en estudios de tipo ecológico⁵⁵.

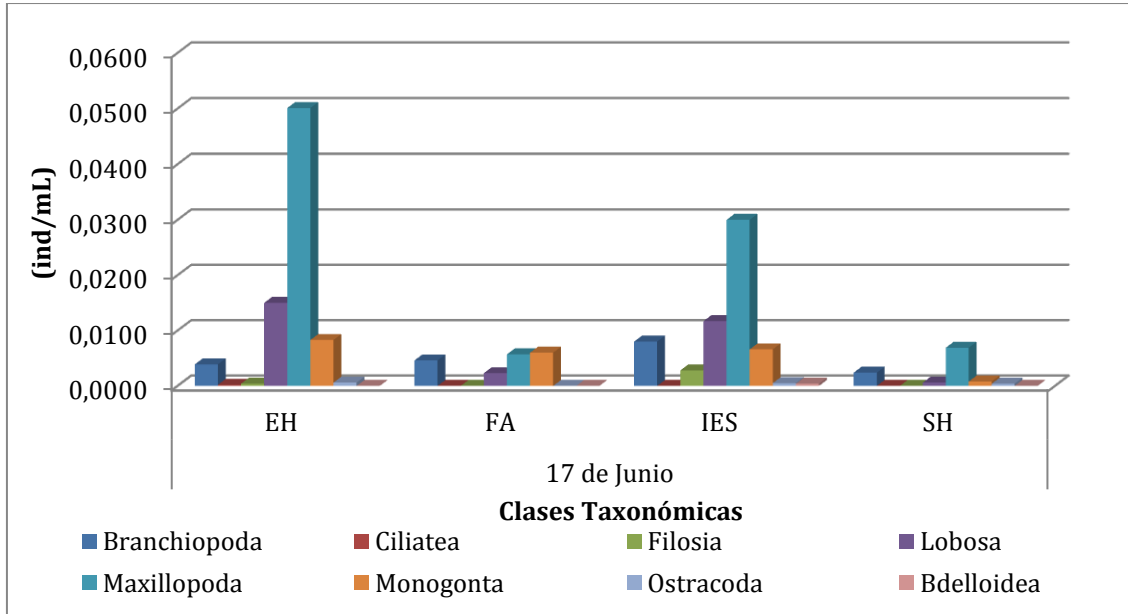
En términos generales, la bioindicación de estas especies refiere que los cuatro puntos de monitoreo se encuentran en un estado de eutrofia, con alta carga de materia orgánica en descomposición; asimismo, lo sustenta la presencia de *Trinema* sp., especie de la clase Filosia identificada en el punto FA, quien se encuentra asociada a sistemas influenciados por hojarasca o material vegetal proveniente de la vegetación adyacente²¹.

Tabla 28. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio

Clases Taxonómicas (ind/mL)	17 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Branchiopoda	0,0039	0,0046	0,008	0,0024
Ciliatea	0,0002	0,000	0,000	0,000
Filosia	0,0004	0,000	0,0028	0,000
Lobosa	0,015	0,0023	0,0117	0,0006
Maxillopoda	0,0501	0,0057	0,03	0,0069
Monogonta	0,0083	0,006	0,0066	0,0008
Ostracoda	0,0006	0,000	0,0005	0,0004
Bdelloidea	0,000	0,000	0,0004	0,000

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 16. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

La comunidad zooplanctónica reportó una abundancia total de 0,1682 ind/mL, encontrando su densidad más alta en el punto EH (0,0785 ind/mL) por medio de la presencia de 14 taxa, distribuidos entre las clases Lobosa, Branchiopoda, Maxillopoda, Ostracoda, Monogonta, Filosia y Ciliatea.

La clase Maxillopoda se integró por nueve taxa (Gráfica 16) los cuales aportaron la mayor abundancia en la comunidad, entre los cuatro puntos conformaron una densidad de 0,0927 ind/mL, destacando la presencia del Morfo 3 que hace referencia al estado larval (Nauplio) de la clase quien registró 0,0788 ind/mL. Los maxilópodos se alimentan de partículas y animales, por lo que juegan importante papel en la dinámica trófica del ecosistema acuático. En general muestran tolerancia a la deficiencia de oxígeno, migran verticalmente en forma diaria y se consideran indicadores de aguas limpias, oligotróficas; sin embargo, también son abundantes en sistemas eutrofizados, en los cuales pueden llegar a dominar la comunidad planctónica⁵⁶.

En términos de abundancia en segundo lugar se ubica Lobosa quien contó con una densidad de 0,0296 ind/mL, de la cual se concentra el 51% en el punto EH, donde fueron identificado *Nebela* sp., *Centropyxis* sp., y *Arcella* sp., siendo esta última, la especie más abundante de las tecamebas (0,176 ind/mL). *Arcella* es uno de los géneros de amoebozoa que producen conchas o testas compuestas por materiales orgánicos, se pueden encontrar en todos los biotipos de agua dulce, musgos húmedos y secos, y con unas pocas especies en los suelos⁵⁷; en general son indicadores de buenos rendimientos de depuración y a elevadas concentraciones este organismo indica baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación⁵⁸.

El Phylum Rotífera estuvo representado en todos puntos de monitoreo por medio de la clase Monogonta, este grupo taxonómico se categorizó como el más diverso, al encontrarse compuesto por 16 especies (Gráfica 16) identificadas como *Cephalodella* sp., *Keratella* sp., *Lecane* sp., *Polyathra* sp., *Asplancha* sp., *Filinia* sp., *Anuraeopsis* sp., y *Monommata* sp. La clase Monogonta es una de las más conocida y abundante en los sistemas dulceacuícolas; resiste pH elevados y altas concentraciones de calcio, cloruros, sulfatos y carbonatos, por lo que puede ser tomada como indicadora de sistemas eutrofizados⁵⁹.

Por su parte, la clase Bdelloidea restringió su presencia al punto SH, en donde reportó una densidad de 0,0004 ind/mL, por medio de *Adineta* sp., son rotíferos propios de los lugares húmedos y oligotróficos, dando lugar a turberas, encontrándose entre plantas acuáticas²¹.

Otro de los grupos taxonómicos reportados en los cuatro puntos fue la clase Branchiopoda, incluyendo la presencia de 10 especies; en términos generales, los branquiópodos se encontraron más abundantes y diversos en el punto IES con una densidad de 0,008 ind/mL y cuatro taxa (*Bosmina* sp., *Ceriodaphnia* sp., *Daphnia* sp., y *Pseudochydorus* sp.). Los branquiópodos son muy abundantes en las aguas estancadas, por ello son mucho más frecuentes en lagos, charcas y ríos de corriente lenta sobre la vegetación⁶⁰. Esta clase ocupa todos los biotopos de agua dulce, siendo particularmente importante en medios lénticos con abundante vegetación acuática. Algunos miembros de la familia Daphniidae pueden sobrevivir a valores bajos de oxígeno gracias a que son capaces de sintetizar grandes cantidades de hemoglobina⁶¹.

Los ostrácodos referenciados por el Morfo 7 se encontraron presentes en la mayoría de los puntos, aportando una densidad de 0,0015 ind/mL, en el único punto donde estuvo ausente fue FA (Gráfica 16). Es un grupo frecuente en todo tipo de aguas, si bien son más abundantes en las estancadas y, en particular, las temporales poco profundas. Son poco frecuentes en el plancton siendo considerados como organismos bentónicos, situándose en la interfase agua sedimento. Son organismos de una elevada euroicidad, abarcando amplios rangos en las características fisicoquímicas del agua como conductividad, oxígeno disuelto, alcalinidad, entre otros⁶².

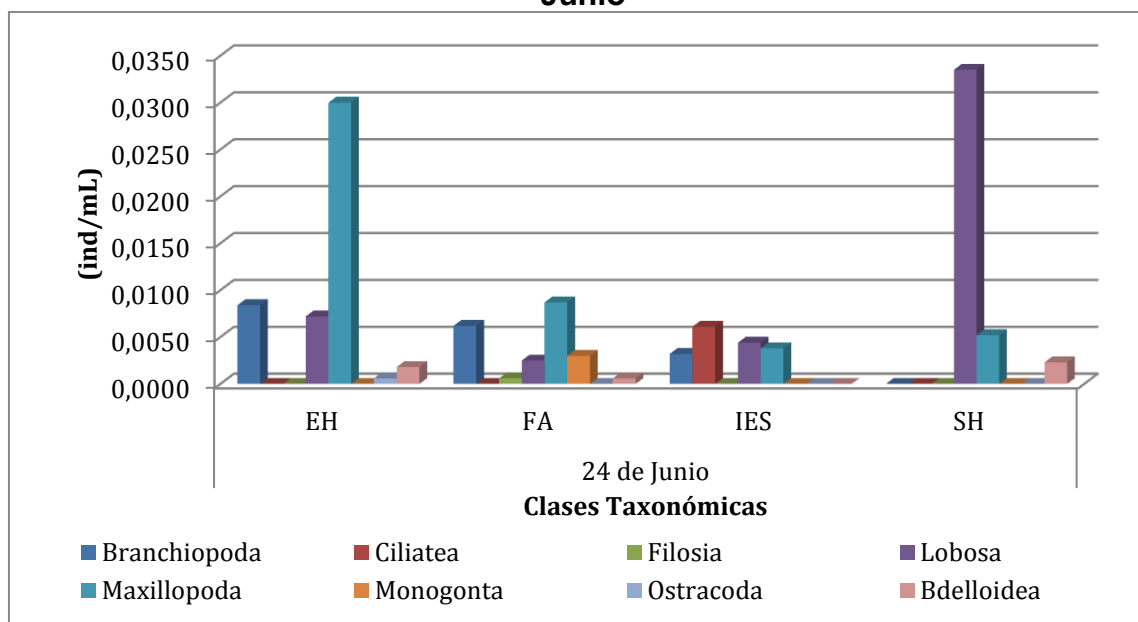
Para finalizar, una de las clases con menos riqueza de especies fue Filosia, quien se reportó en EH e IES con densidades de 0,0004 ind/mL y 0,0028 ind/mL, respectivamente; en los dos puntos la especie fue identificada como *Euglypha* sp., organismo característico de aguas estancadas con contaminación moderada²¹. Y la clase Ciliatea presente únicamente en la zona de EH, representada por especies del género *Vorticella* (0,0002 ind/mL), las cuales se encuentran fijadas sobre plantas acuáticas y animales, en aguas eutróficas asociados a restos de vegetación en descomposición²¹.

Tabla 29. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio

Clases Taxonómicas (ind/mL)	24 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Branchiopoda	0,0084	0,0062	0,0032	0,000
Ciliatea	0,000	0,000	0,0061	0,000
Filosia	0,000	0,0006	0,000	0,000
Lobosa	0,0072	0,0025	0,0044	0,0335
Maxillopoda	0,03	0,0087	0,0038	0,0052
Monogonta	0,000	0,003	0,000	0,000
Ostracoda	0,0006	0,000	0,000	0,000
Bdelloidea	0,0018	0,0006	0,000	0,0023

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 17. Abundancia de zooplancton en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

La comunidad zooplanctónica analizada el 24 de junio en los cuatro puntos de monitoreo obtuvo mayor representatividad en los puntos de la EH y SH, las cuales aportaron densidades de 0,048 ind/mL y 0,041 ind/mL, respectivamente (Gráfica 17).

En términos generales, el grupo taxonómico más abundante fue la clase de las tecamebas (Lobosa), quien aparte de registrar su presencia en cada uno de los puntos, aportó una densidad total de 0,0476 ind/mL; se puede inferir que las condiciones óptimas para su desarrollo se encontraron en SH ya que allí se concentró el 70% de su abundancia. Los tecamebianos se consideran como organismos cosmopolitas debido a que se encuentran distribuidas por todo el mundo⁶³.

Se considera que la disponibilidad de agua es el factor primario que determina la distribución de las tecamebas y su crecimiento depende de la tasa de recambio poblacional; otros factores determinantes como el contenido de materia orgánica, el pH y el contenido de nutrientes en los sustratos también son significativos por lo que son muy importantes como herramientas de estudios paleoecológicos y vigilancia de la contaminación⁶⁴. Las tecamebas son utilizadas como indicadores de ambientes lacustres contaminados por residuos químicos de minas e industrias^{65,66}, ya que algunas especies son extremadamente resistentes a los ambientes contaminados; a la vez que otras especies son muy sensibles a los cambios naturales y a aquellos producidos por el hombre en ambientes lacustres^{67,58}.

Junto con la clase Lobosa, dentro del Phylum Protozoa se encuentra la clase Ciliata FA, conocidos comúnmente como ciliados, son los protozoos más frecuentes dentro del zooplancton, toleran bajas concentraciones de oxígeno, viven en cuerpos de agua con niveles medios – altos de contaminación y ricos en materia orgánica³⁷. Y la clase Filosia que únicamente se reportó en el IES, en donde se identificó *Euglypha* sp., su hábitat preferente es el esfagno, aunque también se pueden encontrar en fuentes, charcos, arroyos, ríos, estanques y suelos orgánicos²¹.

Por su parte la clase Maxillopoda registró una densidad de 0,0461 ind/mL, representando el 36% de la abundancia del ensamblaje zooplanctónico. Su taxa más representativo fue el Morfo 3 que hace referencia al estado de larva nauplio, estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de transferencia de energía de los productores primarios a organismos de niveles tróficos superiores como peces⁶⁸, adicionalmente son usados como indicadores de pH alcalino y estratificación³⁶. Cabe resaltar que dentro de este grupo se identificaron los ciclopoideos (Morfo 1) y calanoídeos (Morfo 2) quienes se caracterizan por residir en cuerpos de agua eutróficos, con alta sedimentación y materia orgánica y, son empleados como indicadores de bajas concentraciones de oxígeno³⁶.

Según estudios se ha determinado que los copépodos de aguas eutróficas, en la que predominan los microfiltradores, las especies son pequeñas y además abundan en estadios de nauplios⁴⁷.

Al igual que la clase Maxillopoda, los branquiópodos hacen parte del Phylum Arthropoda, este grupo taxonómico representado por *Alona* sp., *Pseudochydorus* sp., *Bosmina* sp., y *Daphnia* sp., registró una abundancia de 0,0178 ind/mL, encontrándose ausente en la SH. La mayoría de las especies de esta clase viven en aguas poco profundas, cerca de la orilla, en la zona cubierta de vegetación; resisten niveles moderados de contaminación, baja sedimentación y ambientes eutróficos, por lo cual son empleados como indicadores de estas condiciones³⁶.

La clase Bdelloidea quien se referencio por medio del Morfo 5 en la EH (0,0018 ind/mL) y FA (0,0006 ind/mL), además de contar con la presencia de *Adineta* sp., en SH (0,0023 ind/mL) caracteriza que el humedal Santa María se encuentra en condición eutrófica³⁶. Los

rotíferos de esta clase se alimentan por filtrado o raspado de pequeños detritos⁶⁹. Habitan en el fondo de los sistemas lóticos y aguas lénticas, así como, en musgos y líquenes⁷⁰.

Dentro del Phylum Rotífera se incluyó la presencia de la clase Monogonta, quien en el punto FA se conformó por cuatro taxa (Gráfica 17) identificados como *Lecane* sp., *Filinia* sp., *Anuraeopsis* sp., y *Colurella* sp., y, en la zona del IES tan solo se reportó *Testudinella* sp., con una densidad de 0,0016 ind/mL.

Los monogonotos son un componente importante en los ecosistemas de agua dulce a causa de su alta tasa reproductora y su habilidad para colonizar rápidamente diferentes microhábitats, constituyendo más del 30% de la biomasa planctónica⁷¹; Son eficientes recicladores de la materia orgánica y responden rápidamente a los cambios ambientales⁷². Muchos monogonotos son morfológicamente variables, sobre todo como consecuencia de su plasticidad fenotípica; los cambios estacionales en el fenotipo (ciclomorfosis) en sucesivas generaciones están relacionados con cambios en las características físicas, químicas o biológicas del medio ambiente⁷³.

Con menor prevalencia en el punto denominado EH se identificaron los ostrácodos (Morfo 7), con una abundancia de 0,0006 ind/mL; son un grupo organismos muy diversificados y sensibles a los cambios que se producen en el medio donde viven⁷⁴. Por lo general habitan en los fondos de los cuerpos de agua ya que sus desplazan a partir de la excavación del barro, corren sobre el sustrato o trepan por las plantas²¹.

5.2.2.3 Determinación de la diversidad de especie (Índices ecológicos)

Tabla 30. Índice de Riqueza (S)

Riqueza (S)	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	9	14	15
SH	5	12	13
FA	13	10	12
IES	6	15	10

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 30 se observó mayor riqueza el 24 de junio en el punto de monitoreo EH con 15 individuos y el 17 de junio en el punto IES con 15 individuos, seguido por el 17 de junio del punto de monitoreo EH con 14 individuos, los días con menor riqueza fueron el 10 de junio del punto SH con cinco individuos, seguido de IES con seis individuos. A pesar que algunos puntos presentan una riqueza alta con respecto a otros, esta riqueza temporal es menor que la riqueza total del muestreo; cabe destacar que para la comunidad de zooplancton se obtuvo un total de 32 géneros, concluyendo que para el humedal existe un valor medio de riqueza de géneros de zooplancton.

Tabla 31. Índice de Abundancia (N)

Abundancia (N)	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	0,048	0,0785	0,0271
SH	0,041	0,0115	0,024
FA	0,0216	0,0186	0,02
IES	0,0175	0,0596	0,0133

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 31 se describen las abundancias reportadas para el día 17 de junio, teniendo en cuenta lo anterior es posible determinar que la mayor abundancia se presentó para el punto de monitoreo EH con 0,0785 ind/mL, seguido del punto IES con 0,0596 ind/mL, los días con menor abundancia fueron el 17 de junio en el punto SH con 0,0115 ind/mL, seguido del 24 de junio en el punto IES con 0,0133 ind/mL. Al comparar las abundancias obtenidas el 10 de junio con respecto al total para esa fecha encontramos un valor bajo de abundancia para el humedal, ya que para esa fecha el valor más alto de abundancia encontrado fue en EH con 0,048 ind/mL y la abundancia total obtenida fue de 0,1758 ind/mL; por otro lado, al comparar las abundancias obtenidas el 17 de junio con respecto al total cabe destacar que para esa fecha encontramos un valor medio de abundancia, ya que el valor más alto de abundancia se reportó en el punto de muestreo EH con 0,0785 ind/mL y la abundancia total obtenida fue de 0,1682 ind/mL. Por otro lado, al comparar las abundancias obtenidas para el 24 de junio con respecto al total para esa fecha encontramos un valor alto de abundancia para el humedal, ya que para esa fecha el valor más alto de abundancia encontrado fue EH con 0,0271 ind/mL y la abundancia total obtenida fue de 0,1281 ind/mL.

Tabla 32. Índice de Uniformidad (J')

Uniformidad Pielou (J')	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	0,83	0,55	0,82
SH	0,55	0,78	0,83
FA	0,88	0,89	0,91
IES	0,91	0,75	0,82

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 32 se observó mayor uniformidad el 10 de junio del punto de monitoreo IES con un valor de 0,91 y el 24 de junio en el punto FA con un valor de 0,91; seguido del punto FA con un valor de 0,89, los días con baja uniformidad fueron el 10 de junio del punto SH con un valor de 0,55 y el 17 de junio en el punto EH con un valor de 0,55; seguido de SH con un valor de 0,78. Para IES - 10 de junio y FA - 24 junio encontramos valores altos uniformidad (0,91), indicándonos que todos los géneros tienen una abundancia similar, es decir no hay géneros más abundantes que otros; mientras que los demás resultados obtenidos nos indican una baja uniformidad, lo que implica que las abundancias de los géneros no son iguales, es decir que existen géneros más abundantes que otros.

Tabla 33. Índice de Diversidad (H')

Diversidad Shannon- Wiener (H')	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	2,63	2,09	3,19
SH	1,27	2,79	3,07
FA	3,24	2,97	3,27
IES	2,35	2,93	2,73

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 335 se observó mayor diversidad el 24 de junio del punto de monitoreo FA con un valor de 3,27, seguido del 10 de junio en el punto FA con un valor de 3,24, los días con baja uniformidad fueron el 10 de junio del punto SH con un valor de 1,27, seguido de 17 junio del punto EH con un valor de 2,09. Para el 24 de junio en el punto FA y el 10 de junio en el punto FA encontramos valores altos uniformidad (3,27 y 3,24 respectivamente), indicándonos que existe mayor uniformidad en la distribución de las especies, es decir que ninguno de los géneros encontrados reportó una diversidad considerablemente mayor que los demás géneros encontrados; mientras que los demás resultados obtenidos nos indican una baja uniformidad en la distribución de especies, es decir que es probable que algunos géneros presenten una diversidad mayor que los demás.

Tabla 34. Índice de Predominio ($1-\lambda$)

Predominio de Simpson ($1-\lambda$)	10 de Junio	17 de Junio	24 de Junio
EH	0,80	0,61	0,85
SH	0,41	0,78	0,84
FA	0,87	0,85	0,88
IES	0,77	0,78	0,81

Primer v5, 2001.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 34 permite determinar que existe un mayor predominio reportado para el 24 de junio del punto de monitoreo FA con un valor de 0,88, seguido del 10 de junio en el punto FA con un valor de 0,87, los días con valores bajos de predominio fueron el 10 de junio del punto SH con un valor de 0,41, seguido de 17 junio del punto EH con un valor de 0,61. Los valores del índice de predominio reportados que se encuentran cercanos a uno nos indican que existe una baja homogeneidad en la distribución de las especies; mientras que los valores reportados cercanos a cero nos indican que existe mayor homogeneidad en la distribución de las especies.

