



UNIVERSIDAD DE
MANIZALES

Maestría en
Desarrollo Sostenible
y Medio Ambiente

INTRODUCCIÓN AL MANEJO INTEGRADO
DEL MEDIO AMBIENTE



CIMAD
Centro de Investigaciones en
Medio Ambiente y Desarrollo

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS Y LA COMPOSICIÓN
DE ALGAS FITOPLANCTONICAS EN LAGUNAS DERIVADAS DE LA ACTIVIDAD
MINERA MECANIZADA EN DIFERENTES PERIODOS DE ABANDONO, EN EL
MUNICIPIO DE CÉRTEGUI, CHOCÓ

Tesis de Maestría

ZORAIDA QUESADA MARTÍNEZ

Candidata a Magister

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
“CIMAD”

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICOQUÍMICAS Y LA COMPOSICIÓN
DE ALGAS FITOPLANCTONICAS EN LAGUNAS DERIVADAS DE LA ACTIVIDAD
MINERA MECANIZADA EN DIFERENTES PERIODOS DE ABANDONO, EN EL
MUNICIPIO DE CÉRTEGUI, CHOCÓ

ZORAIDA QUESADA MARTÍNEZ
Candidata a Magister

LINEA DE INVESTIGACIÓN
BIOSISTÉMAS INTEGRADOS

ASESOR
PhD. JORGE WILLIAM ARBOLEDA VALENCIA

ASESOR EXTERNO
ING. LADY YULENIS VARGAS PORRAS
Magister en Ciencias Ambientales

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
“CIMAD”
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

Nota de Aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Manizales, 2018

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero dar gracias a Dios, por guiar mis pasos, por cubrirme con su manto y permitirme cumplir esta meta postgradual. A la Universidad de Manizales, gracias! Por abrirme sus puertas al aprendizaje, por permitirme conocer personas tan maravillosas como mis compañeros, docentes, administrativos, mi asesor Jorge William Arboleda y mi jurado de tesis Diego Hernández. Al Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, mil y mil gracias! Por creer en mi desempeño laboral desde hace 4 años, apoyar mi formación como Magister y financiar el desarrollo de mi trabajo de campo, sin este apoyo definitivamente, no hubiese sido posible materializar esta idea. Lady Vargas, Amiga, Dios mío! No tengo palabras para agradecer tanto, tu asesoría fue fundamental en todas las etapas del desarrollo de mi tesis, gracias por acompañarme, por guiarme, por recorrer junto a mi este camino. A Giovanni Ramírez, Yimmy Montoya; Esnedi Hernández, Hamleth Valois, Mayra Becerra, sin duda estuve acompañada durante las etapas de observación, identificación y elaboración de resultados, por los mejores Biólogos, gracias por ayudarme a entender este tema (algas), totalmente nuevo para mi. Al Consejo comunitario local del Municipio de Cértegui bajo la representación legal de Jhon Jairo Urrutia, gracias por aceptar y por entender la importancia de este proceso en la generación del conocimiento sobre las dinámicas ambientales y ecológicas de la lagunas derivadas de la minería como herramienta fundamental en los procesos de restauración de áreas degradadas por esta actividad. Mis compañeras de campo Yirlesa Murillo, Mayra Becerra, Lady Vargas, y mis guías de campo Esneda, Severo e Ismael, gracias, una y otra vez gracias! sin ustedes no hubiese sido posible aplicar una metodología de toma de datos en campo tan perfecta. Y por ultimo, pero no menos importante, mi Familia, a mi Papá, hermanos y a mi hijo Santiago, por entender mis ausencias, te amo y aunque las cosas pueden llegar a salir mal, por tu bienestar soy capaz de lograr hasta lo incapaz.

Dedicatoria especial a mi Madre, el tiempo jamás pasara...siempre en mi corazón, siempre en mi mente.

Zoraida

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	8
2. INTRODUCCIÓN	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
6. MARCO TEÓRICO	16
6.3. Antecedentes	20
6.4. Marco de referencia.....	30
7. OBJETIVOS.....	34
7.1. OBJETIVO GENERAL.....	34
7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
8. Hipótesis	35
9. METODOLOGÍA	36
9.1. Tipo de investigación:	36
9.2. Descripción de áreas de muestreo.....	36
9.3. Materiales y Métodos	41
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
10.1. RESULTADOS	47
10.1.1. Caracterización fisicoquímica de las lagunas.....	47
10.1.2. Comunidad de algas fitoplanctónicas.....	59
10.1.3. Relación entre algas Fitoplanctónicas y variables ambientales.....	71
10.2. DISCUSIÓN.....	76
11. CONCLUSIONES	95
12. RECOMENDACIONES	98
13. BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS.....	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos estadísticos de las variables fisicoquímicas en los escenarios de muestreo.....	48
Tabla 2. Composición taxonómica del fitoplancton.....	60
Tabla 3. Atributos de diversidad alfa por escenarios de muestreo.....	69
Tabla 4. Atributos de diversidad alfa por escenarios de muestreo.....	71
Tabla 5. Valor de significancia, inercia y porcentaje de varianza explicado para el Análisis de Correspondencias Canónicas usando las algas fitoplanctónicas y las variables ambientales	72
Tabla 6. Variables significativas explicadas para la prueba de Monte Carlo	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Cértegui-Chocó. _____	31
Figura 2. Ubicación geográfica de puntos de muestreo, municipio de Cértegui, Chocó _____	37
Figura 3. Escenario 1. Laguna con tiempo de abandono minero entre 1 a 3 años. _____	38
Figura 4. Escenario 2. Laguna con tiempo de abandono minero de 5 años. _____	39
Figura 5. Escenario 3. Laguna con 10 años de cese de la actividad minera. _____	40
Figura 6. Laguna derivada de la actividad minera. Escenario 4. Tiempo de abandono de la actividad minera 20 años. _____	40
Figura 7. Muestreo variables fisicoquímicas. En lagunas derivadas de la actividad minera _____	42
Figura 8. Muestreo de algas fitoplanctónicas. Rotulado y fijación de muestras para análisis en laboratorio. _	43
Figura 9. Comportamiento de las variables Oxígeno Disuelto y pH entre escenarios _____	50
Figura 10. Comportamiento de la Temperatura por escenarios _____	51
Figura 11. Comportamiento de los Sólidos Suspendidos y la turbiedad entre escenarios de muestreo _____	52
Figura 12. Comportamiento de las variables Conductividad y Sólidos Disueltos Totales por escenarios de muestreo _____	54
Figura 13. Comportamiento de los nutrientes ((NO ₂ , NO ₃) por escenarios de muestreo _____	55
Figura 14. Comportamiento del Fosfato (PO ₄) por escenarios de muestreo _____	57
Figura 15. Análisis de Componentes Principales (PCA) por escenarios de muestreo _____	58
Figura 16. Composición del fitoplancton por escenarios de muestreo _____	66
Figura 17. Índice de Valor de Importancia (IVI) para todas las especies registradas _____	67
Figura 18. Distribución de densidad y riqueza por escenarios de muestreo _____	68
Figura 19. Curva de acumulación de especies por escenarios de muestreo _____	70
Figura 20. CCA Biplots entre puntos y tiempos de muestreo, algas fitoplanctónicas y variables ambientales. Los puntos representan los cuatro sistemas y monitoreos y las líneas rojas simbolizan las variables ambientales. Los números corresponden a las algas fitoplanctónicas donde los taxones 66,129, 93, 70, 105,115, 3, 26, 71, 65, 102, 17, 63, 48 mostraron una mayor relación con los escenarios 20, 1 a 3 y 10 años de abandono minero (anexo 2) _____	75

Índice de Abreviaturas

Abreviatura**Término**

FAU	Unidades de Atenuación de Formazin
ICOMO	Índice de contaminación por materia orgánica
ICOSUS	Índice de contaminación por sólidos suspendidos
ind/cm ²	Individuo/centímetro cuadrado
IVI	Índice de Valor de Importancia
mg/l	miligramos/litros
MOD	Materia orgánica disuelta
NO ₂	Nitritos
NO ₃	Nitratos
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
PCA	Análisis de Componente Principal
PO ₄	Fosfatos
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TDS	Sólidos Disueltos Totales
µs/cm	microSiemens/centímetro

1. RESUMEN

Como consecuencia de la práctica minera mecanizada en el municipio de Cértegui, Chocó, se evidencian cambios biofísicos como la transformación del suelo y la generación de pozos o lagunas artificiales, que generalmente están influenciadas por una entrada de agua proveniente de fuentes hídricas superficiales y en su mayoría, por la acción de factores hidroclimáticos como la precipitación, que de acuerdo con el tiempo o periodo de abandono se van constituyendo en nuevos microambientes, toda vez que, con el paso del tiempo, son colonizadas por especies hidrobiológicas como macroinvertebrados, vegetación y fauna acuática. El objetivo fundamental de esta investigación fue realizar una evaluación de las condiciones fisicoquímicas y de la composición de algas fitoplanctónicas en lagunas derivadas de la actividad minera mecanizada en diferentes periodos de abandono, en el municipio de Cértegui, Chocó, a partir de la identificación inicial de 4 escenarios de muestreo, seleccionados de acuerdo al tiempo de abandono de la actividad minera. El escenario 1, estuvo determinado por un periodo de abandono de 1 a 3 años, el escenario 2 por un período de abandono minero de 5 años, y el escenario 3 y 4 por abandono de 10 y 20 años respectivamente. En los cuales se tomaron muestras compuestas de agua para la medición *in situ* de variables fisicoquímica e identificación de la estructura y composición de algas fitoplanctónicas. Los resultados mostraron que las variables que determinan la subsistencia de la biota en los escenarios como el oxígeno disuelto y la temperatura, presentaron coeficientes de variación menores a 8%, mostrando homogenización en los datos, mientras que las variables asociadas con el aporte de sólidos como turbiedad, sólidos

suspendidos, conductividad y sólidos disueltos presentaron coeficientes de variación entre 20,20% y 167,456%, al igual que compuestos nitrogenados como los nitritos. La comunidad fitoplanctónica en los cuatro escenarios se distribuyó en 7 divisiones, 12 clases, 33 órdenes, 54 familias, 90 géneros, 146 morfo *sp.*, conformado en total por 6,026.643 individuos, siendo los géneros mejor representados *Trachelomonas* (23,35%), seguidas de *Gymnodinium* (18,58%), *Protoberidinium* (16,45%) y las *Botrycoccus* (11,71%). Los efectos de la recuperación de las condiciones ambientales en las lagunas se evidenciaron en la distribución de la riqueza que aumento a medida que incrementa el tiempo de abandono de la actividad minera, mostrando una estabilidad a partir de los 5 años de cese de la actividad minera manteniéndose entre 101 a 104 morfo *sp.* Todos los escenarios presentaron diversidades considerables (2,2 a 3,12), mostrando que las comunidades fitoplanctónicas están bien distribuidas en las lagunas con alta similitud entre escenarios, evidenciado por el número de especies compartidas, siendo mayor entre los escenarios de 5, 10 y 20 años. Los resultados del CCA generaron un porcentaje de varianza total explicado del 59.5%, sugiriendo que la correlación entre la densidad de las algas fitoplanctónica y las variables ambientales fue importante. El analisis de los resultados permite concluir que la conformación y el establecimiento de hábitat de especies fitoplanctónicas, y por consiguiente, la incorporación de estas lagunas y el restablecimiento de áreas degradadas por actividad minera, esta condicionada a los periodos de abandono.

Palabras Claves: Restauración hídrica, Diatomeas fitoplanctónicas, disturbio minero, variables ambientales, diversidad fitoplanctónicas.

SUMMARY

As a consequence of the mechanized mining practice in the municipality of Cértegui, Chocó, biophysical changes are evidenced, such as the transformation of the soil and the generation of artificial wells or lagoons, which are generally influenced by an inflow of water from surface water sources and in their most, due to the action of hydroclimatic factors such as precipitation, which according to the time or period of abandonment are constituted in new microenvironments, since, over time, they are colonized by hydrobiological species such as macroinvertebrates, vegetation and aquatic fauna. The main objective of this research was to carry out an evaluation of the physicochemical conditions and the composition of phytoplankton algae in lagoons derived from the mechanized mining activity in different periods of abandonment, in the municipality of Cértegui, Chocó, from the initial identification of 4 sampling scenarios, selected according to the time of abandonment of the mining activity. Scenario 1 was determined by a period of abandonment of 1 to 3 years, scenario 2 by a mining abandonment period of 5 years, and scenario 3 and 4 by abandonment of 10 and 20 years respectively. In which composite samples of water were taken for the in situ measurement of physicochemical variables and identification of the structure and composition of phytoplankton algae. The results showed that the variables that determine the subsistence of the biota in scenarios such as dissolved oxygen and temperature, showed coefficients of variation of less than 8%, showing homogenization in the data, while the variables associated with the contribution of solids such as turbidity, suspended solids, conductivity and dissolved solids showed coefficients of variation between 20.20% and 167.456%, as well as nitrogen compounds such as nitrites. The phytoplanktonic community in the four scenarios was distributed in 7 divisions, 12 classes, 33 orders, 54 families, 90 genera, 146 morpho sp., Made up of 6,026,643 individuals, being the best represented genus *Trachelomonas* (23.35%), followed by *Gymnodinium* (18.58%), *Protoperidinium* (16.45%) and *Botrycoccus* (11.71%). The effects of the recovery of environmental conditions in the lagoons were evident in the distribution of wealth that increased as the time of abandonment of mining activity increased, showing stability after 5 years of cessation of mining activity staying between

101 to 104 morfo sp. All the scenarios presented considerable diversities (2.2 to 3.12), showing that the phytoplankton communities are well distributed in the lagoons with high similarity between scenarios, evidenced by the number of shared species, being higher among the scenarios of 5, 10 and 20 years. The results of the CCA generated a percentage of total explained variance of 59.5%, suggesting that the correlation between the density of the phytoplankton algae and the environmental variables was important. The analysis of the results allows concluding that the conformation and the establishment of habitat of phytoplankton species, and therefore, the incorporation of these lagoons and the restoration of areas degraded by mining activity, is conditioned to the periods of abandonment.

