





Monitoreo de variables fisicoquímicas y algas causantes de florecimientos nocivos en una zona tradicional de pesca en el Chocó Biogeográfico

@IIAPCO @IIAP_CO IIAP Colombia @iiap_col

MONITOREO DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y ALGAS CAUSANTES DE FLORECIMIENTOS NOCIVOS EN UNA ZONA TRADICIONAL DE PESCA EN EL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO

Equipo de Trabajo

WILLIAM KLINGER BRAHAM
Director General-IIAP
GIOVANNY RAMÍREZ MORENO
Subdirector de Investigaciones -IIAP

LADY VARGAS PORRAS
Investigadora Principal Componente Ambiental
Coordinadora General del Proyecto

Equipo Técnico
ZORAIDA QUESADA MARTINEZ
Investigadora Asociada II
FAIRY MARIA MEDINA MOSQUERA
Investigadora Asociada II
YIRLESA MURILLO HINESTRIZA
Investigadora Asociada I
ALLIEN JANETH ROMAÑA PALACIOS
Bióloga - Contratista

Consejo comunitario mayor del bajo Atrato -COCOMAUNGUIA
RAFAEL CUESTA
Representante Legal
YEVINSON CUESTA
JOSÉ MIGUEL MENA
Pescadores coinvestigadores – Monitoreo comunitario

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES DEL PACÍFICO
CONSEJO COMUNITARIO MAYOR DEL BAJO ATRATO COCOMAUNGUIA
QUIBDÓ, 2025

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....6
2. OBJETIVOS.....7
2.1. OBJETIVO GENERAL.....7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....7
3. METODOLOGÍA.....7
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MONITOREO.....7
3.2. MÉTODOS.....10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....15
4.1. MONITOREO DE LA CALIDAD FISICQUÍMICA DEL AGUA EN ZONAS DE PESCA TRADICIONAL.....15
4.2. ESTADO TRÓFICO DEL AGUA EN ZONA DE PESCA.....20
4.3. COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA MÁS ABUNDANTE EN HIERBAZAL.....21
4.3.1. Estructura del fitoplancton registrado en 3 sitios de muestreo.....28
4.3.1.1. Géneros potencialmente de fitoplancton formadores de (FANs) en el área de estudio.....34
4.3.1.2. Densidad de proliferaciones algales de (FANs)¡Error! Marcador no definido.
5. CONSIDERACIONES FINALES.....40
6. LITERATURA CITADA.....42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de muestreo en las aguas costeras del golfo de Urabá (Roto). 7
Tabla 2. Escala TRIX 14
Tabla 3. Datos variables fisicoquímicas del agua 15
Tabla 4. Concentración de clorofila y estado trófico aplicando los indicadores de eutrofia 20
Tabla 5. *Composición taxonómica del Fitoplancton registrado en tres sitios de muestreo* 24
Tabla 6. Composición taxonómica y numérica (densidad Org/mL) del Fitoplancton registrado en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto. 28
Tabla 7. Fitoplánctones formadores de (FANs) en el área de estudio 37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo 10
Figura 2. Socialización del proyecto comunidad el Roto 11
Figura 3. Toma de datos en campo 12
Figura 4. Monitoreo comunitario de floraciones algales 13
Figura 5. Concentraciones de oxigeno disuelto (mg/L). Las barras de error corresponden a ± la desviación estándar de 0.292 mg/L 16
Figura 6. Niveles de conductividad (µS/cm). Las barras de error corresponden a ± la desviación estándar de 6,684.01 µS/cm 17
Figura 7. Concentraciones de fosfatos (mg/L). Las barras de error corresponden a ± la desviación estándar de 0.7626 mg/L 19
Figura 8. Porcentaje (%) de las divisiones registrados en el ensamblaje Fitoplanctónico 22
Figura 9. *Número de Géneros de las 10 Familias más abundantes del fitoplancton en el área de estudio* 23
Figura 10. *Distribución espacial de la densidad (Org/mL) y número de taxones (S) registrados en cada sitio muestreo.* 30
Figura 11. *Distribución de la densidad (Org/mL) de los taxones en los sitios de muestreo.* 31
Figura 12. Variación temporal del fitoplancton en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto. 32
Figura 13. Índices de diversidad calculados en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto 33
Figura 14. Análisis clúster o de agrupación de similitud en los diferentes sitios de muestreo 34
Figura 15. Divisiones indicadoras de fitoplancton formadoras de floraciones algales nocivas (FANs) en una zona tradicional de pesca del golfo de Urabá, sector El Roto. 36
Figura 16. Especies indicadoras de fitoplancton formadoras y no formadoras de floraciones algales nocivas (FANs) en una zona tradicional de pesca del golfo de Urabá, sector El Roto. 37
Figura 17. Análisis de Componentes Principales (PCA) para las variables fisicoquímicas y la densidad fitoplanctónica. 40

PRESENTACIÓN

Los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP) en la cuenca del Atrato entre 2020 y 2023 detectaron la presencia de *Pseudo-nitzschia spp*. en el área de pesca de Yerbazal, en el Golfo de Urabá. Esta especie de microalga está asociada a la producción de toxinas y a la formación de Floraciones Algales Nocivas (FAN), fenómenos que consisten en la proliferación excesiva de microalgas capaces de liberar sustancias tóxicas en condiciones ambientales favorables. Tales eventos afectan la fauna marina, la seguridad alimentaria y la salud humana, y su frecuencia se ha incrementado a nivel global debido principalmente a la eutrofización causada por el aporte antropogénico de nutrientes. En el contexto local, las FAN han generado impactos significativos en las comunidades costeras, como mortandad masiva de peces, restricciones en el consumo de productos pesqueros, alteraciones en la actividad pesquera y pérdidas económicas asociadas al turismo.

Con base en estos hallazgos, el IIAP implementó un monitoreo comunitario mediante seis monitoreos comunitarios de variables fisicoquímicas y de fitoplancton. Los resultados confirmaron la presencia recurrente de especies potencialmente nocivas favorecidas por niveles de fosfatos (0,3–2,5 mg/L) que superaron el umbral establecido para prevenir la eutrofización, lo que generó condiciones tróficas favorables para la proliferación algal. De los 40 morfotipos identificados —distribuidos en 6 divisiones, 9 clases, 22 órdenes, 30 familias y 39 géneros—, el 55% fueron clasificados como potencialmente generadores de Floraciones Algales Nocivas (FAN), pertenecientes a las divisiones Bacillariophyta, Cyanobacteria, Euglenozoa, Chlorophyta y Miozoa. Esto representa un factor de riesgo significativo para la salud del ecosistema y para la seguridad de la actividad pesquera, ya que, aunque no se registraron FAN activas durante el período de muestreo, más de la mitad de las especies identificadas tienen capacidad para producirlas. Como parte del seguimiento a los eventos de FAN registrados en el área de pesca tradicional de Yerbazal, ubicada en el Golfo de Urabá, durante el año 2025, se llevaron a cabo actividades de monitoreo participativo con el objetivo de evaluar la presencia de microalgas potencialmente tóxicas, las condiciones ambientales asociadas a su desarrollo, y los riesgos ecológicos y socioeconómicos que estas representan para la región.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar y monitorear las condiciones fisicoquímicas y la estructura de la comunidad fitoplanctónica para evaluar la ocurrencia de florecimientos algales nocivos en una zona tradicional de pesca en el Chocó Biogeográfico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condiciones fisicoquímicas en el área costera Hierbazal
- Evaluar la estructura comunitaria de algas fitoplanctónicas en el área costera Hierbazal
- Evaluar la ocurrencia de floraciones algales nocivas y su relación con las condiciones fisicoquímicas del agua
- Analizar los impactos potenciales de la ocurrencia de FANs sobre la actividad pesquera en el área costera Hierbazal
- Formular recomendaciones para el manejo ambiental, la salud y la seguridad pesquera en la zona de estudio

3. METODOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MONITOREO

Se realizó el monitoreo en tres puntos establecidos previamente por el IIAP (2023), ubicados en el área de pesca tradicional del sector el Roto, en el golfo de Urabá. La selección de estos puntos fue concertada con la comunidad local mediante un taller participativo, desarrollado en el marco de los procesos de socialización y concertación desarrollados por el IIAP en 2023 (tabla 1).

Tabla 1. Estaciones de muestreo en las aguas costeras del golfo de Urabá (Roto).

Punto de monitoreo	Descripción	Coordenadas
1	**Yerbazal**: Ambiente estuarino, donde confluyen aguas dulces y salobres. Alta penetración de luz, notable carga de sedimentos en suspensión. El oleaje es leve, en las riberas se identificó vegetación raparía densa, acompañada de macrófitas acuáticas tanto en las orillas como flotando hacia el centro del cuerpo de agua.	
2	**Chacra:** El sitio tiene influencia estuarina, alta penetración de luz. Se presentan sedimentación y escaso oleaje, presencia de macrófitas acuáticas, las cuales se distribuyen tanto en la ribera como flotando en el centro del cuerpo de agua. Se observó vegetación característica de manglar, dominada por Rhizophora mangle (mangle rojo), y fauna como aves, destacándose la presencia del pato cuervo (Phalacrocorax brasilianus). La zona es utilizada por pescadores locales, lo que resalta su valor ecológico y socioeconómico.	
3	**La Piscina:** presencia de macrófitos acuáticos, principalmente buchones de agua. entorno de manglar con influencia estuarina. La penetración de la luz fue moderada, favorecida por la escasa nubosidad en el momento del muestreo. Se observaron signos de sedimentación. E	

En el siguiente mapa se distribuyen los puntos de monitoreo (figura 1)

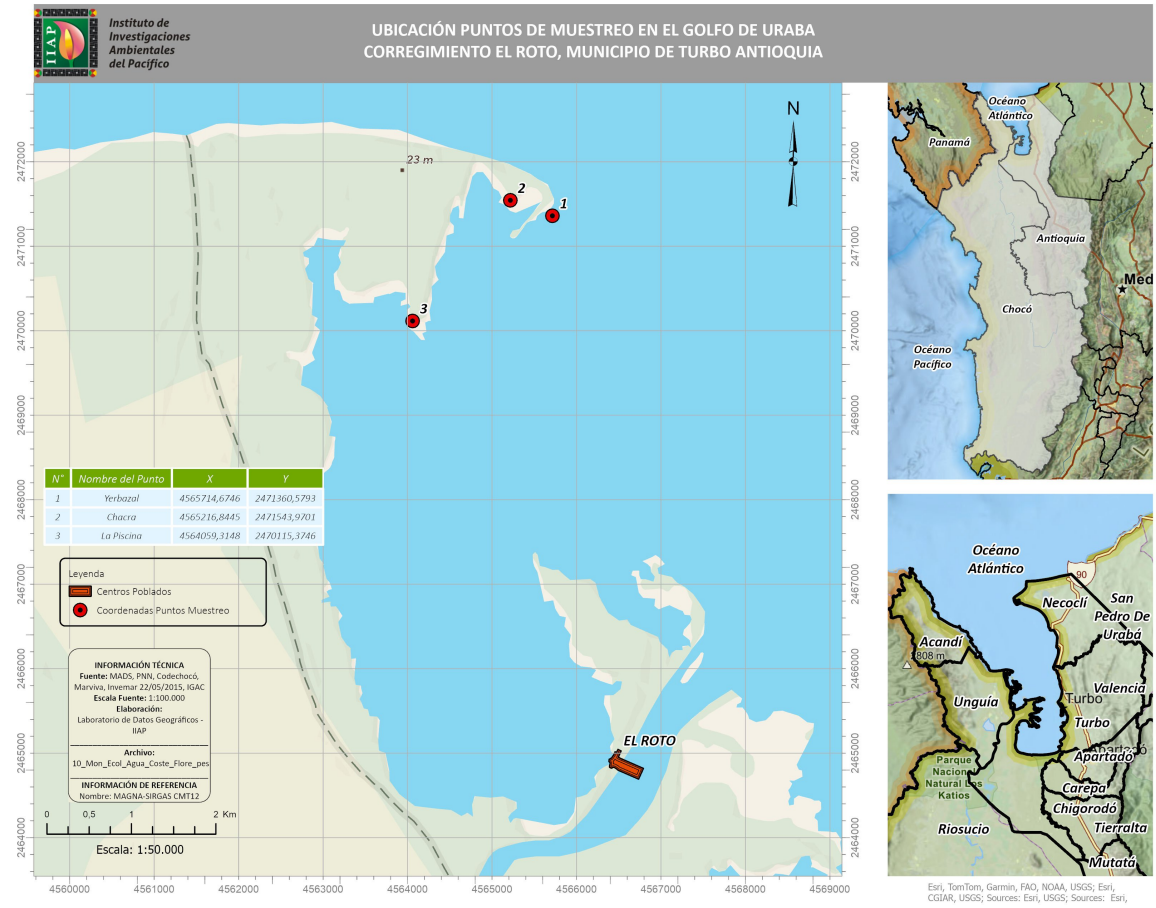


Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

3.2. MÉTODOS

Democratización de información y conocimiento

Se realizó inicialmente, una socialización de resultados del proyecto 2023, con todos los actores comunitarios del área de estudio, en la cual además se presentó la nueva iniciativa propuesta para el presente periodo, incluyendo sus objetivos y alcances. Se seleccionó el personal de la comunidad que se vinculó a la fase de trabajo de campo.



Figura 2. Socialización del proyecto comunidad el Roto

Monitoreo fisicoquímico

En cada punto se hicieron mediciones in situ de variables fisicoquímicas como temperatura, conductividad, sólidos disueltos, salinidad, solidos suspendidos, turbiedad, oxígeno disuelto, % de saturación, pH, y nutrientes como nitrato, nitrito, y fosfato, utilizando un colorímetro DR 900 y un Multiparámetro HG 40d, adicionalmente se utilizará una botella muestreadora horizontal Wildco 2,2 litros, para la recolección de muestras de agua a diferentes profundidades, definidas de acuerdo a la profundidad desde la superficie. Para evaluar el estado de conservación del agua como ecosistema prioritario para el establecimiento de grupos biológicos, se hizo una comparación de los datos obtenidos con los estándares de calidad para la preservación de la fauna y la flora acuática establecido por la normatividad ambiental, así como con los datos arrojados por IIAP (2023) y otras investigaciones de calidad de agua en fuentes continentales y costeras, al igual que con las observaciones realizadas en campo sobre el estado del agua, su dinámica de flujo y su interacción con componentes biológicos.

Muestreo de algas

El análisis ecológico estuvo determinado por 6 monitoreos, 4 de ellos mediante monitoreo comunitario, y dos con el acompañamiento del equipo técnico. La colecta de algas se hizo a partir de arrastres superficiales/horizontales utilizando una red de plancton, haciendo recorrido en forma circular en la lancha; con intervalo de 3 minutos en motor lento. Para el arrastre vertical se utilizó una botella muestreadora Wildco 2.2 litros, a una profundidad de 2. a cada muestra de 500 ml se le agregó una solución de formol al 4%, para su conservación. Adicionalmente, se medió la transparencia del agua con el Disco Ssechi, para determinar la incidencia de la luz

en el crecimiento de las algas. Las muestras fijadas se trasladaron a un laboratorio de limnología, en el cual se realizó un proceso de centrifugación o concentración de la muestra y se determinó su composición taxonómica con la ayuda de un microscopio y claves especializadas de Edmonson (1959), Bicudo & Menezes (2006), Whitfor & Schumacher (1973), Prescott (1970).



Figura 3. Toma de datos en campo

Análisis de la Información

Una vez levantada la información, se analizaron las variables fisicoquímicas y biológicas, calculando índices de calidad de agua y diversidad (Shannon-Wiener (1949), Simpson (1945), Pielou (1969) y la riqueza de taxa). Para identificar floraciones, se evaluó la abundancia de especies tóxicas en relación con las fechas de muestreo y los parámetros fisicoquímicos, mediante análisis de agrupación (PCA, CCA). Estos datos se cruzaron con la información socioeconómica y pesquera recolectada, permitiendo identificar puntos críticos, épocas de riesgo, especies nocivas y variables clave para formular recomendaciones de manejo.