Tabla 35. Serie de Números de Hill (N1-N2-N10-N21)

Serie Número de Hill (N1)	10 de Junio				17 de Junio				24 de Junio			
	N1	N2	N10	N21	N1	N2	N10	N21	N1	N2	N10	N21
EH	6	5	0,69	0,80	4	3	0,31	0,60	9	7	0,61	0,71
SH	2	2	0,48	0,70	7	5	0,58	0,67	8	6	0,64	0,73
FA	9	8	0,73	0,80	8	7	0,78	0,84	10	8	0,80	0,87
IES	5	4	0,85	0,87	8	5	0,51	0,61	7	5	0,66	0,79

Primer v5, 2001.

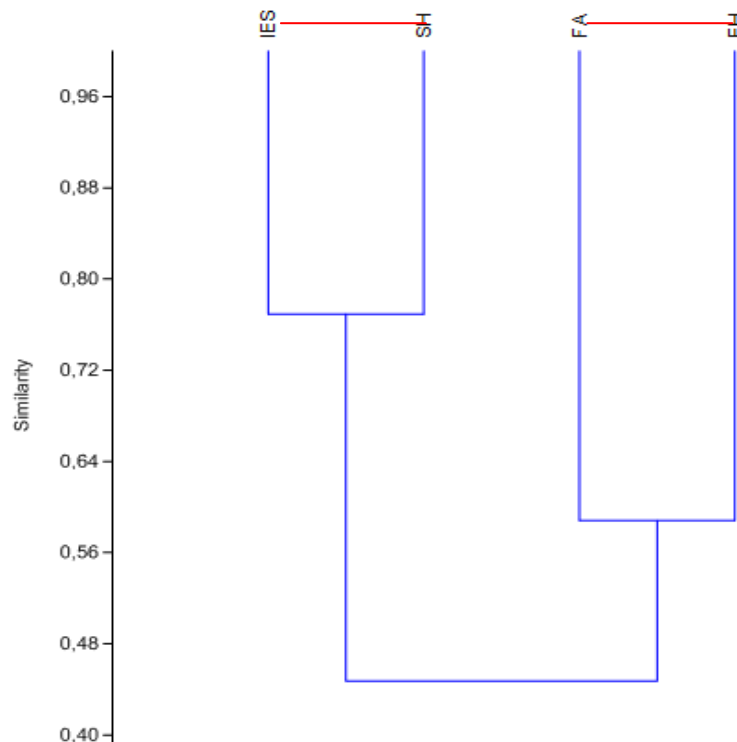
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 35 se observa que el punto FA presenta valores alto de N1 y N2 en todas las fechas de muestreo con respecto a los demás puntos de monitoreo, teniendo para el 24 de junio un ensamblaje que evidencia una distribución homogénea en relación a la densidad reportada por los géneros, ya que N1 arroja un valor de diez géneros abundantes, de las cuales ocho son muy abundantes, donde la clase Maxillopoda obtuvo la mayor abundancia de géneros con (0,0087 ind/mL) respecto a las demás clases; de los cuatro géneros menos abundantes tenemos: Morfo 5, Bosmina, Pseudochydorus, Euglypha, Lecane, Colurella, Anuraeopsis con (0,0006 ind/mL) cada una (Anexo B). Por su parte el ensamblaje fitoplanctónico correspondiente a los puntos ubicados en la SH, FA e IES, obedecen a un predominio por parte de los géneros Alona, Zoothamnium y Centropyxis.

Mientras que para el 10 de junio el puntos SH presenta el menor valor de N1 (2) y N2 (2), para el 17 de junio el puntos EH presenta el menor valor de N1 (4) y N2 (3) y para el 24 de junio el puntos IES presenta el menor valor de N1 (7) y N2 (5).

5.2.2.4 Índice de Similaridad de Jaccard

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se muestran los dendrogramas relacionados con la comunidad zooplanctónica.

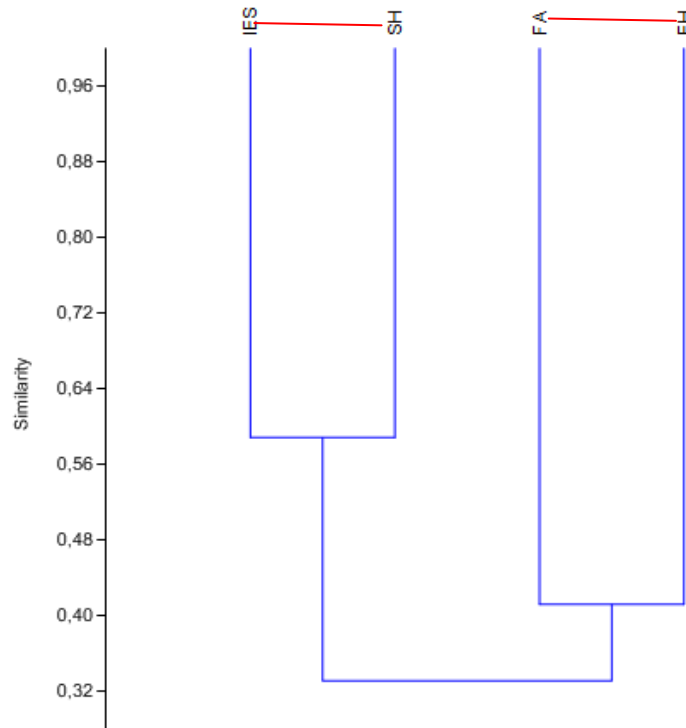
Gráfica 18. Similitud 10 de junio

PAST versión 2.17c, 2013
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo mostrado en la Gráfica 18 se puede apreciar que a partir del análisis de similitud obtenido mediante el índice de Jaccard los individuos reportados para la comunidad de zooplancton durante el muestreo realizado el día 10 de junio se distribuyen en dos clúster los cuales agrupan las 4 estaciones de monitoreo planteadas; la distribución de los taxa reportados permite establecer que existen dos relaciones importantes: la primera existe entre lo encontrado para las estaciones IES y SH, las cuales comparten más del 75% de las especies encontradas; la segunda relación se presenta entre las estaciones FA y EH, con más del 56% de las especies compartidas.

La anterior afirmación se puede justificar si se observan las clases a las cuales pertenecen organismos reportados para cada caso, por ejemplo en las estaciones IES y SH se tienen las clases Lobosa, Maxillopoda, Monogonta, Branchiopoda y Ostracoda. Cabe destacar la importancia en ambos casos del género Morfo 3, el cual reporta una abundancia promedio de 0,00215 ind/mL y del género Arcella, con un valor promedio de abundancia de 0,002 ind/mL, adicionalmente estos taxa permiten establecer la bioindicación y condiciones descritas en apartados anteriores.

Gráfica 19. Similaridad 17 junio



PAST versión 2.17c, 2013

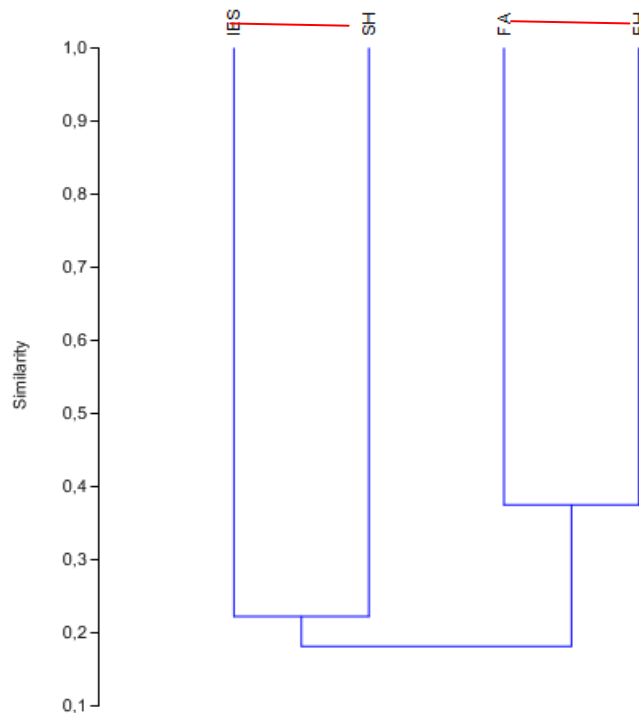
Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 19 se muestra el análisis de similaridad estimado para el muestreo realizado el día 17 de junio. Paralelamente a lo mostrado para la anterior fecha de muestreo, en este caso cabe destacar que las estaciones IES y SH también se agruparon en un clúster, compartiendo así más del 56% de los taxa reportados, en contraste se evidenció un segundo grupo se encontraron las estaciones FA y EH con más del 40% de géneros compartidos.

Es importante tener en cuenta que en las dos estaciones de muestro agrupadas en el primer cluster (>56%) se reportaron las clases Lobosa, Maxillopoda, Branchiopoda, destacándose la presencia de los géneros Centropyxis, Morfo 3, Morfo 1, Bosmina y Daphnia, con abundancias netas de 0,0078 ind/mL, 0,0249 ind/mL, 0,0046 ind/mL y 0,001 ind/mL, respectivamente.

Para el caso del clúster conformado por las estaciones FA y EH es importante establecer que en ambos casos se reportaron las divisiones Branchiopoda, Maxillopoda, Lobosa, adicionalmente en cada estación el género Morfo 3 registro una abundancia promedio de 0,0259 ind/mL, por ende es congruente determinar que gracias a este valor de abundancia para este organismo permita la formación de este clado dentro del dendrograma.

Gráfica 20. Similaridad 24 junio



PAST versión 2.17c, 2013

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de lo visto anteriormente para las dos fechas de muestreo, en el caso de lo encontrado para el muestreo realizado el día 24 de junio se formaron dos clúster claramente diferenciados, claro está, al tener en cuenta los valores de abundancia y los organismos determinados en cada caso.

En primer lugar se tiene que los organismos que componen la comunidad determinada en las estaciones IES y SH se establecen en un clúster independiente de las demás, ya que comparten menos del 20% de géneros con los otros grupos; este ensamblaje estuvo conformado por las clases Branchiopoda, Ciliata, Lobosa, Maxillopoda, Bdelloidea; de los cuales se destaca la presencia de los géneros *Centropyxis aculeata* y *Zoothamnium* con abundancias de 0,0312 ind/mL y 0,0061 ind/mL, respectivamente.

Un segundo clúster fue conformado por los géneros determinados en la estación FA y EH, sin embargo este grupo presentó menos del 30% de las especies compartidas, cabe resaltar que en estos punto se reportó la mayor presencia de taxa; encontrando las clases Bdelloidea, Branchiopoda, Lobosa, Maxillopoda, Ostracoda, Filosia y Monogonta, destacando los géneros *Morfo 2* con una abundancia de 0,0037 ind/mL y *Alona sp.*, con una abundancia de 0,0066 ind/mL.

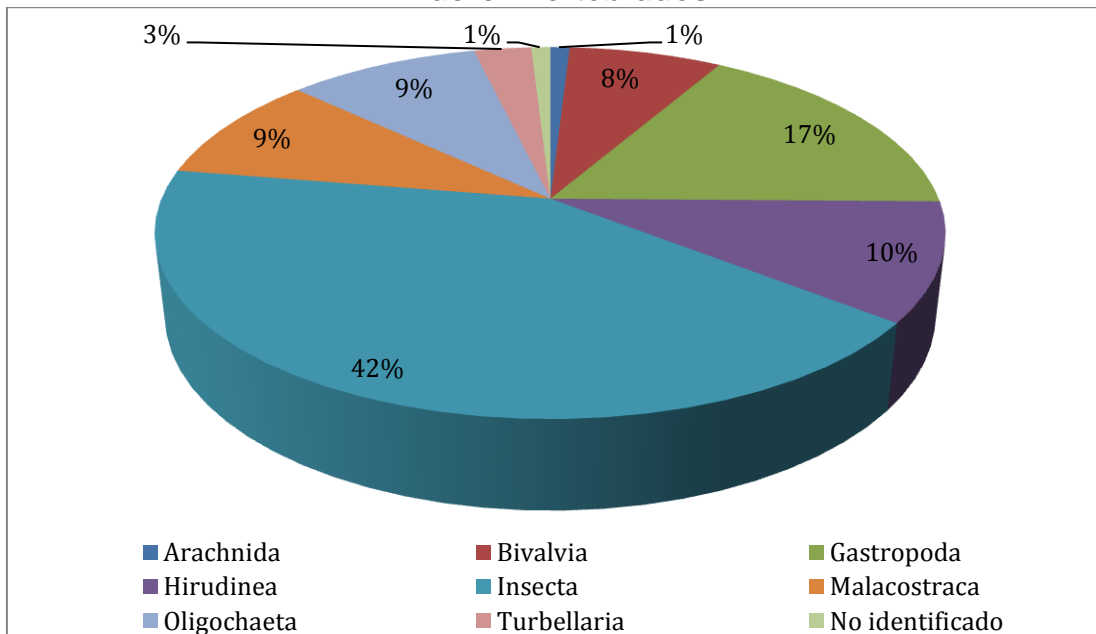
5.2.3 Macroinvertebrados

5.2.3.1 Presencia / ausencia de los Macroinvertebrados (Cualitativo)

La caracterización de la comunidad de macroinvertebrados se encontró representada por un total de 107 individuos y 24 géneros pertenecientes a 9 clases: Insecta (42,06%), Gastropoda (16,82%), Hirudinea (10,28%), Malacostraca (9,35%), Oligochaeta (9,35%), Bivalvia (7,48%), Turbellaria (2,80%), Arachnida (0,93%) y no identificado (0,93%).

La distribución de las 3 primeras clases le dio al humedal un carácter de eutrofia, es decir, un enriquecimiento de materia orgánica y sedimentación por la descomposición o entradas exógenas al humedal (Anexo C) (Gráfica 15).

Gráfica 21. Porcentaje de las especies para cada clase de la comunidad de Macroinvertebrados



Fuente: Elaboración Propia.

a. Comportamiento temporal de la comunidad de macroinvertebrados

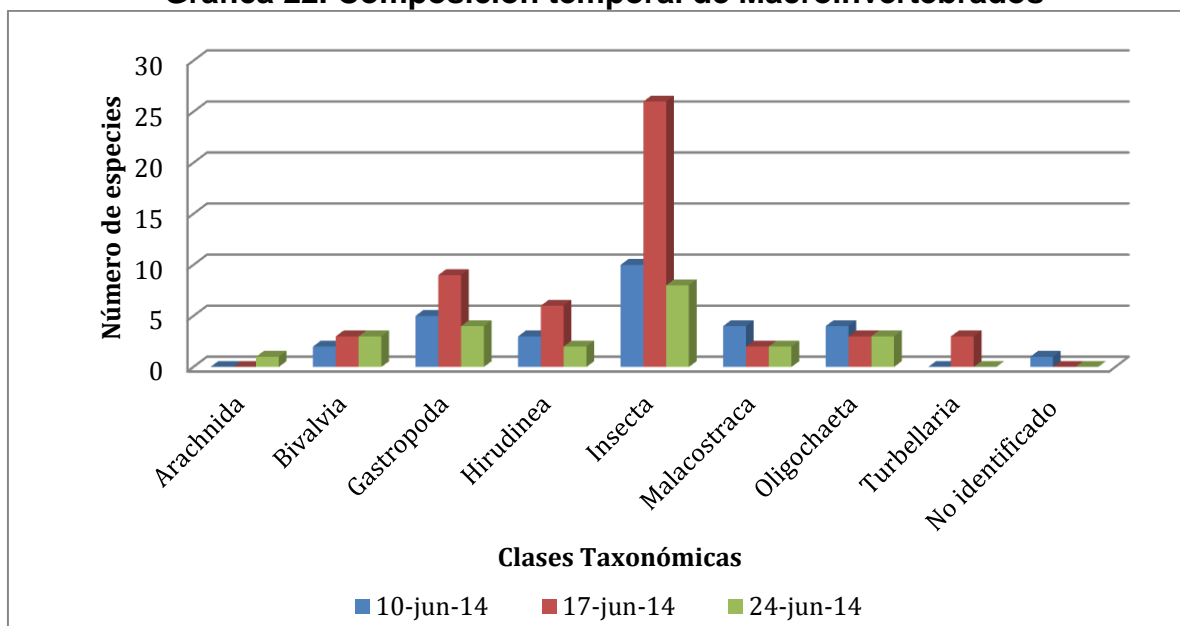
El mayor número de especies se registró el 17 de junio con 54 individuos, seguido del día 10 de junio con 30 individuos, el día 24 de junio con 23 individuos (Gráfica 22). Morfo 71, género identificada en cada una de los puntos y días de monitoreo con 12 individuos. En todas las fechas de monitoreo, la clase Insecta fue la más dominante con un total de (45) individuos. La mayoría de los individuos pertenecientes a los macroinvertebrados, encontrados dentro de esta clase pertenece a la familia Chironomidae con 15 individuos.

Tabla 36. Composición temporal de las clases taxonómicas de macroinvertebrados según el número total de especies presentes

Clases Taxonómicas	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Arachnida	0	0	1
Bivalvia	2	3	3
Gastropoda	5	9	4
Hirudinea	3	6	2
Insecta	11	26	8
Malacostraca	4	4	2
Oligochaeta	4	3	3
Turbellaria	0	3	0
No identificado	1	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 22. Composición temporal de Macroinvertebrados



Fuente: Elaboración propia.

b. Comportamiento espacial de la comunidad de macroinvertebrados

Con respecto a la composición espacial se encontró que el punto con mayor número de especies fue IES con 19 individuos, seguido de EH y SH con 16 individuos cada una respectivamente, y FA con 15 individuos. En todos los puntos de monitoreo, la clase Insecta fue la más dominante, estos se encuentran en la mayoría de ambientes acuáticos, sin embargo los taxa reportados presentan cierta tolerancia a la contaminación orgánica y a los cambios abruptos en la temperatura del agua, así como altas concentraciones de materia orgánica; seguido de Gastropoda, por lo general este género está asociado a

lugares con mucha vegetación acuática y abundante materia orgánica en descomposición; e Hirudinea, este género soportan ciertos niveles de contaminación orgánica (Tabla 37).

En la Gráfica 23 se puede observar que en los cuatro puntos de monitoreo la clase Insecta tiene mayor presencia en el punto EH y SH con 9 especies en cada punto respecto al resto de las clases; siendo el género Morfo 71 el más abundante, este morfo pertenece a la familia Chironomidae, el cual ha generado adaptaciones para soportar altos niveles de contaminación, ya que se presenta en ambientes con altas concentraciones de materia orgánica y bajos niveles de oxígeno; seguida por los géneros Buenoa y Notonecta, los cuales son comunes en ecosistemas lenticos de curso lento y su presencia se relaciona con épocas de sequía.