Key words: Water restoration, phytoplankton diatoms, mining disturbance, environmental variables, phytoplanktonic diversity.

2. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del desarrollo de la actividad minera en el departamento del Chocó, se evidencian impactos ambientales asociados a cambios biofísicos destacándose la transformación del suelo y la generación de pozos o lagunas artificiales, las cuales están en la mayoría de los casos, influenciadas por una entrada de agua proveniente de fuentes hídricas superficiales, al igual que por la acción de factores hidroclimáticos como la precipitación, por lo que tienen un comportamiento similar en cuanto a su estructura y forma, a un ecosistema lenticó como lagos, lagunas o humedales, siendo abandonadas una vez culmina el proceso minero. Los niveles de contaminación y comportamiento ecológico han sido poco estudiados. Según estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico - IIAP y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2012), en la mayoría de los casos, estas lagunas con el paso del tiempo son colonizadas por especies de macroinvertebrados, vegetación, fauna acuática y en algunos casos, han sido empleadas por las comunidades como sitios de recreación o de producción piscícola, desconociendo la pertinencia de esta práctica con relación a los niveles de mercurio que pudieran contener.

Desde el punto de vista ecológico, las lagunas artificiales se convierten en microambientes que a la vista son fuente de contaminación, debido a que durante el proceso de beneficio minero son utilizadas como sitios de disposición final de cola, generando una acumulación de sedimentos con concentración de contaminantes como mercurio que generan

afectaciones ambientales y humanas. A pesar de lo anterior, en algunos casos estas han sido empleadas por las comunidades como sitios de recreación o de producción piscícola, desconociendo la pertinencia de esta práctica con relación a las propiedades fisicoquímicas y ecológicas que pudieran contener. De esta manera, la generación del conocimiento en torno a esta investigación, se establece como una herramienta de restauración ecológica y de aprovechamiento de lagunas artificiales con diferentes edades de abandono en áreas degradadas por la actividad minera, basada en la evaluación diagnóstica de las condiciones ambientales a partir del conocimiento de sus condiciones fisicoquímicas y ecológicas, esta última a través la determinación de la composición y densidad de algas fitoplanctónicas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento del Chocó, es uno de las zonas con mayor riqueza hídrica del país y del mundo, sobre las cuales se desarrollan gran parte de las actividades productivas de la región, además de ofrecer diversidad de bienes y servicios desde el aspectos ecosistémico hasta el social y cultural. Pese a esto, el uso intensivo no planificado de los ríos y quebradas que integran el sistema hídrico del departamento, se está viendo afectado tanto en su calidad como su cantidad por el desarrollo de actividades como la minería mecanizada, la cual además de generar grandes perturbaciones sobre el agua, trae como consecuencia la formación de grandes extensiones de áreas degradadas en las cuales se evidencian cambios en la estructura y composición del suelo, deforestación de áreas de bosques, pérdida de hábitat y conectividad de especies biológica y entre otros, la formación de grandes pozos o lagunas

por acción del uso de retroexcavadoras con fines de explotación, las cuales son abandonadas sin ningún tipo de tratamiento o recuperación, una vez termina la actividad. Dichas lagunas, se perciben como un nuevo ecosistema en el cual pueden habitar diferentes especies típicas de ambientes lenticos como las algas, macroinvertebrados, vegetación y fauna acuática.

La problemática que se genera en torno a la actividad minera mecanizada en el departamento del Chocó, está relacionada con la falta de planificación de esta actividad por parte de propietarios y administradores de entables mineros, la no ejecución de acciones consonantes con la naturaleza, la diversidad y complejidad ecosistémica de la región. Adicionalmente, no se han implementado estrategias de manejo integrado del medio ambiente y protección de los recursos naturales acorde con las políticas ambientales, la normatividad ambiental y minera (Ley 685 de 2001, Decreto 2390 de 2002, Ley 1382 de 2010, Decreto 1970 de 2012, entre otros) y planes de desarrollo nacional y regional, falta de estudios previos a la actividad en donde se tenga un conocimiento como línea base del entorno ambiental y ecosistémico que dé cuenta de las características y propiedades ecológicas de cada uno de los componentes que integran dichos ecosistemas (agua, suelo, fauna, flora, entorno social local y regional). Se suma a lo anterior, un deficiente aprovechamiento de la información requerida para la elaboración de estudios ambientales y un desconocimiento de los potenciales de restauración de áreas degradadas por la actividad minera a cielo abierto mecanizada en el departamento del Chocó.

4. JUSTIFICACIÓN

El conocimiento que se tiene del estado de la calidad ecológica de las lagunas artificiales en áreas degradadas por minería en el Departamento del Chocó en relación a la estructura y composición del fitoplancton, así como el estado trófico de estos ambientes hídricos es nulo, por lo que no existe información relacionada con la disponibilidad del recurso y sus capacidades de incorporar materia orgánica para un posible establecimiento de hábitat de especies, de acuerdo a la edad o tiempo de abandono de estas áreas.

Pese a que existen avances en la generación de conocimiento en torno a la investigación de las condiciones biofísicas y bióticas de áreas degradadas por la actividad minera, estas lagunas artificiales, carecen de información en cuanto a su calidad ecológica, a pesar de que han sido en algunos casos utilizadas como áreas de recreación o de establecimiento de sistemas productivos como la piscicultura, desconociendo la pertinencia de estas prácticas en relación a la calidad fisicoquímica del agua que incide en la formación y establecimiento de hábitat de especies. Por esta razón, el desarrollo de esta investigación no solo contribuye a la generación de nuevos conocimientos sobre la calidad ecológica de lagunas o pozos generados por la minería mecanizada en diferentes épocas de abandono, sino también, se constituye en una herramienta que puede facilitar a las autoridades y entidades ambientales la toma de decisiones en torno al aprovechamiento, ordenación, manejo y conservación de áreas degradadas en toda la región, partiendo del conocimiento diagnóstico de sus

características ecológicas a través de la medición y análisis de variables fisicoquímicas y composición del fitoplancton en estas áreas o microambientes.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo cambian las condiciones fisicoquímicas y la composición de algas fitoplanctónicas en lagunas derivadas de la actividad minera mecanizada en diferentes periodos de abandono, en el municipio de Cértegui, Chocó?

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Minería: tipos, impactos:

La Minería es una ciencia, que implica técnicas y actividades relacionadas con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y al tratamiento de una mina o la roca asociada. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie, consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre (Chala y Trochez, 2011).

La minería a cielo abierto, mediante el uso de maquinaria pesada, ha generado en el departamento del Chocó impactos ambientales que de acuerdo con Ramírez (2007) están asociados con procesos desde la exploración, etapa en la que se abren zanjas, se preparan y abren caminos y carretables de gran envergadura para el transporte de maquinaria pesada para esta industria; hay permanentes explosiones sobre las áreas a estudiar, se destruye parte del bosque con la fauna y la flora que la contienen, se desvían ríos, quebradas, se impactan los nacederos de agua, se comienza a desplazar al poblador natural de la región, se presiona la venta de las tierras que se utilizarán en la mina y en las zonas de amortiguación.

De manera particular, sobre el componente hídrico, los impactos generados son de amplio alcance y de difícil control y mitigación, ya que una vez los contaminantes son vertidos, entran a formar parte de todo un sistema ambiental y ecológico integrado por varias fuentes hídricas conectadas entre sí, lo que hace que dichos contaminantes se muevan a través de ellas, impidiendo su remoción con facilidad. Adicionalmente, la gran mayoría de las excavaciones realizadas durante el proceso minero, son abandonadas una vez culmina la actividad, generando en las áreas disturbadas pozos o lagunas, las cuales en la mayoría de los casos, con el paso del tiempo son colonizadas por especies de macroinvertebrados, vegetación, fauna acuática y en algunos casos estas han sido empleadas por las comunidades como sitios de recreación o de producción piscícola, desconociendo la pertinencia de esta práctica con relación a los niveles de mercurio que pudieran contener (IIAP et al. 2012).

6.2. Comunidad de algas fitoplanctónicas en ambientes cambiantes:

- **Composición del Fitoplancton:** El fitoplancton es un conjunto diverso de plantas microscópicas (Meadows y Campbell, 1978) unicelulares (Wetzel, 1981) cuyo movimiento es dependiente de la circulación del agua (Turk, Turk, Ittes y Wittes, 1981) y constituye el primer nivel trófico en los ecosistemas acuáticos (Round, 1973; Chisholm, 1992). Una característica importante del fitoplancton es la fotosíntesis autotrófica como vía principal de nutrición y síntesis de nueva materia orgánica para el organismo (Wetzel, 1981), esta función fisiológica se debe en gran medida, a la presencia de los pigmentos fotosintéticos (clorofilas, carotenoides y biliproteínas).
- **Características de desarrollo y crecimiento:** La luz, temperatura, pH, entre otras afectan el crecimiento y la asimilación de nutrientes en las microalgas, (Stevenson J. et al., 1996). La luz es la fuente de energía que lidera las reacciones fotosintéticas, por lo que la calidad, cantidad y fotoperiodo deben ser considerados al trabajar con microalgas ya que estas varían de acuerdo al tipo, afectando al crecimiento y a la síntesis de compuesto orgánicos como lípidos, carbohidratos y proteínas. Asimismo si la intensidad de la luz es muy fuerte se da el efecto de fotoinhibición, disminuyendo su crecimiento (Barsanti y Gualtieri, 2006).

La temperatura también regula el metabolismo de las microalgas, así como también la composición de la biomasa y la velocidad de crecimiento, siendo el rango óptimo para la mayoría de microalgas, entre 18 y 22°C (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO 2008). Con respecto al pH, el rango óptimo de la mayoría de microalgas se encuentra entre 7 y 9 (FAO, 2009), siendo soportables valores mayores a éstos, ya que valores ácidos generalmente causan muerte de las microalgas. Diversos valores de pH ocasionan disociación de ciertas sales en sus componentes, pudiendo estos últimos tener efecto tóxico o inhibitorio para el crecimiento microalgal (González, 2000).

La turbulencia es de gran relevancia ya que permite una distribución homogénea de las microalgas en su medio, facilita la asimilación de nutrientes y captación de la luz, mejora el intercambio gaseoso y posee función termorreguladora (González, 2000). El nitrógeno representa el 7-10% en peso seco y forma parte de moléculas esenciales como proteínas, clorofila, ácidos nucleicos, entre otros (Richmond, 2004). El fósforo también es otro macronutriente importante que interviene en los procesos metabólicos para un crecimiento y desarrollo normal de las microalgas, generalmente constituye el 1% en peso seco (Richmond, 2004).

6.3. Antecedentes

Pese a que existen muchos estudios relacionados con la calidad fisicoquímica y ecológica mediante el uso de algas del fitoplancton como bioindicadores, los esfuerzos de investigación se han centrado en áreas de muestreo relacionadas con embalses, lagos, lagunas naturales y ciénagas del plano de inundación de grandes cuencas hidrográficas. Lo que pone en evidencia, un enorme vacío de investigación en relación a esta temática aplicada en lagunas derivadas artificialmente o por actividad minera de oro y platino a cielo abierto. Los esfuerzos de investigación en relación a la minería en el Chocó, se han centrado en la caracterización y evaluación ambiental de áreas degradadas por esta actividad, principalmente fuentes hídricas y componentes asociados como fauna, flora y dinámicas socioeconómicas y culturales. Poniendo de manifiesto el enorme vacío de investigación referente al conocimiento de las dinámicas fisicoquímicas y ecológicas de las lagunas que se derivan del desarrollo de prácticas mineras mecanizadas a cielo abierto en esta región.