Figura 4. Monitoreo comunitario de floraciones algales

Estado trófico

Para determinar el estado trófico del agua, se aplico el índide multivariado denominado índice del estado trófico TRIX propuesto por Vollenweider et al. (1998).

$$TRIX = \frac{\lfloor log10\left(Clorofa * \%OD * NID * PRES\right) + K \rfloor}{m}$$

Donde: cada uno de los cuatro componentes representa un estado trófico variable a decir que:

(a) Factores de productividad:
Clorf a = concentración de clorofila a (µgL−1)
| %OD| = valor absoluto de la desviación del porciento de saturación de oxígeno disuelto, es decir, [100 − %Od]
(b) Factores nutricionales:
NID = nitrógeno inorgónico disuelto N como: [NNO3 + N-NO2], en (µg N L−1)
PRS = fósforo reactivo soluble (µg P L−1)

La escala TRIX se indica a partir de los rangos establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 2. Escala TRIX

Escala TRIX	Estado de la calidad del agua	Características del agua
2-4	Alta	Pobremente productiva, nivel trófico bajo
4-5	Buena	Moderadamente productiva, nivel trófico medio
5-6	Mala	Entre moderada y alta en cuanto a productividad
6-8	Pobre	Altamente productiva, nivel trófico el más alto

Fuente: Vollenweider et al. (1998).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MONITOREO DE LA CALIDAD FISICQUÍMICA DEL AGUA EN ZONAS DE PESCA TRADICIONAL

En la siguiente tabla se muestran los datos del monitoreo de la calidad fisicoquímica del agua en zonas de pesca tradicional

Tabla 3. Datos variables fisicoquímicas del agua

VARIABLES	PUNTOS DE MONITOREO					
	Punto 1. Yerbazal		Punto 2. Chacra		Punto 3. La Piscina	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Oxigeno disuelto (mg/l)	8,19	7,49	8,22	7,61	8,17	7,84
Porcentaje de saturación (%)	107,2	96	107	97,3	108,7	100,2
Temperatura (ºC)	29,4	28,4	29	28,3	30,4	28,2
pH	8	7,56	7,52	7,31	7,58	7,6
Sólidos suspendidos (mg/l)	28	18	39	106	42	31
Turbiedad (FAU)	31	23	38	104	42	32
Conductividad (µS/cm)	15070	12590	6090	8790	6970	12270
Sólidos disueltos totales (mg/l)	6680	6510	2420	4480	3130	6330
Salinidad (%)	6,32	6,74	2,66	4,61	3,2	6,54
Fosfatos (mg/l)	0,62	0,3	1,02	0,25	1,21	2,5
Nitratos (mg/l)	0	0	0	0	0	0
Nitrito	0,018	0,06	0,014	0,032	0,031	0,019
Clorofila	9,4	7,67	13,9	14,64	5,85	7,73
Transparencia (cm)	80,3	100	61	50	50	100
Profundidad (m)	2	1,6	1,5	1,7	1,3	1,3

VARIABLES	PUNTOS DE MONITOREO					
	Punto 1. Yerbazal		Punto 2. Chacra		Punto 3. La Piscina	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Hora de muestreo	13:15	9:22 a.m.	12:54	10:48	12:20	10:10 a.m.

Los resultados muestran óptimas condiciones de oxigenación en todos los puntos de monitoreo, representado en concentraciones de oxígeno disuelto entre 7.49 y 8.22 mg/L, superando límites admisibles para la conservación de biota acuatica, establecido en 4 mg/L según el Decreto 703 de 2018. De igual manera, el porcentaje de saturación se mantuvo entre 96 a 108,7%, lo que confirma que el agua está bien oxigenada. La Piscina mostró los valores más altos de estas variables, en ambos períodos de monitoreo, mientras que Yerbazal durante el segundo presentó el valor más bajo (96%), coincidiendo con la menor concentración de oxígeno disuelto registrada.

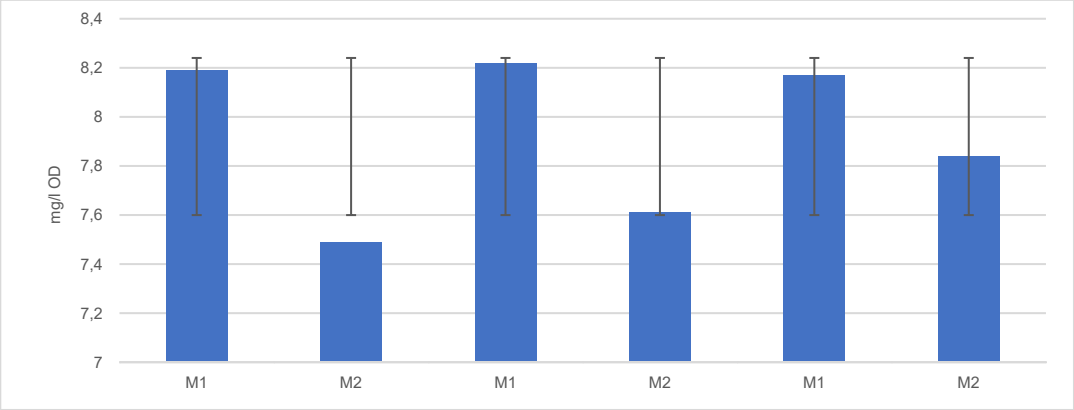


Figura 5. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L). Las barras de error corresponden a ± la desviación estándar de 0.292 mg/L

La temperatura del agua se registró entre 28.2°C a 30.4°C obedeciendo a aguas calidas típicas de ambiente tropical, con un calentamiento natural del agua que esta asociado a las horas de mayor exposición a los rayos solares. El pH por su parte, se registró entre 7.31 a 8.00 unidades, evidenciando óptimas condiciones para el establecimiento de la biota acuática de acuerdo con el Decreto 703 de 2018, el cual establece un rango de pH entre 6,5 a 8,5 en aguas marinas y estuarinas.

Los resultados de sólidos disueltos totales mostraron aumento en los registros entre los puntos de monitoreo. Los registros más altos se observaron en Yerbazal, con concentraciones entre 6510 y 6680 mg/L. Asimismo, se evidenció un aumento considerable entre los períodos de muestreo en los sectores de Chacra y la Piscina,

donde las concentraciones variaron de 2420 a 4480 mg/L y de 3130 a 6330 mg/L, respectivamente. De manera similar, se registraron valores de conductividad entre 6090 y 15070 µS/cm, lo que indica altas concentraciones de iones disueltos y sugiere una fuerte influencia salina o la presencia de vertimientos directos de aguas residuales, particularmente en los puntos 1 y 3. No obstante, estos valores se encuentran dentro de los límites admisibles para la conservación de la biota acuática, que de acuerdo con autores como Boyd (2017), en ecosistemas estuarinos la conductividad puede oscilar entre 1500 y más de 50 000 µS/cm, lo cual evidencia que en ninguno de los puntos de muestreo se superó el límite permisible para esta variable.

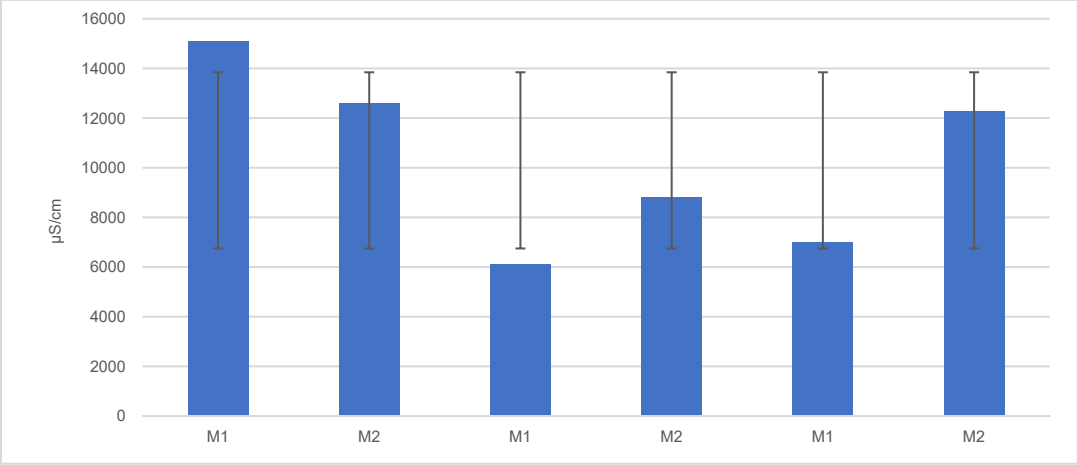


Figura 6. Niveles de conductividad (µS/cm). Las barras de error corresponden a ± la desviación estándar de 6,684.01 µS/cm

Los niveles de salinidad sustentan los registros de conductividad y sólidos disueltos totales, con datos que oscilaron entre 2,66 a 6,54%, evidenciando una variación significativa entre puntos y períodos de monitoreo, especialmente en el punto 2 (Chacra) que registró un incremento de 2,66 % a 4,61 % (+1,95 %), lo que sugiere una mayor influencia marina o una reducción en los aportes de agua dulce durante. El aumento más significativo se evidenció en el punto 3 (La Piscina), donde la salinidad aumentó desde 3,20 % en primer monitoreo hasta 6,54 % en el segundo (+3,34 %). El aumento significativo de salinidad sugiere un proceso de intrusión salina, reflejando la alta dinámica hidrológica y susceptibilidad a cambios ambientales en el área. Estas variaciones concuerdan con las afirmaciones de Bowden (1980) y Tait (1987), quienes destacan que la salinidad en sistemas costeros y estuarinos responde a la interacción de factores como el régimen de precipitaciones, la proximidad al mar, y las variaciones en el caudal de los ríos, lo que explica la fluctuación observada. Pese a estas variaciones, los resultados de la salinidad mantuvieron un comportamiento dentro de los límites establecidos por

autores como Madrigal et al., (1985) quienes expresan que valores óptimos de salinidad en ambientes estuarinos o costeros se dan hasta el 25%.

En cuanto a los sólidos suspendidos, esta variable mostró una fluctuación en el punto 2 (Chacra) registrando un aumento considerable durante el segundo monitoreo (106 mg/L), superando ampliamente los valores observados en los puntos 1 y 3 (18-42 mg/L). Este incremento sugiere un evento localizado de arrastre de sedimentos o una perturbación antropica entre los periodos de medición. La turbiedad, por su parte, mostró una correlación directa con los sólidos suspendidos, evidenciando igualmente niveles elevados en el punto 2 durante el segundo monitoreo, lo que indica la presencia de aguas muy turbias. Los demás puntos presentaron valores de turbiedad bajos a moderados, entre 23 y 42 FAU. En términos generales, los resultados de sólidos suspendidos se mantuvieron por debajo de los límites admisibles establecidos por CONAGUA (2015), el cual define un rango de 150 a 400 mg/L para garantizar los procesos fotosintéticos del fitoplancton; lo que coincide igualmente por lo propuesto por Ramírez y Viña (1998), quienes señalan que concentraciones de sólidos suspendidos superiores a 150 mg/L podrían indicar contaminación en cuerpos de agua. Por lo tanto, aunque se detectó un pico en los registros de esta variable, ninguno de los puntos excedió los umbrales críticos de contaminación por sólidos suspendidos.

Los nutrientes, como el nitrito registraron valores entre 0,06 y 0,032 mg/L, considerados bajos y dentro del rango admisible establecido para fuentes hídricas de uso pesquero según el Decreto 1076 de 2015, que establece un límite máximo de 10 mg/L para esta variable. Contrario a esto, las concentraciones de fosfatos registraron valores entre 0,25 y superiores a 2,5 mg/L, niveles considerados elevados para un cuerpo de agua natural. De acuerdo con la clasificación propuesta por Lamparelli (2004) para aguas corrientes, concentraciones de fosfato entre 0,125 y 0,27 mg/L se consideran indicativas de estado eutrófico, por lo que los valores medidos superan ampliamente dicho rango. Adicionalmente, Montalvo et al. (2016) recomiendan que, para aguas marinas de uso pesquero, el nivel de fosfato no debe exceder 0,5 mg/L, límite que fue sobrepasado en la mayoría de los puntos muestreados. Estas elevadas concentraciones pueden atribuirse a vertimientos de aguas residuales asociadas a la actividad pesquera, descomposición de materia orgánica de origen vegetal y animal, o procesos erosivos acentuados por condiciones hidroclimáticas locales. Algunas investigaciones como las de Liu et al. (2009) y Baliarsingh et al. (2021), señala que en ambientes acuáticos naturales las concentraciones de fosfatos suelen ser bajas (entre 0,01 y 1 mg/L), y que los aumentos significativos se vinculan comúnmente con descargas de aguas residuales domésticas, escorrentías de origen agroindustrial y fenómenos de erosión. De persistir estas condiciones, se podría generar un desequilibrio ecológico, incluyendo eutrofización en las aguas costeras del golfo, con el riesgo asociado de proliferación masiva de algas, incluyendo especies potencialmente

tóxicas, tal como fue documentado por Espinosa et al. (2005) en ecosistemas similares.

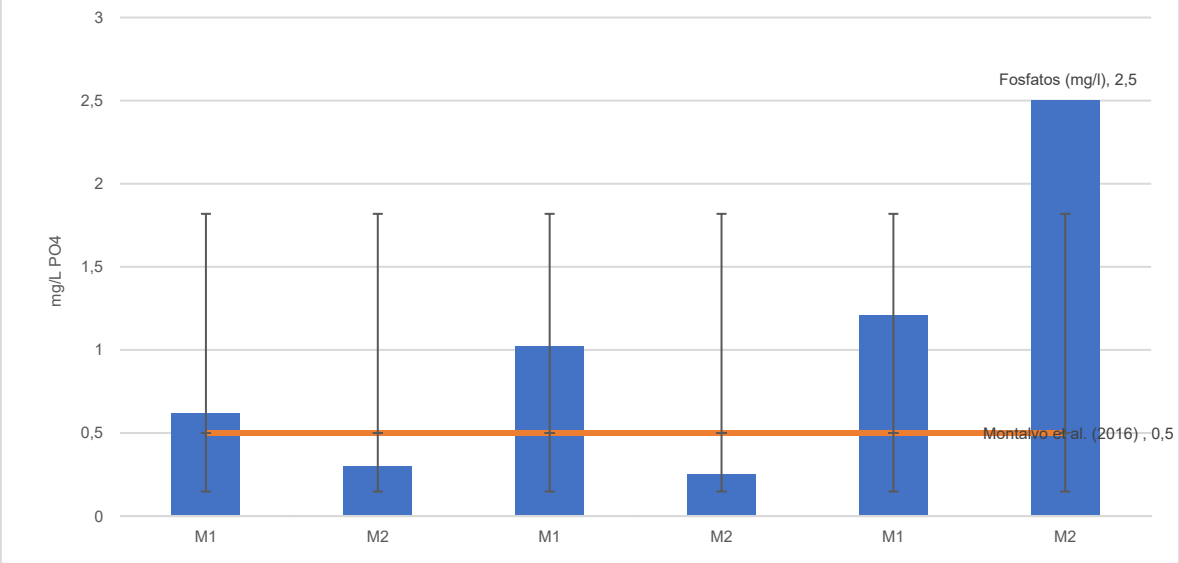


Figura 7. Concentraciones de fosfatos (mg/L). Las barras de error corresponden a ± la desviación estándar de 0.7626 mg/L

Estos resultados son similares a los reportados por IIAP (2023), en donde se evidencia una estabilidad en variables como la temperatura y el pH, cuyos valores en 2025 se sitúan dentro del rango obtenido en cada punto de monitoreo. Sin embargo, se evidencian variaciones significativas en variables como sólidos disueltos totales especificamente en los puntos Yerbazal y La Piscina en 2025 superando considerablemente los promedios de 2023 (1742 y 59202 mg/l, respectivamente), indicando un evento de mayor salinidad y concentración de iones, aunque sin alcanzar los valores máximos registrados. La turbiedad y los sólidos suspendidos en Chacra muestran un pico extremo que duplica los registros de 2023, sugiriendo una perturbación puntual posiblemente asociada a procesos erosivos por escorrentía. Adicionalmente, los fosfatos, presentan una alta dispersión, con un valor máximo en la Piscina durante el segundo monitoreo (2.5 mg/l) que iguala los registros de 2023, señalando posibles entradas fluctuantes de contaminantes en la zona. En conclusión, el estado general del área de pesca monitoreada se mantiene dentro de los límites históricos conocidos, pero con una tendencia a aumento de sus niveles en 2025, evidenciando eventos puntuales de alta salinidad y turbiedad que alteran la condiciones registradas en 2023.