A continuación se observa los géneros de la comunidad macroinvertebrados más representativos del humedal y su presencia en cada punto de monitoreo:




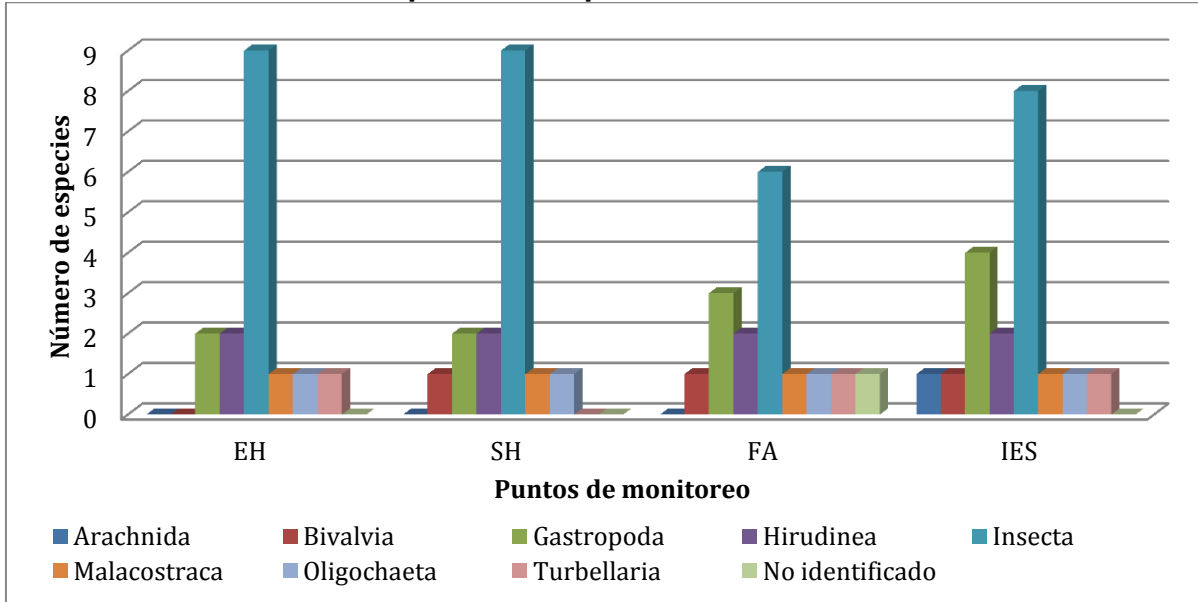
	Morfo 71	Buenoa	Notonecta
			
10 Junio	EH, SH, FA, IES	SH, FA, IES	
17 Junio	EH, SH, FA, IES	SH	EH, SH, FA, IES
24 Junio	EH, SH, FA, IES	SH, IES	FA

Tabla 37. Composición espacial de las clases taxonómicas de macroinvertebrados según el número total de especies presentes

Clases Taxonómicas	EH	SH	FA	IES
Arachnida	0	0	0	1
Bivalvia	0	1	1	1
Gastropoda	2	2	3	4
Hirudinea	2	2	2	2
Insecta	9	9	6	8
Malacostraca	1	1	1	1
Oligochaeta	1	1	1	1
Turbellaria	1	0	1	1
No identificado	0	0	1	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 23. Composición espacial del Macroinvertebrados



Fuente: Elaboración propia.

c. Composición general de la comunidad de macroinvertebrados

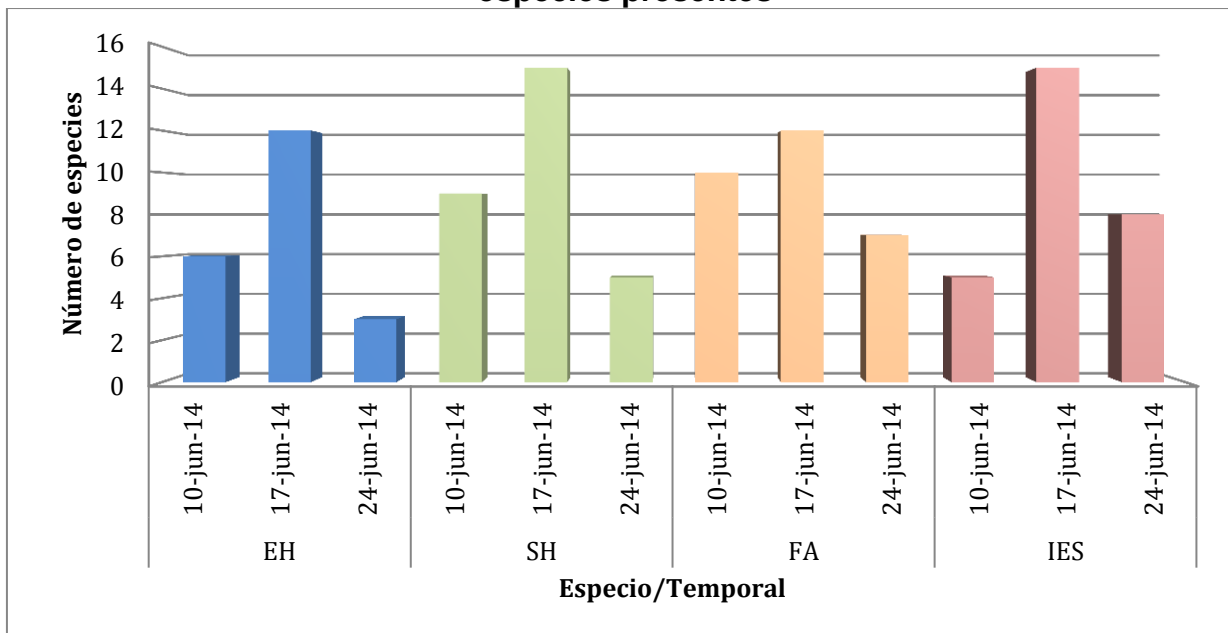
En la composición general de las familias de macroinvertebrados se encontró con mayor número de especies el 17 de junio de los puntos de monitoreo SH e IES con un total de 15 individuos cada una, seguido del 17 de junio del punto de monitoreo EH y FA con 12 individuos. Se puede observar que los punto de SH y FA con un total de 29 individuos tiene la mayor presencia de especies encontradas; siendo los puntos de monitoreo EH un total de 21 e IES con un total de 28 individuos los que presentaron la menor ausencia de especies (Tabla 38 y Gráfica 24).

Tabla 38. Composición de los macroinvertebrados según el número total de especies presentes

EH			SH			FA			IES		
10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
6	12	3	9	15	5	10	12	7	5	15	8
21			29			29			28		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 24. Composición de los Macroinvertebrados según el número total de especies presentes



Fuente: Elaboración propia.

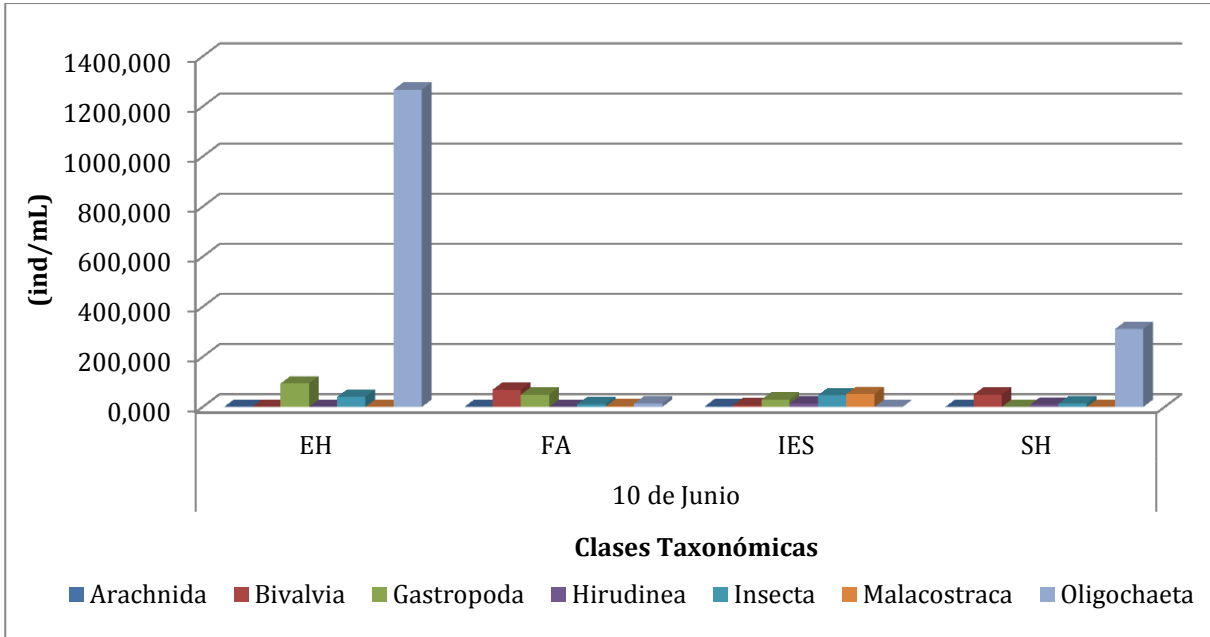
5.2.3.2 Abundancia de la comunidad de Macroinvertebrados. Cuantitativo

Tabla 39. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio

Clases Taxonómicas	10 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Arachnida	0,000	0,000	2,200	0,000
Bivalvia	0,000	68,900	6,000	48,900
Gastropoda	93,300	48,900	28,900	0,000
Hirudinea	0,000	0,000	13,300	8,900
Insecta	40,000	11,100	46,600	13,300
Malacostraca	0,000	2,200	51,100	0,000
Oligochaeta	1266,700	13,300	0,000	311,100

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 25. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 10 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos se caracterizó por estar constituida predominantemente por la clase Oligochaeta, a pesar de que esta clase estuvo ausente en el punto IES aportó la densidad más alta de la comunidad ($1591,1 \text{ Ind/m}^2$) por medio de la presencia de un taxón; Paralelamente, en todos los puntos de monitoreo se presenció la clase Insecta, en donde se destacó la familia Chironomidae (Morfo 71) con una abundancia de $75,6 \text{ ind/m}^2$ (Gráfica 25).

Los grupos taxonómicos Oligochaeta y Chironomidae son considerados a nivel mundial por numerosos autores como indicadores biológicos de importante valor diagnóstico de las condiciones ambientales^{75,76,77}. Por otro lado, son grupos representados por una alta diversidad de géneros y especies y muy abundantes en distintos tipos de ambientes, siendo muchas veces los únicos representantes en ambientes contaminados y tienen la particularidad de formar parte de distintas comunidades, tales como bentos, pleuston y perifiton. Biológicamente, reflejan claramente los cambios producidos dentro de un ecosistema reduciendo o ampliando sus ciclos biológicos y estrategias de reproducción o presentando cambios en la abundancia y dinámica de las diferentes poblaciones que caracterizan un ambiente. Algunos géneros presentan altos grados de adaptación que les permiten responder de forma plástica a cuestiones ambientales y evolutivas^{78,79}.

Adicionalmente, en los puntos de monitoreo FA, IES y SH fueron identificadas especies de la familia Notonectidae (*Notonecta* sp.), quien es muy común en los ecosistemas lénticos ya que habitan exclusivamente en aguas tranquilas o de curso lento, en donde se les puede ver nadando de espaldas impulsándose con sus patas traseras⁸⁰.

Prefieren áreas que tengan vegetación sumergida, Se considera que su presencia con algunos factores de estrés como sequía, bajo caudal y contaminación⁸¹. De igual manera, la presencia de este organismo se relaciona con su ecología, ya que se alimentan de larvas de mosquitos y en gran cantidad consumen *Hyaella*⁸⁰, especie identificada en dos puntos, en la cual hubo presencia de notonécidos.

Como se aprecia en la Gráfica 25, los gasterópodos y bivalvos se identificaron en tan solo tres puntos, encontrándose ausentes en la SH y EH respectivamente. Estos organismos son importantes al igual que los demás macroinvertebrados acuáticos, ya que se constituyen como la base de la cadena alimenticia en el ecosistema acuático en términos de organismos heterótrofos; y su presencia a menudo se asocia con alta cantidad de partículas minerales finas con las cuales pueden fabricar sus conchas⁸².

Helobdella sp., fue la única especie representante de la clase Hirudinea, se identificó en el punto IES y SH con densidades de 13,3 Ind/m² y 8,9 Ind/m², la cual es una sanguijuela característica de aguas contaminadas por materia orgánica y habitan generalmente en aguas tranquilas de poco movimiento²¹.

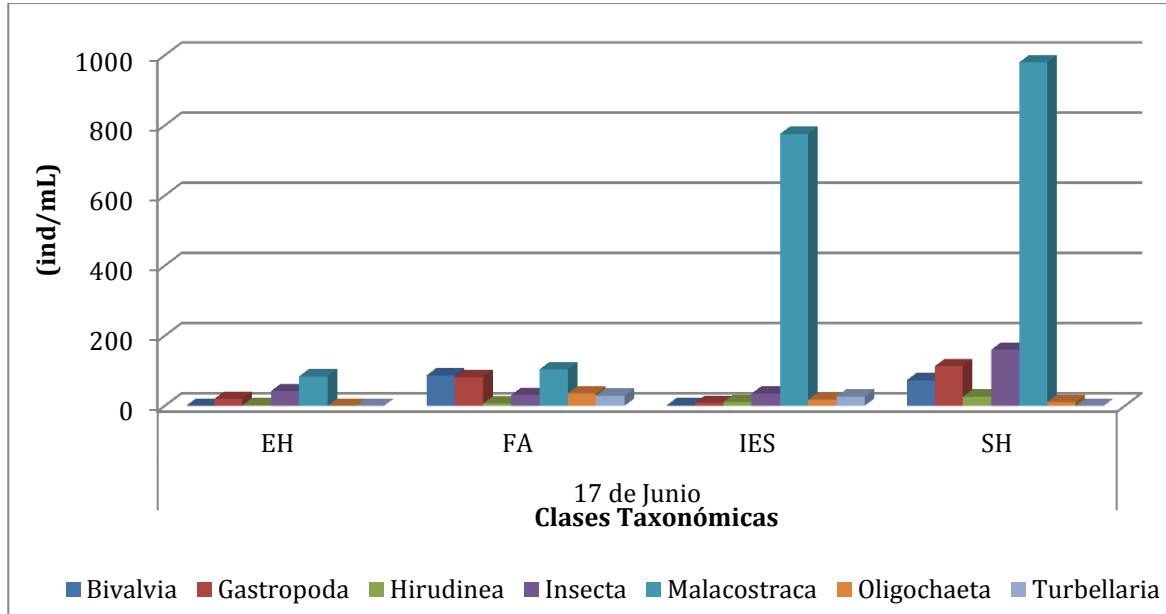
Para finalizar, la clase Arachnida (Morfo 2) restringió su hábitat en el punto IES donde se halló con una densidad de 2,2 Ind/m², los ácaros acuáticos ubican en la mayoría de hábitats dulceacuícolas hallándose comúnmente en arroyos, lagos, pantanos, zonas de salpique de cascadas, brácteas de plantas epifitas y aun en aguas termales. Por lo anterior Roldan (1988) no los cataloga como indicadores de un tipo particular de agua, aunque más tarde Pinilla (2000) reporta el grupo como indicador de aguas oxigenadas, habitando en sistemas limpios a ligeramente contaminados.

Tabla 40. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio

Clases Taxonómicas (ind/mL)	17 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Bivalvia	0	86,7	2,2	73,3
Gastropoda	20	82,2	8,8	113,3
Hirudinea	2,2	6,7	11,1	26,7
Insecta	42,1	31	35,4	159,9
Malacostraca	84,4	104,4	775,6	980
Oligochaeta	0	35,6	17,8	11,1
Turbellaria	0	28,9	26,7	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 26. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 17 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

Los organismos reportados en la EH y FA contaron con baja representatividad en términos de abundancia de la comunidad bentónica, aportando densidades de 150,9 Ind/m² y 375,5 Ind/m², respectivamente; mientras que los puntos ubicados en IES y SH constituyeron una abundancia de 2241,9 Ind/m²; diferencia enmarcada principalmente por la gran presencia de *Hyalella* sp. (1755,6 Ind/m²), en estos dos puntos. *Hyalella* hace parte del orden Amphipoda; los anfípodos son un orden de crustáceos macroscópicos, muchos de ellos marinos y otros de agua dulce, adicionalmente, tienen diversos hábitos alimenticios pudiendo ser herbívoros, detritívoros, carnívoros u omnívoros⁸³. Esta situación implica que los anfípodos tengan un rol clave como descomponedores de materia orgánica, y como presas para aves, peces, y macroinvertebrados, por ejemplo insectos⁸⁴.

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos se conformó por siete clases taxonómicas, de las cuales, en su mayoría aportaron la presencia de un taxón en los puntos de monitoreo donde se registró su presencia, a excepción de las clases Gastropoda e Insecta quienes se encontraron diversas en cada uno de los puntos (Gráfica 26).

En todos los puntos se presenciaron organismos pertenecientes al Phylum Annelida; en primer lugar se encuentran los oligoquetos (o lombrices), quienes estuvieron ausentes en EH; estos organismos generalmente se asocian a aguas eutrofizadas, donde escasea el oxígeno, especialmente en ambientes ricos en materia orgánica; lo cual los hace indicadores de aguas contaminadas, dentro del cual únicamente se identificó género *Stygodrilus* sp (64,5 Ind/m²). Y en segundo lugar, se encuentra la clase Hirudinea o sanguijuelas representada por el género *Helobdella* sp. (11,1 Ind/m²) en los puntos IES y

SH y, *Batracobdella* sp. (35,6 Ind/m²) presente en cada una de las zonas muestreadas; los hirudíneos se encuentran en aguas de poco movimiento, de baja concentración de oxígeno y con abundante materia orgánica en descomposición, igualmente son considerados indicadores de aguas contaminadas⁵⁶.

Otra de las clases representativas de la comunidad, especialmente en el punto SH quien obtuvo la mayor densidad (1364,3 Ind/m²) fue la clase Insecta con una abundancia total de 268,4 Ind/m², en esta ocasión los insectos además de contar con la presencia de dípteros y hemípteros como se encontró el 10 de Junio del 2014, incluyó organismos del orden Trichoptera identificados como especies de la familia Hydropsychidae (Morfo 24) y Hydrophilidae (Morfo 29); la mayoría de los tricópteros viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal, algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. Las larvas viven en el fondo o laderas de los sistemas y asociadas a macrófitas semisumergidas, adheridos a vegetación flotante o enraizada, enterrados en el fondo, sobre rocas y troncos sumergidos, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre su superficie^{85,56}. En esta existencia en el fondo, se encuentran absolutamente expuestas a ser arrastradas por la corriente, y por ello, transformarse en alimento para peces y otros depredadores. En su existencia inmadura se dedican a rondar por entre las piedras del fondo, principalmente en los sectores más oxigenados de los cuerpos de agua⁸⁶.

La clase Gastropoda presente en todos los puntos registró una abundancia de 224,3 Ind/m², se conformó por moluscos miembros de la familia Planorbidae (124,4 Ind/m²) quien se caracteriza por presentar una conchilla planiespiral, vive en aguas tranquilas y de curso lento, resisten cierto grado de contaminación⁵⁶ y se encuentran adheridos a vegetación emergente, son herbívoros y cosmopolitas⁸⁷ y, en tres zonas se identificó la familia Physidae, organismo que tiene preferencia por aguas contaminadas²⁴; son más resistentes a la contaminación que los limneidos⁵⁶ gasterópodo presente únicamente en el punto FA.

Los bivalvos presentes en tres puntos de monitoreo fueron identificados como moluscos de la familia Pisidiidae con una densidad de 162,2 Ind/m² (Gráfica 20); casi todos los bivalvos viven en cuerpos de agua de fondos blandos, dentro de agujeros que cavan en la arena o en el fango⁸⁸.

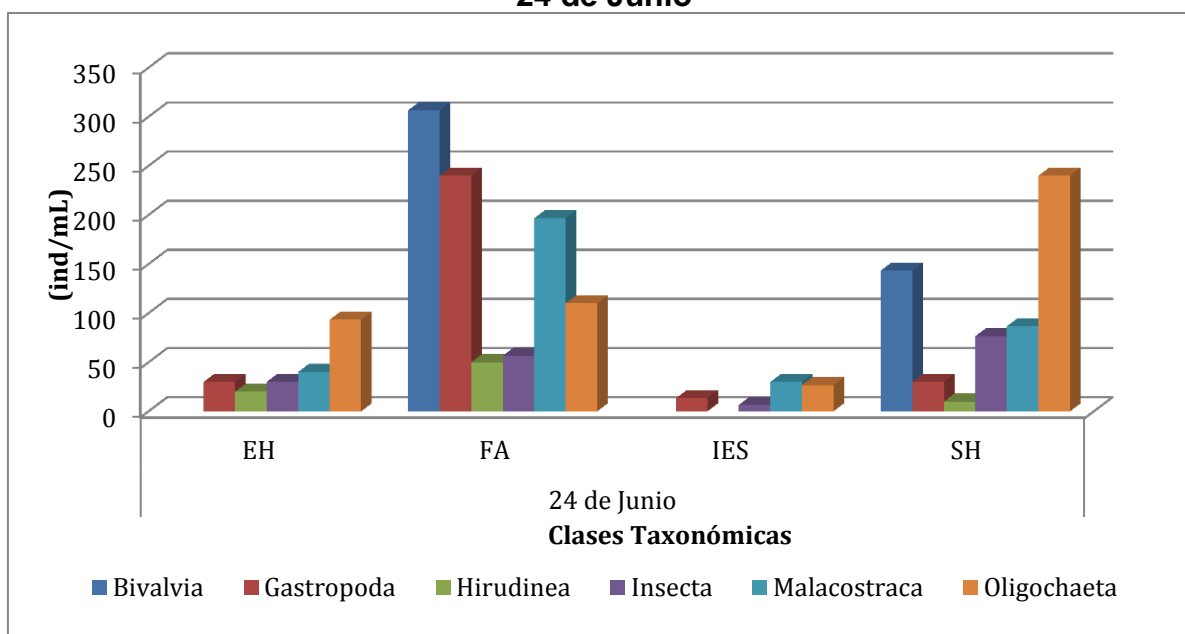
En el monitoreo realizado el 17 de Junio se registró la presencia de una clase que no se encontró en el primer muestreo, Turbellaria se encontró en los puntos EH, FA e IES con una abundancia total de 57,8 Ind/m², siendo más abundante en los dos últimos puntos mencionadas; los turbelarios son gusanos planos de vida libre, es decir que no son parásitos. Específicamente las planarias son de distribución cosmopolita y en Colombia se encuentra desde los páramos hasta las tierras cálidas; son organismos fotofóbicos, por lo que durante el día se encuentran principalmente debajo de piedras y hojas en sectores de corriente lenta. Son predadores y carroñeros; sus presas más comunes son caracoles, gusanos y larvas de insectos⁸⁸.

Tabla 41. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio

Clases Taxonómicas (ind/mL)	24 de Junio			
	EH	FA	IES	SH
Bivalvia	0,00	307	0,00	143,30
Gastropoda	30	240	13,30	30,00
Hirudinea	20	50	0,00	10,00
Insecta	30	57	6,60	76,60
Malacostraca	40	197	30,00	86,70
Oligochaeta	93,30	110	26,70	240,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 27. Abundancia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo para el 24 de Junio



Fuente: Elaboración propia.