Algunos estudios sobre impactos generados por la actividad minera en el Chocó, son los escritos por Vargas (2012), relacionado con el Análisis de los impactos generados por la minería de oro y platino a cielo abierto sobre los recursos hídricos a partir de la cuantificación del consumo de agua y la carga contaminante de los vertimientos. En este estudio se cuantificó el consumo de agua y se caracterizaron los vertimientos en 6 entables mineros con diferentes técnicas de extracción de oro a cielo abierto en 3 localidades del

departamento del Chocó. Los resultados mostraron que el consumo de agua requerido para el desarrollo de prácticas mientras oscila entre 184.800 y 592.200 GPD dependiendo de la técnica de extracción empleada y que se vierten entre 10'315.052 y 186'062.400 kg/año de sólidos, afectando las condiciones fisicoquímicas del agua, que limitan la capacidad de dichas fuentes para soportar su vida acuática, y los procesos biológicos derivados de ella y la utilización del recurso en diferentes actividades socioeconómicas y culturales por parte de las comunidades.

Vargas, Quesada, Ramírez y Valoyes (2010), realizaron un Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por la actividad minera en el municipio de Atrato, Chocó. En este estudio se priorizó un área mediante ponderación de criterios como ubicación, extensión, cobertura vegetal y disponibilidad de agua. El diagnóstico ambiental generalizado permitió concluir que la minería genera grandes áreas deforestadas que traen consigo la emigración de especies de fauna y extinción de especies florísticas, así como la sedimentación y desviación de los cuerpos de agua utilizados durante la actividad minera.

Con el fin de generar instrumentos de gestión entorno a la recuperación de áreas degradadas por la actividad minera, IIAP et al. (2012). Formularon un Protocolo de restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto de oro y platino en el Chocó Biogeográfico. Esta investigación constituye un protocolo de restauración ecológica para áreas disturbadas por minería en el Chocó Biogeográfico, el cual surge como resultado de

la caracterización de los impactos causados por la actividad en los diferentes componentes ambientales y procesos ecosistémicos, el análisis de los bienes y servicios que se pierden con este disturbio, las barreras y potencialidades para la restauración. La propuesta contempla estrategias, tratamientos y monitoreo para el restablecimiento de fauna y flora en tres escenarios planteados a partir de observaciones realizadas en campo e incluye medidas de control de vertimientos, manejo de lagunas generadas por minería, medidas de mitigación de impactos en el componente hídrico, edáfico y sociocultural.

En esta misma línea, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, IIAP y la Universidad Tecnológica del Chocó, UTCH (2016) formularon Lineamientos de manejo ecosistémico post – aprovechamiento minero en ambientes naturales del Chocó, Colombia, los cuales se consolidan como una herramienta contextualizada de recuperación ecosistémica en áreas degradadas por minería en el departamento del Chocó, donde se presentan estrategias de manejo pre, durante y post aprovechamiento minero, las cuales se describen por componentes tanto abióticos (fuentes hídricas y suelo), como bióticos (flora y fauna). Esta herramienta fue concebida a través de investigaciones de campo realizadas en la Subregión del San Juan, Chocó, Colombia.

Algunos estudios sobre calidad fisicoquímica del agua en fuentes hídricas afectadas por minería en el Chocó, son los realizados por Restrepo (2015), donde se hizo una Evaluación de la calidad del recurso hídrico del río Cabí a través de la formulación de un índice de

contaminación asociado a la actividad minera aurífera. En esta investigación se evaluó la calidad del recurso hídrico del río Cabí a través de la formulación de un índice de contaminación asociado a la actividad minera aurífera; los resultados mostraron a través de la aplicación del ICOMO e ICOSUS que la contaminación por materia orgánica es “Alta” en el tramo IV, sector cercano al casco urbano de Quibdó y “muy baja” contaminación asociada esta a los sólidos suspendidos totales, lo que evidencia que estas herramientas son insuficientes para determinar una afectación por contaminación minera.

Mosquera (2016), en su investigación sobre la Evaluación exploratoria de la calidad del agua del río San Juan en el municipio de Tadó, Chocó, por el impacto que causan los vertimientos mineros, realizó un análisis sobre la afectación que causan los vertimientos mineros en el río San Juan y sus afluentes ríos Chato y Mungarrá en el municipio de Tadó. Los resultados mostraron índice de contaminación por mineralización alto en las estaciones de muestreo correspondientes al río San Juan y la bocatoma río Mungarrá, índice de contaminación por materia orgánica media en tres estaciones de muestreo, índice de contaminación por sólidos suspendidos alto en las estaciones correspondientes al río San Juan, bocatoma río Mungarrá y río Chato; finalmente, el índice de contaminación por minería aurífera presentó un valor muy alto en la zona correspondiente al río Chato, siendo preocupante las concentraciones de mercurio encontradas.

Otros estudios sobre la temática referida, los constituyen las caracterizaciones ambientales realizadas por IIAP (2014), en la cuales se evaluó de la calidad fisicoquímica y ecológica del río Quito, como herramienta de análisis de los impactos ocasionados por la minería y su importancia ecosistémica y sociocultural. Los resultados de esta investigación, en relación al análisis del estado y calidad de las fuentes hídricas, y de los ecosistemas asociados representados en la flora, fauna y sistema social en el municipio de Río Quito, dan cuenta de la problemática ambiental y social, asociados principalmente a la explotación de recursos naturales mediante explotación minera. Contiene además, un análisis sobre los posibles efectos ocasionados por la minería a cielo abierto sobre estos recursos y se plantean estrategias de conservación y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico del río Quito y sus ecosistemas asociados.

Otros estudios antecedentes, que componen el estado del arte sobre el conocimiento que se ha generado en torno a las algas fitoplanctónicas como bioindicadoras de calidad de agua. Indicándose que esta temática ha sido fuertemente estudiada en varios escenarios hídricos a nivel global. Pese a esto para el departamento del Chocó, las investigaciones se han centrado en el conocimiento de la calidad ecológica de ciénagas, lagunas naturales, ríos y aguas costeras. Para el caso específico de las ciénagas que están asociadas al plano de inundación del río Atrato, Asprilla, Ramírez y Roldan (1988), realizaron una Caracterización limnológica preliminar de la ciénaga de Jotudó, Chocó, Colombia. El estudio limnológico de esta ciénaga, a partir de la determinación de la estructura y composición del fitoplancton, registró 64 taxas, de las cuales 27 pertenecen al grupo

Dismidiáceas, lo que equivale al 42% del total de la composición, seguido de *Chlorophyceae*, *Cyanophyceae*, *Bachilariophyceae*, *Euglenophyceae*, y *Dinophyceae*. De acuerdo con los resultados de esta investigación, los autores concluyen que los planos de inundación de los ríos Atrato y Munguidó no afectan la composición fisicoquímica de la ciénaga, tratándose de un ecosistema cuya dinámica esta altamente influenciada por la pluviosidad.

Cuesta, Hurtado, Ramírez (2011), en su estudio sobre Diversidad de las algas y los macroinvertebrados y su relación con la productividad trófica de la ciénaga Grande de Beté, Medio Atrato, Chocó, encontraron que la comunidad de algas de la zona limnética y el espejo de agua de la ciénaga Grande, estuvo representada por cuatro divisiones y 31 especies, siendo la *Chlorophyta* la de mayor abundancia con 11 *sp.* El análisis de los resultados infirió que a nivel trófico las algas y los macroinvertebrados juegan un papel importante en la producción primaria de la ciénaga Grande de Beté, que se ve soportado por las altas abundancias y la gran diversidad, permitiendo a este ecosistema tener una oferta de recursos permanentes, y definir el establecimiento de una gran variedad de vida, clave para el mantenimiento y subsistencia de peces, aves y demás grupos que ocurren allí.

Para el caso de la composición del fitoplancton en lagunas naturales, el IIAP (2017), realizó una Caracterización ecológica de un complejo lagunar del río Berreberre, en la Cuenca media del río Baudó. El área de muestreo de variables fisicoquímicas y toma de

muestras para análisis del fitoplancton, estuvo definida por 3 sistemas lagunares de origen pluvial, caracterizados por un espejo de agua léntico, permanente, con aislamiento de las aguas de desborde y del pulso de inundación del río Berreberre. En las tres lagunas analizadas se encontró una importante presencia de organismos de la división *Bacillariophyta*, también llamadas diatomeas, las cuales presentan una amplia distribución en diversos ambientes; identificándose también, una importante presencia del género *Euglena* sp. de la división Euglenophyta, género que ha sido asociado a lagos mesotróficos de aguas blandas y que también ha estado comúnmente presente en aguas contaminadas, por lo que si bien no se identificó una estructura fitoplanctónica reducida que pueda relacionarse con afectaciones graves por contaminación en los sistemas acuáticos evaluados, posiblemente puedan estar desarrollándose procesos de polución que afecten la calidad del agua y que en algún momento puedan favorecer la proliferación de organismos resistentes a factores contaminantes como *Euglena* sp.

En el caso de aguas costeras, la composición y estructura de algas del fitoplancton ha sido estudiada por Arteaga, Rodríguez y Galeano (2008), en su estudio sobre Distribución, abundancia y composición del fitoplancton y condiciones ambientales En la cuenca Pacífica colombiana, durante Enero - Febrero de 2007, en el cual se establecieron áreas de muestreo que incluyeron el área triangular frente al departamento del Chocó, plano sobre el cual se siguió una malla preestablecida, conformada por 45 estaciones de muestreo. Los resultados mostraron una distribución cuantitativa y cualitativa del fitoplancton enfatizado en diatomeas y dinoflagelados y las condiciones ambientales observadas en la Cuenca

Pacífica Colombiana. Para los dinoflagelados los valores estuvieron entre los 95 a 2071 células L-1 en superficie y entre 19 y 435 células L-1, para los 50 m de profundidad. En diatomeas, tanto superficialmente como a 50 m de profundidad, los taxones predominantes por su mayor abundancia y frecuencia fueron *Chaetoceros*, *Pseudo-nitzschia*, *Leptocylindrus* y *Cylindrotheca*; mientras que para los dinoflagelados lo fueron *Oxytoxum* y *Gymnodinium*.

IIAP, (2016 y 2017), en el ejercicio de su labor investigativa, ha realizado caracterizaciones ecológicas de aguas costeras en el Chocó Biogeográfico. Específicamente para el departamento del Chocó, se realizaron monitoreos de la calidad fisicoquímica y ecológica de las aguas costeras en Nuquí, influenciada por el raporte de contaminantes urbanos del río Acanchí (2016) y en Bahía Solano, bajo la influencia de la desembocadura del río Jella y sus aportes contaminantes (2017). De acuerdo con los resultados, el fitoplancton en la Bahía de Nuquí a nivel general reportó un total de 203 individuos, agrupados en 5 divisiones, 7 clases, 13 órdenes, 13 familias y 15 géneros o morfotipos. De esta comunidad, las algas más representativas fueron las *Bacillariophytas*, tanto en términos de diversidad como en abundancia con el 73,3% de los individuos y el 66,66% de los géneros respectivamente (10) seguidas de las algas *Cryptophytas* con el 12,8% de los individuos, luego las *Euglenophytas* con el 7,87% de los individuos y las menos abundantes fueron las divisiones *Cyanophyta* y *Chlorophyta* con el 1,47% de los individuos. En Bahía Solano, el fitoplancton estuvo conformado en total por 3.939 células agrupadas en 4 divisiones, 6 clases, 8 órdenes, 11 familias y 11 géneros o morfotipos. De esta composición, las algas más representativas

fueron las *Bacillariophytas*, en términos de abundancia y en diversidad con el 65,20% de los individuos y el 61,53% de los géneros (8). A esta división le siguen en abundancia, las algas *Chlorophytas* con el 21,12% de los individuos. En cambio, en menor proporción, se encontraron las *Dynophytas* y las *Cyanophytas* con el 4,18% de los individuos.

Los estudios donde se analizan la relación de las condiciones fisicoquímicas y la composición de algas, en ecosistemas hídricos perturbados por actividad minera son los realizados por Vargas (2016), quien efectuó un Diagnóstico de la calidad ecológica a través de algas perifíticas en escenarios hídricos afectados por minería a cielo abierto en diferente temporalidad, en el corregimiento de Jigualito (Condoto, Chocó), en cuatro fuentes hídricas con distintos tiempos de cese del disturbio. Como resultado, se encontró que a mayor temporalidad del cese de la actividad, hay una reducción en los niveles de contaminación del recurso, debido a que disminuyen las concentraciones de material suspendido y los nutrientes. Adicionalmente se encontró que en los escenarios o estaciones muestreadas predominaron las diatomeas y algas verdes, siendo el 57% de la densidad representada en cuatro especies *Frustulia romboides* (37.5), *Eunotia aff minor* (10.1), *Frustulia sp1* (4.98) y *Ulothrix sp* (4.02), con características cosmopolita y de tolerancia a fluctuaciones en las condiciones ambientales.

Lagarejo (2015), realizó un Análisis de los impactos ecológicos generados por la actividad minera sobre los ensamblajes ícticos en complejos cenagosos de Sanceno y Puné en la

cuenca Media del Atrato. La investigación se desarrolló con el propósito de determinar la composición y estructura de los ensamblajes ícticos, analizar la dinámica fisicoquímica de los humedales y su relación con la actividad minera, así como analizar los cambios en la composición y estructura de los ensamblajes ícticos, frente a las variaciones fisicoquímicas de los complejos cenagosos provocadas por la actividad minera. En general, la mayoría de las variables fisicoquímicas, son afectadas fuertemente por el aumento de sedimentos generados como resultado de la actividad minera, los cuales alteran de forma significativa la dinámica fisicoquímica del ecosistema acuático. Así mismo, fueron pocas las especies que se correlacionaron con las variables fisicoquímicas. Por otro lado el alto porcentaje de especies que no se correlacionaron con las condiciones fisicoquímicas de las ciénagas (70,5%), es un indicativo del alto nivel de tolerancia de las mismas a cambios en las condiciones ambientales.