De manera general los resultados del monitoreo indican que, las variables fisicoquímicas evaluadas se encuentran dentro de los rangos aceptables para la conservación de la biota acuática en ecosistemas estuarinos. Con buenas condiciones de oxigenación, temperatura y pH, consideradas variables que favorecen el equilibrio de la biota acuática. Sin embargo, se detectaron variaciones significativas en parámetros relacionados con la influencia salina y la presencia de nutrientes. Si bien la mayoría de las variables monitoreadas se mantienen dentro de los límites reportados para ecosistemas estuarinos, la variabilidad observada refleja la sensibilidad de estos ambientes a factores naturales y antrópicos, lo que se ve reflejado en las concentraciones elevadas de fosfatos que sugieren procesos de eutrofización, posiblemente asociados a vertimientos de aguas residuales o escorrentías.

4.2. ESTADO TRÓFICO DEL AGUA EN ZONA DE PESCA

En la tabla 4, se muestran los valores de clorofila y estado trófico aplicando los indicadores de eutrofía.

Tabla 4. Concentración de clorofila y estado trófico aplicando los indicadores de eutrofia

SECTOR	MONITOREO	Clorofila (mg/L)	TRIX	ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA
Yerbazal	M1	9,4	6.79	Pobre	Estado hipereutrófico - aguas muy productivas, con alta probabilidad de blooms algales
	M2	7,67	6,21	Pobre	
Chacra	M1	13,9	7,11	Pobre	
	M2	14,64	6,24	Pobre	
Piscina	M1	5,85	6,94	Pobre	
	M2	7,73	5,91	Mala	

Los valores del índice TRIX, que oscilaron entre 5.91 y 7.11, indican condiciones de eutrofía a hipereutrofía en todos los puntos y períodos de monitoreo, reflejando una productividad biológica moderadamente alta a alta con riesgo potencial de proliferación algal. El sector Chacra durante el primer monitoreo registró el valor más alto de TRIX (7.11), coincidiendo con su máxima concentración de clorofila (13.9 mg/L) y un nivel elevado de fosfatos (1.02 mg/L), lo que sugiere una

significativa disponibilidad de nutrientes que impulsa la productividad primaria. Aunque en el segundo monitoreo este mismo punto mostró una ligera disminución en TRIX (6.24), mantuvo la mayor concentración de clorofila (14.64 mg/L), pero con un descenso notable en fosfatos (0.25 mg/L), posiblemente debido a su consumo por fitoplancton o procesos de dilución. Por otro lado, la Piscina, durante el segundo monitoreo, presentó el valor más bajo de TRIX (5.91) a pesar de registrar la concentración más alta de fosfatos (2.5 mg/L), lo que podría explicarse por la limitante de luz debido a la menor transparencia (50 cm) y la profundidad somera (1.3 m), condiciones que restringen la actividad fotosintética a pesar de la abundancia de nutrientes. Yerbazal, por su parte, mostró valores de TRIX relativamente altos (6.21-6.79) asociados a concentraciones moderadas de clorofila y fosfatos, indicando que la buena penetración de luz favorece la productividad incluso con nutrientes no extremos. En general, los resultados revelan que el estado trófico del sistema estuvo influenciado por la interacción entre nutrientes (especialmente fosfatos), condiciones de luz (transparencia) y profundidad, con sectores como Chacra mostrando una mayor vulnerabilidad a procesos de eutrofización.

4.3. COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA MÁS ABUNDANTE EN HIERBAZAL

Se registraron en total de 82 géneros de fitoplancton, pertenecientes a 10 divisiones taxonómicas, 11 clases, 35 órdenes y 50 familias. Donde la división Heterokontophyta aportó el 37,12 % (502,31 Org/mL) de la contribución del ensamblaje. Las otras divisiones que estuvieron en este estudio fueron: Cyanobacteria, Charophyta, Euglenozoa, Chlorophyta, Cryptophyta Rhodophyta y Myzozoa con un total del 62,88% (851,07Org/mL) (4) (Figura 8).

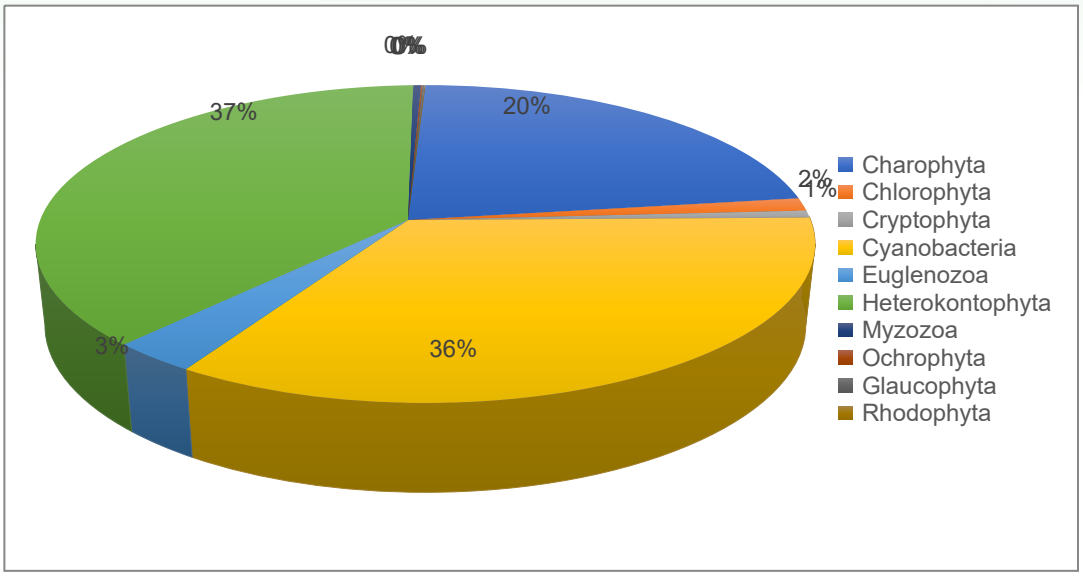


Figura 8. Porcentaje (%) de las divisiones registrados en el ensamblaje Fitoplanctónico

Respecto a la abundancia total, se contabilizaron 826 organismos, con géneros ampliamente representados como Anabaenopsis sp. (192 organismos), Anabaena sp. (87 organismos), Closterium sp. (68), Aulacoseira sp (42 organismos), Pinnularia sp. (39 organismos), Oscillatoria sp. (38 organismos) y Cyclotella sp. (35 organismos), los cuales hicieron una contribución significativa a la biomasa total observada (Tabla 5).

En la figura 9 se presenta el porcentaje de los géneros identificados a nivel de familia. Se observa que la familia Fragilariaceae registró el mayor número de géneros (4), equivalentes al 18 %. Esta familia representa el grupo más dominantes en la comunidad el fitoplanctónica evaluada. Otras familias como Scenedesmaceae, Oscillatoriaceae, Microcystaceae, Hydrodictyaceae, Chlorellaceae y Aphanizomenonaceae registraron un 14 % representadas en (3) géneros, respectivamente.

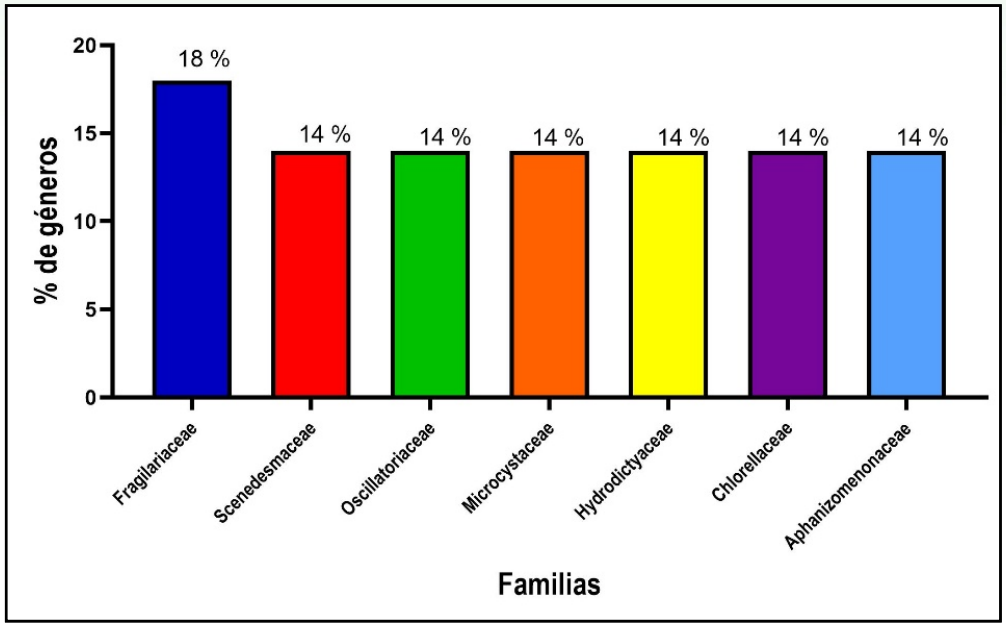


Figura 9. Número de Géneros de las 10 Familias más abundantes del fitoplancton en el área de estudio

Tabla 5. Composición taxonómica del Fitoplancton registrado en tres sitios de muestreo

División	Clase	Orden	Familia	Género	# de organismos	Densidad (Org/mL)
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	*Closterium* sp.	68	260,65
			Desmidiaceae	*Cosmarium* sp.	1	3
				Staurastrum sp.	4	4,40
Chlorophyta	*Chlorophyceae*	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	*Xanthidium* sp.	1	0,60
				Monactinus sp.	3	3,99
				Pediastrum sp.	2	0,76
			Selenastraceae	*Tetraëdron* sp.	1	0,36
				Ankistrodesmus sp.	5	7,74
			Scenedesmaceae	*Scenedesmus* sp.	2	3,36
				Desmodesmus sp.	2	1,02
				Pectinodesmus sp.	2	0,67
		Chlamydomonadales	Chlorophyceae	*Chlorococcum* sp.	3	1,35
			Volvocaceae	*Pandorina sp.*	1	0,36
		Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium* sp.	1	0,36
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	*Actinastrum* sp.	1	6,33
				Closteriopsis sp.	5	1,81
				Geminella sp.	1	0,33
Cryptophyta	Cryptophyceae	Cryptomonadales	Cryptomonadaceae	*Cryptomonas* sp.	3	16
				Coelomoron sp.	1	*3*
		Chroococcales	Microcystaceae	*Merismopedia* sp.	3	6,68
			Chroococcaceae	*Chroococcus* sp.	3	1,08
			Microcystaceae	*Microcystis sp.*	2	1,02

Cyanobacteria	*Cyanophyceae*	Geitlerinematales	Geitlerinemataceae	*Geitlerinema* sp.	1	3
		Nostocales	Aphanizomenonaceae	*Anabaena* sp.	87	282,77
				Raphidiopsis sp.	5	1,81
				cf. Cylindrospermopsis sp.	2	1,02
			Nostocaceae	cf. Nostoc *sp.*	1	0,33
			Nodulariaceae	*cf. Anabaenopsis* sp.	192	95,96
		Pseudanabaenales	Pseudanabaenaceae	*Pseudanabaena sp.*	1	0,36
		Oscillatoriales	Microcoleaceae	*Lyngbya* sp.	20	15,56
			Oscillatoriaceae	*Oscillatoria* sp.	38	65,26
				Phormidium sp.	23	7,48
				Arthrospira sp.	3	1,35
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	*Trachelomonas* sp.	14	37,16
				Strombomonas sp.	3	1,02
			Phacaceae	*Lepocinclis* sp.	3	4
				Phacus sp.	1	0,67
Glaucophyta	Glaucophyceae	Glaucocystales	Glaucocystaceae	*cf. Glaucocystis* sp.	3	1,35
		Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes* sp.	1	3,00
				Achnanthidium sp.	2	0,74
				cf Planothidium sp.	1	3
		Thalassiophysales	Catenulaceae	*Amphora* sp.	2	0,73
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Asterionella* sp.	1	0,37
		Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira* sp.	42	86,95
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia* sp.	22	51,99
				Epithemia sp.	3	1,07
		Bacillariales	Bacillariaceae	*cf. Tryblionella* sp.	18	6,48
				Nitzschia sp.	10	14,46

				Tryblionella sp.	10	53
				cf. Encyonema sp.	1	0,31
			Cymbellaceae	*Cymbella* sp.	14	25,65
		Cymbellales		*Encyonema* sp.	1	0,29
			Gomphonemataceae	*Gomphonema* sp.	6	2,12
		Chaetocerotanae incertae sedis	Chaetocerotaceae	*Chaetoceros* sp.	2	0,69
		Achnanthales	Cocconeidaceae	*Cocconeis* sp.	5	10,10
Heterokontophyta	Bacillariophyceae			*Coscinodiscus* sp.	1	0,37
		Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	*Cyclotella* sp.	35	73,88
		Naviculales	Diploneidaceae	*Diploneis* sp.	6	1,97
			Amphipleuraceae	*Frustulia sp.*	1	0,31
			Pleurosigmataceae	*Gyrosigma* sp.	11	12,39
			Stauroneidaceae	*Stauroneis* sp.	1	0,37
			Naviculaceae	*Navicula* sp.	15	28,11
			Pinnulariaceae	*Pinnularia* sp.	39	44,87
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia* sp.	2	0,63
				Fragilaria sp.	22	13,64
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Synedra* sp.	1	3
				Ulnaria sp.	2	6
		Melosirales	Melosiraceae	*Melosira* sp.	10	3,45
		Orthoseirales	Orthoseiraceae	*Orthoseria* sp.	1	0,37
		Surirellales	Surirellaceae	*Stenopterobia* sp.	8	8,51
				Surirella sp.	5	4,34
		Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	*Thalassiosira* sp.	4	1,44
Myzozoa	Dinophyceae	Peridiniales	Peridiniaceae	*Peridinium* sp.	6	5,10
Ochrophyta	Chrysophyceae	Chromulinales	Dinobryaceae	*Dinobryaceae* sp.	1	0,33
		Synurales	Mallomonadaceae	*Mallomonas* sp.	1	0,67
Rhodophyta	Florideophyceae	Ceramiales	Ceramiaceae	*cf. Acanthoceras* sp.	1	0,37

4.3.1. Variación espacial del fitoplancton registrado en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto.

En la Tabla 6 y Figura 10 se muestra la densidad de organismo (org/mL) y la riqueza de géneros del fitoplancton en tres sitios de muestreo: (Yerbazal, Chacra y La Piscina). Estos resultados indican que los cuerpos de agua de Yerbazal (495,40 org/mL) y Chacra (488,98 org/mL) presentan una mayor densidad, mientras que la Piscina registró una densidad más baja (457,37 org/mL).