Dentro del ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos prevaleció la presencia de organismos de la clase Oligochaeta quienes con una densidad de 470 Ind/m² (Gráfica 27) aportada por *Stylodrilus* sp., entre los cuatro puntos de monitoreo, establecieron un predominio en la comunidad. Los oligoquetos acuáticos predominan en ríos, lagos y embalses con un grado medio o elevado de eutrofización o contaminación orgánica⁵⁶.

El género *Stylodrilus* es el organismo más abundante de la familia Lumbriculidae en los cuerpos de agua dulceacuícolas (ríos, cuevas, aguas freáticas, pozos y manantiales), esta familia se caracteriza por alimentarse del substrato ya que no poseen estomago masticador²¹. La representatividad de los lumbricúlidos puede variar considerablemente dependiendo del clima, composición del suelo, fauna y vegetación, ya que estos

organismos presentan preferencia por cuerpos de agua en donde la relación de carbono (C) y nitrógeno (N) sea baja y exista alta presencia de bacterias.

La actividad de estos gusanos acelera la descomposición de la materia orgánica debido a que son animales esencialmente saprófagos, el tránsito de restos orgánicos por el tubo digestivo produce su transformación, así como la degradación de algunos de los microorganismos que son ingeridos con ella⁸⁹. Sus altas densidades se alcanzan en parches de arena, hojarasca, en el epilíton y en detritus retenido entre los habitáculos de los tricópteros⁹⁰.

Otro de los grupos representativos en la comunidad fueron los malacostráceos quienes aportaron una densidad de 346,7 Ind/m² por medio de la presencia de *Hyaella* sp., en cada una de los puntos; su máxima abundancia se obtuvo en el punto FA (190 Ind/m²), lo cual puede estar relacionado con el alto nivel de contaminación por materia orgánica. *Hyaella* es un género exclusivo de aguas dulceacuícola, se encuentra en sistemas lenticos y loticos, prefiriendo aguas frías y claras, en Colombia se ha registrado desde los páramos hasta tierras cálidas. Se alimentan principalmente de algas filamentosas y diatomeas, pero pueden ser carroñeras alimentándose de otros invertebrados muertos o de materia orgánica en descomposición⁸⁸.

Las clases Bivalvia (450 Ind/m²) y Gastropoda (313,3 Ind/m²), conformaron el Phylum más abundante de la comunidad, Mollusca, quien constituye el segundo grupo de mayor diversidad a nivel mundial; son un componente muy importante de las comunidades en ecosistemas acuáticos ya que juegan un rol vital en el procesamiento de materia orgánica. Estos moluscos se alimentan generalmente de vegetales, detritus o del perifiton que cubre los sustratos duros de los ríos, lagos y lagunas. Los organismos pertenecientes a estas clases se asocian a la calidad de agua y a las características físicas del ambiente y, a la disponibilidad de alimento.

La presencia de estas especies está condicionada a la cantidad de sales disueltas en el agua especialmente el carbonato de calcio⁹⁰.

Dentro del grupo de los moluscos, se destaca la presencia de la familia Pisidiidae (Morfo 78) quien se identificó en los puntos FA y SH, con densidades de 306,7 Ind/m² y 143,3 Ind/m². Es una almeja que se distribuye en una gran variedad de hábitats acuáticos, siendo organismos filtradores que se encuentran enterrados o semienterrados en los sedimentos finos y arenosos⁸¹.

La clase Insecta, fue el único grupo taxonómico que se conformó por la presencia de más de dos especies (Gráfica 27), las cuales se identificaron como representantes de la familia Libellulidae (Morfo 11), Chironomidae (Morfo 71), Notonectidae (*Buenoa* sp.) y Corixidae (Morfo 70), aportando una abundancia total de 169,8 Ind/m².

Los insectos forman los principales macroinvertebrados bentónicos, de muchos sistemas de aguas quietas y aguas corrientes y entre ellos, las larvas de quironómidos son

particularmente ubicuas en su distribución. Las especies de estas familias presentan una cierta tolerancia a la contaminación orgánica y a las altas alteraciones térmicas, lo que hace que no se consideren como un grupo indicador de alta calidad⁸¹. Específicamente, los díptera Chironomidae han generado múltiples adaptaciones ante la contaminación, sobre todo si es de tipo orgánico, por lo cual se asocia su presencia a altas concentraciones de materia orgánica y bajos valores de oxígeno⁹¹.

Con una densidad de 80 Ind/m² fue reportada la clase Hirudinea, en donde únicamente se detectó un taxón identificado como *Helobdella* sp., esta especie de la familia Glossiphoniidae son pequeñas sanguijuelas con una coloración generalmente más clara que otros hirudineos. Algunas especies de este grupo pueden soportar ciertos niveles de contaminación orgánica⁸¹.

Por último, se relaciona la presencia del Phylum Nematoda quien se halló de manera exclusiva en el punto FA (6,7 Ind/m²), los nematodos dulceacuícolas viven fundamentalmente en el estrato superficial del sedimento y de forma más abundante en aquellos ricos en materia orgánica⁸⁶.

5.2.3.3 Determinación de la diversidad de especie (Índice BMWP/Col.)

Para el 10 de junio se recolectaron 2074,7 ind/m², para el 17 de junio se colectaron 2766,1 ind/m² y para el 24 de junio se recolectaron 1836,5 ind/m² pertenecientes a nueve clases y 18 familias. Las familias presentes en cada uno de los puntos de monitoreo y su correspondiente puntuación, en el índice BMWP/Col., se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 42. Familias presentes en punto EH y su correspondiente puntuación del índice BMWP/Col.

EH					
Familia	Puntaje	BMWP/Col.	Clase	Calidad	Significado
Aeshnidae	6	75	Clase II	ACEPTABLE	Aguas ligeramente contaminadas
Chironomidae	2				
Coenagrionidae	7				
Corixidae	7				
Glossiphoniidae	3				
Hyalellidae	7				
Hydroptilidae	7				
Libellulidae	6				
Lymnaeidae	4				
Notonectidae	7				
Planariidae	7				
Planorbidae	5				
Psychodidae	7				

Fuente: Elaboración Propia.

Las 13 familias reportadas para el punto EH presentan un puntaje en el índice BMWP/Col., dentro del rango de 2 a 7; la sola presencia de organismos representantes de las familias Coenagrionidae, Corixidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Notonectidae, Planariidae y Psychodidae, consideradas las más sensibles y con la máxima puntuación en el índice BMWP/Col., (Tabla 9), permitieron ubicar el punto EH dentro de la categoría CLASE II; aguas ligeramente contaminadas (BMWP/Col. = 75) (Tabla 42). En este punto de monitoreo solo se encontró la familia Chironomidae, con una puntuación de dos en el índice BMWP/Col., como una de las familias más resistente a la contaminación.

Tabla 43. Familias presentes en punto SH y su correspondiente puntuación del índice BMWP/Col.

SH					
Familia	Puntaje	BMWP/Col.	Clase	Calidad	Significado
Chironomidae	2	57	Clase III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas
Coenagrionidae	7				
Corixidae	7				
Glossiphoniidae	3				
Hyalellidae	7				
Hydroptilidae	7				
Libellulidae	6				
Notonectidae	7				
Physidae	3				
Planorbidae	5				

Fuente: Elaboración propia.

Las 10 familias reportadas para el punto SH presentan un puntaje en el índice BMWP/Col., entre el rango de 2 a 7; es importante tener en cuenta que la presencia de organismos representantes de las familias Coenagrionidae, Corixidae, Hyalellidae, Hydroptilidae y Notonectidae, consideradas como las más sensibles a la contaminación y con la máxima puntuación en el índice BMWP/Col., (Tabla 9) permitieron ubicar el punto SH dentro de la categoría CLASE III: aguas moderadamente contaminadas (BMWP/Col. = 57) (Tabla 43). En este punto de monitoreo solo se encontró la familia Chironomidae, con una puntuación de dos en el índice BMWP/Col., igualmente como una de las familias más resistente a la contaminación.

Tabla 44. Familias presentes en punto FA y su correspondiente puntuación del índice BMWP/Col.

FA					
Familia	Puntaje	BMWP/Col.	Clase	Calidad	Significado
Aeshnidae	6	57	Clase III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas
Chironomidae	2				
Coenagrionidae	7				
Glossiphoniidae	3				
Hyaellidae	7				
Libellulidae	6				
Lymnaeidae	4				
Notonectidae	7				
Physidae	3				
Planariidae	7				
Planorbidae	5				

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado las 11 familias reportadas para el punto FA permitieron obtener un valor para el índice BMWP/Col. Dentro del rango de 2 a 7; destacando la presencia de organismos de las familias: Coenagrionidae, Hyaellidae, Notonectidae y Planariidae, las cuales son consideradas como los macroinvertebrados con un amplio grado de sensibilidad a la contaminación, de acuerdo al índice BMWP/Col., (Tabla 9) estas familias permitieron ubicar al punto FA dentro de la categoría CLASE III: aguas moderadamente contaminadas (BMWP/Col. = 57) (Tabla 44). En este punto de monitoreo solo se encontró la familia Chironomidae, con una puntuación de dos en el índice BMWP/Col., como una de las familias más resistente a la contaminación.

Tabla 45. Familias presentes en punto IES y su correspondiente puntuación del índice BMWP/Col.

IES					
Familia	Puntaje	BMWP/Col.	Clase	Calidad	Significado
Aeshnidae	6	64	Clase II	ACEPTABLE	Aguas ligeramente contaminadas
Ancylidae	6				
Chironomidae	2				
Coenagrionidae	7				
Glossiphoniidae	3				
Hyaellidae	7				
Hydroptilidae	7				
Lymnaeidae	4				
Notonectidae	7				
Physidae	3				
Planariidae	7				
Planorbidae	5				

Fuente: Elaboración propia.

En relación a las familias determinadas para el punto IES se encontraron 12 familias, obteniendo un índice BMWP/Col. Dentro del rango de 2 a 7, estas familias fueron: Coenagrionidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Notonectidae y Planariidae, las cuales son consideradas como las más sensibles y obtienen la máxima puntuación para el índice BMWP/Col.,(Tabla 9), teniendo en cuenta lo anterior, el punto IES obtuvo un valor del índice BMWP/Col., de 64, ubicándose así en la categoría CLASE II: aguas ligeramente contaminadas (Tabla 45). En este punto de monitoreo solo se encontró la familia Chironomidae, con una puntuación de dos en el índice BMWP/Col., como una de las familias más resistente a la contaminación.

Tabla 46. Resumen del índice BMWP/Col., para los cuatro puntos de monitoreo

PUNTO DE MONITOREO	BMWP/COL. (VALOR)	CLASE	CALIDAD DEL AGUA	SIGNIFICADO
EH	75	CLASE II	ACEPTABLE	AGUA LIGERAMENTE CONTAMINADA
SH	57	CLASE III	DUDOSA	AGUA MODERADAMENTE CONTAMINADA
FA	57	CLASE III	DUDOSA	AGUA MODERADAMENTE CONTAMINADA
IES	64	CLASE II	ACEPTABLE	AGUA LIGERAMENTE CONTAMINADA

Fuente: Elaboración propia.

En la estación EH, el número de familias fue mayor (13 familias), seguido del punto IES (12 familias), el valor de los índices oscilaron entre 61 y 100, correspondiendo a la clase II (Aceptable), indicándonos aguas ligeramente contaminadas; mientras que en los puntos SH y FA, donde se colectaron un menor número de familias los valores de los índices fluctuaron entre 36 y 60, correspondiendo a la clase III (Dudosa), indicándonos aguas moderadamente contaminadas (Tabla 46).

Los resultados obtenidos al calcular el índice por puntos de monitoreo encontramos variaciones en la calidad que van desde aguas ligeramente contaminadas hasta aguas moderadamente contaminadas, lo que demuestra claramente que la interpretación de este índice se debe realizar con cautela pues, al estar basado en un criterio de presencia-ausencia, si se omiten las características ecológicas globales del sistema en estudio, puede inducir a conclusiones erradas.

Debido a que en todas las estaciones de muestreo en las que se estimó el índice bmwp es recurrente la apreciación de los taxa pertenecientes a la familia chironomidae, por ende es importante tener en cuenta las características biológicas y ecológicas que estos individuos aportan a la determinación de la calidad del agua analizada.

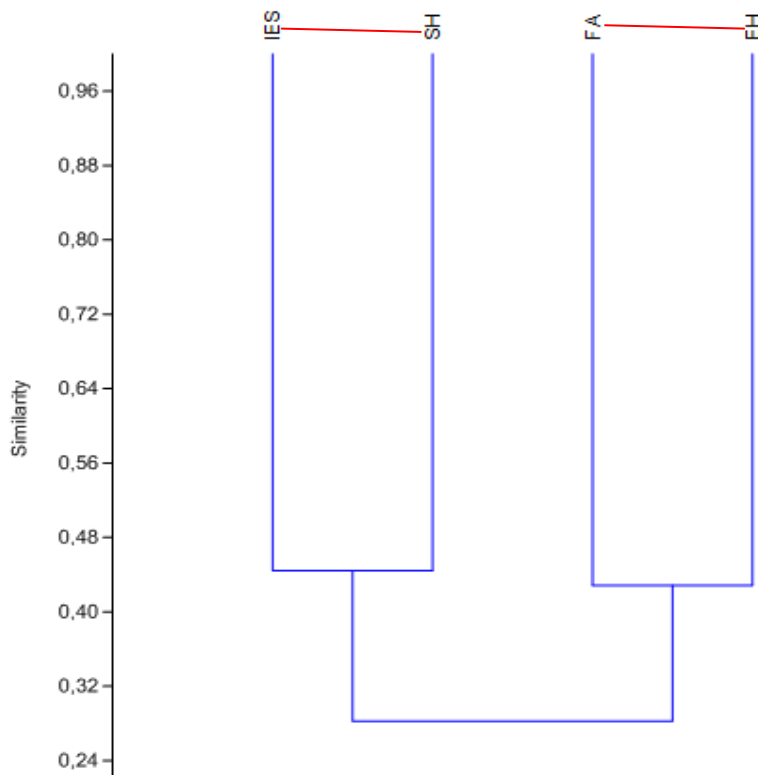
La familia Chironomidae fue determinada en varias etapas de desarrollo, por ejemplo en su estadio larval (Morfo 14, Morfo 71) y en su fase pupal: *Procladius* sp., por otro lado, esta familia pertenece al orden Díptera, cuyos individuos son vectores y están relacionados con el deterioro de las condiciones bióticas de los ecosistemas en los que se

encuentran, dentro de las características morfológicas que poseen para enfrentar cambios drásticos en la calidad del agua existen desde modificaciones en las estructuras corporales (branquias accesorias) hasta el uso selectivo de recursos como fuente de alimentación, por ende es importante considerar la cantidad de materia orgánica disponible en el sistema, así como la cantidad de sólidos suspendidos en la columna de agua; en conclusión es importante tener en cuenta que su presencia se asocia a altas concentraciones de materia orgánica y bajos valores de oxígeno⁹¹, tal como se denota por medio del análisis de los índices ICA´S realizado mediante ICATEST, el cual arrojó valores muy bajos en cada estación.

5.2.3.4 Índice de Similaridad de Jaccard

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se muestran los dendrogramas relacionados con la comunidad de macroinvertebrados.

Gráfica 28. Similaridad 10 de junio



PAST versión 2.17c, 2013

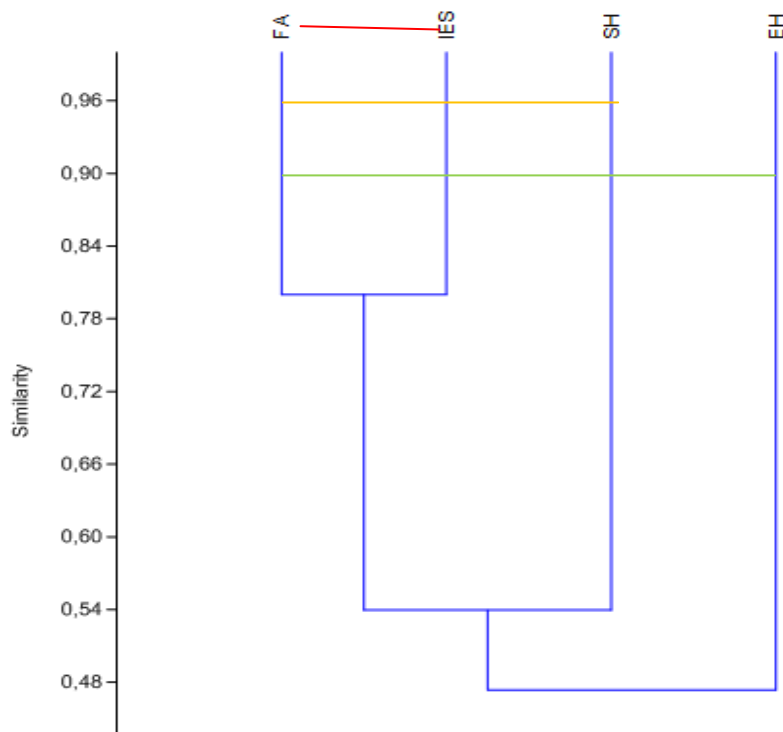
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo mostrado en la Gráfica 28 se puede apreciar que a partir del análisis de similitud obtenido mediante el índice de Jaccard los individuos reportados para la comunidad de macroinvertebrados durante el muestreo realizado el día 10 de junio se distribuyen en dos clúster los cuales agrupan las 4 estaciones de monitoreo planteadas;

la distribución de los taxa reportados permite establecer que existen dos relaciones importantes: la primera existe entre lo encontrado para las estaciones IES y SH, las cuales comparten más del 40% de las especies encontradas; al igual que la relación que se presenta entre las estaciones FA y EH.

La anterior afirmación se puede justificar si se observan las divisiones a las cuales pertenecen los organismos reportados para cada caso, por ejemplo en las estaciones IES y SH se tienen las clases Bivalvia, Gastropoda, Insecta, Malacostraca, Oligochaeta, Hirudinea y Turbellaria. Donde se destaca la importancia en ambos casos del genero *Hyalella* sp., el cual reporto una abundancia promedio de 877,8 Ind/mL, adicionalmente este taxa permiten establecer la bioindicación y condiciones descritas en apartados anteriores.

Gráfica 29. Similaridad 17 junio



PAST versión 2.17c, 2013

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de lo visto anteriormente, en el caso de lo encontrado para el muestreo realizado el día 17 de junio donde se formaron tres clúster claramente diferenciados, claro está, al tener en cuenta los valores de abundancia y los organismos determinados en cada caso.

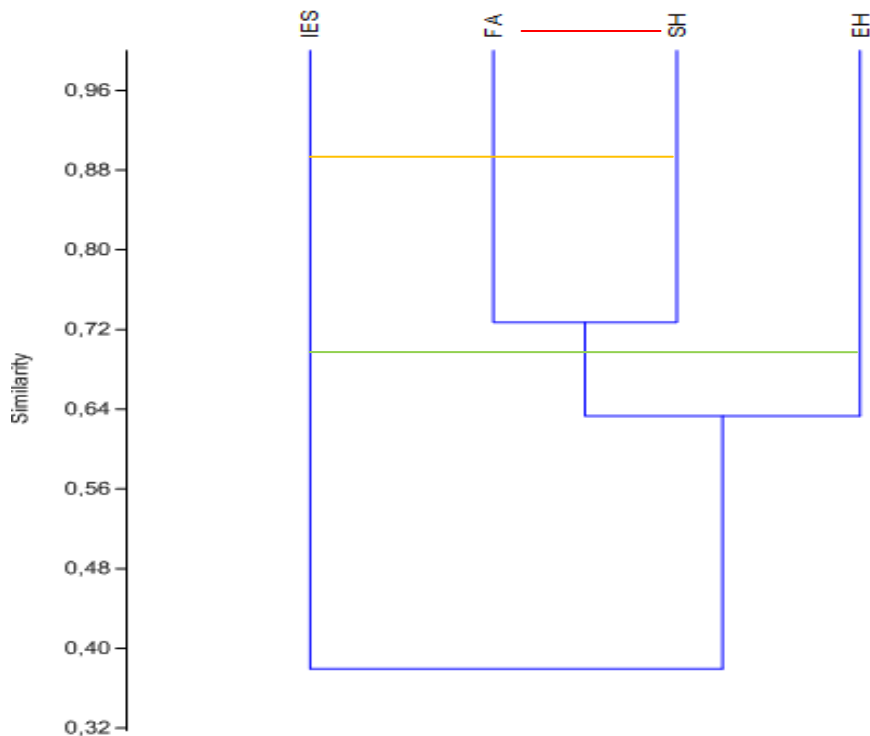
En primer lugar se tiene que los organismos que componen la comunidad determinada en la estación EH se establecen en un clúster independiente de las demás, ya que comparten menos del 48% de géneros con los otros grupos, cabe destacar que a pesar de esta

condición, es en este punto donde se reportó la menor abundancia de macroinvertebrados: un total de 150,9 Ind/m²; este ensamblaje estuvo conformado por las clases Gastropoda, Hirudinea, Insecta, Malacostraca y Turbellaria; de los cuales sobresale la presencia del género *Hyalella* sp., con abundancias de 84,4 Ind/m².