El análisis general permite concluir, que en cuanto a la generación de información científica sobre las características fisicoquímicas y su relación con la comunidad de algas del fitoplancton, muestran que existe un gran vacío de información en lagunas derivadas de la actividad minera. Por lo que, el desarrollo de esta investigación cobra importancia, toda vez que el análisis de los resultados que se obtengan se pueden constituir en una herramienta de análisis para el restablecimiento y aprovechamiento de áreas degradadas por el desarrollo de esta actividad.

6.4. Marco de referencia

El municipio de Cértegui se encuentra localizado en la región Pacífica Colombiana, en el departamento del Chocó, en la subregión del Atrato con una extensión de 342 Km². La cabecera municipal se encuentra ubicada entre las coordenadas 5°41'41'' de Latitud Norte y los 76°39'40'' de Longitud Oeste. Los límites oficiales son: Norte: con los municipios de Atrato y Lloró; Sur: municipios de Unión panamericana y Tadó; Oriente: municipios de Lloró y Bagadó y Occidente: municipios de Río Quito y Cantón del San Pablo. Se encuentra a una altura de 43 m.s.n.m. aproximadamente y se localiza en la confluencia de los ríos Quito y Cértegui, al final de un desvío en el corregimiento de la variante en la vía Quibdó -Animas y dista de la capital del departamento 48 Km por vía terrestre, (IIAP, 2005).

Presenta una temperatura media de 28°C, con una precipitación media anual entre 4000 y 8000 mm y humedad relativa del 85 y 93%. De conformidad con el clima, los tipos de bosques presentes en el municipio son: Bosque muy húmedo Tropical (Bmh-T) y el Bosque pluvial Tropical (Bp-T). El municipio está conformado por cinco (5) corregimientos y once (11) veredas, de los cuales 44 km² es la extensión del área urbana y 298 km² son para el área rural. Los corregimientos del municipio son: Cértegui, Variante de Cértegui, La Toma, Paredes y Parecito. Las veredas son: Memera, Carretera, Ibordó, Lobo, Paso de Cértegui, Cachara, Recta Larga, Candelaria, Don Victor, El Desecho, Boca de Guapandó, Japón, La Platina, Platinita, El 40, La Certegueña, Dos Bocas, Majagual, El Chorrillo, Bocas de

Paredes, Aguasal, Aguasalito, Pichanga, Pichanguita, El Chorro, Nauca, Los Lirios y La Linea (IIAP, 2005), (Figura 1).

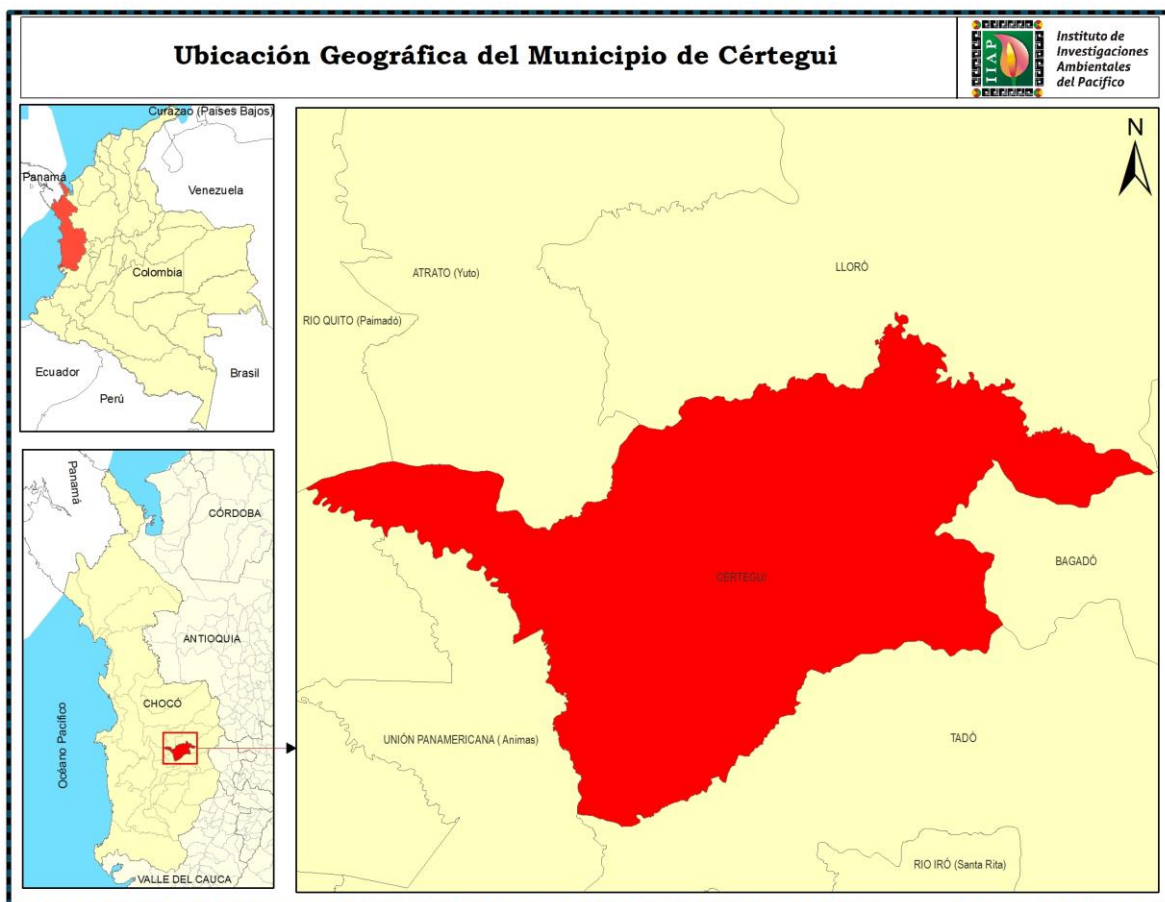


Figura 1. Localización del municipio de Cértegui-Chocó.

- Aspectos Físico-Bióticos

La flora nativa, está representada por innumerables especies; muchas todavía abundantes, otras que pueden ser endémicas y de gran importancia y valor comercial y cultural; y otras

en proceso de notoria disminución. Entre la vegetación boscosa con apreciable masa forestal sobresalen principalmente las especies anime, guamo, guascas, carbonero, variedad de palmas, guayacanes, caimitos, nuánamo, lechero, zanca de araña, carrá, hueso, manteco, trúntago, mestizo, guamos, sorogá, mora, cuangare, chanó o chanú, algarrobo, verdence, carate, mamey, volador, canime, lirio y lechero. Por otro lado, la fauna silvestre está constituida por diferentes clases y especies de mamíferos, reptiles, anfibios, aves y recursos pesqueros. Entre los mamíferos se encuentran la guagua, el guatín, variedades de ratones, armadillo, chucha, ardilla, venado, entre otros, entre los reptiles: las cazadoras, jepá, platanillo, tortuga, babilla, iguanas, boa, equis, variedades de ranas y sapos; entre los peces, se pueden citar variedades de sardinas, sabaletas, gunguma, charre, jojorro, rollizo, guacucos, micuros y mojarras, bocachico, (IIAP, 2005).

Análisis Hídrico: Cértgui cuenta desde el punto de vista hidrográfico con abundantes cursos de agua en forma de ríos y quebradas, los cuales se convierten en una de las principales vías de comunicación de sus habitantes. El recurso agua cuenta con dos grandes cuencas hidrográficas que son la cuenca del río Quito y la cuenca del río Cértgui. Otras fuentes hídricas importantes en el municipio, la constituyen el río Paimadó y las quebradas Paimadocito, Guayacán, el Cano, Guapandó, Candelaria, Ibordó, Agua Sal, Paredes, Caló, La Loma y otras (IIAP, 2005).

- Servicios Públicos Domiciliarios

En cuanto a acueducto, la cobertura de este servicio es nula, debido a que en ninguna de sus poblaciones cuenta con redes; la comunidad suple este servicio abasteciéndose generalmente de aguas lluvias y de quebradas que circundan los centros poblados. En alcantarillado, el municipio cuenta con un sistema adecuado para la recolección de desechos líquidos provenientes de residencias, edificios e instituciones, el cual está compuesto de colectores secundarios, colectores primarios, interceptores y un emisario que hace su disposición final de vertimientos de aguas servidas en forma directa al río Quito. Las fuentes hídricas como son los numerosos ríos y quebradas que circundan las poblaciones se ven afectadas por la cantidad y frecuencia de los vertimientos, los cuales se hacen a través de tubos, mangueras, zanjas y letrinas, (IIAP, 2005)

- Actividades Económicas

El municipio de Cértegui presenta distintos tipos de economía basados principalmente en el aprovechamiento maderero selectivo de alto valor comercial, caza y/o pesca de subsistencia, la cual es la actividad que abarca el mayor porcentaje del territorio del municipio de Cértegui y realizada por los nativos en bosques ríos y quebradas, especialmente en la zona este del municipio y la minería. Al respecto, esta actividad se ejerce en las rondas de los principales ríos y quebradas, aguas arriba de Cértegui, río Cértegui, corregimiento La Variante, río Quito cerca del desecho y en la parte baja del río

Guapandó; básicamente esta unidad se localiza sobre las riberas y en las partes medias y bajas de los principales ríos del municipio, (Quito, Cértegui), lo que trajo consigo la sedimentación de algunas cuencas. En el orden ambiental la explotación con draguetas ha impactado negativamente el recurso agua y sus ecosistemas por el vertimiento permanente de aceites y otros derivados de hidrocarburos, así mismo el mercurio que se utiliza en muchos casos para amalgamar el oro, pone en peligro la seguridad alimentaria de la comunidad por física extinción de las especies de peces y los pocos que se capturan tienen altas concentraciones de mercurio que son ingeridos por las comunidades. Además la población piscícola se desplaza por la alteración de su hábitat dada la dispersión de sedimentos en las actividades de extracción (IIAP, 2005).

7. OBJETIVOS

7.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las condiciones fisicoquímicas y la composición de algas fitoplanctónicas en lagunas derivadas de la actividad minera mecanizada en diferentes periodos de abandono, en el municipio de Cértegui, Chocó.

7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la calidad fisicoquímica del agua en lagunas derivadas de la actividad minera mecanizada en diferentes periodos de abandono.
- Determinar la composición y densidad de algas fitoplanctónicas en lagunas artificiales con diferentes períodos de abandono de la actividad minera.
- Correlacionar las condiciones fisicoquímicas y la composición fitoplanctónica para evaluar el comportamiento temporal de las lagunas derivadas de la minería y su potencialidad de incorporación en los procesos de restauración de áreas degradadas por minería.

8. Hipótesis

La composición y abundancia de la comunidad de algas cambia con relación al restablecimiento de las condiciones fisicoquímicas del agua en lagunas derivadas de la actividad minera, en diferentes periodos de abandono.

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de investigación:

Investigación de enfoque cuantitativo de tipo evaluativo que pretendió Evaluar las condiciones fisicoquímicas y la composición de algas fitoplanctónicas en lagunas derivadas de la actividad minera mecanizada en diferentes periodos de abandono, en el municipio de Cértegui, Chocó.

9.2. Descripción de áreas de muestreo

Se identificaron 4 lagunas derivadas de la actividad minera en el municipio de Cértegui, Chocó, la primera con abandono reciente entre 1 a 3 años, la segunda con un tiempo de abandono de 5 años, la tercera con un abandono de 10 años y la cuarta con un periodo de cese de la actividad minera de 20 años. En cada escenario, se establecieron 4 puntos distribuidos uniformemente a lo largo de cada laguna, abarcando desde las zonas litorales hasta la zona limnética. Adicionalmente se determinó la profundidad aproximada con una plomada y en cada estación se hicieron mediciones in situ de parámetros fisicoquímicos mediante un muestreo integrado a tres profundidades diferentes (100%, 50% y 1% de la profundidad total) que incluyan las zonas fóticas y afóticas de cada escenario. (figura 2).