La densidad del fitoplancton en los tres sitios evaluados presentó un ($p > 0,05$), lo cual indica que no existen diferencias estadísticamente significativas. Esto significa que la cantidad de organismos por milímetros fue similar en los sitios estudiados, sin variaciones marcadas en la densidad. En general estos resultados sugieren que las condiciones ambientales de la zona de estudio son bastante homogéneas, o que los factores que posiblemente influyen en el crecimiento algal no presentan contrates fuerte entre los sitios evaluados.

Tabla 6. Composición taxonómica y numérica (densidad Org/mL) del Fitoplancton registrado en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto.

Taxas	Yerbazal	Chacra	La piscina
Anabaena sp.	201,00	31,37	50,40
Frustulia sp.	0,00	0,31	0,00
Achnanthidium sp.	0,74	0,00	0,00
Amphora sp.	0,37	0,00	0,00
Anabaenopsis sp.	57,47	13,95	24,53
Closterium sp.	6,00	107,00	147,65
Ankistrodesmus sp.	1,04	6,35	0,36
Asterionella sp.	0,37	0,00	0,00
Aulacoseira sp.	40,41	1,79	80,38
cf. Acanthoceras sp.	0,37	0,00	0,00
Chaetoceros sp.	0,37	0,00	0,33
Cyclotella sp.	52,08	45,06	23,88
Diploneis sp.	0,68	0,68	0,61
Oscillatoria sp.	21,06	33,87	21,06
Tryblionella sp.	3,00	44,00	6,00
Rhopalodia sp.	0,31	45,81	5,87
Eunotia sp.	34,31	0,31	3,72
Pinnularia sp.	3,67	19,40	21,80
Trachelomonas sp.	10,70	25,73	0,72

Navicula sp.	4,36	6,68	17,07
Cymbella sp.	1,36	20,57	3,72
Cryptomonas sp.	0,00	13,00	3,00
Nitzschia sp.	0,69	6,70	7,07
Lyngbya sp.	5,21	9,63	0,72
Cocconeis sp.	3,74	6,36	0,00
Chroococcus sp.	0,00	1,08	0,00
Ulnaria sp.	0,00	0,00	6,00
Stenopterobia sp.	0,00	6,00	2,51
Fragilaria sp.	2,09	7,67	3,88
Phacus sp.	0,67	0,00	0,00
Merismopedia sp.	0,37	6,00	0,00
Actinastrum sp.	0,00	6,00	0,00
Gyrosigma sp.	0,99	7,40	4,00
Cosmarium sp.	3,00	0,00	0,00
Monactinus sp.	3,00	0,35	0,33
Synedra sp.	3,00	0,00	0,00
Geitlerinema sp.	3,00	0,00	0,00
Peridinium sp.	3,67	0,35	0,33
Surirella sp.	0,63	0,31	3,40
Achnanthes sp.	3,00	0,00	0,00
cf Planothidium sp.	0,00	0,00	3,00
Lepocinclis sp.	3,67	0,00	0,33
Coelomoron sp.	3,00	0,00	0,00
Scenedesmus sp.	0,36	0,00	3,00
Staurastrum sp.	4,04	0,00	0,36
cf. Tryblionella sp.	0,00	3,61	2,86
Closteriopsis sp.	0,00	1,81	0,00
Epithemia sp.	0,00	0,00	1,07
Gomphonema sp.	1,04	0,36	0,72
Melosira sp.	1,04	1,04	1,36
Arthrospira sp.	0,67	0,35	0,33
cf. Nostoc sp.	0,00	0,00	0,33
Pandorina sp.	0,36	0,00	0,00
Orthoseria sp.	0,37	0,00	0,00
Pediastrum sp.	0,00	0,36	0,40
Amphora sp.	0,00	0,00	0,36
Phormidium sp.	0,37	1,08	0,36
Raphidiopsis sp.	0,00	1,81	0,00
Stigeoclonium sp.	0,00	0,00	0,36
Tetraëdron sp.	0,00	0,36	0,00
Thalassiosira sp.	0,00	1,08	0,36
Pseudanabaena sp.	0,36	0,00	0,00
Stauroneis sp.	0,37	0,00	0,00
Coscinodiscus sp.	0,37	0,00	0,00

Aulacoseira sp.	0,37	0,00	0,00
Actinastrum sp.	0,00	0,00	0,33
cf. Chlorococcum sp.	0,67	0,35	0,33
cf. Glaucocystis sp.	0,67	0,35	0,33
Desmodesmus sp.	0,67	0,35	0,00
Dynobrion sp.	0,00	0,00	0,33
Geminella sp.	0,00	0,00	0,33
Mallomonas sp.	0,67	0,00	0,00
Microcystis sp.	0,67	0,35	0,00
Pectinodesmus sp.	0,00	0,35	0,33
Strombomonas sp.	0,00	0,69	0,33
Xanthidium sp.	0,67	0,00	0,00
Phormidium sp.	5,35	0,31	0,00
cf. Nostoc sp.	0,31	0,00	0,29
Merismopedia sp.	0,00	0,31	0,00
cf. Encyonema sp.	0,00	0,31	0,29
Monactinus sp.	0,31	0,00	0,00

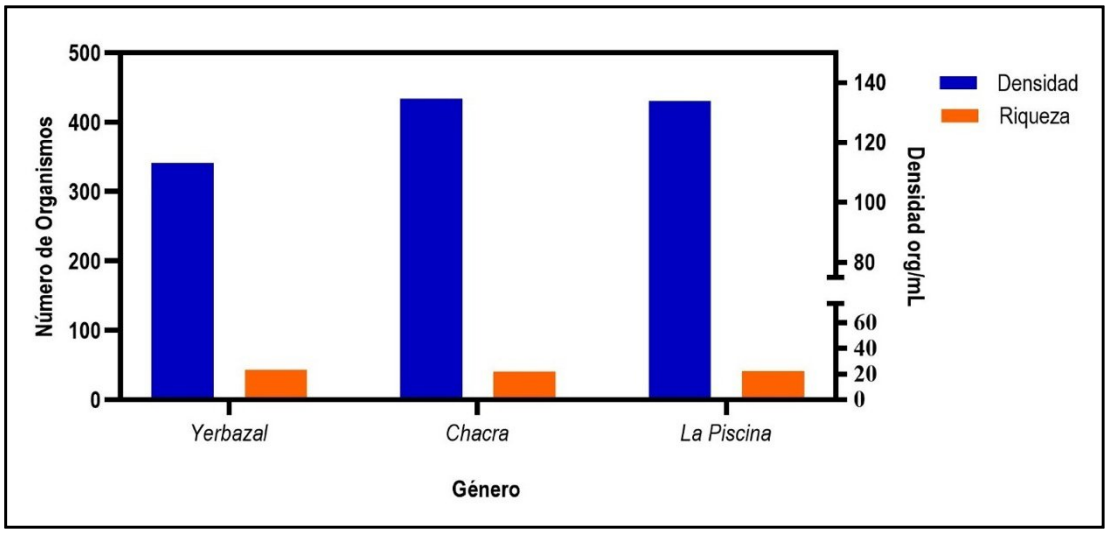


Figura 10. Distribución espacial de la densidad (Org/mL) y número de taxones (S) registrados en cada sitio muestreo.

Por otro lado, la Figura 11 y Tabla 6 muestra la estructura del fitoplancton en los diferentes sitios de muestreo. Yerbazal estuvo dominada por Anabaena sp. (201

org/mL), lo cual indica que es un sitio con poca diversidad y posiblemente se encuentre sometida a algún tipo de perturbación ambiental.

En Chacra, la densidad estuvo representa por varios géneros, donde se destaca Closterium sp. (107 org/mL), cf. Tryblionella sp. (47,61 org/mL), cf. Rhopalodia sp. (45,81 org/mL), Cyclotella sp. (44 org/mL) y Oscillatoria sp. (32,08 org/mL). Esta composición puede asociarse a mayores condiciones es este punto de muestreo como mayor presencia de nutrientes y mayor productividad.

Finalmente, la piscina, registro alta densidad para Closterium sp. (147 org/mL), Aulacoseira sp. (79,07 org/mL), Anabaena sp. (50 org/mL), Cyclotella sp. (22,22 org/mL) y Pinnularia sp. (20,43) lo cual refleja una comunidad más diversa.

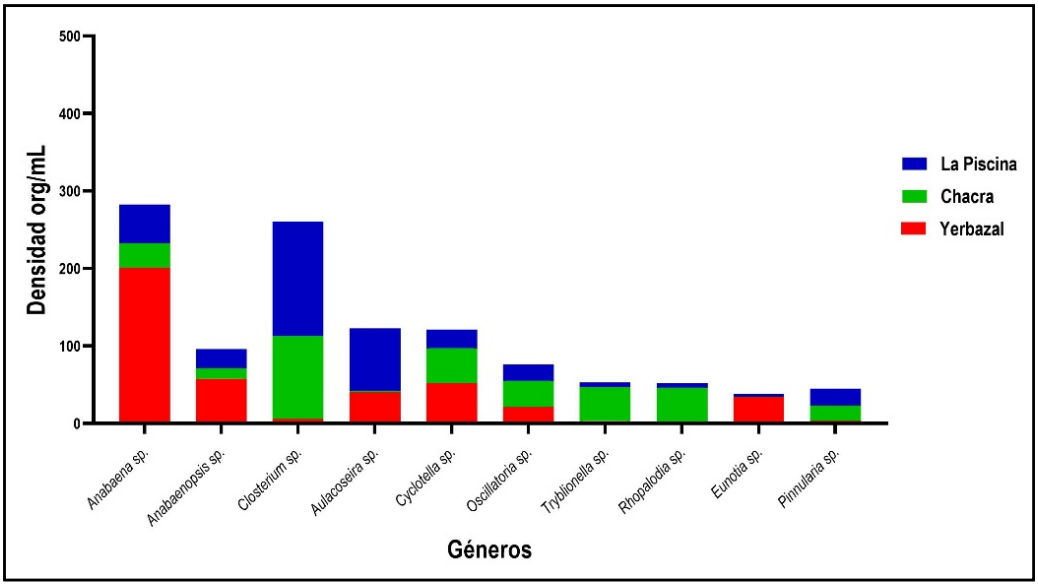


Figura 11. *Distribución de la densidad (Org/mL) de los taxones en los sitios de muestreo.*

4.3.1.1. Variación temporal de la densidad del fitoplancton registrado en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto.

Loa resultados muestran cambios temporales, con valores máximos en mayo (M-1), junio (M-2), y julio (M-5), y unas disminuciones en junio (M-3), Julio (M-4) Y agosto (M-6) (figura 12). Estos cambios pueden estar asociados a las variaciones estacionales o a variables fisicoquímicas Entre los diferentes muestreos se

encontraron diferencias estadísticamente significativas con un ($p < 0,05$). Esto indica que el fitoplancton vario notablemente a lo largo del periodo de estudio.

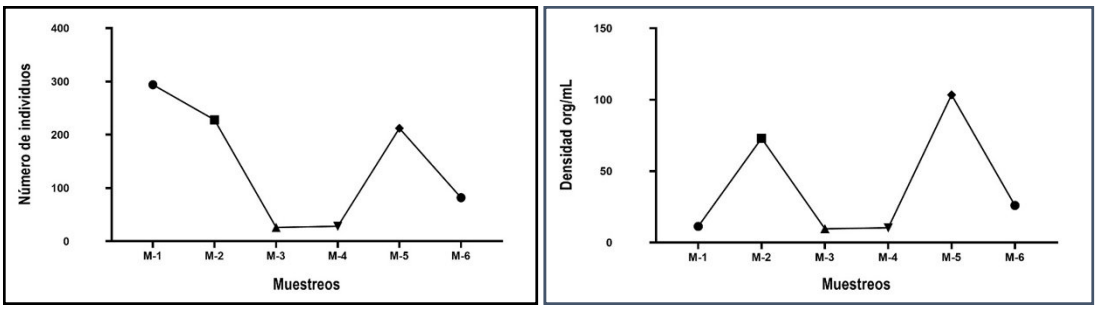


Figura 12. Variación temporal del fitoplancton en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto.

4.3.1.2. Estructura del fitoplancton registrado en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto

En la figura 13 se presentan tres sitios evaluados, donde se evidencia variaciones notables en los índices ecológicos. El índice de Shannon-Wiener (H') registró los valores más altos en Chacra (2,83), seguido de La Piscina (2,41) y Yerbazal (2,33), lo que sugiere una mayor diversidad especifica en Chacra. De forma coherente, el índice de Simpson (D) también fue superior en este mismo sitio (0,91), indicando una comunidad más equilibrada y con menor dominancia de especies.
En lo que respecta al índice de equitatividad de Pielou (J), Chacra registró el valor más alto (0,72), reflejando una distribución más uniforme de los individuos, entre las especies presentes. En lo que respecta a Yerbazal presentó la mayor riqueza especifica (57 taxones), aunque con menor equitatividad, lo cual indica que unas pocas especies pueden estar dominado el sistema.

En general, estos resultados muestran que Chacra presenta una comunidad de algas más diversa y estable, mientras que Yerbazal, a pesar de su alta riqueza, exhibe signos de dominancia. finamente la piscina esta de manera intermedia en todos los índices, indicando un estado ecológico moderado dentro del gradiente de diversidad observado.

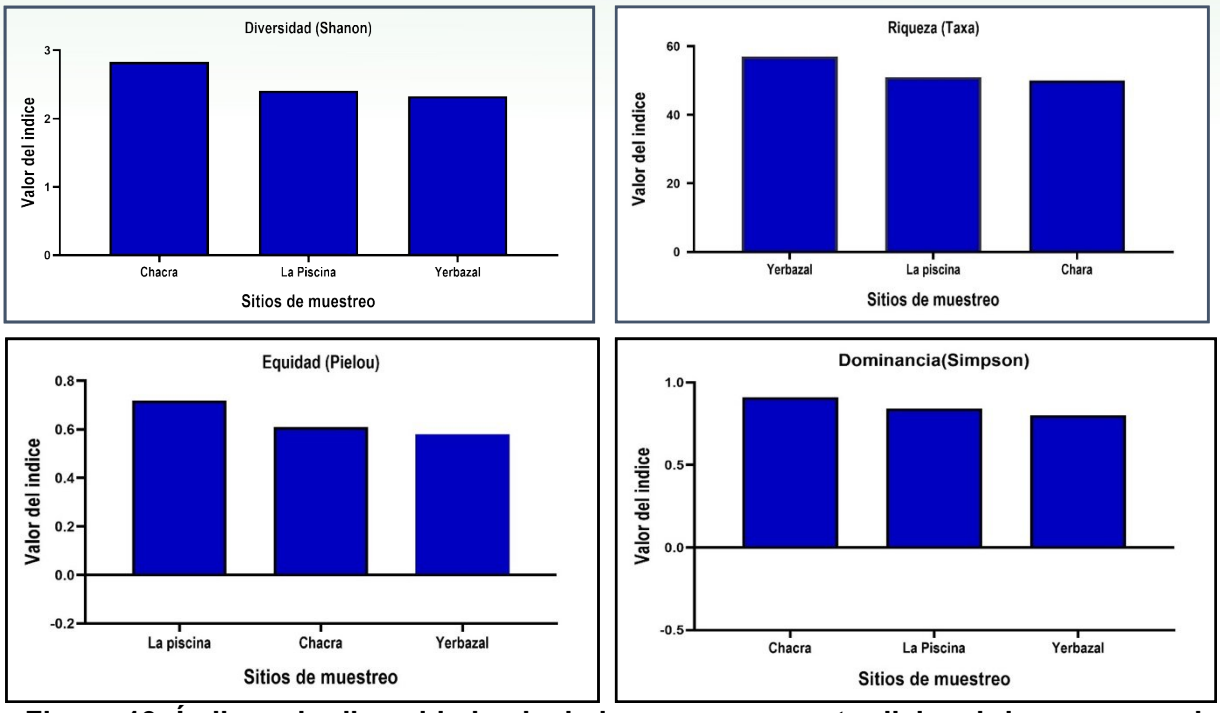


Figura 13. Índices de diversidad calculados en una zona tradicional de pesca en el golfo de Urabá, sector del Roto

4.3.1.3. Análisis Clúster o de agrupación: Clasificación de los sitios evaluadas de acuerdo con la similitud de los grupos fitoplanctónicos

El análisis clúster muestra una similitud entre los sitios Chacra y La Piscina, presentando una mayor densidad fitoplanctónica, con un valor cercano a 0,60. Esto indica que los valores de densidad en estos dos puntos son más parecidos entre sí. Por otro lado, Yerbazal se agrupó con una similitud más baja alrededor de 0,45, lo cual sugiere que la densidad de este sitio presenta diferencias ligeras respecto a Chacra y La Piscina, tal como lo indica a prueba estadística. En general estos resultados muestran que la densidad del fitoplancton se mantiene relativamente similar entre toso los sitos evaluados. La marcada similaridad entre La Piscina y Chara, puede asociarse a que se encontró la presencia de 35 géneros en común: *Aulacoseira* sp., *Anabaena* sp., *Anabaenopsis* sp., *Closterium* sp., *Cyclotella* sp., *Oscillatoria* sp., *Tryblionella* sp., *Rhopalodia* sp., *Eunotia* sp., *Pinnularia* sp., *Trachelomonas* sp., *Navicula* sp., *Cymbella* sp., *Cryptomonas* sp., *Nitzschia* sp., *Lyngbya* sp., *Stenopterobia* sp., *Fragilaria* sp. *Gyrosigma* sp., *Monactinus* sp., *Peridinium* sp. *Surirella* sp., cf. *Tryblionella* sp., *Gomphonema* sp., *Melosira* sp.,

Arthrospira sp., *Pediastrum* sp., *Phormidium* sp., *Thalassiosira* sp., cf. *Chlorococcum* sp., cf. *Glaucocystis* sp., *Pectinodesmus* sp., *Strombomonas* sp., cf.*Encyonema* sp., *Surirella* sp., respectivamente (Tabla 2 Figura 11).