Un segundo clúster fue conformado por los géneros determinados en la estación SH, sin embargo este grupo presentó menos del 54% de las especies compartidas, sin embargo se encontraron las Bivalvia, Gastropoda, Hirudinea, Insecta, Malacostraca y Oligochaeta, destacando el género *Hyalella* sp., con una abundancia de 980 ind/m².

Finalmente existe un tercer clúster conformado por los organismos encontradas en las estaciones IES y FA, con más del 78% de los taxa reportados en ambos casos. Tal como se describe en otros apartados, estos dos puntos de muestreo solo difieren en el género *Hyalella* sp., con una abundancia promedio de 626,55 ind/m².

Gráfica 30. Similaridad 24 de junio



PAST versión 2.17c, 2013

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que lo visto anteriormente para la fechas de muestreo 17 de junio, para el muestreo realizado el día 24 de junio, también se formaron tres clúster claramente diferenciados, claro está, al tener en cuenta los valores de abundancia y los organismos determinados en cada caso.

En primer lugar se tiene que los organismos que componen la comunidad determinada en la estación IES se establecen en un clúster independiente de las demás, ya que comparten menos del 32% de géneros con los otros grupos, a pesar de esta condición, es en este punto donde se reportó la menor abundancia de macroinvertebrados, un total de 76,6 ind/m²; este ensamblaje estuvo conformado por las clases Gastropoda, Insecta, Malacostraca y Oligochaeta; de los cuales se resalta la presencia de los géneros *Hyalella* sp., y *Stylodrilus* sp., con abundancias de 30 ind/m² y 26,7 ind/m², respectivamente.

Un segundo clúster fue conformado por los géneros determinados en las estaciones FA y SH, sin embargo este grupo presentó más del 72% de las especies compartidas, para estos puntos se encontraron las clases Bivalvia, Gastropoda, Hirudinea, Insecta, Malacostraca y Oligochaeta; estos dos puntos de monitoreo presentaron las mayores abundancias reportadas (FA = 960 ind/m² y SH = 586,6 ind/m²), siendo los géneros Morfo 78 y *Stylodrilus* sp, los que reporten las mayores abundancias 306,7 ind/m² y 240 ind/m².

Finalmente existe un tercer clúster conformado por los macroinvertebrados encontradas en la estación EH, con más del 64% de los taxa reportados en ambos casos. Tal como se describe en otros apartados, este punto de muestreo solo difieren las clases Oligochaeta, Gastropoda, Hirudines, Insecta y Malacostraca, resaltando los géneros *Stylodrilus* sp., *Hyalella* sp., y Morfo 61 con abundancias de 93,3 ind/m², 40 ind/m² y 30 ind/m² respectivamente.

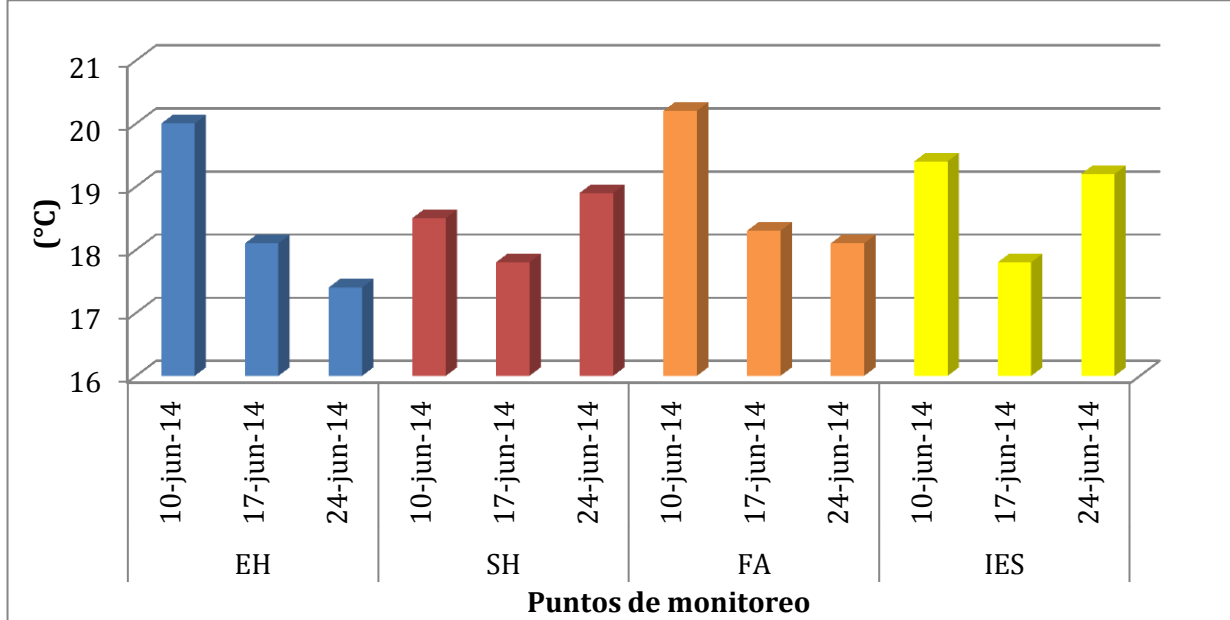
5.3 CONDICIONES FÍSICOQUÍMICAS DE CALIDAD DE AGUA DEL HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO

5.3.1 Temperatura

Tabla 47. Comportamiento Temperatura

Parámetro	Unidades	EH			SH			FA			IES		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Temperatura de la muestra	°C	20	18,1	17,4	18,5	17,8	18,9	20,2	18,3	18,1	19,4	17,8	19,2

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 31. Comportamiento Temperatura

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de temperatura en los puntos de monitoreo fluctuaron entre (17,4 – 20,2°C). Las temperaturas más bajas se registraron durante los días 24 de Junio para EH (17,4°C), 17 de Junio en SH e IES (17,8°C) y FA (18,1°C); mientras que las más altas se registraron los días 24 de Junio para SH (18,9°C), 10 de Junio para IES (19,4°C), EH (20°C) y FA (20,2°C) (Tabla 50).

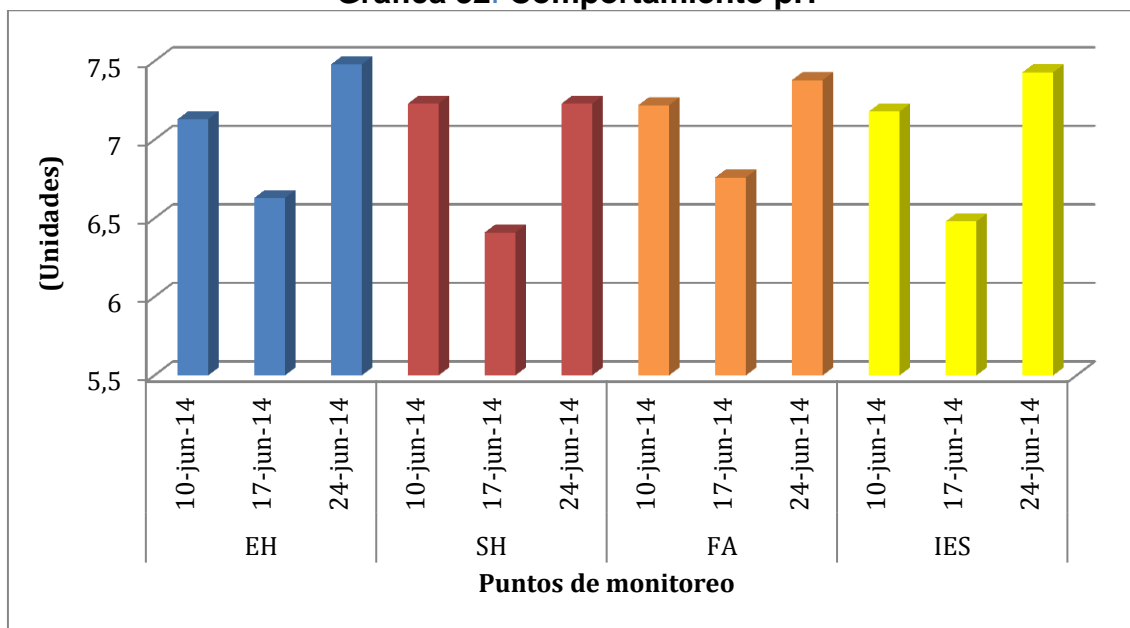
La temperatura afecta la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, la velocidad de fotosíntesis de algas y plantas acuáticas, la velocidad metabólica de organismos acuáticos y la sensibilidad de los organismos a desechos tóxicos.

5.3.2 pH

Tabla 48. Comportamiento pH

Parámetro	Unidades	EH			SH			FA			IES		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
pH	Unidades	7,13	6,63	7,48	7,23	6,41	7,23	7,22	6,76	7,38	7,18	6,48	7,43

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 32. Comportamiento pH

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de pH fluctuaron entre (6,41- 7,48 unidades), manteniéndose más o menos constante (alrededor de las 7 unidades de pH), indicando aguas con una tendencia ácido-neutra. Los pH más bajos se registraron el día 17 de Junio para SH (6.41 unidades), IES (6.48 unidades), EH (6.63 unidades) y FA (6.76 unidades); presentando características ácidas en los puntos, esto se debe probablemente a la presencia de dióxido de carbono (CO₂) libre; que al reaccionar con el agua produce ácido carbónico o también puede relacionarse con ácidos húmicos y fúlvicos⁹² que se producen por descomposición de la materia orgánica disuelta y suspendida en el agua. Mientras que los valores de pH alto se registraron el día 24 de Junio para EH (7.48 unidades), IES (7.43 unidades), FA (7.38 unidades) y SH (7.23 unidades); observando un comportamiento neutro- básico en estos puntos de monitoreo (Tabla 48).

5.3.3 Oxígeno Disuelto y DBO5

Tabla 49. Comportamiento Oxígeno Disuelto

Parámetro	Unidades	EH			SH			FA			IES		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Oxígeno Disuelto	mg/L O ₂	6,29	7,22	5,16	3,44	2,46	4,51	2,77	3,92	3,41	2,93	9,03	3,58

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de Oxígeno Disuelto fluctuaron entre (2,46 – 9,03 mg/L O₂); los valores más bajos se registraron el 17 junio en el punto SH con (2,46 mg/L O₂), el 10 de junio en el punto FA (2,77 mg/L O₂) e IES (2,93 mg/L O₂); mientras que para el 17 de junio en el punto IES se obtuvo la mayor concentración de OD (9,03 mg/LO₂). (Tabla 49).

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua. Está asociado a la contaminación orgánica. Su concentración aumenta al disminuir la temperatura y posee una relación directa con la pendiente y la aireación del cauce. Cuando existen condiciones aeróbicas se produce una mineralización que consume oxígeno y produce gas carbónico, nitratos y fosfatos. Una vez que se consume todo el oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos⁹³.

Tabla 50. Comportamiento DBO₅

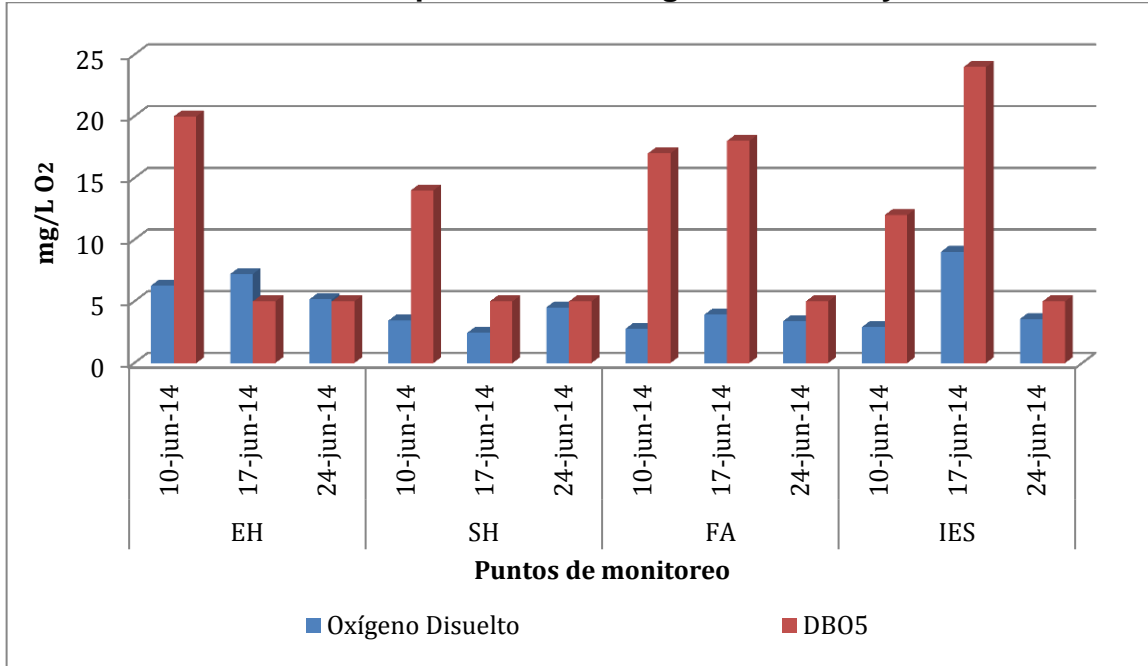
Parámetro	Unidades	EH			SH			FA			IES		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
DBO ₅	mg/L O ₂	20	<5	<5	14	<5	<5	17	18	<5	12	24	<5

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de DBO₅ en los puntos de monitoreo fluctuaron entre (<5 –24 mg/L O₂). Las DBO₅ más bajas se registraron durante los días 17 y 24 de Junio para EH y SH (<5 mg/L O₂), 24 de junio en, FA e IES (<5 mg/L O₂); mientras que las concentraciones más altas se registraron los días 10 de Junio para SH (14 mg/L O₂) y EH (20 mg/L O₂), 17 de junio para FA (18 mg/L O₂) e IES (24 mg/L O₂) (Tabla 50).

Este parámetro representa la materia orgánica biodegradable. Se da cuando ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse a un curso de agua, captan el oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Esta es una medida de la estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral como el hierro, nitritos, amoníaco, sulfuro y cloruros⁹³.

Gráfica 33. Comportamiento Oxígeno Disuelto y DBO₅



Fuente: Elaboración Propia.

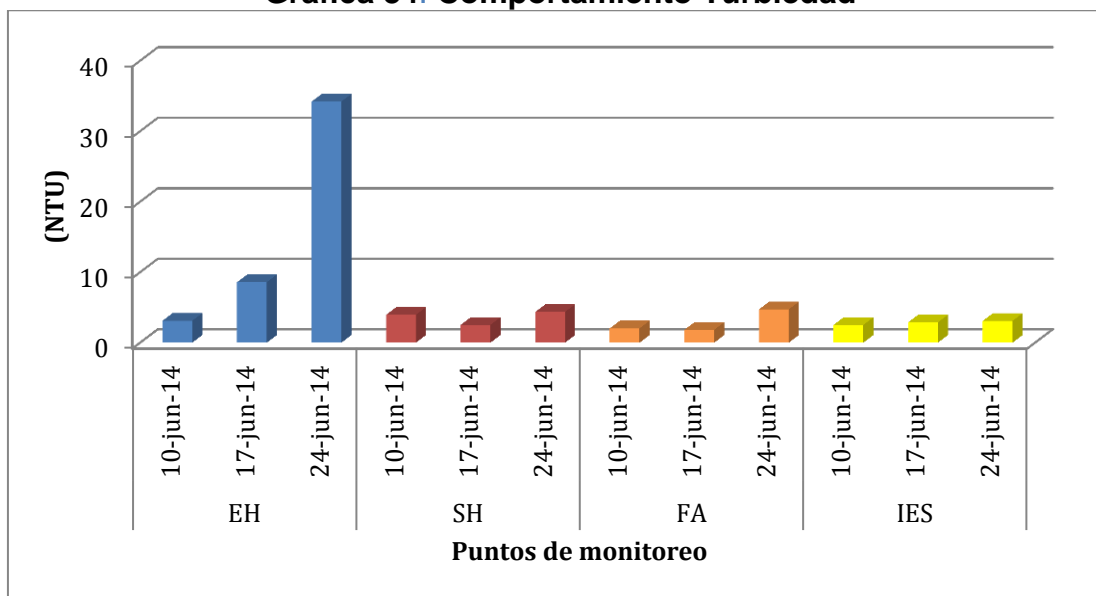
Los contenidos de Oxígeno Disuelto Total, que pueden provenir de la difusión del aire en las aguas, como producto de la respiración de plantas acuáticas (fotosíntesis) la precipitación pluvial, los afluentes y la agitación moderada; varían desde de 2,46 mg/L O₂ en SH (17 junio), probablemente a razón de ser un cuerpo lentic, que se caracteriza por la ausencia de una corriente que promueva los niveles de este gas y por las zonas verdes cercanas y animales que elevan el consumo de oxígeno. Sin embargo, los puntos EH y IES presentan condiciones adecuadas para este tipo de agua, ya que contenidos por debajo de los 4 mg/L como sucede en los puntos SH y FA genera un ambiente anóxico. El parámetro anterior, está limitado por la DBO₅, ya que cuantifican la materia orgánica biodegradable y oxidable, con una concentración máxima de 24 mg/L O₂ en punto IES (17junio) y 20 mg/L O₂ en punto EH (10 junio), lo cual puede obedecer a la alta vegetación circundante.

5.3.4 Turbiedad

Tabla 51. Comportamiento Turbiedad

Parámetro	Unidades	EH			SH			FA			IES		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Turbiedad	NTU	3,11	8,58	34,2	3,95	2,53	4,35	2,03	1,82	4,73	2,52	2,89	3,09

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 34. Comportamiento Turbiedad

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de turbiedad en los puntos de monitoreo fluctuaron entre (1,82 – 34,2 NTU). Los valores más bajas se registraron durante los días 17 de Junio para FA (1,82 NTU), 10 de Junio en FA (2,03 NTU) e IES (2,52 NTU); mientras que las más altas se registraron los días 24 de Junio para EH (34,2 NTU), 17 de Junio para EH (8,58 NTU) y 24 de junio en el punto SH (4,35) (Tabla 51).

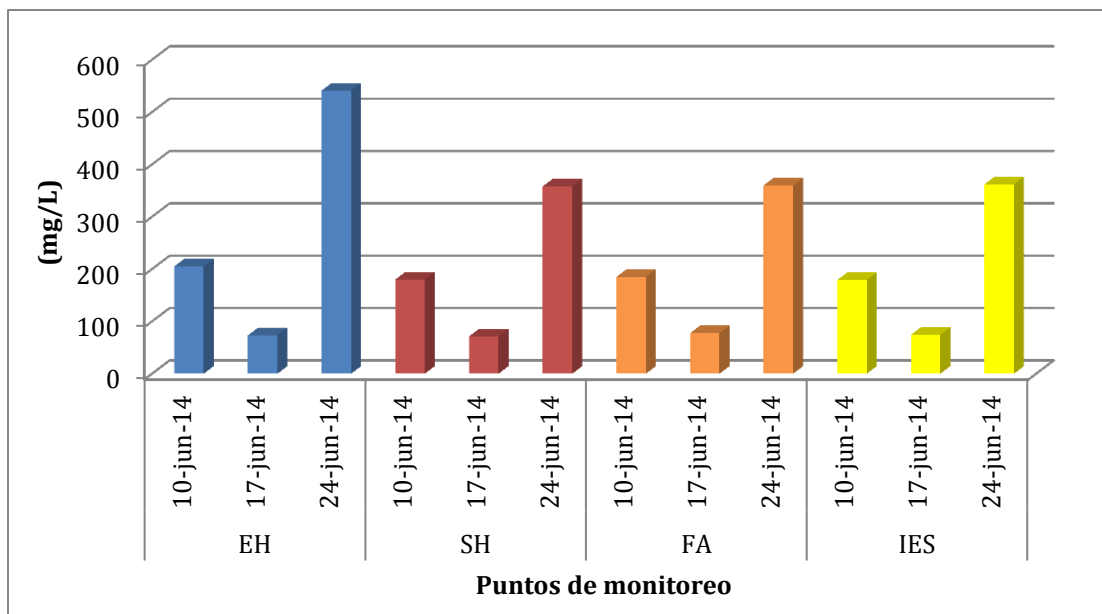
Los valores de Turbiedad registrados son altos, indicando concentraciones de sólidos suspendidos, que pueden contener material orgánico e inorgánico, proveniente del suelo, rocas, y de posibles vertimientos de material, que a su vez, genera una alta turbiedad.

5.3.5 Sólidos Disueltos Totales

Tabla 52. Comportamiento Sólidos Disueltos Totales

Parámetro	Unidades	EH			SH			FA			IES		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	205	73,3	541	180	71,4	358	185	77,6	360	179	74,3	362

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 35. Comportamiento Sólidos Disueltos Totales

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores de Sólidos Disueltos en los puntos de monitoreo fluctuaron entre (71,4 – 541 mg/L). Los valores más bajas se registraron durante los días 17 de Junio para SH (71,4 mg/L), 17 de Junio en EH (73,3 mg/L) e IES (74,3 mg/L); mientras que los más altas se registraron los días 24 de Junio para EH (541 mg/L), IES (362 mg/L), FA (360 mg/L) y SH (358 mg/L) (Tabla 52).