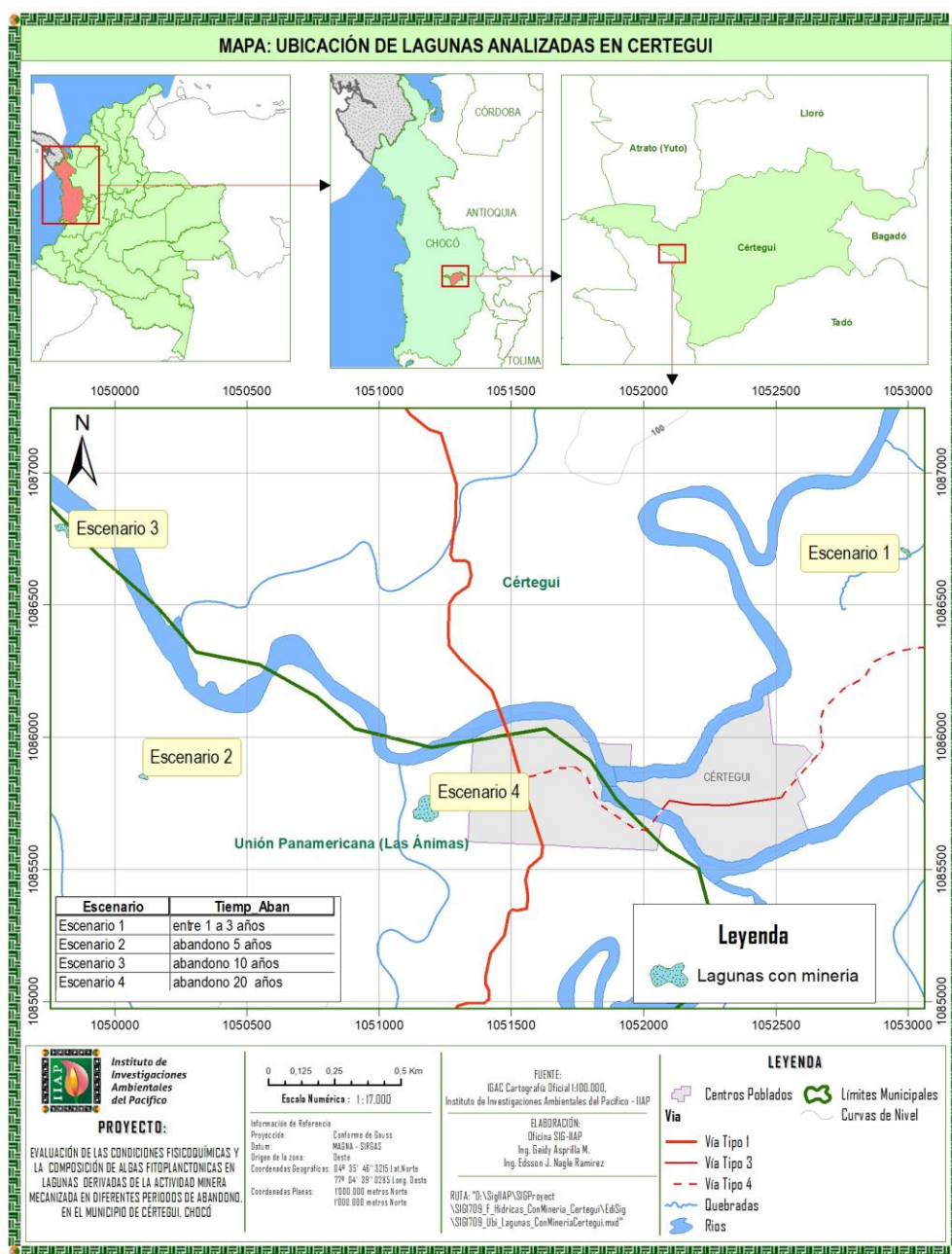


Figura 2. Ubicación geográfica de puntos de muestreo, municipio de Cértegui, Chocó

Escenario 1. Este escenario está determinado por un cese de actividad minera entre 1 a 3 años. Esta laguna se caracteriza por tener poca vegetación circundante, con vegetación pionera invasora de especies como *Iseria laevis* y *Gleichenia bifida*; reducida a especies de

bosque remanente de *Cecropia peltata*, y *Clusia sp.* Sus características están relacionadas con una actividad minera reciente en la cual las etapas de recuperación de los componentes asociados no se han iniciado. El agua que contiene esta laguna es proveniente de la actividad minera, además de aguas lluvias y escorrentías con una profundidad promedio de 1,95 metros. (Figura 3).



Figura 3. Escenario 1. Laguna con tiempo de abandono minero entre 1 a 3 años.

Escenario 2. Tiempo de abandono de la actividad minera de 5 años. Se caracteriza por tener vegetación de especies invasoras como *Andropogon bicornis*, así como vegetación circundante en estado de sucesión temprana predominada por las especies de *Cespedesia macrophylla*, *Ochroma pyramidale*, *Isertia laevis*, *Ipomoea sp.*, *Croton chocoano*, *Clidemia sp.* El espejo presenta aguas claras y una profundidad promedio de 4 metros. (Figura 4)



Figura 4. Escenario 2. Laguna con tiempo de abandono minero de 5 años.

Escenario 3. 10 años de cese de la actividad minera. Se caracteriza por presentar ecotono y área de disturbio, vegetación asociada a tipo de zonas inundables (no predominan especies leñosas); predominan especie *Cespedesia macrophylla* al igual que *Lantana cámara* como especie invasora, en todos los estadios temporales. Prevalecen además especies como *Andropogon bicornis*, *Apiaceae*, y *Borreria latifolia*. Se evidencia presencia de vegetación flotante como macroalgas. Se caracteriza además por tener un espejo de agua turbia con una profundidad promedio de 2,25 metros. (Figura 5).



Figura 5. Escenario 3. Laguna con 10 años de cese de la actividad minera.

Escenario 4. Tiempo de abandono de la actividad minera de 20 años. Se caracteriza por presentar sucesión vegetal avanzada en las riberas, con presencia de los niveles arbustivo y arbóreo donde la distancia entre la ribera y la matriz de bosque es dominada por la especie invasora *Andropogon* y *Cecropia peltata*. Se caracteriza además por presentar sus aguas claras y fluidas, con una profundidad promedio de 4,55 metros. (Figura 6).



Figura 6. Laguna derivada de la actividad minera. Escenario 4. Tiempo de abandono de la actividad minera 20 años.

9.3. Materiales y Métodos

- Medición de variables fisicoquímicas:

Para evaluar la calidad fisicoquímica del agua en cada escenario, se establecieron 4 puntos de muestreo distribuidos uniformemente a lo largo de cada laguna, abarcando desde las zonas litorales hasta la zona limnética. Adicionalmente se determinó la profundidad aproximada con una plomada y en cada punto se hicieron mediciones *in situ* de parámetros fisicoquímicos mediante un muestreo integrado a tres profundidades diferentes (100%, 50% y 1% de la profundidad total) que incluyeron las zonas fóticas y afóticas de cada escenario.

En cada punto se midieron *in situ* las variables de oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad, sólidos suspendidos, sólidos disueltos totales, nitritos, nitratos y fosfato utilizando multiparámetros Sension HQ 90 y un colorímetro portátil DR 900. (Figura 7). Se realizaron 4 muestreos con una periodicidad quincenal.



Figura 7. Muestreo variables fisicoquímicas. En lagunas derivadas de la actividad minera

- Composición y densidad de algas fitoplanctónicas:

Para determinar la composición y densidad de algas fitoplanctónicas se tomaron muestras de la columna de agua en cada punto de muestreo, empleando una botella muestreadora tipo Van Dorn horizontal para tomar submuestras en cada estrato y recolectar una muestra integrada en botellas color ámbar de 1 litro. Adicionalmente en cada escenario se hicieron arrastres horizontales con una red de plancton para obtener una muestra cualitativa que complemente el inventario de taxones obtenido con las muestras en la columna de agua. Todas las muestras fueron conservadas con lugol al 10% y enviadas al laboratorio de la Universidad de Antioquia para su identificación. (Figura 8).



Figura 8. Muestreo de algas fitoplanctónicas. Rotulado y fijación de muestras para análisis en laboratorio.

El conteo algal se realizó a partir del uso de cámaras de Sedgwick-Rafter de 1 ml de capacidad, se empleó un microscopio olimpus DHK con el objetivo de 40X empleando 50 campos aleatorios. Se determinó el aporte de las diatomeas en cada muestra y a partir de las placas permanentes montadas en Naprhax® para determinar las frecuencias relativas de las diatomeas, se contaron 50 campos aleatorios, información que se transformó en densidades algales respecto a la muestra original.

Para calcular la densidad algal del fitoplancton se utilizó la fórmula de Ross *et al.* (1979).

$$N = \frac{n * 1000 * 10^6 * V(ml)}{Ac (mm)^2 * h(mm) * Nc * S(cm^2)}$$

Donde:

N = Densidad algal (ind/cm²)

n = Número total de individuos contados

V = Volumen total de la muestra de fitoplancton colectado (ml)

Ac = Área del campo de conteo (mm²)

h = Altura de la cámara (mm)

Nc = Número de campos contados

S = Superficie raspada del sustrato (cm²)

10⁶ y 1000 = Factores de corrección para las unidades

f = Factor de dilución de la muestra

La abundancia porcentual se determinó al utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Abundancia porcentual} = \frac{\text{Número de individuos de cada morfoespecie}}{\text{Número total de individuos en la muestra}} * 100$$

La densidad del fitoplancton fue expresada en términos de individuos por área, independientemente de su forma de crecimiento (colonial, filamentoso, solitario, etc), es decir, que una colonia o un filamento se consideró como un solo individuo.

Se determinó la composición y la variación espacio-temporal de la comunidad del fitoplancton en las cuatro lagunas mediante tablas de abundancia, se analizó la estructura comunitaria, a través de los índices ecológicos de Diversidad de Shannon & Wiener (1949), Dominancia de Simpson (1945), Riqueza de taxa y Equidad de Jaccard (1908). Para determinar si las muestra por escenarios fueron representativa del atributo medido, se hicieron curvas de acumulación de especies, para lo cual se utilizó el programa Estimates

6.0

- Análisis estadístico de los datos

Estadística descriptiva:

Para el análisis de la información se realizó una exploración de los datos mediante estadística descriptiva, determinando las medidas de tendencia central (media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación) para cada variable fisicoquímica. La dispersión de las variables fue analizada en histogramas usando como factores de análisis los escenarios de muestreo. Para determinar si los datos presentaban diferencias significativas entre factores de análisis, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. Se ejecutó un análisis de componentes principales (PCA) para establecer la ordenación de las variables fisicoquímicas con relación a los escenarios y muestreos.

Análisis de Correspondencia Canónica

Para correlacionar las condiciones fisicoquímicas y la composición fitoplanctónica y evaluar el comportamiento temporal de las lagunas, se organizaron y codificaron los datos en dos matrices: una biológica que incluyó las densidades de las algas y una matriz explicativa compuesta por las variables ambientales. Previo a este abordaje las variables fueron estandarizadas $(\frac{x-\min}{\max-\min})$ y transformadas a su raíz cuadrada $(\sqrt{x+1})$. Este análisis se ejecutó en el programa CANOCO 4.5.

Debido a que los análisis preliminares de correspondencia sin tendencia (DCCA), transformados a raíz cuadrada, mostraron longitudes superiores a 2.5 en el primer gradiente, se utilizó el Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) como análisis de ordenación definitivo (Ter Braak y Smilauer, 1998). Los análisis de ordenación incluyeron 8 variables: la temperatura, el porcentaje de saturación de oxígeno, los sólidos disueltos totales, la turbidez, el pH y las concentraciones de formas inorgánicas tales como los nitratos, los fosfatos y los nitritos.

La inclusión de las variables explicativas estadísticamente significativas en el CCA se determinó mediante selección “forward” identificando aquellas con $\alpha < 0.05$, según la prueba de Monte Carlo con 499 permutaciones. Para evaluar la multicolinealidad entre las variables explicativas, se inspeccionaron los factores de inflación de la varianza (VIF), eliminando del modelo las variables con valores superiores a 20 (Ter Braak, 1995). Los efectos y la contribución relativa de las variables significativas por selección “forward” y por la prueba de Monte Carlo, se estimaron por el procedimiento de partición de la varianza (Borcard, Legendre y Drapeau, 1992). Los análisis fueron ejecutados en el programa CANOCO para Windows versión 4.5.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1. RESULTADOS

10.1.1. Caracterización fisicoquímica de las lagunas

Los valores promedios de las variables fisicoquímicas en cada una de los escenarios y los estadígrafos de tendencia central se presentan en la tabla 1. Las variables que determinan la subsistencia de la biota en los escenarios, como el oxígeno disuelto y la temperatura, presentaron coeficientes de variación menores a 8%, mostrando homogenización en los datos, mientras que las variables asociadas con el aporte de sólidos como turbiedad, sólidos suspendidos, conductividad y sólidos disueltos presentaron coeficientes de variación entre 20,20% y 167,456%, al igual que compuestos nitrogenados como los nitritos; evidenciándose fluctuaciones considerables en estas variables. La prueba Kruskal-Wallis mostró diferencias estadísticamente significativas entre escenarios en variables como oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, temperatura, pH, turbiedad, sólidos suspendidos, conductividad, sólidos disueltos totales y nutrientes como el nitrito ($P < 0,05$); mientras que variables como el nitrato y el fosfato no presentaron diferencias estadísticamente significativas con valores de $P > 0,05$, resultados que explican la relación entre procesos de recuperación y las condiciones ambientales de las lagunas derivadas de la actividad minera.