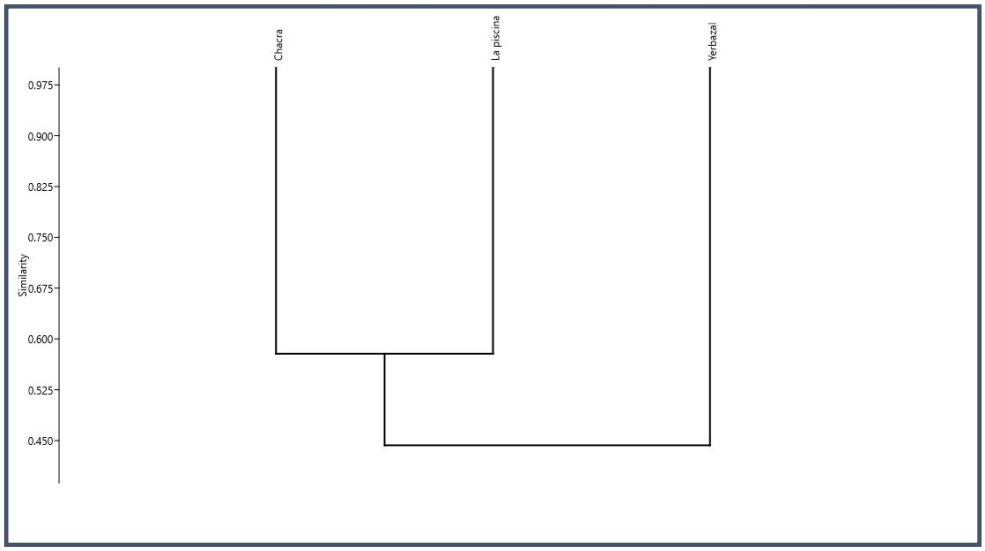


Figura 14. Análisis clúster o de agrupación de similitud en los diferentes sitios de muestreo

4.3.1.4. Géneros potencialmente de fitoplancton formadores de (FANs) en el área de estudio

De los 82 géneros de fitoplancton registrados en los tres sitios de muestreo evaluados, 18 han sido reportados como formadores de (FANs), lo que representa el 22 % del total de individuos, mientras que el 78 % corresponde a géneros no formadores de FANs (Figura 12).

La tabla 7 y Figura 13 representan los géneros reconocida para generar FANs, pertenecientes principalmente a los grupos de Cyanophyceae (cianobacterias) y Diatomeas (Bacillariophyceae). En términos de composición relativa, las cianobacterias representaron el 94 % y las Diatomeas el 6 % del total de organismos asociados a floraciones.

La dominancia de cianobacterias representa uno de los principales problemas en los ecosistemas acuáticos, debido a su acelerado crecimiento y alta biomasa, lo cual altera las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua. Estas proliferaciones no solo están asociadas a la calidad del agua, sino que también pueden liberarse algunos compuestos de procedencia toxica, entre los cuales se encuentran neurotoxinas, hepatotóxicas y dermatoxinas, las cuales general efectos adversos en los organismos acuáticos y en la salud humana (Salomón et al., 2020). Además, particularmente en humanos, la exposición

a estas toxinas puede estar asociada al consumo de comida contaminada, inhalación, contacto cutáneo y a través de la dieta (Svrcek & Smith, 2004; Rastogi, et al., 2015).

Entre los géneros más destacados se encuentra Anabaenopsis sp., con 192 taxones equivalentes a 95,96 org/mL, seguida de Anabaena sp. con 87 individuos (282,77 org/mL) y Closterium sp., con 68 individuos (260,65 org/ml). Sin embargo, es importante indicar que durante el levantamiento de información no se detectaron eventos de floraciones.

cf. Anabaenopsis sp, se asociado a la producción de microcistina; Anabaena sp., conocida por su capacidad de sintetizar diversas toxinas como microcistina, cilindrospermopsina, anatoxina-a, homoanatoxina-a, saxitoxinas y lipopolisacáridos (LPS); y Ocillatoria sp., relacionada principalmente con la producción de microcistina. Estas especies, aunque no presentaron efectos visibles durante el periodo de muestreo, representan un potencial riesgo para la calidad del agua y salud de la población aledaña a estos sitios debido a su capacidad de producir tóxicos bajo condiciones ambientales favorables. (Salomón, Rivera-Rondón & Zapata, 2020). Además, algunas especies de los géneros Anabaena, Oscillatoria y Lyngbya se asocia con la producción de hepatotóxicas y neurotoxinas; sin embargo, se requiere de más estudios para establecer con precisión su toxicidad y efectos biológicos (UNESCO, 2009).

Respecto a genero Anabaena sp, existen reportes emitidos por el IIAP para el año 2018 en aguas costeras en el Golfo de Urabá, donde en dicho estudio es reportada como causante de floraciones algales, lo cual coincide con los resultados del presente estudio, donde este género fue el segundo más representativo en términos de abundancia y ocupó el primer lugar en densidad entre los grupos formadores de floraciones. Para el año 2020 también se observó el predomino de este género catalogada también como una especie que es común en ambientes extremos con aguas contaminadas o alteradas por actividades antrópicas, asociadas a cambios en la relación nitrógeno-fosforo (Margalef, 1983). Además, es conocida como productora de sustancias toxicas que inhiben en otras especies (Sar et al., 2002; Ramírez y Viña, 1998). De igual forma, el 2019 el IIAP, reporta a Anabaena sp. como la especie más abundante, reforzando su rol recurrente como genero domínate y formador de floraciones.

Otros estudios también reportan al género Oscillatoria sp., presenta una notable adaptabilidad ecológica, lo cual les permite colonizar ambientes con alta presencia de nutrientes, variación en el pH (acido o alcalino) y elevadas temperaturas. Roset et al. (2001) documentó la presencia de este género en cuerpos de agua eutróficos y con algún grado de perturbación, donde se destaca su capacidad para desarrollarse en situaciones de estrés ambiental y su contribución a la fijación de nitrógeno. Por su parte Campos et al. (2005) evidenciaron que estas especies pueden formar floraciones. Graham et al. (2016) indican que este género no solo tolera condiciones adversas, sino que también produce bioactivos inhibitorios sobre otros microrganismos. En términos generales estas investigaciones indican que Oscillatoria sp. pueden generar eventos de floraciones en condiciones favorables.

Al comparar estos resultados con los antecedentes del IIAP, se observa una continuidad de ocurrencia en géneros formadores de FANs en el Golfo de Urabá. En el año 2019, el instituto reportó un afloramiento algal en el sector del Waffe asociado a Trachelomonas sp.,

así como la presencia de Pseudo-nitzschia sp. en el sector de Yerbazal. Posteriormente para el año 2024, en el sector del Roto, el IIAP registró 40 especies de fitoplancton, de las cuales varias potencian a grupos reconocidos por su potencial para generar floraciones, como Bacillariophyta, Cyanobacteria, Euglenozoa, Chlorophyta y Miozoa.

En el presente estudio también se registró la presencia del género Trachelomonas en las estaciones de Yerbazal, Chacra y La Piscina, lo que sugiere una persistencia de condiciones favorables para su desarrollo. Mientras que en el estudio reportado para el año 2019, donde se documentó la presencia de Pseudo-nitzschia, sin embargo, en esta evaluación se registró Nitzschia sp., generó reconocida por su capacidad de producir ácido domoico (toxina amnésica) (Bates et al., 2018). Estos hallazgos evidencian una posible variación temporal en la composición del fitoplancton.

Estudios a nivel internacional como el realizado por Azevedo et al. (2002) en Brasil documentaron floraciones de cianobacterias toxicas en diferentes ecosistemas acuáticos, mientras que en México García-Mendoza et al. (2009) reportaron la presencia de Pseudo-nitzschia sp., aunque en este estudio no estuvo presente, pero en investigaciones de años anteriores realizadas por el IIAP si se reporta, la cual es conocida como productoras de ácido domoico en el Golfo de California.

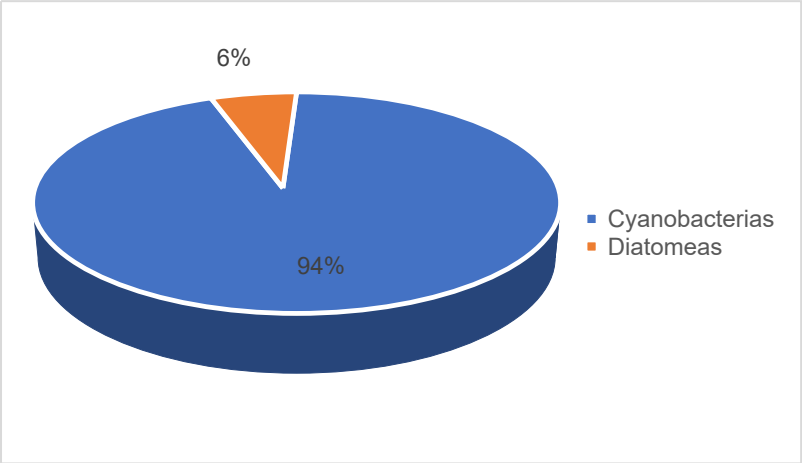


Figura 15. Divisiones indicadoras de fitoplancton formadoras de floraciones algales nocivas (FANs) en una zona tradicional de pesca del golfo de Urabá, sector El Roto.

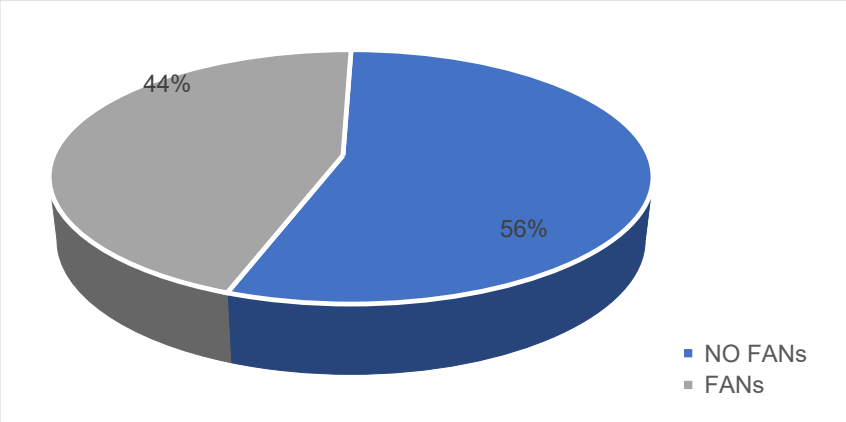


Figura 16. Especies indicadoras de fitoplancton formadoras y no formadoras de floraciones algales nocivas (FANs) en una zona tradicional de pesca del golfo de Urabá, sector El Roto.

Tabla 7. Fitoplánctones formadores de (FANs) en el área de estudio

División / Grupo	Género	# ind	org/mL	Toxinas asociadas	Referencia
Cyanobacterias	*Anabaena* sp. (ahora *Dolichospermum* sp.)	87	282,77	Microcistinas, anatoxina-a, homoanatoxina-a saxitoxinas, Cilindrospermopsina, BMAA	(Salomón et al., 2020; Carmichael & Boyer, 2016; UNESCO, 2009)
	Anabaenopsis sp.	192	95,96	Microcistinas	(Salomón et al., 2020)
	Oscillatoria sp. (ahora *Planktothrix* sp.)	38	65,26	Microcistinas, anatoxina-a, homoanatoxina-a, Cilindrospermopsinas, 7-epi-cilindrospermopsina, Saxitoxinas	(UNESCO, 2009; Salomón et al., 2020)
	Microseira sp.)	20	15,56	Lyngbyatoxina, Cilindrospermopsina, anatoxina-a, homoanatoxina-a, BMAA, Saxitoxinas, Aplasiatoxina, Saxitoxinas	(UNESCO, 2009; Salomón et al., 2020)

División / Grupo	Género	# ind	org/mL	Toxinas asociadas	Referencia
	Microcystis	2	1,02	Microcistinas, BMAA, Aeruginosina	(UNESCO, 2009; Salomón et al., 2020)
	Raphidiopsis sp. (anteriormente *Cylindrospermopsis* sp.)	5	1,81	Microcistina, anatoxina-a, homoanatoxina-a, Saxitoxinas, BMAA	Salomón et al., 2020
	Phormidium sp.	23	7,48	Anatoxina-a, microcistinas, Homoanatoxina -a, Saxitoxin, BMAA	(UNESCO, 2009)
	Geitlerinema sp.	1	3	Microcistinas	(UNESCO, 2009)
	Chroococcus sp.	3	1,08	Microcistinas	
	cf. Nostoc sp.	1	0,33	Microcistinas, BMAA anatoxina-a, nodularia, Beta-metilamino-L-alanina	(Salomón et al., 2020; Carmichael & Boyer, 2016; UNESCO, 2009)
	Pseudanabaena	1	0,36	Microcistinas, anatoxina-a	(UNESCO, 2009; Salomón et al., 2020)
	Merismopedia sp.	3	6,68	Microcistinas	(UNESCO, 2009)
Diatomeas	*Nitzschia* sp.	10	14,46	Ácido domoico (toxina amnésica)	(Bates et al., 2018)
	Achnanthes sp.	1	3,00	Beta-metilamino-L-alanina	(UNESCO, 2009)
	Thalassiosira sp.	4	1,44	Beta-metilamino-L-alanina	(UNESCO, 2009)
	Cocconeis sp.	5	10,10	No reportado	(Acuña et al., 2021)
	Chaetoceros sp.	2	0,69	No reportado	(Acuña et al., 2021)
	Amphora sp.	2	0,73	ácido domoico (DA), reportado para algunas especies de este	(Nézan et al., 2024)

División / Grupo	Género	# ind	org/mL	Toxinas asociadas	Referencia
				genero	

Nota: elaboración propia con datos suministrados por UNESCO (2009), Salomón et al. (2020), Acuña et al. (2021) y Carmichael & Boyer (2016).