Los Sólidos Disueltos totales se asocian a la presencia de sales y residuos orgánicos, que son característicos de este tipo de aguas. Cabe resaltar además que estos valores están ligados a las características propias del lecho del suelo y a las rocas que se solubilizan en el agua por el contacto directo con estos materiales porosos.

5.3.6 Fosfatos

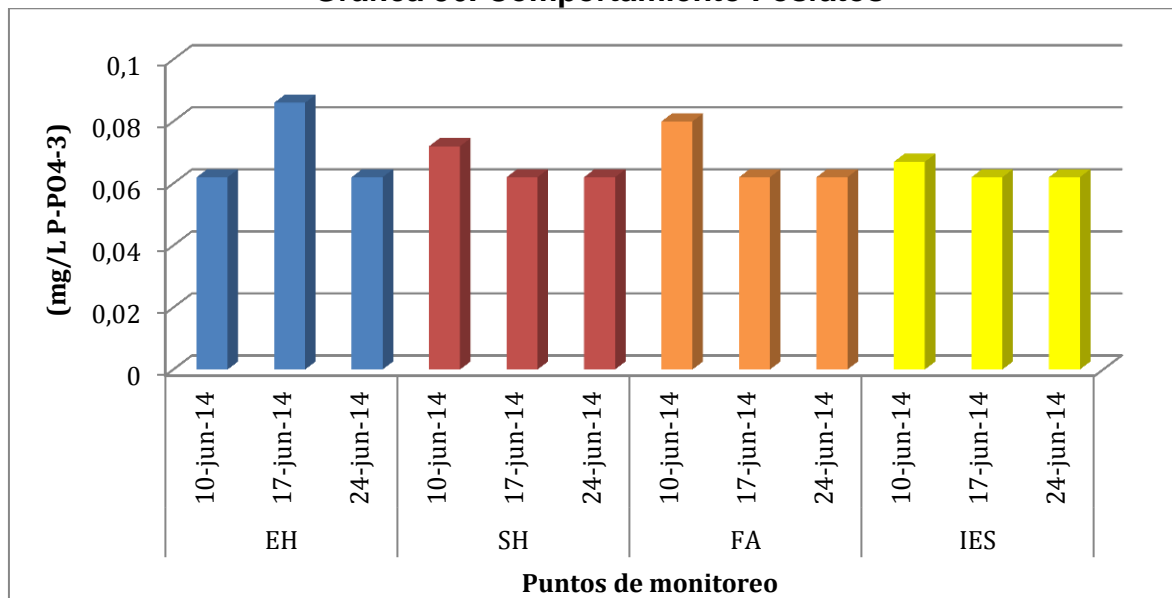
Tabla 53. Comportamiento Fosfatos

Parámetro	Unidades	EH			SH		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Fosfatos	mg/L P-PO ₄ -3	<0,062	0,086	<0,062	0,072	<0,062	<0,062

Fuente: Elaboración propia.

Unidades	FA			IES		
	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
mg/L P-PO ₄ -3	0,08	<0,062	<0,062	0,067	<0,062	<0,062

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 36. Comportamiento Fosfatos

Fuente: Elaboración propia.

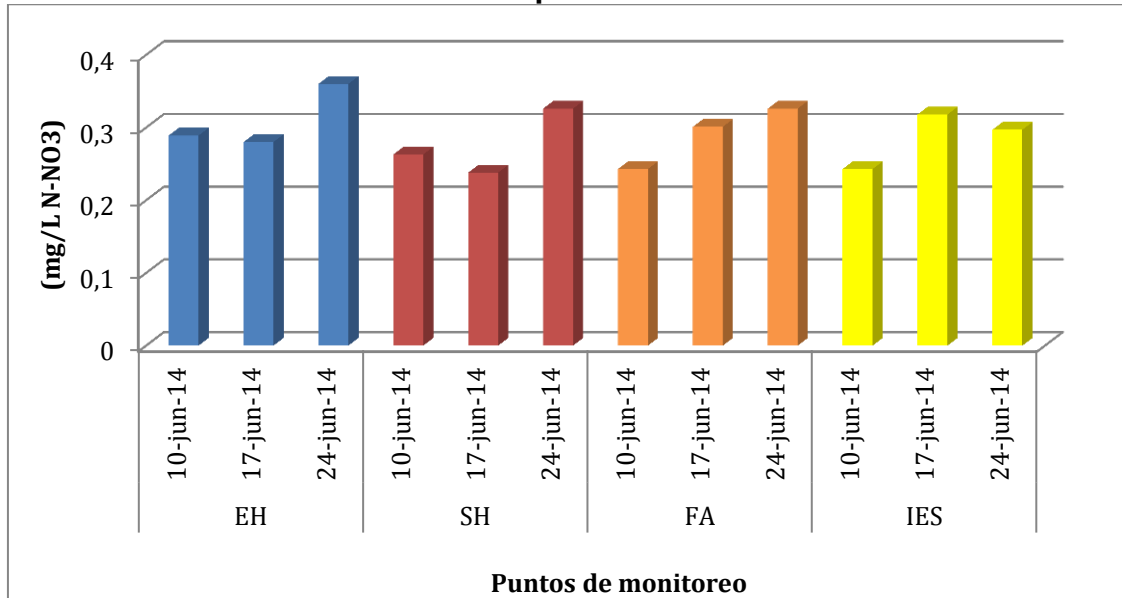
Los valores de Fosfatos en los puntos de monitoreo fluctuaron entre (0,062 – 0,086 mg/L). Los Fosfatos más bajos se registraron durante los días 10 y 24 de Junio para EH (<0,062 mg/L), 17 y 24 de Junio en SH, FA e IES (<0,062 mg/L) respectivamente; mientras que las más altas se registraron los días 17 de Junio para EH (0,086 mg/L), 10 de Junio para SH (0,072 mg/L), 10 de junio para FA (0,08 mg/L) y 10 de Junio para IES (0,067 mg/L) (Tabla 54). Estos valores indican una baja eutrofización asociada a la descomposición de este compuesto.

5.3.7 Nitratos

Tabla 54. Comportamiento Nitratos

Parámetro	Unidades	EH			SH			FA			IES		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Nitratos	mg/L N-NO ₃	0,289	0,28	0,36	0,263	0,238	0,326	0,243	0,301	0,326	0,243	0,318	0,297

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 37. Comportamiento Nitratos

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de Nitratos en los puntos de monitoreo fluctuaron entre (0,238- 0,36 mg/L). Las concentraciones más bajas de Nitratos se registraron durante los días 10 de junio en FA e IES (0,243 mg/L), 17 de Junio para EH (0,28 mg/L) y 24 de Junio en SH (0,238 mg/L); mientras que las concentraciones más altas se registraron los días 24 de Junio para EH (0,36 mg/L), 24 de Junio para SH y FA (0,326 mg/L), y 24 de Junio para IES (0,297 mg/L) (Tabla 54).

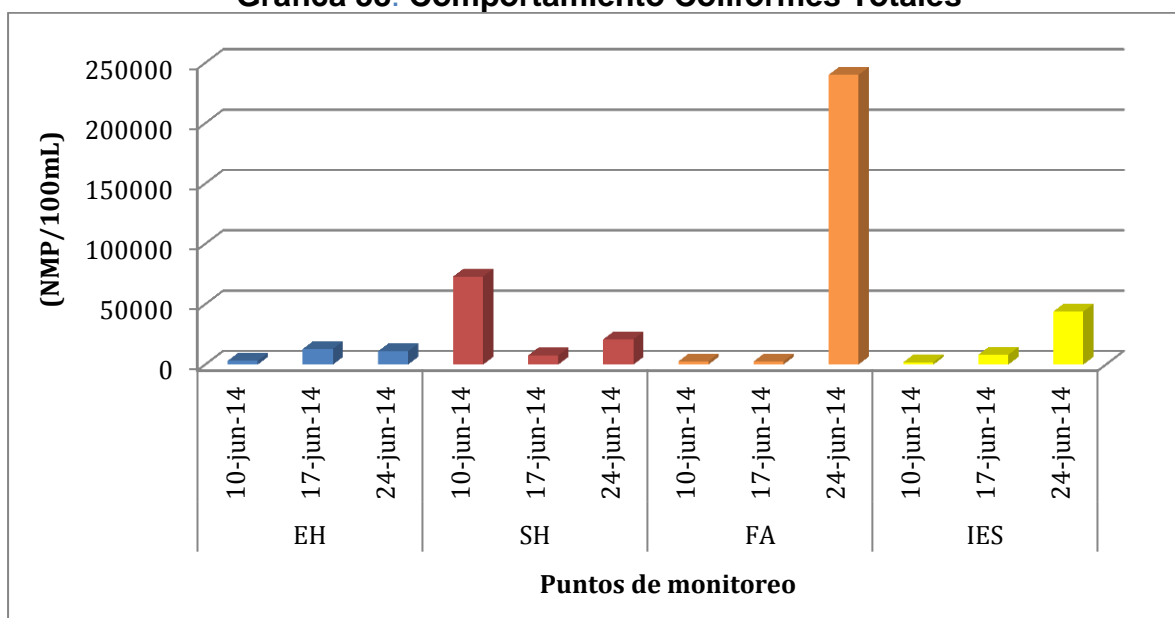
Los Nitrato se registran en bajas concentraciones para todos los puntos, por lo que se puede considerar que no existe grado de contaminación por nitratos; este comportamiento posiblemente obedece a que existen plantas fotosintéticas que se encargan del consumo de estas sustancias, que pueden provenir naturalmente del suelo. Desafortunadamente los nitratos pueden contaminar las fuentes de agua potable. Altos contenidos de nitrato en el agua pueden causar la enfermedad llamada síndrome del bebé azul. Los nitratos cambian la hemoglobina que transporta oxígeno a meta hemoglobina, que no lo transporta; el principal aporte de nitratos se debe al uso excesivo de fertilizantes químicos⁹³.

5.3.8 Coliformes Totales

Tabla 55. Comportamiento Coliformes Totales

Parámetro	Unidades	EH			SH			FA			IES		
		10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14	10-jun-14	17-jun-14	24-jun-14
Coliformes totales	NMP/100mL	3200	13000	11000	73000	7700	21000	2700	2500	240000	2000	8200	44000

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 38. Comportamiento Coliformes Totales


Fuente: Elaboración propia.

Los valores de Coliformes Totales en los puntos de monitoreo fluctuaron entre (2000-240000 NMP/100mL). Los valores más bajos se registraron durante los días 10 de Junio para IES (2000 NMP/100mL), seguido de 17 y 10 de Junio en FA (2500 -2700 NMP/100mL); mientras que los valores más altos se registraron los días 24 de Junio para IES (44000 NMP/100mL), 10 de Junio para SH (73000 NMP/100mL), 24 de junio para FA (240000 NMP/100mL) (Tabla 55).

Los valores de Coliformes totales reportados pueden asociarse a vertimientos de agua residuales y aguas lluvias del sector y en algunos puntos pueden ser naturales del suelo y del agua pudiendo proliferar en estos dos medios, como en material vegetal flotante en descomposición e incluso en el polvo; también puede asociarse a la presencia de aves e invertebrados de mayor tamaño en el punto de monitoreo.

5.4 DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)

El cálculo y la comparación de los parámetros fisicoquímicos permitió realizar la valoración de la calidad del agua del estado del humedal de Santa María del Lago mediante el índice de calidad de agua, consistiendo en la asignación de factores de ponderación a parámetros fisicoquímicos y la sumatoria de los valores de los subíndices en un valor final que expresa el valor total del índice.

5.4.1.1 Entrada Humedal

Tabla 56. Índice de calidad de agua (ICA) - EH

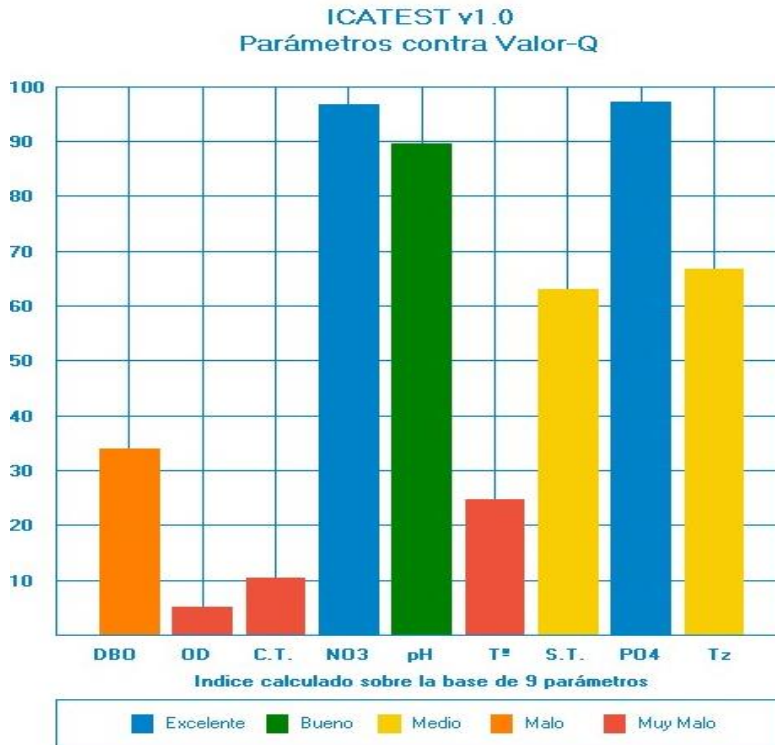
Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de ponderación	Subíndice
DBO	10	34	0,11	3,74
Oxígeno disuelto	6,22	5,11	0,17	0,87
Coliformes fecales	9066,67	10,47	0,16	1,68
Nitratos	0,31	96,69	0,1	9,67
pH	7,08	89,6	0,11	9,86
Temperatura	18,5	24,62	0,1	2,46
Sólidos totales	273,1	63	0,07	4,41
Fosfatos totales	0,07	97,2	0,1	9,72
Turbidez	15,3	66,64	0,08	5,33

Software ICATEST v1.0[®].

Fuente: Elaboración propia.

Valor del índice:	47,74
Número de parámetros:	9
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Gráfica 39. Índice de calidad de agua (ICA) - EH



Software ICATEST v1.0®.

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 39 se observó que los parámetros Oxígeno disuelto, Coliformes totales y Temperatura presentan valores de calidad (Q) entre (5,11-26,62), indicando una calidad muy mala; mientras que los valores de Q para los parámetros Nitratos y Fosfatos se encuentran entre (96,69- 97,2) dando una calidad excelente.

5.4.1.2 Salida humedal

Tabla 57. Índice de calidad de agua (ICA) - SH

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de ponderación	Subíndice
DBO	8	42	0,11	4,62
Oxígeno disuelto	3,47	3,74	0,17	0,64
Coliformes fecales	33900	6,61	0,16	1,06
Nitratos	0,28	96,72	0,1	9,67
pH	6,96	87	0,11	9,57
Temperatura	18,4	24,8	0,1	2,48
Sólidos totales	203,13	72,09	0,07	5,05
Fosfatos totales	0,07	97,2	0,1	9,72
Turbidez	3,61	88,78	0,08	7,1

Software ICATEST v1.0®.

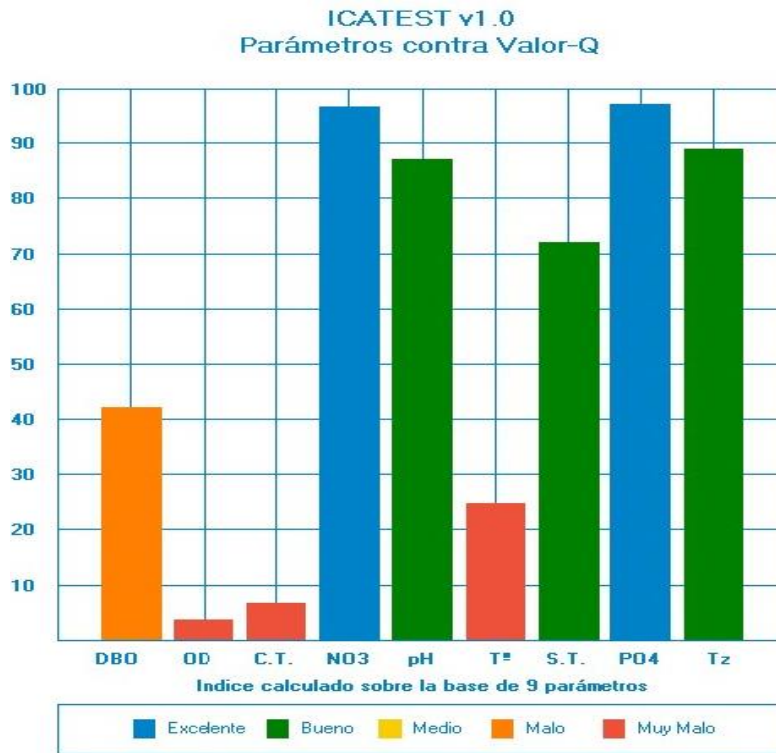
Fuente: Elaboración propia.

Valor del índice:	49,91
Número de parámetros:	9
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Software ICATEST v1.0®.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 40. Índice de calidad de agua (ICA) - Salida Humedal



Software ICATEST v1.0®.

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 40 se observó que los parámetros Oxígeno disuelto, Coliformes totales y Temperatura presentan valores de calidad (Q) entre (3,74-24,8), indicando una calidad muy mala; mientras que los valores de Q para los parámetros Nitratos y Fosfatos se encuentran entre (96,72- 97,2) dando una calidad excelente.



5.4.1.3 Frente administración

Tabla 58. Índice de calidad de agua (ICA) - FA

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de ponderación	Subíndice
DBO	13,33	24,18	0,11	2,66
Oxígeno disuelto	3,37	3,68	0,17	0,63
Coliformes fecales	81733,33	4,61	0,16	0,74
Nitratos	0,29	96,71	0,1	9,67
pH	7,12	90,4	0,11	9,94
Temperatura	18,87	23,93	0,1	2,39
Sólidos totales	207,53	71,52	0,07	5,01
Fosfatos totales	0,068	97,28	0,1	9,73
Turbidez	2,86	90,42	0,08	7,23

Software ICATEST v1.0[®].

Fuente: Elaboración propia.

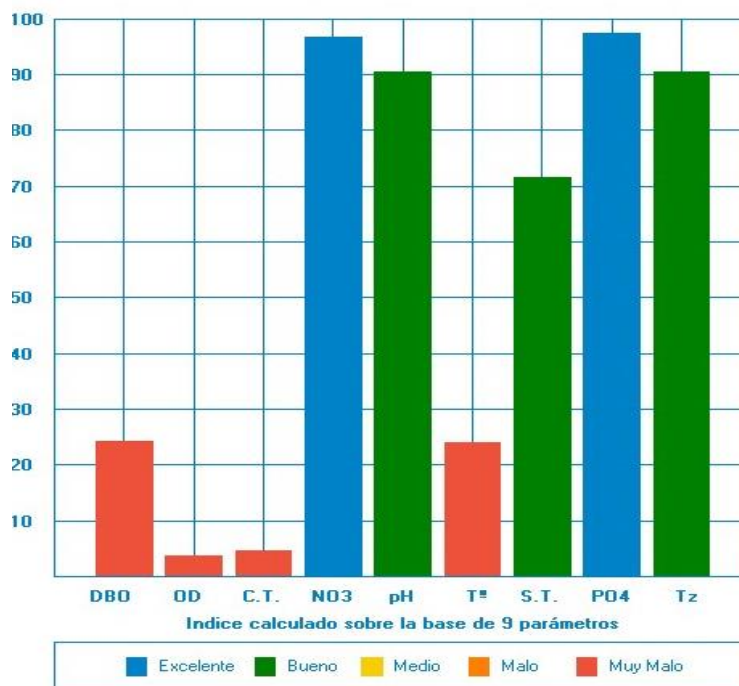
Valor del índice:	48
Número de parámetros:	9
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Software ICATEST v1.0[®].

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 41. Índice de calidad de agua (ICA) - Frente Administración

ICATEST v1.0
Parámetros contra Valor-Q



Software ICATEST v1.0[®].

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 41 se observó que los parámetros DBO, Oxígeno disuelto, Coliformes totales y Temperatura presentan valores de calidad (Q) entre (3,68-24,18), indicando una calidad muy mala; mientras que los valores de Q para los parámetros Nitratos y Fosfatos se encuentran entre (96,71- 97,28) dando una calidad excelente.

5.4.1.4 Intermedio Entrada – Salida

Tabla 59. Índice de calidad de agua (ICA) - IES

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de ponderación	Subíndice
DBO	13,67	23,32	0,11	2,57
Oxígeno disuelto	5,18	4,59	0,17	0,78
Coliformes fecales	18066,67	8,39	0,16	1,34
Nitratos	0,29	96,71	0,1	9,67
Ph	7,03	88,6	0,11	9,75
Temperatura	18,8	24,06	0,1	2,41
Sólidos totales	205,1	71,84	0,07	5,03
Fosfatos totales	0,06	97,6	0,1	9,76
Turbidez	2,83	90,51	0,08	7,24

Software ICATEST v1.0[®].