Tabla 1. Datos estadísticos de las variables fisicoquímicas en los escenarios de muestreo

ESCENARIOS	DESCRIPTIVO	OD (mg/l)	% OD	T (°C)	pH	TURB (FAU)	SS (mg/l)	COND (µs/cm)	TDS (mg/l)	NO3(mg/l)	NO2 (mg/l)	PO4 (mg/l)
ESC 1 A 3 AÑOS	PROMEDIO	7,30	96,09	29,10	7,44	82,56	74,31	9,01	4,54	0,03	0,01	1,75
	MAXIMA	8,02	103,10	31,50	9,08	197,00	175,00	17,26	8,44	0,10	0,05	2,50
	MINIMA	5,26	71,00	27,30	5,00	13,00	16,00	3,52	1,96	0,01	0,001	0,17
	DE	0,74	8,30	1,25	0,91	51,69	46,11	3,72	1,64	0,02	0,015	0,96
	CV	10,24	8,64	4,32	12,26	62,61	62,05	41,36	36,22	64,92	123,96	55,26
ESC 5 AÑOS	PROMEDIO	6,25	82,93	29,51	6,10	9,87	7,31	16,39	6,96	0,05	0,007	1,55
	MAXIMA	6,98	93,60	31,10	7,40	24,00	21,00	21,81	9,10	0,40	0,03	2,50
	MINIMA	5,35	71,00	28,80	5,22	0,00	0,00	12,72	5,41	0,01	0,001	0,18
	DE	0,49	7,02	0,60	0,73	9,03	8,08	2,05	0,83	0,09	0,008	0,96
	CV	7,94	8,47	2,04	12,00	91,47	110,62	12,54	12,04	187,62	109,48	62,42
ESC 10 AÑOS	PROMEDIO	6,30	87,97	32,24	6,47	15,31	12,37	26,70	10,86	0,04	0,02	1,69
	MAXIMA	6,93	94,90	38,20	7,96	55,00	50,00	36,10	14,43	0,40	0,08	2,50
	MINIMA	5,00	73,10	24,30	5,28	0,00	0,00	18,47	7,84	0,01	0,001	0,05
	DE	0,46	5,72	3,65	0,73	17,04	14,83	5,00	1,74	0,09	0,02	0,93
	CV	7,42	6,51	11,32	11,36	111,33	119,85	18,74%	16,06	195,55	101,00	55,33
ESC 20 AÑOS	PROMEDIO	6,81	94,70	32,14	6,62	10,62	9,87	12,07	4,80	0,02	0,02	1,27
	MAXIMA	7,12	99,60	34,10	7,63	59,00	60,00	17,06	6,78	0,07	0,05	2,50
	MINIMA	5,86	84,10	30,80	4,86	0,00	0,00	7,52	2,84	0,01	0,005	0,03
	DE	0,32	4,05	0,98	0,85	16,39	16,53	2,43	0,98	0,01	0,013	1,00
	CV	4,82	4,28	3,08	12,90	154,34	167,46	20,20	20,60	56,51	48,95	79,03
Kruskal-Wallis		27,10	31,59	27,72	17,59	30,27	31,59	49,39	47,45	2,46	19,38	2,47
<i>P</i>		5,59E-06	6,38E-07	4,13E-06	0,00053	1,21E-06	6,38E-07	1,07E-10	2,78E-10	0,48	0,0002	0,48

- Oxígeno Disuelto y pH

De acuerdo con los resultados, el oxígeno disuelto se presentó en promedio de 7,30 mg/l a 6,25 mg/l, con un coeficiente de variación de 4,82% a 10,24% y diferencias estadísticamente significativas entre escenarios ($P < 0,05$), registrándose las mayores concentraciones de esta variable en el escenario 1 con cese de actividad minera de 1 a 3 años, (figura 9). Así mismo el porcentaje de saturación de oxígeno se presentó entre 87,9% a 96%, estando dentro del rango que describe estos escenarios como en equilibrio y en excelentes condiciones de oxigenación. El pH se presentó entre 7,44 a 6,10 unidades evidenciándose cuerpos de agua neutras, con un coeficiente de variación que mostró pocas diferencias entre escenarios oscilando entre 11,36% a 12,90%, así como diferencias estadísticamente significativas entre escenarios ($P < 0,05$). Las pocas variaciones en los registros de estas variables (oxígeno disuelto y pH) entre escenarios, muestran que la minería no tiene un efecto significativo en ellos, evidenciado en un coeficiente de variación bajo, que denota reducidas diferencias entre muestreos y escenarios. Los datos registrados muestran niveles similares a los de ecosistemas naturales con valores que estuvieron dentro de los rangos estimados por la normatividad entre 4,5 a 9 unidades de pH y de 4,0 mg/l de oxígeno disuelto para conservación de biota acuática (decreto 1594 de 1984). (Figura 10).

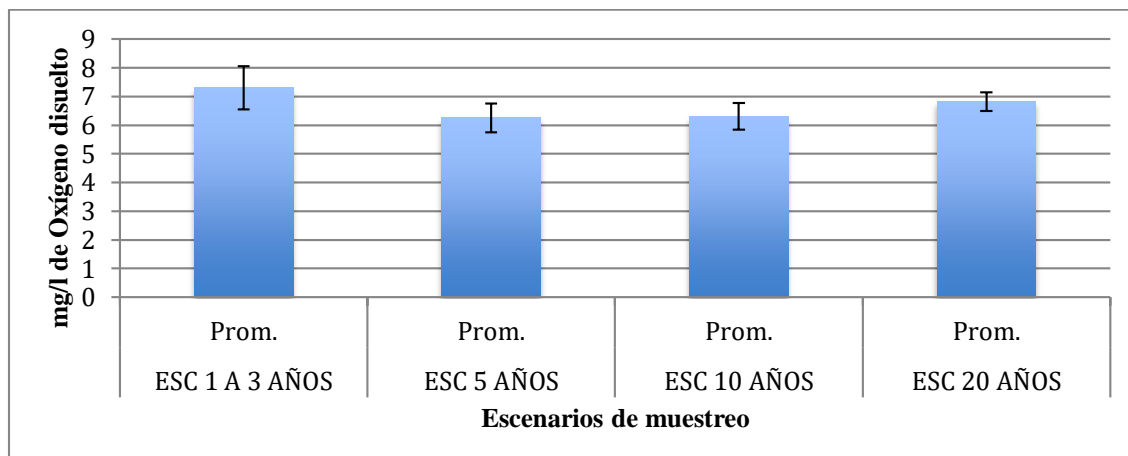


Figura 9. Comportamiento de la variable Oxígeno disuelto. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar (entre 0,32 a 0,74)

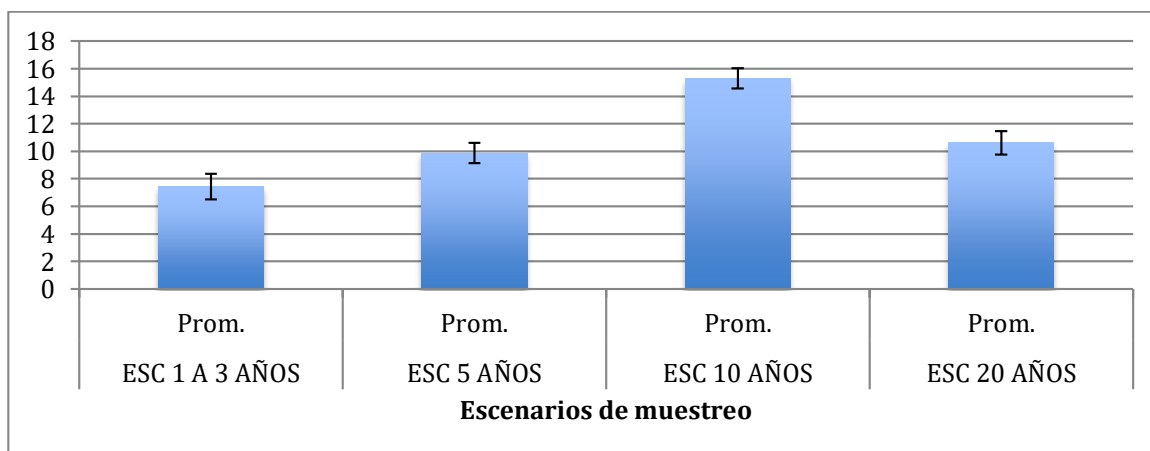


Figura 10. Comportamiento de la variable pH. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar

- Temperatura

Presentó un coeficiente de variación de 7,96% oscilando en promedio entre 32,2 °C a 29,1°C, mostrando temperaturas típicas de ambientes cálidos, con diferencias estadísticamente significativas entre escenarios ($P < 0,05$), que pudieron estar relacionados con las horas de muestreo, así como con una mayor incidencia de los rayos solares en los

escenarios más desprovistos de vegetación debido a una actividad minera reciente como el escenario de 1 a 3 años de abandono minero, registrándose en promedio temperaturas de 29,1 °C. Los valores más altos de esta variables se registraron en el escenario de 10 años, donde el promedio de esta variable es de 32,2 °C con un valor máximo de 38,2 °C, registro que se asoció principalmente a las horas de muestreo. (Figura 11).

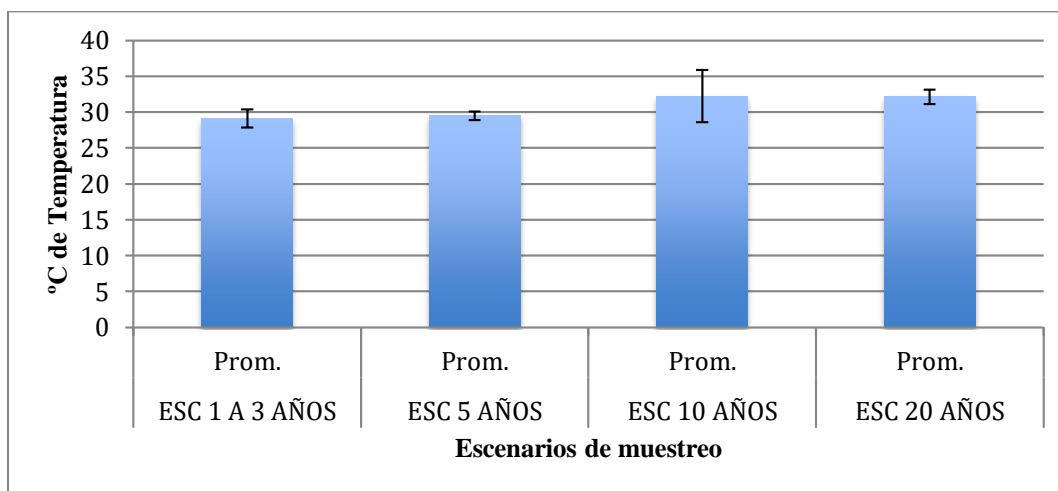


Figura 11. Comportamiento de la Temperatura por escenarios. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar

- Sólidos Suspendidos y Turbiedad

Los sólidos suspendidos presentaron fluctuaciones considerables en todos los escenarios de muestreo con un coeficiente de variación de 145% y diferencias estadísticamente significativas entre escenarios ($P < 0,05$), oscilando en promedio entre 74,3 mg/l a 7,31 mg/l. Los mayores registros se presentaron en el escenario de 1 a 3 años correspondiendo a un área con abandono reciente de la actividad minera, lo cual explica persistencia de material

suspendido. Estos registros muestran una diferencia marcada con otros escenarios muestreados en donde las concentraciones de sólidos en suspensión son menores, como el escenario de 5 años de cese de la actividad minera, que obtuvo concentraciones en promedio de 7,31 mg/l con valores máximos de 21 mg/l, evidenciándose procesos de recuperación en los niveles de sólidos en estos cuerpos de agua (figura 12). Dada la relación directa entre los sólidos suspendidos y la turbiedad, esta última presentó un comportamiento similar, con coeficiente de variación alto de 141,089%, con diferencias estadísticamente significativas entre escenarios ($P < 0,05$), registrándose en promedio datos de 82,5 FAU a 9,8 FAU, presentando las mayores unidades en el escenario de abandono reciente (1 a 3 años), en donde además se evidencia procesos propios de la actividad minera en el área circundante, como remoción en masa de tierra, erosión y sedimentación de fuentes hídricas cercanas. (Figura 13).