4.3.1.5. Relación entre las variables fisicoquímicas y la densidad fitoplanctónica en una zona tradicional de pesca del golfo de Urabá, sector El Roto

El análisis de componentes principales (PCA), explicó casi toda la variación en un 99,84 % de la variabilidad de las muestras lo cual indica que la dominancia en el sistema fue de un solo gradiente. Este eje estuvo formado por las variables conductividad, y solidos disueltos, mientras que el oxígeno, % de saturación, temperatura, pH, turbidez, salinidad, nitratos y nitritos mostraron una relación negativa. En general esto indica el componente 1 presenta una variación de mineralización del agua, es decir, que aumento de sales y la conductividad se asocian con una menor disponibilidad de oxígeno y un posible alto contenido de matería orgánica, lo cual puede representar procesos de eutrofización o contaminación del agua.

Por otro lado, el segundo componente, explicó una proporción menor en cuanto a la varianza (0,15), sin embargo, mostró cierta relación entre la conductividad y la densidad del fitoplancton, lo cual sugiere que posibles cambios en la contratación de sales puede tener influencia en la biomasa de las algas (Azevedo et al., 2002; Carmichael & Boyer, 2016).

En general las floraciones algales, pueden estar relacionadas con procesos de mineralización y nutrientes disponibles. Estas condiciones alteran la calidad del agua y favorecen la proliferación de especies del fitoplancton potencialmente toxicas, lo que puede generar un desequilibrio ecológico en el ecosistema.

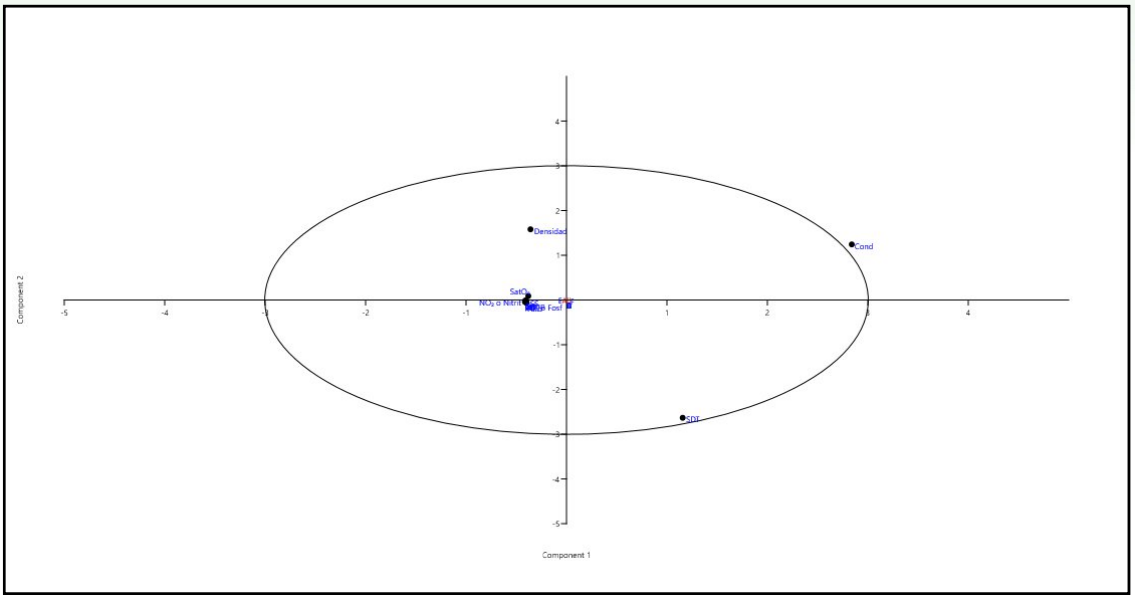


Figura 17. Análisis de Componentes Principales (PCA) para las variables fisicoquímicas y la densidad fitoplanctónica.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos revelan que la dominancia de Cianobacterias y Heterokontophyta en la comunidad fitoplanctónica refleja una tendencia hacia proliferaciones algales, lo cual indica un riesgo potencial de procesos de eutrofización en el cuerpo de agua. Especialmente preocupante es la alta densidad de Anabaena sp., género reconocido por su capacidad para formar floraciones algales nocivas (FANs) y liberar toxinas que afectan tanto la salud de los ecosistemas acuáticos como la humana. Aunque especies como Closterium sp. no son tóxicas, su presencia en altas densidades puede contribuir a la disminución del oxígeno disuelto durante eventos de descomposición. En conjunto, estos hallazgos confirman la existencia de un riesgo latente asociado a FANs, por lo que se hace necesario implementar estrategias de monitoreo periódico que permitan detectar tempranamente proliferaciones, evaluar la dinámica de nutrientes y diseñar medidas de gestión preventivas para mitigar impactos sobre la calidad del agua, la biodiversidad y actividades comunitarias asociadas a la pesca en esta zona.

6. RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO AMBIENTAL, LA SALUD Y LA SEGURIDAD PESQUERA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Programa de monitoreo comunitario de fitoplancton para la alerta temprana de floraciones algales nocivas. Se recomienda implementar un sistema de vigilancia participativa que permita el monitoreo continuo de la composición y dinámica del fitoplancton en cuerpos de agua de importancia pesquera. Este programa debe incluir la capacitación de observadores locales, el uso de metodologías validadas para la identificación de especies potencialmente tóxicas y la articulación con autoridades ambientales y sanitarias para la emisión√—≥n de alertas oportunas dirigidas a pescadores y comercializadores, con el fin de prevenir el consumo y manipulación de organismos acuáticos durante episodios de florecimientos algales.

Fortalecer las capacidades de los pescadores en la identificación y manejo de floraciones algales nocivas. Diseñar e implementar talleres teórico-prácticos dirigidos a pescadores artesanales y actores de la cadena de comercialización, enfocados en reconocer visualmente eventos de floraciones algales, comprender sus efectos en la salud humana y conocer los protocolos de actuación ante su detección. Lo anterior permitirá reducir los riesgos de intoxicación en la población, evitar pérdidas económicas por decomisos y fortalecer la gobernanza pesquera local ante eventos de este tipo.

Promover la gestión integral de residuos sólidos y líquidos en asentamientos ribereños y actividades productivas Desarrollar estrategias de educación ambiental y acompañamiento técnico para mejorar las prácticas de manejo de residuos en comunidades costeras y ribereñas, con especial énfasis en la disposición adecuada de desechos orgánicos, aguas grises y materiales no biodegradables. Esta medida busca reducir el aporte difuso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) a los cuerpos de agua, mitigando así uno de los principales factores que favorecen la eutrofización y la proliferación de algas.

Implementar protocolos de bioseguridad durante la manipulación de recursos hídricos y pesqueros en presencia de floraciones. Establecer y socializar lineamientos para el uso obligatorio de elementos de protección personal (guantes, mascarillas, gafas de protección y ropa impermeable) durante actividades de pesca, recolección y procesamiento de organismos acuáticos en zonas con floraciones algales activas o recientes. Adicionalmente, se recomienda incluir medidas de higiene y desinfección de utensilios y embarcaciones, con el fin de minimizar el

riesgo de exposición a toxinas algales y prevenir afectaciones a la salud de los trabajadores del sector.

Controlar y regular los vertimientos de origen doméstico y agropecuario en en las fuentes hídricas. Gestionar la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en asentamientos humanos, embarcaciones y establecimientos productivos ubicados en la zona de influencia, con el objetivo de reducir la carga de nutrientes y contaminantes que llegan a los cuerpos de agua. Paralelamente, se sugiere promover incentivos para la adopción de tecnologías limpias y buenas prácticas ambientales que prevengan la contaminación por combustibles, aceites, aguas residuales y desechos orgánicos, todos ellos factores que contribuyen a la eutrofización.

Fomentar la pesca artesanal sostenible como estrategia de adaptación ante floraciones algales. Impulsar la adopción de artes de pesca selectivas, el respeto a tallas mínimas y vedas reproductivas, así como la diversificación de especies objetivo, con el propósito de mantener poblaciones saludables y funcionales. Una estructura ecológica equilibrada y una menor presión pesquera incrementan la resiliencia del ecosistema hídrico, reduciendo la vulnerabilidad de las comunidades pesqueras ante eventos de floraciones algales y otros disturbios ambientales.

7. LITERATURA CITADA

Acuña, J. J. H., Manotas, H. L. Q., Rivas, C. B., Triana, A. F. M., Castrillón, F. A., & Gutiérrez, J. L. P. (2021). Listado de especies de fitoplancton en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales, 16(2), 214-231.

Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2012). Harmful algal blooms and eutrophication: Examining linkages from selected coastal regions of the United States. *Harmful Algae*, 8(1), 39–53. https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.08.017.

Antón, Almudena y J. Lizaso. 2001. Nitritos, nitratos y nitrosaminas. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. Madrid, España.

Azevedo, S. M. F. O., Carmichael, W. W., Jochimsen, E. M., Rinehart, K. L., Lau, S., Shaw, G. R., & Eaglesham, G. K. (2002). Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru, Brazil. Toxicology, 181–182, 441–446. https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00491-2

Bates, S. S., Hubbard, K. A., Lundholm, N., Montresor, M., & Leaw, C. P. (2018). Pseudo-nitzschia, Nitzschia, and domoic acid: New research since 2011. Harmful Algae, 79, 3-43.

Bianchi, T.S. (2007). Biogeochemistry of estuaries. Oxford University Press on Demand.

Boyd Claude E., 2017. Conductividad eléctrica del agua, Principios y medición de un importante parámetro de producción. Consulta en línea. Disponible en: https://www.aquaculturealliance.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/

Bowden, K.F. 1980. Physical factors: Salinity, temperature, circulation, and mixing processes, p. 37-70. In E. Olausson & I. Cato (eds.). Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. Willey, Inglaterra.

Carmichael, W. W., & Boyer, G. L. (2016). Health impacts from cyanobacteria harmful algae blooms: Implications for the North American Great Lakes. Harmful Algae, 54, 194–212. https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.02.002

Castaño, C., & Ramírez, J. J. (2014). Fitoplancton en ambientes estuarinos tropicales: una revisión ecológica. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 399–410. https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.41295 .

CONAGUA – Comisión Nacional del Agua. 2015. Monitoreo calidad del agua: escalas de clasificación de la calidad del agua superficial.

Espinosa, L., M. Rueda, J. Restrepo, C. Villamil, J. Blanco, E. Viloria, J. Narváez, M. Gómez, B. Marín, J. Acosta y B. Cadavid. 2005. Monitoreo de las condiciones ambientales y de los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final. Santa Marta. 83 p.

FAO. (2022). *Floraciones algales nocivas y pesca artesanal en América Latina: Estado del conocimiento y recomendaciones*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org.

García-Mendoza, E., Rivas, D., Olivos-Ortiz, A., Almazán-Becerril, A., Castañeda-Vega, C., & Peña-Manjarrez, J. L. (2009). A toxic Pseudo-nitzschia bloom in Todos Santos Bay, northwestern Baja California, Mexico. Harmful Algae, 8(3), 493–503. https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.11.003

González-González, J., Mancera-Pineda, J. E., & Ospina-Álvarez, N. (2020). Floraciones algales nocivas (FANs) en Colombia: una revisión histórica y perspectivas futuras. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 55(1), 103–116. https://doi.org/10.22370/rbmo.2020.55.1.2263.

Hunter, C, J. Perkins, J. Tranter, and P. Harwick. 2000 Fecal bacteria in the waters and upland area in Derbyshire, England: The influence of agricultural land use. J. Environ. Qual 29: 1253-1261.

INVEMAR. (2011). *Estado actual de las floraciones algales nocivas en Colombia* (Serie de Publicaciones Especiales No. 21). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR. https://www.invemar.org.co.

Lamparelli , M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

Liu, S.M., Hong, G.H., Ye, X.W., Zhang, J. y Jiang, X.L. (2009). Nutrient budgets for large Chinese estuaries and embayment. Biogeosciences Discussions, 6 (1).

Madrigal, E., O. Pacheco, E. Zamora, R. Quesada, J. Alfaro (1985). Tasa de filtración el ostión de manglar (Crassostrea rhizophorae, Guilding, 1828), a diferentes salinidades y temperatura. Rev. Biol. Trop. 33:77-79 p.

Montalvo, J. F., I. A. Garcia, E. Perigó, O. C. Alburquerque y N. Garcia. 2016. Calidad química del agua y sedimento en las bahías del archipiélago Sabana-Camagüey. Instituto de Oceanología CITMA, La Habana, Cuba; IICentro de Estudios Ambientales de Villa Clara, Santa Clara, Cuba. Revista Cubana de Química. 121-130 p.

Rangel-Ch, J. O. (Ed.). (2015). *La biodiversidad del Chocó biogeográfico*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3361.1688.

Ramírez, A., & viña, G. (1998). Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano: Bogotá.

Reynolds, C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.

Salomón, S., Rivera-Rondón, C. A., & Zapata, Á. M. (2020). Floraciones de cianobacterias en Colombia: estado del conocimiento y necesidades de investigación ante el cambio global. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 44(171), 376–391.

Sar, E. A., M. E. Ferrerio & B. Reguera. 2002. Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano. Instituto Español de Oceanografía. España. 303.

Shannon, C & Weaver, W. 1949. the matematical theory of communication, the university of illinois press. Urbana. 19-27.

Simpson, E. H. (1945). Mesurment of diversity. nature. 163 (4148):688. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1084

Tait, R. 1987. Elementos de ecología marina. Acribia. España. 446 p.

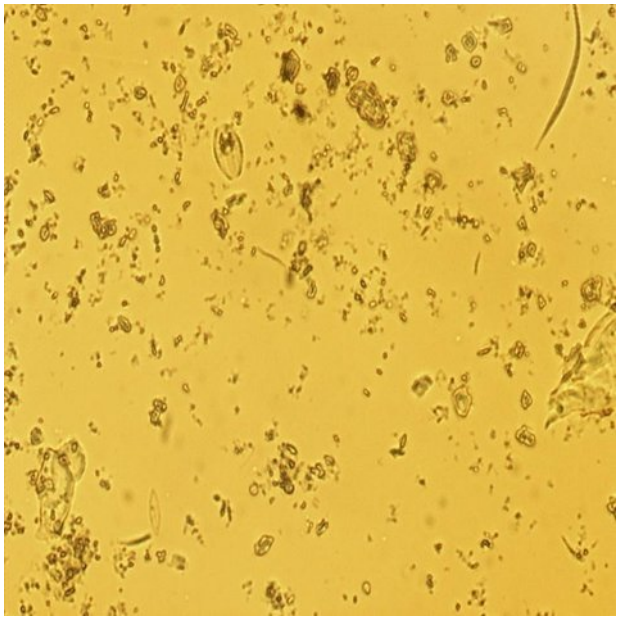
Trejos de Suescum, R. y Okuda, T. (1983). Distribución del Nitrito en las aguas costeras ecuatorianas. Acta Oceanográfica del Pacífico. 2 (1), 13-23.

UNESCO. (2009). Cyanobacterial toxins: Microcystin-LR in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization.