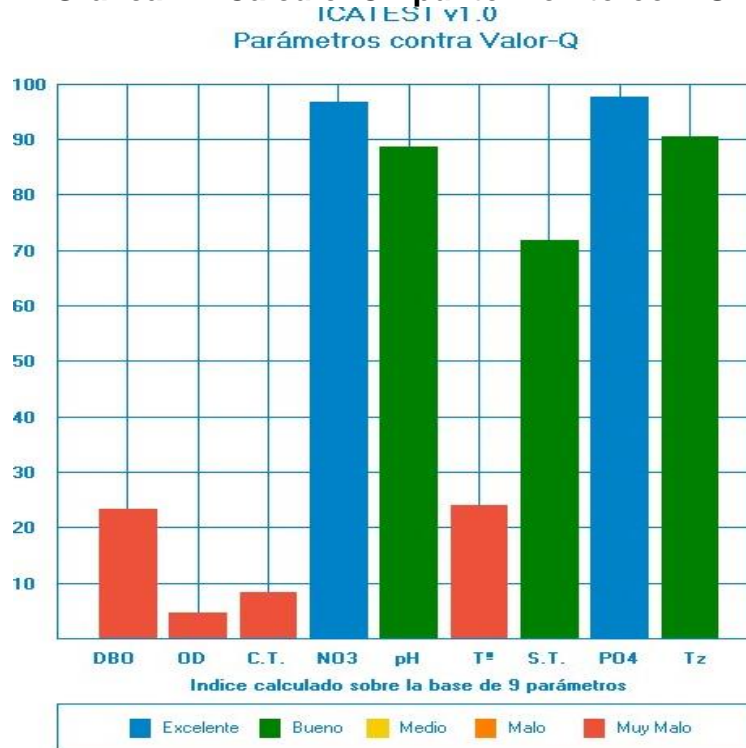
Fuente: Elaboración propia.

Valor del índice:	48,55
Número de parámetros:	9
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Software ICATEST v1.0®.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 42. Cálculo ICA punto monitoreo IES



Software ICATEST v1.0®.

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 42 se observó que los parámetros DBO, Oxígeno disuelto, Coliformes totales y Temperatura presentan valores de calidad (Q) entre (4,59-24,06), indicando una calidad muy mala; mientras que los valores de Q para los parámetros Nitratos y Fosfatos se encuentran entre (96,76- 97,6) dando una calidad excelente.

Tabla 60. Usos del agua según su ICA

ICA	USOS				
	AGUA POTABLE	AGRÍCOLA	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIAL	RECREATIVO
26-50	Inaceptable para consumo	Uso solo en cultivos muy resistentes o tratamiento necesario para la mayoría de los cultivos	Vida acuática limitada a especies muy resistentes e inaceptable para actividad pesquera	Tratamiento para mayoría de usos	Dudosa para contacto con el agua. Evitar contacto

Fuente: A. G. Carrilloa Castro, R. Villalobos Alcázar. "Análisis comparativo de los índices de calidad del agua (ICA) de los ríos Tecolutla y cazones en el periodo marzo. Diciembre 2010". Universidad Veracruzana. Facultad de ciencias químicas. Poza rica- Tuxpam. 2001. p. 13-20.

Los valores de índices obtenido para los puntos fueron (EH=47,74), (SH=49,1), (FA=48) e (IES=48,55), estos valores se encuentra en la categoría de mala, en el rango de 26 a 50. Indicando una calidad del agua inaceptable para su consumo y requiere de tratamiento, en el uso en agricultura se requiere de tratamiento o solo en cultivos muy resistentes, pues presenta una problemática con la contaminación⁹⁴.

En el análisis de este índice los parámetros de cuidado son Oxígeno disuelto, Coliformes Totales, Temperatura, y DBO ya que se hallan en límites de calidad mala a muy mala, pues estos parámetros son responsables de que este índice no alcance valores de excelente, por lo tanto sobre estos parámetros se debe centrar la atención para la toma de decisiones.

5.5 ESTADO TRÓFICO DEL HUMEDAL DE SANTA MARÍA DEL LAGO

Para definir el estado trófico del humedal de Santa María del Lago se utilizan los índices de Shannon –Wiener e ICA, calculados con base a la relación de la diversidad de las comunidades de fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados y los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, arrojando la siguiente información:

Tabla 61. Estado trófico según Shannon - Wiener e ICA

	Fitoplancton	Zooplancton	Macroinvertebrados	ICA
EH	Ligeramente contaminadas	Ligeramente contaminadas	Ligeramente contaminadas	Mala
SH	Muy contaminadas	Ligeramente contaminadas	Moderadamente contaminada	Mala
FA	Muy contaminadas	Muy limpias	Moderadamente contaminada	Mala
IES	Muy contaminadas	Ligeramente contaminadas	Ligeramente contaminadas	Mala

Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo a la tabla 61, la comunidad fitoplanctónica evaluada a lo largo de los cuatro puntos de monitoreo permitió definir que el humedal se encuentra en un estado de Mesotrofia a Eutrofia, ya que las estaciones SH, FA y IES presentaron condiciones de alta contaminación, por otro lado la evaluación de los ICA estableció que la calidad del agua es mala.

En el punto entrada humedal (EH), Salida humedal (SH) e Intermedio entrada salida (IES) durante los tres muestreos realizados en términos generales se registraron las mayores abundancias para los grupos de Bacillariophyta y Euglenophytas; en el primer caso se trata de especies reportadas que, según Pinilla (2000), son bioindicadoras de un pH neutro a ligeramente ácido, con altas concentraciones de calcio, por otro lado, estos valores altos se pueden ver asociados con una alta cantidad de minerales en el cuerpo de agua; cabe destacar que en general la mayor abundancia fue aportada por *Asterionella* sp., la cual se encuentra en su mayoría en aguas con altas cargas de nutrientes, así como una alta relación de nitratos y fosfatos.

En el segundo caso se determinó que el género *Trachelomonas* perteneciente a la división Euglenophyta registró los valores más altos de abundancia, pues este grupo de individuos se presentan en sistemas con alto contenido de materia orgánica y estratificación, dando la condición de mesotrofia a eutrofia en un sistema, se consideras características de etapas intermedias de la sucesión, en la transición de mezcla a estratificación planctónica⁹⁵. Es importante tener en cuenta que se reportó en promedio un pH de 7, favoreciendo las formaciones de estos afloramientos algales.

Para el caso de la comunidad zooplanctónica determinada en cada uno de los puntos de muestreo cabe resaltar que de acuerdo al índice de Shannon-Winner estos taxa establecieron que se presentaron condiciones de mediana contaminación en el agua del humedal, ya que este índice osciló entre un rango de 2,4 a 3,1. Es importante destacar que para el caso del punto de muestreo FA el valor de este índice catalogó el sistema como de “aguas muy limpias”, sin embargo esto responde a la baja abundancia de taxa registrados para este sistema y no realmente a los atributos propios de cada grupo taxonómico, ya que este índice determina la diversidad de los mismos.

Se puede enfatizar que este estado trófico está directamente relacionado con la presencia de ciertos individuos con abundancias considerables, por ejemplo se determinó que el taxón Morfo 3, correspondiente al estadio larva nauplio perteneciente a los copépodos (microcrustáceos), fue el organismo más abundante, el cual está relacionado con los procesos de transferencia de energía de los productores primarios, los cuales permiten realizar una buena bioindicación de sensibilidad ante cambios físicos y/o químicos en los cuerpos de agua⁵⁴, por otro lado estos organismos muestran tolerancia a la deficiencia de oxígeno ya que pueden recorrer grandes distancias alrededor del sistema, se debe relacionar el hecho de que en este caso el oxígeno disuelto promedio reportado fue muy bajo (5,2 mg/L), adicionalmente estos copépodos son abundantes en sistemas en estado de eutrofia, representando así el principal componente de la comunidad zooplanctónica (Roldan, 1996), para el caso particular del estadio larva nauplio es importante destacar, pues cumplen una función importante como indicadores de pH alcalino y estratificación³⁶,

finalmente se relacionan con cuerpos de agua eutróficos, con alta sedimentación, materia orgánica y altos valores de DBO_5 ³⁶.

Los grupos de tecamebianos también representaron un importante porcentaje de abundancia en el muestreo (21,8%), estos individuos indican la existencia de una gran cantidad de nutrientes, ya que se dedican al reciclaje de los mismos en aguas posiblemente afectadas⁹⁶, tienen preferencia a sistemas con altas concentraciones de calcio (Ca)⁵¹ y aguas poco acidas según Jardin *et al.* (2007). Adicionalmente estos organismos son utilizados como indicadores de ambientes lacustres contaminados por residuos químicos de minas e industrias^{65,66}, ya que algunas especies son extremadamente resistentes a los ambientes contaminados.

Para determinar el estado trófico del humedal mediante la utilización de la comunidad de macroinvertebrados se utilizó el índice BMWP/Col, con el que se estableció que los puntos de muestreo Entrada Humedal (EH) e Intermedio Entrada Salida (IES) catalogaron que el sistema se encuentran en una condición de Ligera Contaminación, lo que está directamente relacionado con la bioindicación de los taxa encontrados: en el primer caso se encontró mayoritariamente la Familia Chironomidae, representada por los individuos en estadio larval (Morfo 71) ; se conoce que estos grupos de organismos como indicadores biológicos de importante valor diagnóstico de las condiciones ambientales^{75,76,77}, por otro lado, son grupos representados por una alta diversidad de géneros y especies, especialmente se pueden presentar en ambientes contaminados.

La clase insecta forman los principales macroinvertebrados bentónicos, de muchos sistemas de aguas quietas y aguas corrientes y entre ellos, las larvas de quironómidos son particularmente cosmopolitas en su distribución. En términos generales presentan una cierta tolerancia a la contaminación orgánica. Todos estos organismos se han adaptado eficientemente ante la contaminación, especialmente si es de tipo orgánico, por lo cual se asocia su presencia a altas concentraciones de materia orgánica y bajos valores de oxígeno⁹⁷, si se observan los valores obtenidos para estos parámetros en el análisis se tiene un valor de sólidos suspendidos mayor a 200 mg/L, indicando así que existe una gran cantidad de materia orgánica suspendida en la columna de agua favoreciendo la utilización de esto como fuente primaria de alimento.

En segundo lugar se reportó como abundante la clase Malacostraca representada únicamente por el género Hyalella, los cuales se encuentran en diversos sistemas ya que poseen amplios hábitos alimenticios, para este caso se puede inferir que la gran cantidad de materia orgánica es descompuesta por estos organismos, resultando en una fuente extra de nutrientes en el sistema⁸⁴.

Finalmente se encontró el género Stylodrilus, perteneciente al phylum Oligochaeta, los cuales son considerados como uno de los grupos más importantes en la bioindicación de las aguas, ya que se asocian siempre a rangos elevados de contaminación por materia orgánica⁵⁶; adicionalmente presentan preferencia por cuerpos de agua en donde la relación de carbono y nitrógeno sea baja y exista alta presencia de bacterias, recordemos



que el valor encontrado en el análisis fisicoquímico para coliformes totales fue en promedio de 35690 NMP/100mL. Por otro lado se conoce que la actividad de estos gusanos acelera la descomposición de la materia orgánica por su comportamiento saprófago.

Estos grupos también se presentan en sistemas con un marcado enriquecimiento orgánico y condiciones muy desfavorables de oxígeno y altas concentraciones de sustancias tóxicas.



6. CONCLUSIONES

El rol del ingeniero ambiental en la sociedad es muy amplio. Como cualquier ingeniero, el ambiental tiene como función la solución a los problemas ambientales de manera integrada, es decir, teniendo en cuenta los distintos factores ambientales, sociales y económicos, aplicando las distintas herramientas que la tecnología y el conocimiento le permite, con el fin de promover el desarrollo sostenible. A partir de la evaluación de la calidad del agua del humedal mediante el uso de los índices biológicos y fisicoquímicos como herramienta alternativa de solución la determinación del estado trófico de este sistema lenticó, se comprobó que el humedal de Santa María del Lago está siendo afectado negativamente por las actividades antrópicas que se desarrollan alrededor, ya que los resultados obtenidos nos permiten concluir:

- La abundancia reportada para la comunidad fitoplanctónica en el humedal para cada una de las estaciones de muestreo fue alta. Teniendo en cuenta lo anterior se puede establecer que las características propias del sistema evaluado, tales como: comunidades hidrobiológicas y parámetros fisicoquímicos, favorece la presencia de estos organismos importantes para la determinación del estado trófico del sistema. Por otro lado los organismos descritos se presentan en aguas con contaminación intensa y alto contenido de materia orgánica, en estado de eutrofización.
- Las diatomeas constituyeron el grupo más diverso y abundante dentro de las comunidades algales, siendo importantes bioindicadores dentro del humedal debido a que son susceptibles a cambios de pH y altas concentraciones de minerales; tal como se corroboró en los análisis fisicoquímicos obtenidos.
- Las especies fitoplanctónicas más representativas por su presencia y abundancia fueron diferentes en cada uno de los tres sistemas. Esto se debió a las variaciones en el estado trófico que se presentaron entre los puntos de monitoreo. De esta manera, las especies de fitoplancton se constituyen en bioindicadoras de una condición específica. Sin embargo, algunas de esas especies (*Oocystis* sp. *Phacus* sp., entre otros) fueron comunes en más de un punto monitoreado, mostrando su adaptabilidad y tolerancia a ambientes con diferentes características fisicoquímicas, por lo cual se les puede considerar como taxones eurióicos.
- En relación a la comunidad zooplanctónica es preciso establecer que en general la abundancia reportada fue muy alta, representada en organismos típicos de sistemas con una gran cantidad de detritus y materia orgánica disponible, en este caso la comunidad zooplanctónica resultó favorecida gracias a la diversificación y establecimiento de la comunidad fitoplanctónica reportada, al ser este su principal fuente de alimento.



- La bioindicación dada por las especies de zooplancton refiere que los cuatro puntos de monitoreo se encuentran en un estado de eutrofia, con alta carga de materia orgánica en descomposición; asimismo, lo sustenta la presencia de *Trinema* sp., especie de la clase Filosia, quien se encuentra asociada a sistemas influenciados por hojarasca o material vegetal proveniente de la vegetación adyacente.
- Se considera que la disponibilidad de agua es el factor primario que determina la distribución de los organismos y su crecimiento depende de la tasa de recambio poblacional; otros factores determinantes como el contenido de materia orgánica, el pH y el contenido de nutrientes en los sustratos también son significativos por lo que son muy importantes como herramientas de estudios y vigilancia de la contaminación.
- La comunidad bentónica estuvo constituida en su mayoría por individuos pertenecientes a la clase Insecta (Morfo 71), sin embargo se debe tener en cuenta que a pesar de que esta comunidad se establece en la zona afótica del cuerpo de agua, el tipo de sustrato es determinante en la formación y diversificación de este grupo, ya que aprovechan mayoritariamente los grandes depósitos de materia orgánica y detritus en general, lo cual se relaciona con los valores obtenidos para los sólidos suspendidos totales. En relación a la bioindicación de este grupo, cabe resaltar que en términos generales se presentan en sistemas hídricos con contaminación moderada y un grado de afectación considerable, como es el caso del humedal de Santa María del Lago.
- Las especies de la clase Insecta presentan una cierta tolerancia a la contaminación orgánica y a las altas alteraciones térmicas, lo que hace que no se consideren como un grupo indicador de alta calidad⁸¹. Específicamente, los díptera Chironomidae han generado múltiples adaptaciones ante la contaminación, sobre todo si es de tipo orgánico, por lo cual se asocia su presencia a altas concentraciones de materia orgánica y bajos valores de oxígeno⁹⁷.
- En relación a los índices ecológicos para cada comunidad, cabe resaltar que en los casos en los que existe dominancia de algún taxón en particular se debe relacionar el conjunto de características propias del humedal con la importancia ecológica de estos resultados, cabe destacar los casos de los días 24 de junio para el punto EH con un predominio de 0,84 para la comunidad fitoplanctónica por parte del género *Trachelomonas* y para el punto FA con un valor de predominio de 0,88 para la comunidad zooplanctónica por parte del género *Alona*, en el caso de los macroinvertebrados existió dominancia por parte de la familia Chironomidae.
- El presente estudio logró demostrar que las especies fitoplanctónicas, zooplanctónicas y de macroinvertebrados responden a los cambios fisicoquímicos y ambientales de manera casi inmediata, constatando que estas comunidades son una excelente herramienta de la bioindicación en sistemas acuáticos, principalmente lenticos.



- Integrando la manera en la que los ICA categorizaron al humedal a lo largo de los puntos de monitoreo se debe tener en cuenta que, una de las posibles causas de este escenario sean las actividades de vertimiento y afectación de este humedal que tiene lugar en la zona, incluyendo las descargas de alcantarillados provenientes de asentamientos humanos (para el caso del sector Santa María del Lago). Lo que finalmente determina la composición biológica de cada una de las comunidades descritas.
- Teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos evaluados (Temperatura, pH, Oxígeno disuelto, Turbiedad, Fosfatos, Nitratos, Sólidos disueltos totales, DBO₅ y Coliformes Totales) y el valor arrojado por los ICA se determinó que los parámetros de Oxígeno disuelto, Coliformes Totales, Temperatura, y DBO₅ permitieron establecer que el humedal presenta una mala calidad de agua.
- Las variables fisicoquímicas son fundamentales para comprender la presencia y abundancia de las especies de las comunidades hidrobiológicas presentes en el humedal. Esto permitió crear una relación directa entre las especies presentes, su abundancia y el estado trófico. En consecuencia, el estado trófico determinado para ese humedal en el presente estudio fue mesotrófico con tendencia a eutrófico.
- Por medio de los índices de similaridad estimados para cada comunidad hidrobiológica en cada uno de los puntos de muestreo se pudo obtener agrupaciones que relacionan los valores de abundancia obtenidos; en términos generales, para las comunidades fitoplanctónica y zooplanctónica en la mayoría de los casos se agruparon en dos clúster relacionados de la siguiente manera: IES-SH, FA- EH; mientras que para el caso de la comunidad de macroinvertebrados no se presenta un patrón de agrupación para los puntos de monitoreos.
- Con base a la metodología realizada y a los resultado obtenidos se considera que el Humedal Santa María del Lago se encuentra en un estado de mesotrofia a eutrofia, así mismo se concluye que la calidad del agua es mala en relación a lo obtenido en los ICA, todo lo anterior mediante el análisis de bioindicación de cada una de las comunidades hidrobiológicas y los respectivos taxa más abundantes para cada caso.
- El sistema evaluado en el presente estudio presentó niveles tróficos, debido a las concentraciones de nutrientes. Estos se generan por múltiples factores antrópicos y condiciones naturales que ocasionan contaminación directa en los humedales.

7. RECOMENDACIONES

- Desde el conocimiento de la existencia e importancia de este humedal hasta la actualidad se han hecho pocos estudios relacionados con las propiedades fisicoquímicas y biológicas del humedal de Santa María del Lago por lo cual, la principal recomendación es continuar con los estudios con el fin de recopilar e integrar información para diseñar modelos que permitan explicar el comportamiento ecológico del humedal para establecer un manejo adecuado del sistema.
- Realizar los estudios de composición y abundancia en otras áreas del humedal incluyendo el centro del humedal, así como la distribución de las comunidades de plancton y macroinvertebrados en toda la columna de agua.
- Estudiar la inter fase - agua - sedimento para estudiar la dinámica de los nutrientes y minerales.
- Establecer estudios con periodos de tiempo más largos para determinar las características fisicoquímicas y biológicas que permitan tener un registro anual en la dinámica ambiental del humedal.
- Realizar conjuntamente con el plancton y macroinvertebrados, estudios de otras comunidades biológicas (como Perifiton y macrófitas) que permitan integrar la información y dar pautas para el manejo ambiental del humedal.
- Se recomienda realizar un nuevo estudio de valoración más detallado para que el humedal cumpla con los parámetros cuantitativo y cualitativo, de esta forma tener una información más completa del estado del humedal.
- Es recomendable para estudios posteriores realizar la metodología expuesta en este documento por los resultados obtenidos, ya que se da un soporte técnico en la toma de decisiones para las gestiones con la comunidad y con los organismos gubernamentales.
- Es importante monitorear las variables climáticas durante los muestreos con el fin de conocer mejor su influencia sobre el comportamiento de las comunidades de plancton y macroinvertebrados.
- Algunos índices que indican el estado trófico de sistemas acuáticos no tienen en cuenta todos los aspectos relevantes. Es por esto que se recomienda trabajar un mayor número de índices propuestos por diferentes autores, con el fin de obtener así resultados contrastables entre sí.



- Según los resultados obtenidos se observa que el humedal evaluado es víctimas de la contaminación ambiental generada por diferentes fuentes. Por lo tanto se recomienda seguir monitoreado los cambios que presentan en cuanto a las variables fisicoquímicas y la presencia y abundancia de las comunidades hidrobiológicas, con el fin de plantear una metodología de recuperación para dichos humedales.



GLOSARIO

BLOOMS: es un incremento rápido o acumulación de la población de algas en un sistema acuático. Los bloom de algas pueden ocurrir tanto en medioambientes de agua dulce como en sistemas marinos.