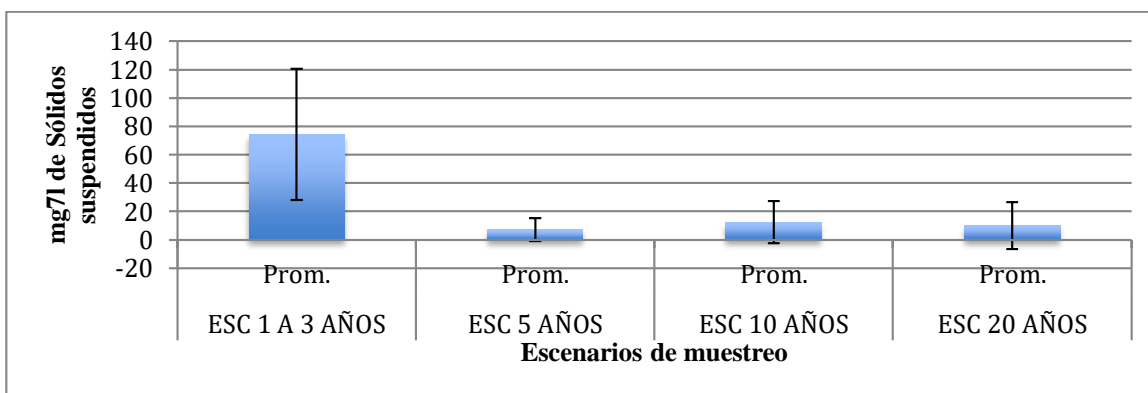


Figura 12. Comportamiento de la variable Sólidos Suspendidos entre escenarios de muestreo. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar

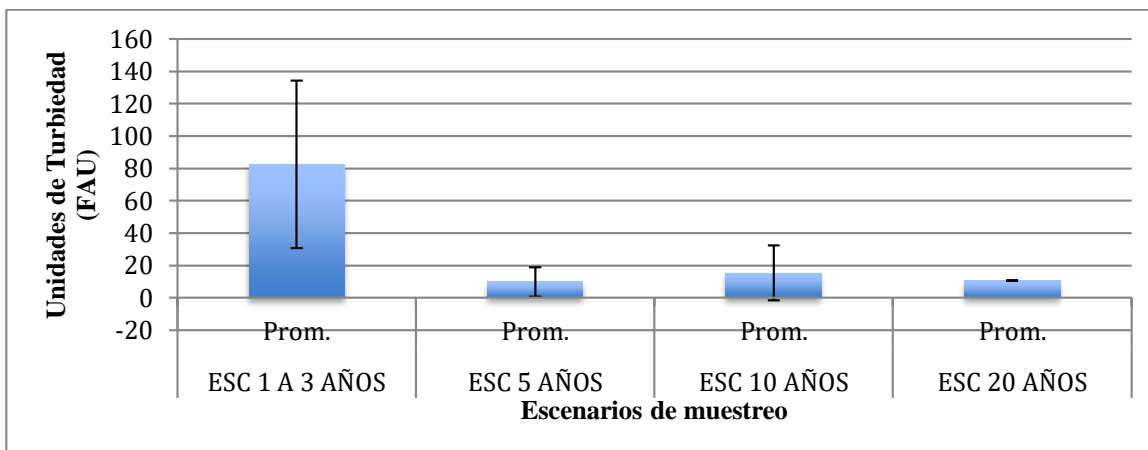


Figura 13. Comportamiento de la variable Turbiedad entre escenarios de muestreo. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar

- Conductividad y Sólidos Disueltos Totales

La conductividad se registró con pocas variaciones entre muestreo y una similitud entre escenarios, con un coeficiente de variación de 20,20% y datos promedios que oscilaron entre 9,01 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 26,7 $\mu\text{s}/\text{cm}$, con mayores promedios en los escenarios de 5 y 10 años de cese de la actividad minera, (figura 14). El comportamiento de los sólidos disueltos fue similar, con datos promedios entre 4,54 mg/l a 10,86 mg/l; presentando igualmente, mayores registros en las escenarios de 5 y 10 años de abandono de la actividad minera (figura 15). La prueba de Kruskal-Wallis para estas dos variables, mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$), por escenarios. Los datos registrados, pueden estar asociados a procesos de remoción y cambios en la estructura, dinámica y sustratos del suelo, relacionados con los procesos de excavación y remoción en masa de grandes volúmenes de tierra durante la intervención minera, toda vez que el escenario con menores registros fue el de abandono de 20 años, registrando máximos de 6,78 mg/l.

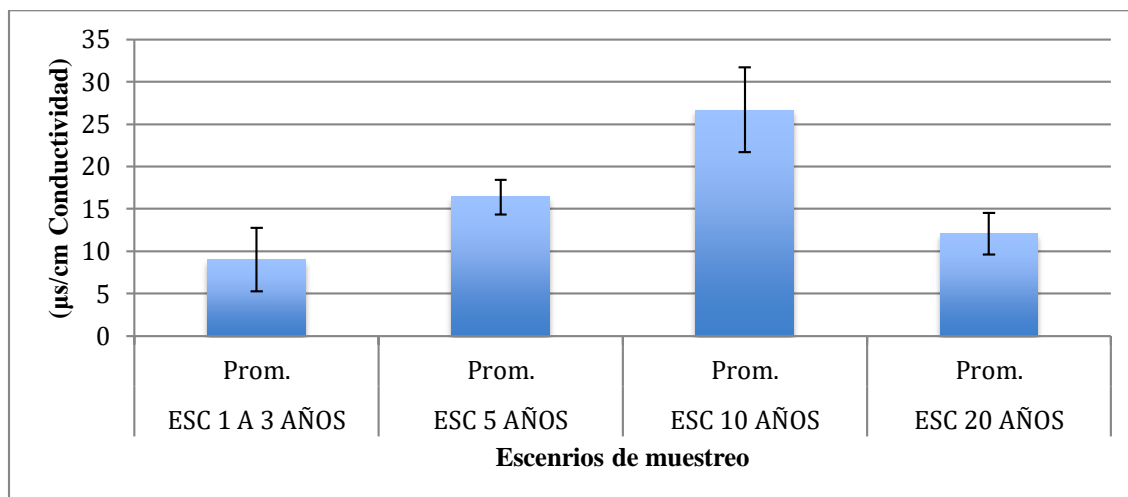


Figura 14. Comportamiento de la variables Conductividad por escenarios de muestreo. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar

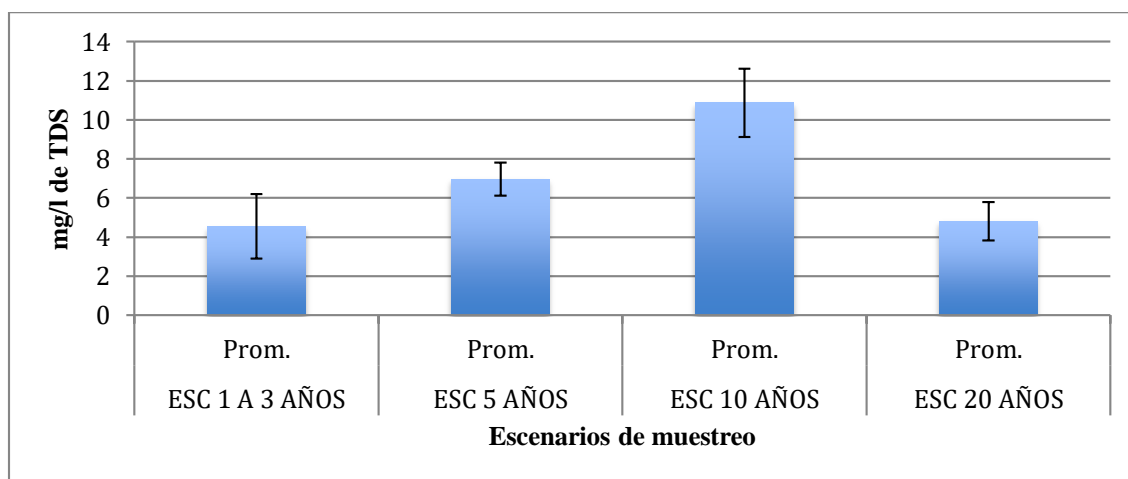


Figura 15. Comportamiento de la variable Sólidos Disueltos Totales (SDT) por escenarios de muestreo. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar

- Nutrientes (NO₂, NO₃, PO₄)

Los nitritos (NO₂), presentaron un comportamiento homogéneo entre los escenarios con coeficiente de variación de 98,65% mostrando promedios cercanos que oscilaron entre

0,028 mg/l a 0,007 mg/l, con menores registros en el escenario de 5 años, datos que pueden estar asociados al tipo de suelo, el aporte de materia orgánica vegetal y a procesos de sucesión y recuperación de las riberas de las lagunas, (figuran 16). A pesar de presentarse en concentraciones bajas, los nitratos (NO_3) presentaron un coeficiente de variación de 56,51% con concentraciones similares en todos los escenarios, que oscilaron entre 0,025 mg/l a 0,05 mg/l. presentándose el mayor promedio en el escenario de 5 años con concentraciones máximas de 0,4mg/l, los menores registros en promedio se obtuvieron en el escenario de 20 años de cese de la actividad con valores máximos de 0,07mg/l, diferencias que pueden estar relacionadas con los periodos de abandono de la actividad y las condiciones ambientales de las estaciones muestreadas. Los Nitrito presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$), a diferencia de los Nitrato con un valor de ($P > 0,05$). (Figura 17)

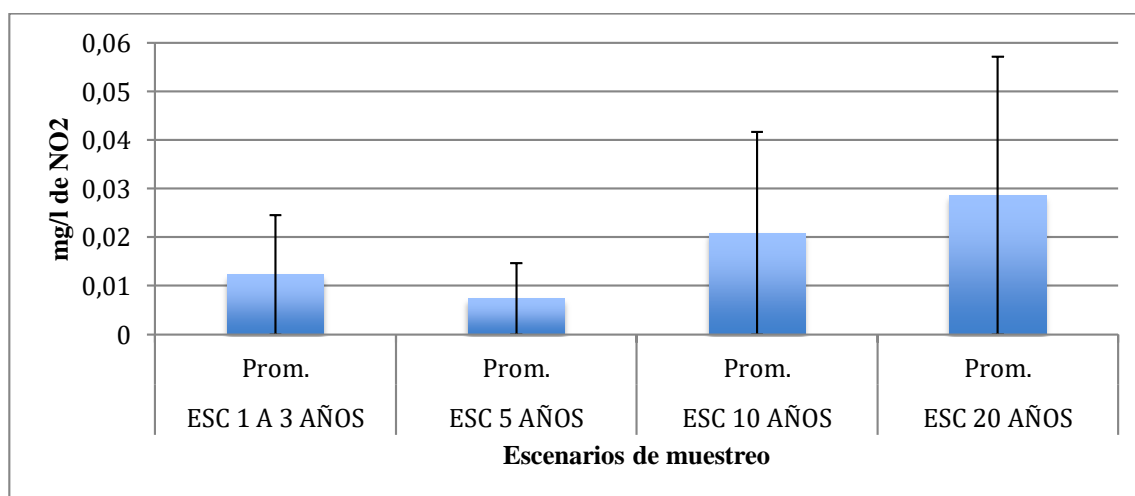


Figura 16. Comportamiento de Nitrito (NO_2) por escenarios de muestreo. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar

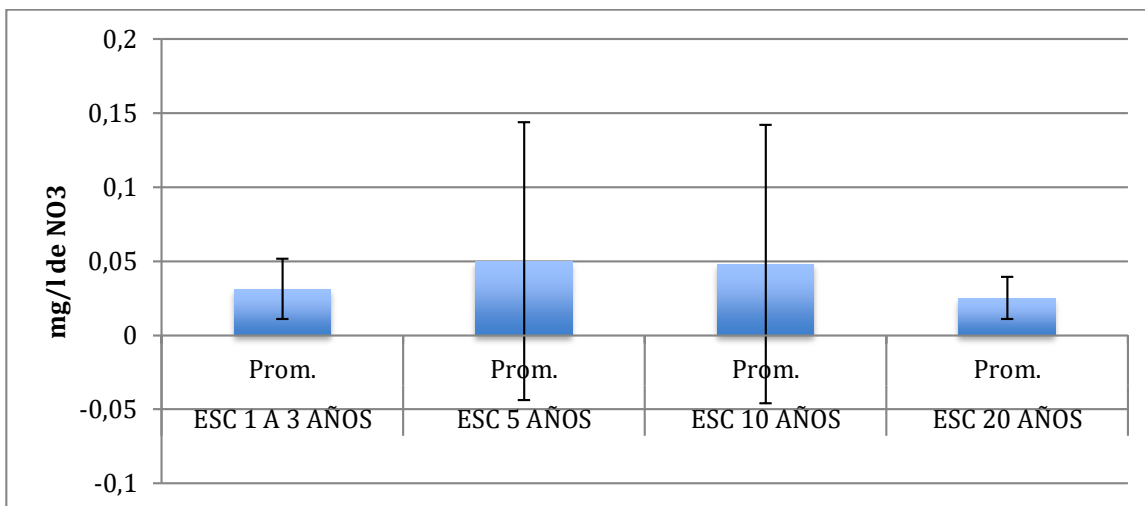


Figura 17. Comportamiento de Nitrato (NO₃) por escenarios de muestreo. Las barras de error corresponden a más o menos la Desviación Estándar