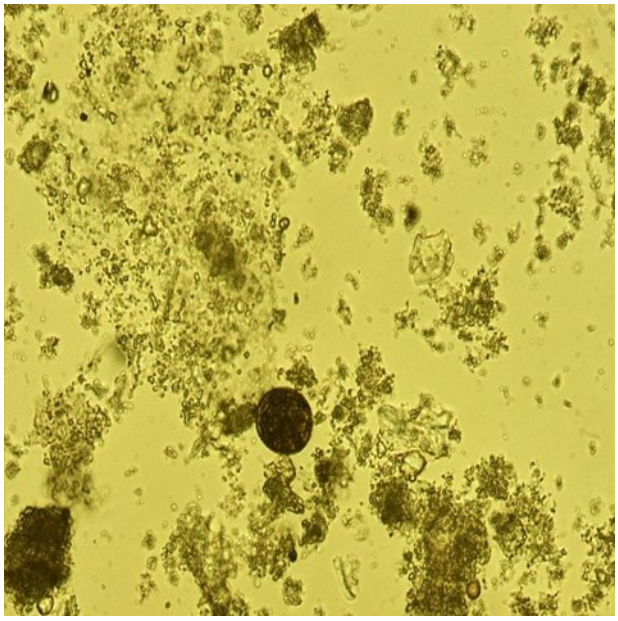
Vollenweider, R. A., F. Giovanardi, G. Montanari & A. Rinaldi. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. Environmetrics, 9:329-357.

ANEXOS.

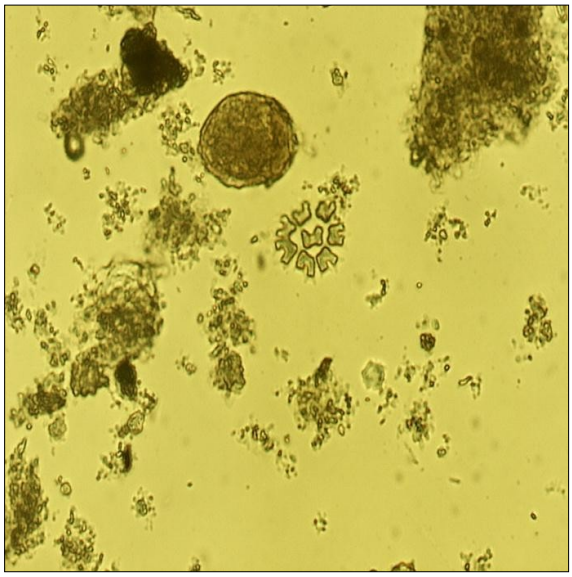
Anexo 1. Organismos Fitoplanctónicos más representativas en el área de estudio



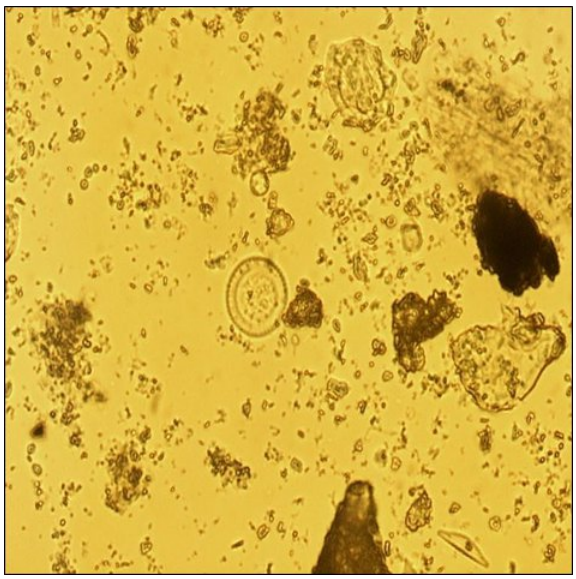
Amphora sp.



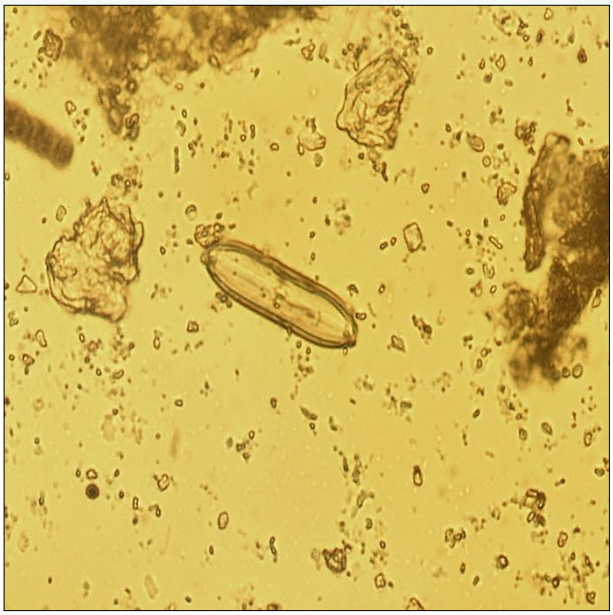
Trachelomonas sp.



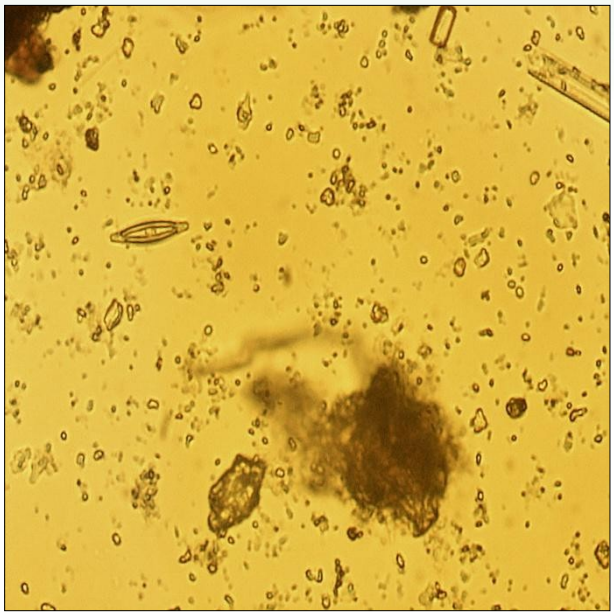
Pediastrum sp.



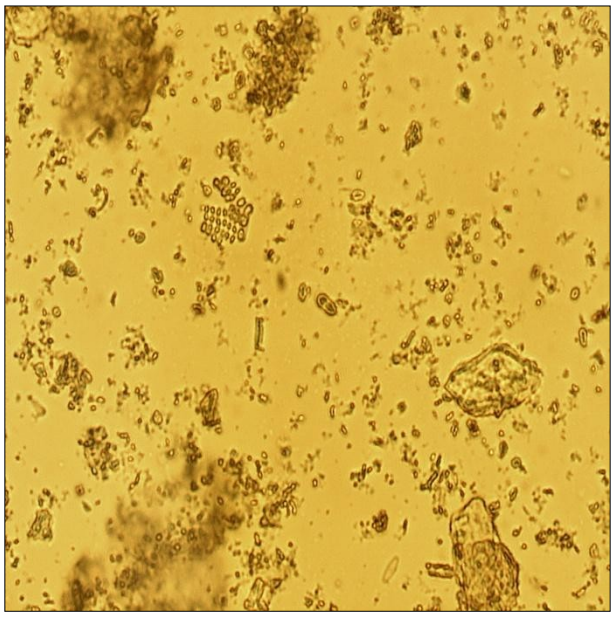
Cyclotella sp



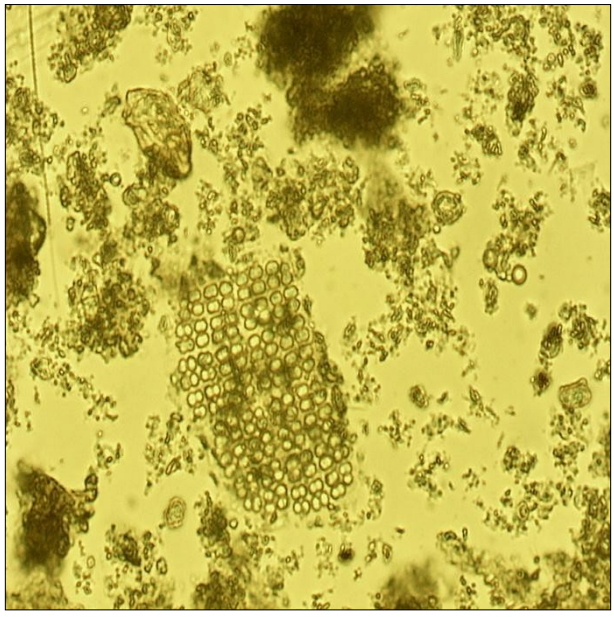
Diploneis sp.



Navicula sp.



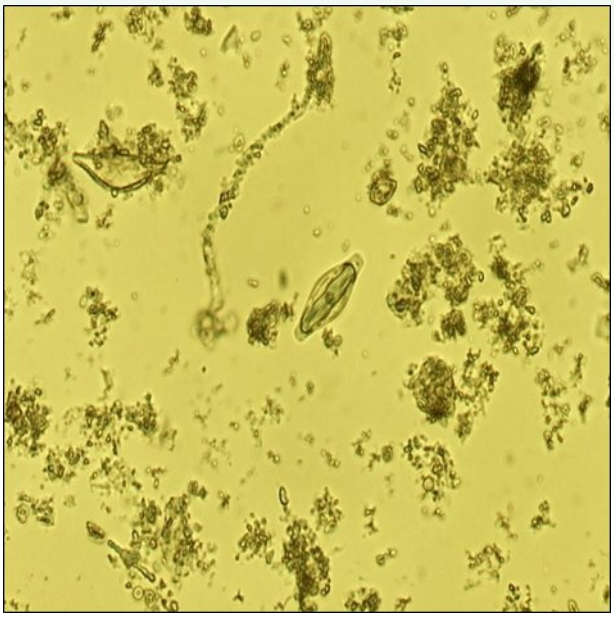
Merismopedia sp.



Chroococcus sp.



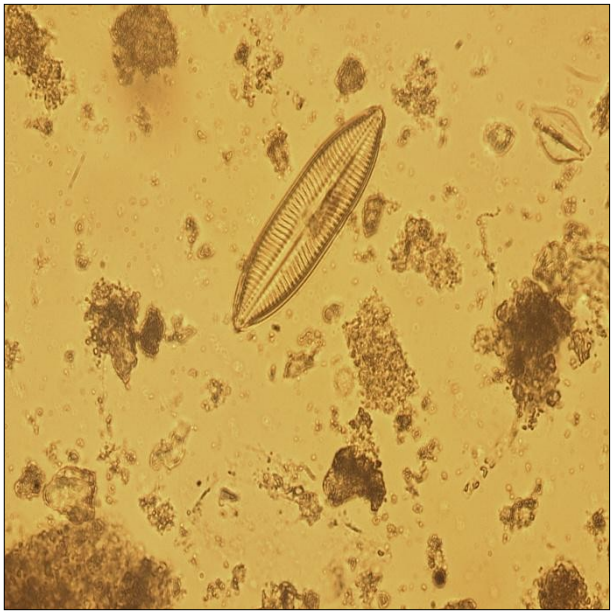
Chaetoceros sp.



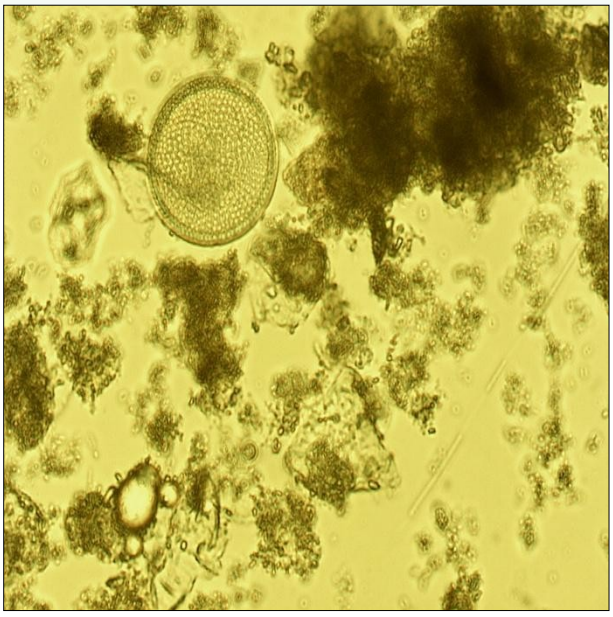
Cf. Rhopalodia sp.



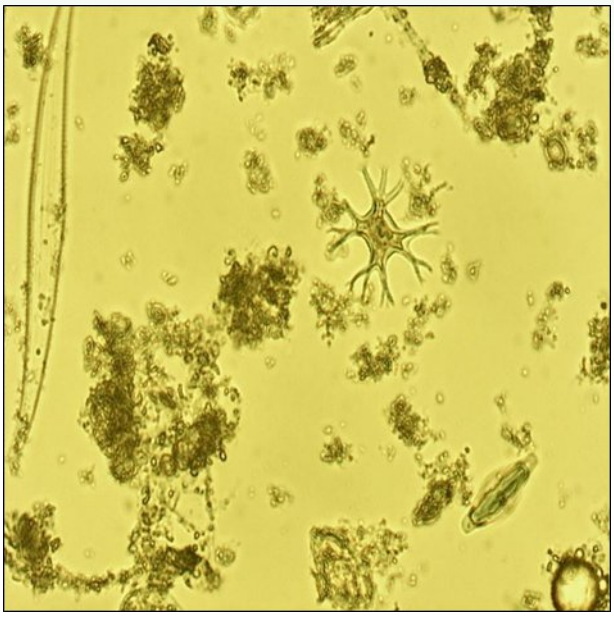
Anabaenopsis sp.



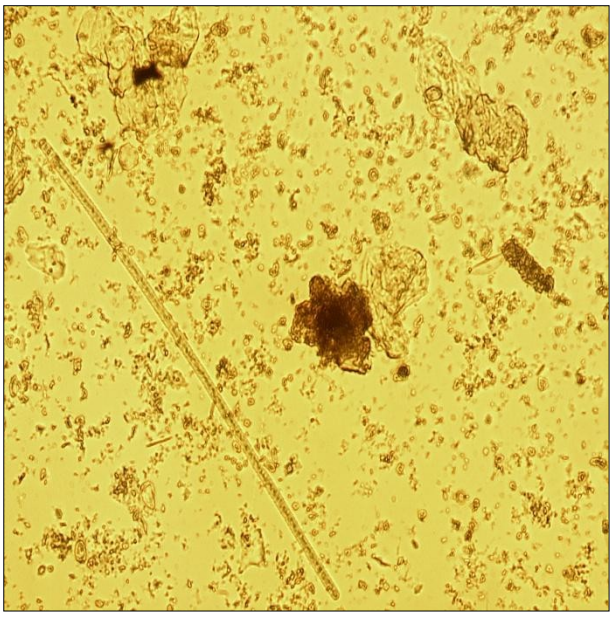
cf. Tryblionella sp.



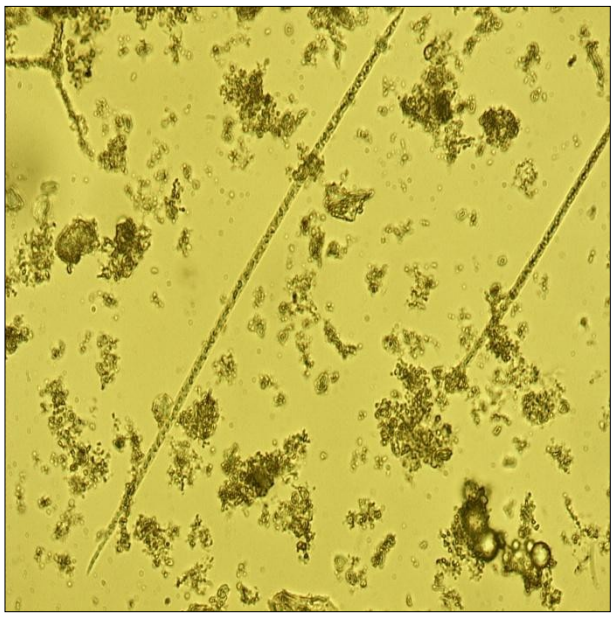
Thalassiosira sp.