CALIDAD DEL AGUA: puede definirse como la composición físico-químico-biológica que la caracteriza y recordado el hecho de que el agua pura no existe en la naturaleza, se habla que un agua es de calidad, cuando sus características la hacen aceptable para un cierto uso, por ejemplo: un agua que no sirve para beber, puede servir para riego.

COLIFORMES TOTALES Y FECALES: se define como un grupo de bacterias en forma de bacilo, pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*, Gran negativas, aerobias y anaerobias facultativas, que no forman esporas, con capacidad de fermentar la lactosa y otros azúcares con producción de ácido y de gas a una temperatura entre 35 y 37°C durante un lapso de 24 a 48 horas.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅): es una medida de concentración de oxígeno usada por los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable o materia orgánica carbonácea en condiciones aeróbicas en 5 días y a 20°C.

ESTADO TRÓFICO: concepto para referirse a la tasa de materia orgánica que es proporcionada por o para un lago y que evalúa el grado de eutrofización del mismo.

EUTROFÍA: propiedad de las aguas de los lagos y embalses susceptibles de un incremento de sustancias nutritivas que provoca un exceso de fitoplancton.

EURIÓICO: especie capaz de adaptarse a una grande variedad de ambientes.

FÓSFORO: elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, pero un exceso de fósforo producen un desarrollo exorbitado de plantas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua.

HUMEDAL: los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas.

LÉNTICO: cuerpo de agua cerrado que permanece en un mismo lugar sin correr ni fluir.

LÓRICA: Cubierta protectora externa en forma de concha, a menudo reforzado con granos de arena y otras partículas de algunos protozoos y metazoos.



MESOTROFÍA: propiedad de las aguas de lagos con poca transparencia y escasa profundidad, que no son ni oligotróficos ni eutróficos.

NITRATOS: son nutrientes solubles en agua, necesarios para el desarrollo adecuado de las plantas, sin embargo en el momento de presentarse concentraciones y cantidades excesivas de estos, pueden llegar a incidir al aumento y crecimiento de algas y de otros organismos.

OLIGOTROFÍA: propiedad de las aguas de lagos profundos, con escasa concentración de nutrientes.

POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno (H^+). En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución.

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES: hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños).

SUSTANCIAS PÉCTICA: Las sustancias pécticas se encuentran como constituyentes de las paredes celulares y en los espacios intracelulares de los vegetales, sirviendo como unión entre las células.

TEMPERATURA: la energía térmica es la energía cinética (relacionada con el movimiento) media de un conjunto muy grande de átomos o moléculas. Esta energía cinética media depende de la temperatura, que se relaciona con el movimiento de las partículas (átomos y moléculas) que constituyen las sustancias.

TURBIEDAD: la turbiedad es el grado en que el agua interfiere con la transmisión de la luz a través de ella; por este motivo, la luz es remitida y no transmitida a través de la suspensión.



BIBLIOGRAFÍA

¹ M. J. Pérez Porras, “Estructura de la comunidad zooplanctónica en un humedal urbano Andino Neotropical por un periodo de siete meses”. Tesis. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ciencias., Bogotá, Colombia, 2009, p. 8,10.

² Peralta, J León, “Estudios de caracterización limnológico de los embalses de la provincia de Mendoza. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentos; Departamento General de Irrigación Gobierno de Mendoza; Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación Ciencia y Cultura. Provincia de Mendoza, Argentina, 2006, p. 148.

³ E. Abril, I. Caicedo, N. Ramírez. Bentos y Perifiton del Humedal de Santa María del Lago. Informe. Colombia, 2002, p. 1.

⁴ D. Roa Castro. Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales de Bogotá” [en línea], tesis MSc, Fac. Ciencias, Depto. Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2009. Disponible en Internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2656/1/190240.2009.pdf>, p. 15 – 16.

⁵ G. Roldán, L. F. Velásquez, T. Machado, “Ecología: La Ciencia del Ambiente”. Colombia, 1982, Editorial Norma. p.38.

⁶ N. J. Fernández. Indicadores de la calidad del agua: Generalidades [en línea]. Colombia, 2007, Disponible en Internet: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf p. 27.

⁷ Grupo de Estudios en Recursos Hidrobiológicos Continentales, “Los ICA y la Calidad de las Agua” [en línea]. Universidad del Cauca, Colombia, 2008 en Internet: <http://attachments.wetpaintserv.us/qEGuFAEEV9dRQOQjIjN1pA==450156>.

⁸ H. A. Muhlhauser, “6. Generalidades sobre el uso de índices de cambios ecológicos en ecosistemas acuáticos temperados” [en línea], Santiago de Chile, 2014. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/008/ad773s/AD773S07.htm>.

⁹ N. J. Fernández, F. Solano. Capítulo III: Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial [en línea]. En: *Índices de calidad y de contaminación del agua*. Pamplona: Universidad de Pamplona, 2005. Disponible en Internet:

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf.

¹⁰ Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. Colombia, 2007, p. 189 – 192.

¹¹ W. Pino Chala, D. Mena García, M. L. Mosquera, K. P. Caicedo, J. A. Palacios, A. A. Castro, J. E. Guerrero. Diversidad de macro invertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Bendición, municipio de Quibdó (Chocó, Colombia) [en línea]. Colombia, 2003, Disponible en Internet: <http://www.virtual.unal.edu.co/revistas/actabiol/PDF's/V8N2/Art3V8N2.pdf>.

¹² Acueducto, Agua y Alcantarillado de Bogotá. Humedal de Santa María del Lago [en línea]. Bogotá D. C., Colombia, 2003. Disponible en Internet: <http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/Manual%20de%20Seguridad%20en%20el%20Laboratorio/SGMA-Javerianacali/lago.pdf>.

- ¹³ V. Moreno, J. F. García, J. C. Villalba, “Descripción General de los humedales de Bogotá D.C.” Investigación, Sociedad Geográfica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, Sept. 2009, p. 26 - 27.
- ¹⁴ Álvarez-León, Ricardo. Notas sobre la avifauna del humedal Santa María del Lago, cordillera oriental de los andes colombianos. En: Revista Luna Azul. Universidad de Caldas, Manizales, 2008-10-06 (Rev. 2009-11-02).
- ¹⁵ Unidad Técnica de Recuperaciones Ambientales “Informe Final Ambiental Humedal Santa María del Lago”, Informe, Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiental (DAMA), Bogotá, Colombia, Contrato DAMA 022-00, Ago. 2001, p. 12 -13.
- ¹⁶ Contraloría de Bogotá D.C., “Informe de Auditoría Gubernamental con enfoque integral modalidad especial transversal al manejo, control, seguimiento y protección de los Parques Ecológicos de Humedal de la zona norte de Bogotá D.C.” Informe, Dirección Sector Ambiental, Bogotá D.C., Colombia, Abr. 2010, p. 5.
- ¹⁷ Google Earth 2014, “Humedal de Santa María del Lago – Ubicación Puntos de Muestreo”. Bogotá D.C., Colombia, Junio 2014.
- ¹⁸ APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 22nd Ed., Washington, 2012.
- ¹⁹ [20] V. Villafañe, F. Reid, “Método de microscopia para la cuantificación del fitoplancton”, En: K. Alveal, M. E. Ferrario, E. C. Oliveira, E. Sar, “Manual de métodos ficológicos” Concepción, Chile: Universidad de Concepción, 1995, p. 169 – 185.
- ²⁰ L. A. Whitford, G. J. Scumacher, “A manual of fresh water algae” Spark Press. Raleigh, N.C. 1969.
- ²¹ H. Streble, D. Krauter, “Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida en una gota de agua”. Barcelona, Omega, 1987, p. 337.
- ²² J. Ramírez, “Fitoplancton de agua dulce: Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias”, Medellín: Universidad de Antioquia, 2000, p 207.
- ²³ G. Roldán, “Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia”, Fondo FEN, Colombia, 1988.
- ²⁴ G. Roldán, “Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col.” Editorial Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y Tecnología. Medellín, 2003.
- ²⁵ H. Fernández, E. Domínguez, “Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología”, Fundación Miguel Lillo, Universidad de Tucumán, Argentina, 2001, p. 282.
- ²⁶ J. Posada, G. Roldán, “Clave ilustrada y diversidad de las larvas de trichoptera en el noroccidente de Colombia” En: Caldasia, volumen 25, N° 1, 2003, p.169 – 192.
- ²⁷ C. G. Fernández, C. G. Andrade, G. G. Amat, “Insectos de Colombia”, Volumen 3, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004, p. 604.
- ²⁸ R. W. Bouchard, “Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest”, Water Resources Center, University of Minnesota, 2004, p. 208.
- ²⁹ M. Campo, “Freshwater Crabs from Colombia”, Bogotá, Guadalupe, 2005, p. 363.
- ³⁰ M. Wolff, “Insectos de Colombia. Guía básica de familias”, Medellín, 2006, p. 460.
- ³¹ C.E., Moreno. “Métodos Para medir la biodiversidad”. M&T- Manuales y Tesis SEA, vol. 1, Zaragoza, 2001.p88. <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3.pdf>



- ³² Facultad de Ciencias Naturales y Museo. “Estimación de la diversidad específica”, Universidad Nacional de La Plata, La Plata- Argentina, 2008, p. 2. <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3.pdf>
- ³³ M.J., Sánchez Herrera. “El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander” Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 2005, <http://www.redalyc.org/pdf/903/90330207.pdf>
- ³⁴ N. Fernández, G. Ramos, F. Solano. “ICATEST 1.0® Una herramienta informática para el análisis y valoración de la calidad del agua”. Facultad de Ciencias Básicas. Departamento de Biología. Bistua vol.2. Universidad de Pamplona. 2008. p. 88-97.
- ³⁵ J. Cambra, L. Ector, S. Sabater. “Metodología para el Establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para Fitobentos (Microalgas Bentónicas)”. Confederación Hidrográfica del Ebro. Comisaría de Aguas. Zaragoza, España. 2005.
- ³⁶ G.A. Pinilla. “Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia”. Compilación bibliográfica. Centro de Investigaciones Científicas. UJTL. 2000. p. 106.
- ³⁷ G. Roldán, J. Ramírez. “Fundamentos de limnología neotropical”. ed. 2. Medellín: Universidad de Antioquia. 2008. p. 440.
- ³⁸ J. W. G. Lund. “Studies on Asterionella formosa Hass. II. Nutrient depletion and the spring maximum”. J. Ecol. 1950. p. 1–35.
- ³⁹ U. Sommer. “Growth and survival strategies of planktonic diatoms. In Sandgren, C.D. (ed.), *Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton*”. Cambridge University Press, Cambridge, 1988. p. 227–260.
- ⁴⁰ J. Ramírez. “Fitoplancton de agua dulce: Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias”. Medellín: Universidad de Antioquia, 2000. p. 207.
- ⁴¹ W.M. Lewis, W. Rihel. “Phytoplankton composition and morphology in Lake” Valencia, Venezuela. *Int. Revue hes. Hydrobiol. Suppl.* 1982. p. 145-207.
- ⁴² C. E. Bicudo, M. Menezes.”Gênero de Algas de águas Continentais do Brasil. Chave para identificação e descrição”. Ed. Rima. 2ª edição. 2006.
- ⁴³ H. Streble, D. Krauter. “Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida en una gota de agua”. Barcelona, Omega. 1987. p. 337.
- ⁴⁴ L.A. Whitford, G.J. Scumacher. “*A manual of fresh water algae*”. Spark Press. Raleigh, N.C. 1973.
- ⁴⁵ A. Ramírez G. Viña. “Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis”. Bogotá: Panamericana. 1998. p. 293.
- ⁴⁶ J. H. Canter, Lund. “Freshwater algae, Biopress Limited” 1995.
- ⁴⁷ R. Margalef. Limnología. Omega, Barcelona. 1983. p.1010.
- ⁴⁸ G.W. Prescott. “*How to know the fresh wáter algae*”. MC. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa. 1970.
- ⁴⁹ W. Guiry. En: “Guiry, M.D. y Guiry, G.M. 2014. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway”. Disponible en línea: <http://www.algaebase.org>; Fecha de consulta: Junio del 2014.

- ⁵⁰ F. Medioli, D. Scott. "Holocene Arcellacea (Thecamoebians) from eastern Canada". Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication. 1988. p.1-63.
- ⁵¹ R. Dajoz. "Tratado de ecología". Segunda edición. Editorial. Mundi-Prensa Libros, 2002. p. 600.
- ⁵² C. Jardín, I. Leipnitz, F. Ferreira, J. Lorenz, T. Wilberger. "Distribuição de amebas testáceas (Protozoa, Rhizopoda) em sedimentos de um ambiente palustre da região do Capão do Leão, município de Mostardas". Rio Grande do Sul, Brasil. Unisinos. Vol. 3, Num. 2. 2007.
- ⁵³ M.R. Roman. "Pathways of carbon incorporation in marine copepods: effects of development stage and food quality". *Limnol.Oceanog.* 1991. p.796-807.
- ⁵⁴ R. Bottger. "The vertical distribution of micro and small mesozooplankton in the Central Red Sea". *Biol. Oceanog.* 1987. p. 383-402.
- ⁵⁵ M. F. Ruiz. "Los ostrácodos del litoral de la provincia de Huelva (S.O. España)". Tesis Doctoral. Univ. de Huelva. 1994. p. 275.
- ⁵⁶ G. Roldán. "Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia". Bogotá (Colombia): Fondo FEN Colombia, 1996. p.1- 95.
- ⁵⁷ C.G. Ogden, R.H. Hedley, R. H. "An Atlas of Freshwater Testate Amoebae". Oxford University Press, Oxford. 1980.
- ⁵⁸ A. Kumar, R. Patterson. "Arcellaceans (Thecamoebians): New tools for monitoring long and short term changes in lake bottom acidity". *Environmental Geology.* 1999. p. 689-697.
- ⁵⁹ W. R. Pennak, "Fresh-water invertebrates of the United States". Ronald, Nueva York. 1978.
- ⁶⁰ S.I. Dodson, D.G. Frey. "Cladocera and other Branchiopoda. En: J.H. Throp y A.P. Covich (eds), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*". Academic Press Inc. San Diego, California. 1991. p. 723-786.
- ⁶¹ F. Margaritoria. "Cladoceri. *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*", N° 22. Consiglio Nazionale delle Ricerche. 1983. p. 169.
- ⁶² L.D. Delorme. "Ostracoda. En: J.H. Throp y A.P. Covich (eds), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*". Academic Press Inc. San Diego, California. 1991. p. 691-772.
- ⁶³ S. M. Porter, R. Meisterfeld, A. H. Knoll. "Vase shaped microfossils from the neoproterozoic Chuar Group". Grand Canyon: A classification guided by modern testate amoebae. *J. Paleont.* 2003. p. 409-429.
- ⁶⁴ D. J. Charman. "Modelling hydrological relationships of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) on New Zealand peatlands". *Journal of the Royal Society of New Zealand,* 1997. p. 465 –483.
- ⁶⁵ A. Asioli, F. Medioli., R. Patterson. "Thecamoebians as a tool for reconstruction of paleoenvironments in some Italian lakes in the foothills of the southern Alps (Orta, Varese and Candia)". *Journal of Foraminiferal Research* 26(3). 1996. p. 248-263.
- ⁶⁶ E. Reinhardt, A. Dalby, A. Kumar, R. Patterson. "Arcellaceans as pollution indicators in mine tailing contaminated lakes near Cobalt". Ontario, Canada. *Micropaleontology.* 1998. p. 131-148.



- ⁶⁷ E. F. Collin, F. McCarthy, F. Mediolli, D. Scott, D. Honig. "Biogeographic distribution of modern thecamoebians in a transect along the eastern North American coast". NATO Advanced Study Inst. Series C, Mathematics and Physics. 1990. p. 783-791.
- ⁶⁸ R. A. Morales. "Biodiversidad marina de Costa Rica, los microcrustaceos: Subclase Copepoda (Crustacea: Maxillopoda)". Revista de Biología Tropical 49. 2001. p. 115 – 113.
- ⁶⁹ Ricci. "Culturing of some bdelloid rotifers". Hydrobiologia. 1984. p. 45–51.
- ⁷⁰ B. Pejler, B. Berzinš. "On choice of substrate and habitat in bdelloid rotifers". Hydrobiologia. 1993. p. 333–338.
- ⁷¹ H. Segers. "The nomenclature of the Rotifera: annotated checklist of valid family and genus group names". J. Nat. Hist. 2002. p. 631-640.
- ⁷² T. Nogrady, R. Wallace, T. S. Nell. "Rotifera. Biology, Ecology and Systematics. 142 p. En Dumont, H. (Ed). Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. SPB". Academic Publishing. 1993.
- ⁷³ J. Gilbert. "Rotifer ecology and embryological induction". *Science* 151: 1234–1237. 1966.
- ⁷⁴ M. Martín, M. Elorza, J. Rodríguez, A. Pascual. "Distribución areal y ecología de las asociaciones de ostrácodos recientes en la marisma Joyel (Cantabria)". Geogaceta. Vol. 40 (2006). ISSN: 0213683X. 2006. p. 187-190.
- ⁷⁵ C. Lindegaard, K. P. Brodersen. "Distribution of Chironomidae (Diptera) in the river continuum. En: Cranston, P. S. (ed), Chironomids- From Genes to Ecosystems", CSIRO, Melbourne. 1995. p. 257-271.
- ⁷⁶ K. Kawai, T. Yamagishi, Y. Kubo, K. Konishi. "Usefulness of chironomid larvae as indicators of water quality". Jap. J. Sanit. Zool., 40 (4). 1989. p. 269- 283.
- ⁷⁷ A. C. Paggi. "Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas". Actas del IV Congreso argentino de Entomología. Mar del Plata, 8-12 de marzo de 1998. Rev. Soc. Entomol. Argent. 58 (1-2). 1999. p. 202- 207.
- ⁷⁸ J. M. Hellowell. "Biological Indicators of freshwater pollution and environmental management". Elsevier Applied Science, London. 1986.
- ⁷⁹ D. M. Rosenberg, V. H. Resh. "Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates". Chapman & Hall, New York, New York, USA. 1993. p. 488.
- ⁸⁰ D. N. Padilla. "Sistemática y Ecología de algunas especies de los géneros *Notonecta* Linneo y *Buenoa* Kirkaldy en el departamento de Cundinamarca". Trabajo de grado. U. Nal. De Colombia. Departamento de Biología. Santafé de Bogotá D.C. 1963.
- ⁸¹ Confederación Hidrográfica del Ebro. "Guía de campo. Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro". Ministerio de medioambiente. España: Ministerio de medio ambiente. 2009. p. 126.
- ⁸² P. S. Giller, M. Björn. "*The Biology of Streams and Rivers*". Oxford University Press, New York, USA. 1998. p. 296.
- ⁸³ R. Väinölä, J. D. S. Witt, M. Grabowski, J. H. Bradbury, K. Jazdzewski, B. SKET. "Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. *Hidrobiologia* 595. 2008. p. 241-255.
- ⁸⁴ C. G. Jara, E. H. Rudolph, E. R. González. "Estado de conocimiento de los malacostráceos dulceacuícolas de Chile". *Gayana* 70. 2006. p. 40-49.
- ⁸⁵ W. P. Mcafferty. "Aquatic Entomology. The Fishermen's and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives. Science Books International", Boston. MA. 1981. p. 448.

- ⁸⁶ T.J. Alba. "Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos". IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), España. 1996.
- ⁸⁷ D. Carrillo. "Aspectos bioecológicos de los macroinvertebrados en el embalse de Hidroprado departamento del Tolima". Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología, Ibagué. 2002.
- ⁸⁸ A. Liévano, R. Ospina. "Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón". Bogotá: Universidad El Bosque e Instituto Alexander von Humboldt. 2007. 2007. p. 130.
- ⁸⁹ F. Padilla, A. Cuesta. "Zoología aplicada". Editorial Díaz de Santos. S.A. Madrid, España. 2006. p. 447.
- ⁹⁰ E. Domínguez, H. R. Fernández (Eds.). "Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología". Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 2009. p. 656.
- ⁹¹ S. Raudez. "Importancia de la familia Chironomidae en el Río San Juan y Cuatro de sus Tributarios". CIRA- UNAN. 2003.
- ⁹² A. J. Mota. "Química del medio ambiente". Parte 2-Tema 05. 2011. p. 5.
- ⁹³ M. R. Mejía. "Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras". Programa de educación para el desarrollo y la conservación escuela de posgrado. (CATIE) Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 2005. p. 19-94.
- ⁹⁴ A. G. Carrillo, A. Castro, R. Villalobos Alcázar. "Análisis comparativo de los índices de calidad del agua (ICA) de los ríos Tecolutla y cazones en el periodo marzo. Diciembre 2010". Universidad Veracruzana. Facultad de ciencias químicas. Poza rica- Tuxpam. 2001. p. 13-20.
- ⁹⁵ J. Ramírez. "Fitoplancton de agua dulce: Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias". Medellín: Universidad de Antioquia. 2000. p. 207.
- ⁹⁶ J. Zapata. "Estado de conocimiento de los tecamebianos dulceacuícolas de Chile". Gayana (Concepc.) [Revista en la Internet]. Septiembre [citado 2014 Septiembre]; 70(1). 2006. p. 27-30.
- ⁹⁷ S. Raudez. "Importancia de la familia Chironomidae en el Río San Juan y Cuatro de sus Tributarios". CIRA- UNAN. 2003.