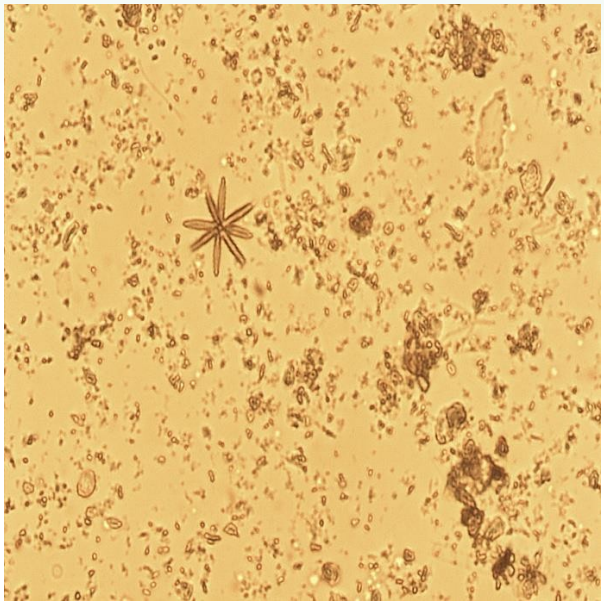
Tetraëdron sp.



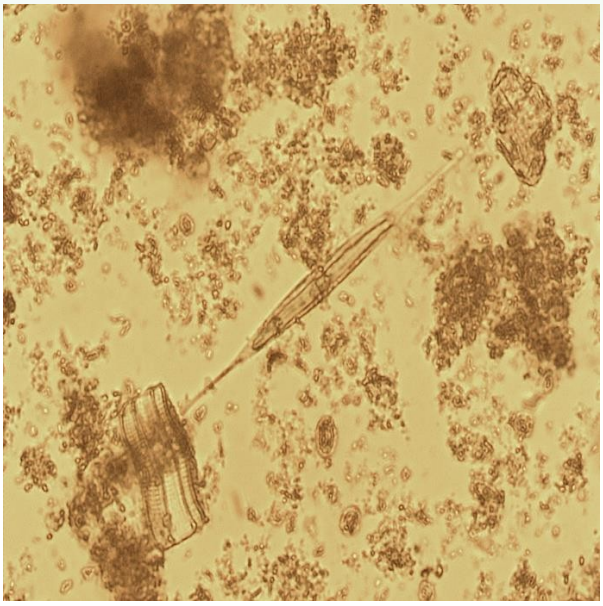
Phormidium sp.



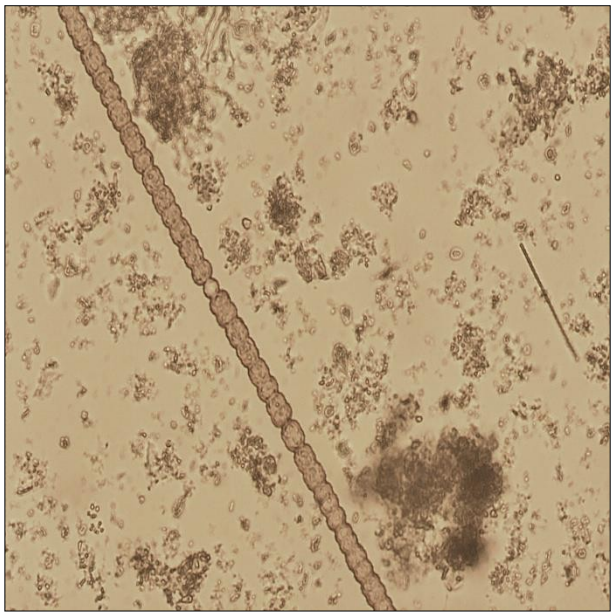
Raphidiopsis sp.



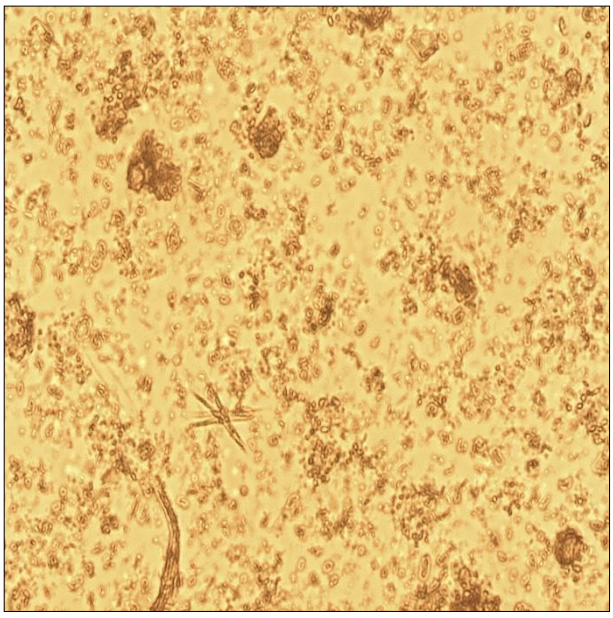
Actinastrum sp.



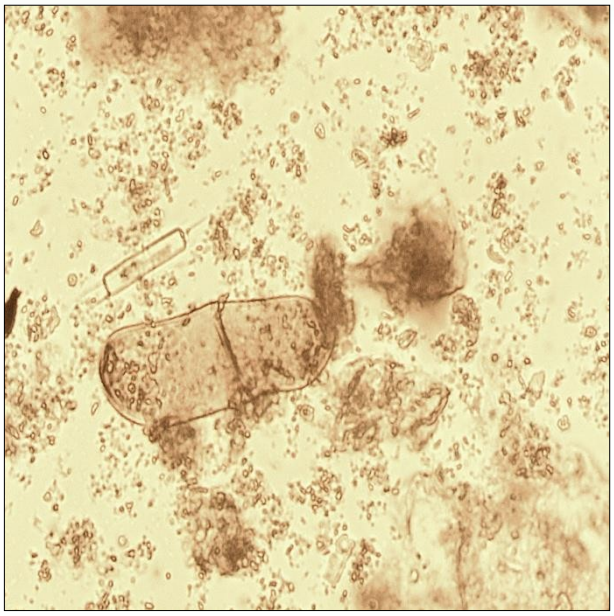
Achnanthes sp.



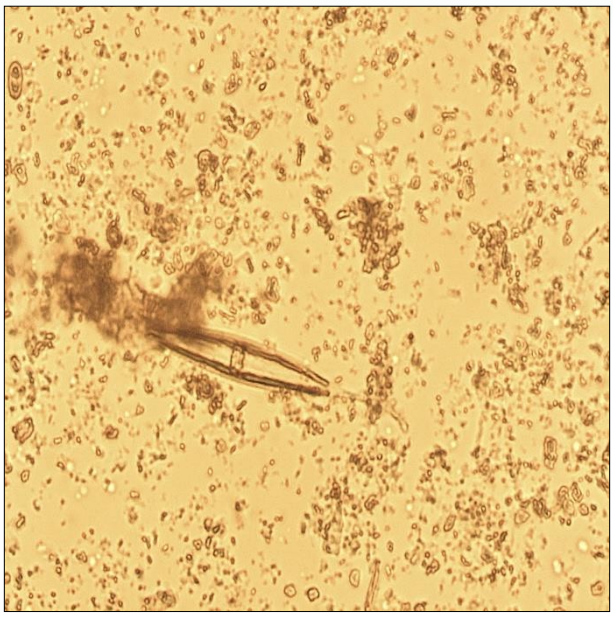
Anabaena sp.



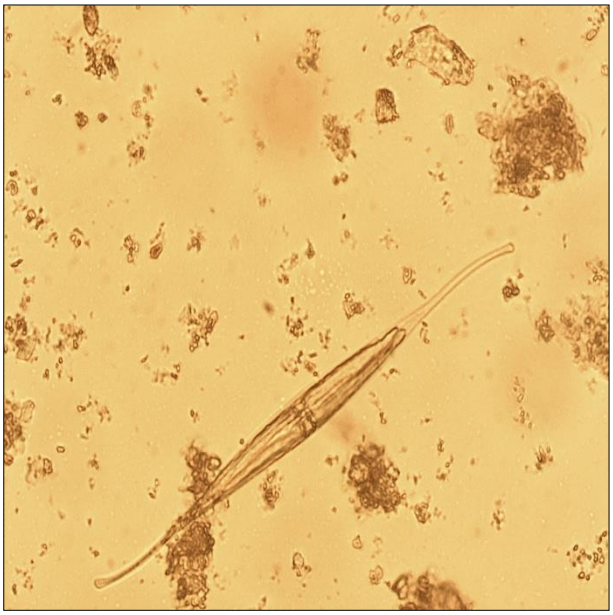
Ankistrodesmus sp.

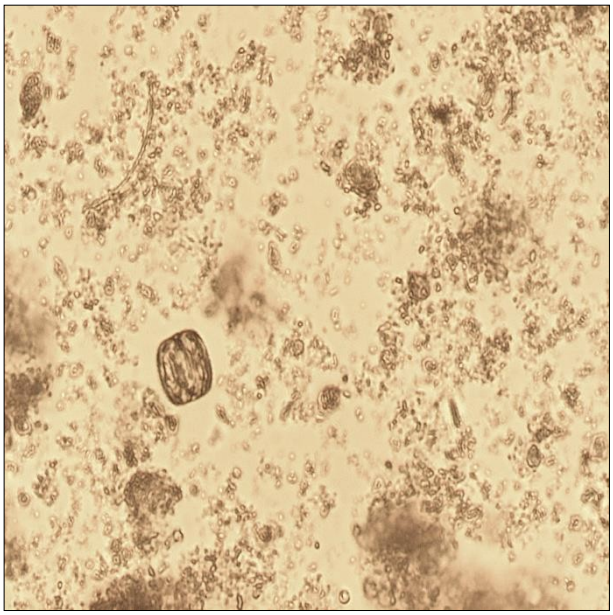


Aulacoseira sp.

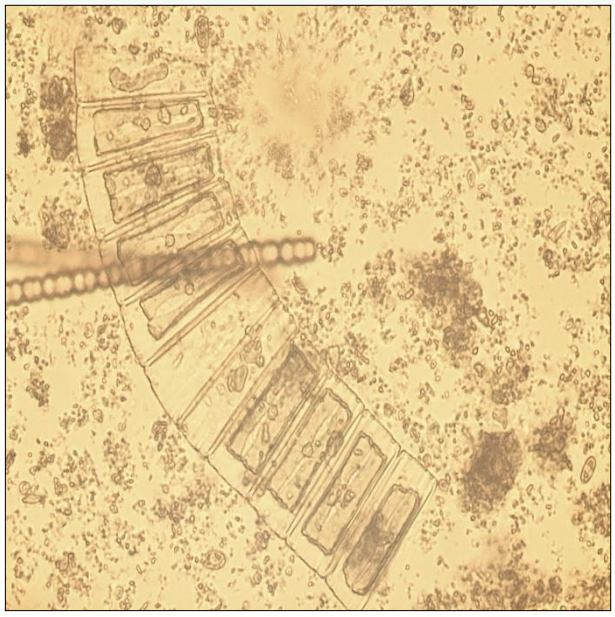


Navicula sp.

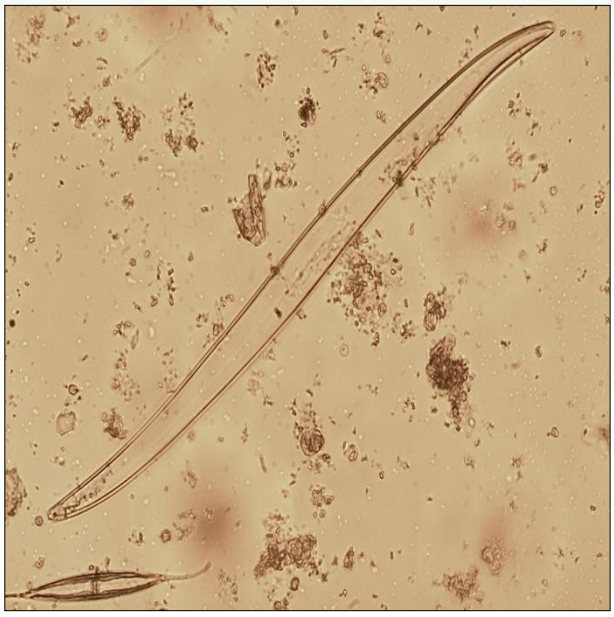




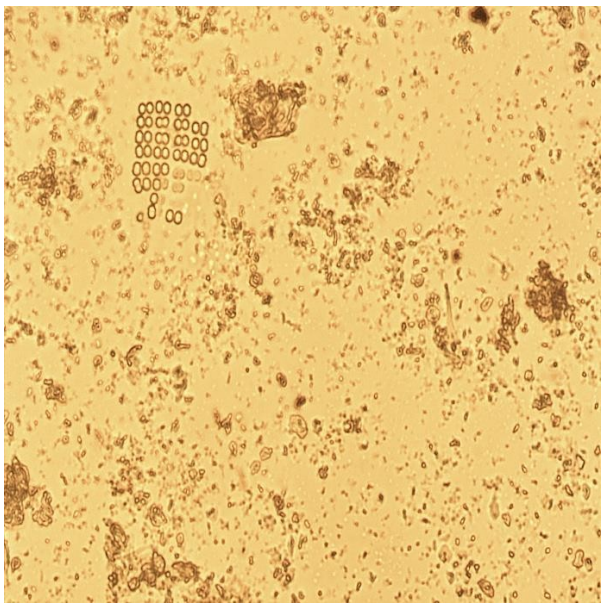
Closterium sp.



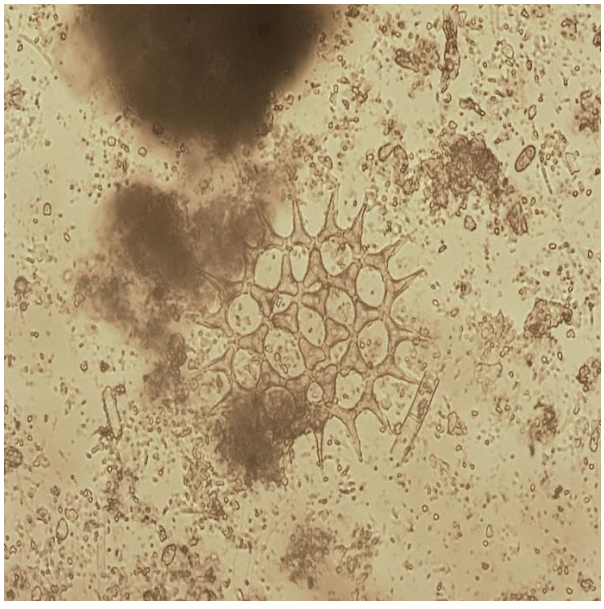
Cyclotella sp.



Eunotia sp.



Gyrosigma sp.



Merismopedia sp.

Monactinus sp.







SEDE PRINCIPAL: Cra 7 N 29 - 57 B/ Cesar Conto **Tel:**(064) 670 9126. **Cel:** 312 288 8110. **Quibdó, Chocó**
SEDE TÉCNICA: Kilometro 18 **Vía principal Quibdó - Yuto**
SEDE BOGOTÁ: Cr 7°a No: 33-49. Of. 403. Ed. Luciano Borde Tel: (061) 432 7725
SEDE BUENAVENTURA: Avenida Simón Bolívar Nº 54A-10
SEDE TUMACO: Barrio 20 de Julio. Isla del Morro
SEDE GUAPI: Cra 1°A Calle 4° Nº: 119.

www.iiap.org.co

iiap@iiap.org.co