Los fosfatos por su parte, presentaron un coeficiente de variación de 61,55% por escenario y muestreo con datos promedio que oscilaron entre 1,75 mg/l a 1,27 mg/l con mayores registros en el escenario de 1 a 3 años (2,5 mg/l a 0,17 mg/l) asociados a un periodo de abandono reciente de la actividad minera. Las menores concentraciones se registraron en el escenario de 20 años con concentraciones entre 2,5 mg/l a 0,03 mg/l, aunque con pocas variaciones con relación a las estaciones de 5 y 10 años de cese de la actividad minera; mostrando además que no existe diferencia estadísticamente significativas entre escenarios ($P < 0,05$) (Figura 18)

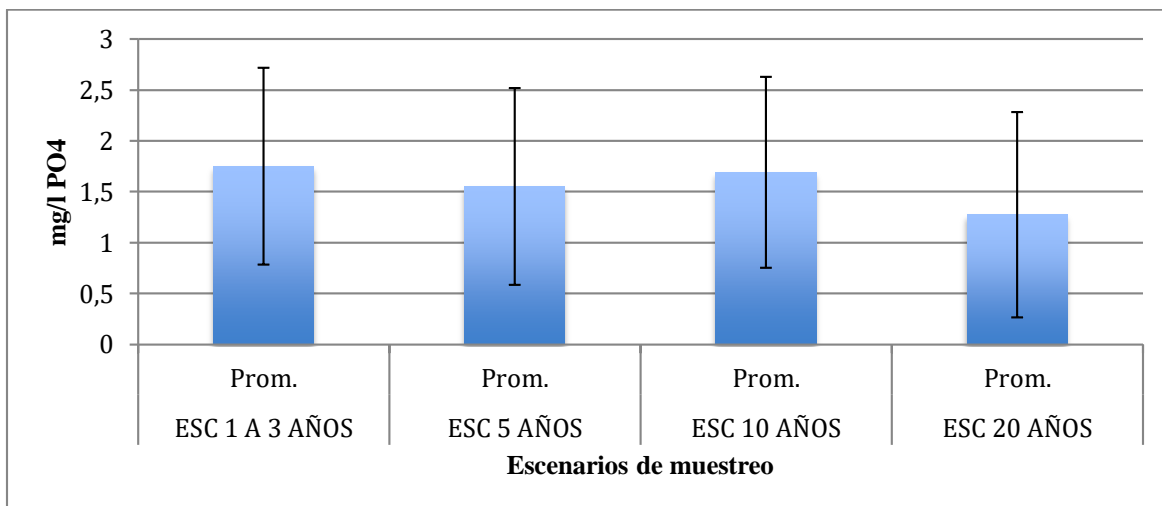


Figura 18. Comportamiento del Fosfato (PO₄) por escenarios de muestreo

- Análisis de componente principales (PCA)

El PCA ordenó las variables analizadas en dos componentes que explicaron el 95% de la variabilidad de los datos obtenidos en los escenarios muestreados (Figura 19). El primer componente explicó casi la totalidad de la varianza con un 89.4% que incluyó las variables sólidos suspendidos, turbiedad, sólidos disueltos, conductividad, nitratos, nitritos y temperatura, es decir que está relacionado con la cantidad de material disuelto y suspendido en el agua, la cual además es la condición que más explica las diferencias en las condiciones fisicoquímicas de los ambientes estudiados.

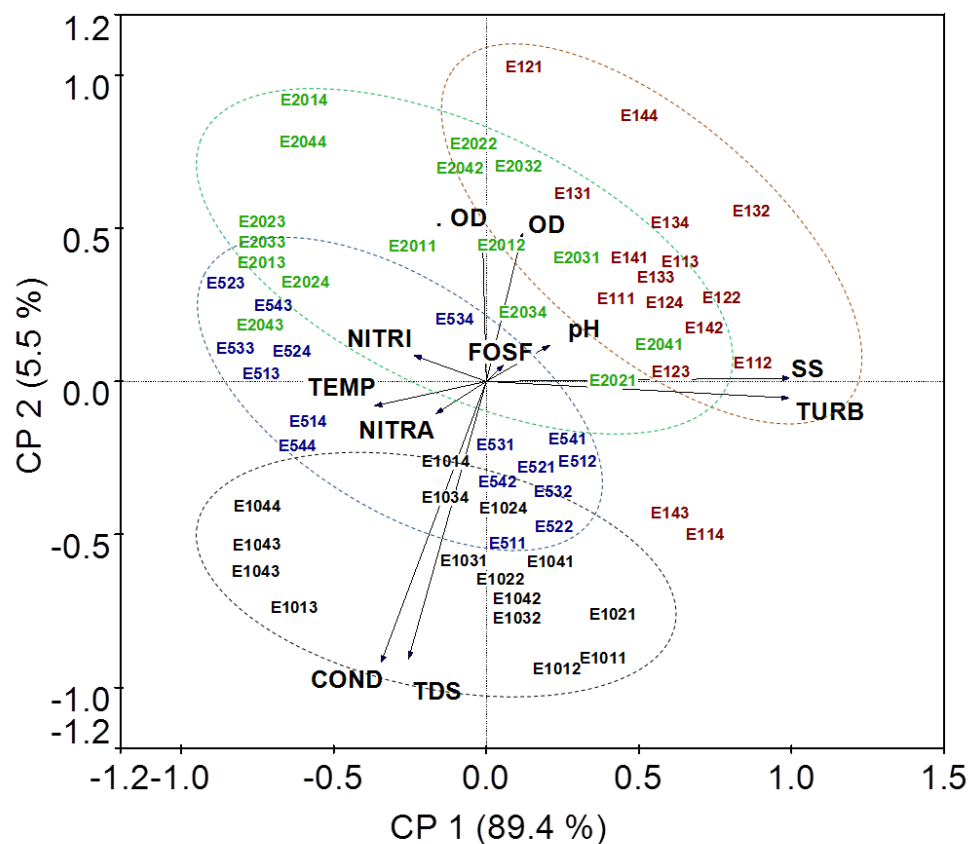


Figura 19. Análisis de Componentes Principales (PCA) por escenarios de muestreo

El segundo componente respondió por el 5.5% de la varianza de los datos y agrupó las variables oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, pH y fosfatos, las cuales dan cuenta de las condiciones de oxigenación del medio acuático y que para este caso presentaron pocas variaciones entre escenarios, evidenciando que el disturbio minero y la temporalidad de abandono no tiene un efecto marcado sobre su dinámica.

10.1.2. Comunidad de algas fitoplanctónicas

- Composición Taxonómica

La comunidad fitoplanctónica en los cuatro escenarios se distribuyó en 7 divisiones, 12 clases, 33 órdenes, 54 familias, 90 géneros, 146 morfoespecies; la estructura de la comunidad estuvo conformada en total por 6,026.643 individuos (Tabla 2). El escenario con mayor número de especies fue el de 10 años de abandono minero con 105 morfo *sp.*, seguido por el escenario de 5 años con (101 *sp.*), el escenario de 20 años (100 *sp.*); el escenario que presentó el menor número de especies fue el de 1 a 3 años de cese de la actividad minera con 56 *sp.*

Los géneros mejor representados fueron las *Trachelomonas* con el 23,35% de las especies encontradas, seguidas de *Gymnodinium* con 18,58%, *Protoperdinium* con 16,45% y *Botryococcus* con 11,71% de las especies reportadas. Las divisiones más representativas fueron las *Bacillariophyta* con 54 morfoespecies (36.9%), seguido de *Chlorophyta* con 50 morfoespecies (34,2%), *Cyanophyta* con 17 (11,64), *Euglenophyta* con 11 (7,53%), *Dynophyta* con 6 (4,10%), *Ochrophyta* representada por 5 (3,42%) y la menos representada fue la división *Amoebozoa* constituida por 1 morfo *sp.* (0,68%).

Tabla 2. Composición taxonómica del fitoplancton

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	Surirella	<i>Surirella sp</i>
				<i>Surirella sp2 (gordita)</i>
			Stenopterobia	<i>Stenopterobia curvula (W.Smith) Krammer</i>
				<i>Stenopterobia sp (recta)</i>
	Bacillariales	Bacillariaceae	Nitzschia	<i>Nitzschia sp</i>
	Cocconeidales	Achnantidiaceae	Achnanthes	<i>Achnanthes lanceolata (Brébisson ex Kützing) Grunow</i>
				<i>Achnanthes minutissima Kützing</i>
	Tabellariales	Tabellariaceae	Asterionella	<i>Asterionella sp</i>
	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	<i>Cymbella sp</i>
			Amphora	<i>Amphora sp</i>
		Gomphonemataceae	Encyonema	<i>Encyonema sp</i>
			Encyonopsis	<i>Encyonopsis sp</i>
	Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia	<i>Eunotia intermedia (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot</i>
				<i>Eunotia serra Ehrenberg</i>
				<i>Eunotia bilunaris (Ehrenberg) Schaarschmidt</i>
				<i>Eunotia intermedia (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalo 1</i>
				<i>Eunotia camelus Ehrenberg</i>
			<i>Eunotia minor (Kützing) Grunow</i>	
			<i>Gomphonema sp</i>	
Naviculales	Naviculaceae	Actinela	<i>Actinela sp</i>	
		Frustulia	<i>Frustulia rhomboides (Ehrenberg) De Toni</i>	
			<i>Frustulia rhomboides (Ehrenberg) De Toni muerta</i>	
			<i>Frustulia vulgaris (Thwaites) De Toni</i>	

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
				<i>Frustulia sp alargada</i>
			Navicula sp	<i>Navicula sp</i>
		Pinnulariaceae	Pinnularia	<i>Navicula rostellata Kützing</i>
				<i>Pinnularia sp</i>
				<i>Pinnularia finita</i>
				<i>Pinnularia alargada</i>
				<i>Pinnularia olla</i>
				<i>Pinnularia finita (Pinnularia cf rumrichiae)</i>
				<i>Pinnularia alargada (Pinnularia tabellaria)</i>
				<i>Pinnularia tabellaria Ehrenberg</i>
				<i>Pinnularia sp (pinnularia af acrosphaeria)</i>
				<i>Pinnularia olla (rostratissima var. Rostratissima)</i>
				<i>Pinnularia gibba</i>
		Amphipleuraceae	Amphipleura	<i>Amphipleura sp</i>
		Brachysiraceae	Brachysira	<i>Brachysira sp</i>
				<i>Brachysira cf. brebissoni</i>
				<i>Brachysira sp (Brachysira cf serians)</i>
		Sellophoraceae	Sellaphora	<i>Sellaphora sp</i>
		Stauroneidaceae	Stauroneis	<i>Stauroneis aff adamsiana Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez</i>
				<i>Stauroneis phoenicenteron (Nitzsch) Ehrenberg</i>
		Neidiaceae	Neidium	<i>Neidium iridis (Ehrenberg) Cleve</i>
		Diadesmidiaceae	Luticola	<i>Luticola mutica (Kützing) D.G.Mann</i>
	Fragillariales	Fragillariaceae	Fragilaria	<i>Fragilaria sp</i>
			Ulnaria	<i>Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère</i>
			Fragilariforma	<i>Fragilariforma sp</i>
	Melosirales	Melosiraceae	Melosira	<i>Melosira varians C.Agardh</i>
		Orthoseriaceae	Orthoseira	<i>Orthoseira circularis (Ehrenberg) Crawford</i>

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	
Crysohyceae	Ochromonadales	Dynobryonaceae	Dinobryon	<i>Dinobryon sp</i>	
				<i>Dinobryon sp+A55</i>	
Mediophyceae	Stephanodiscales	Estephanodiscaceae	Cyclotella	<i>Cyclotella meneghiniana Kützing</i>	
	Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	Thalassiosira	<i>Thalassiosira weissflogii (Grunow) G.Fryxell & Hasle</i>	
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Lyngbya	<i>Lyngbya sp</i>	
			Oscillatoria	<i>Oscillatoria sp</i>	
				<i>Oscillatoria sp2 delgadita</i>	
				<i>Spirulina sp</i>	
	Nostocales	Nostoceae	Anabaena	<i>Anabaena sp</i>	
			Nostoc	<i>Nostoc sp</i>	
			Scytonemataceae	<i>Scytonema sp</i>	
		Rivulariaceae	Calothrix	<i>Calothrix sp</i>	
			Aphanizomenonaceae	Cylindrospermopsis	<i>Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszynska) Seenayya & Subba</i>
			Chroococcales	Chroococcaceae	Merismopedia
	<i>Merismopedia elegans A.Braun ex Kützing</i>				
Oocystaceae	Microcystis	<i>Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing</i>			
	Oocystis	<i>Oocystis sp</i>			
	Tetraëdron	<i>Tetraëdron sp</i>			
	Nephrocytium	<i>Nephrocytium sp</i>			
	Mycrocystaceae	Gleocapsa		<i>Gleocapsa sp</i>	
Synechococcales	Pseudoanabaenaceae	Pseudanabaena	<i>Pseudanabaena sp</i>		
Chlorophyceae	Desmidiiales	Desmidiaceae	Closterium	<i>Closterium sp</i>	
				<i>Closterium setaceum Ehrenberg ex Ralfs</i>	
				<i>Closterium grande</i>	
				<i>Cosmarium laeve Rabenhorst</i>	
				<i>Cosmarium panamense Prescott</i>	

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
				<i>Cosmarium peludito</i>
				<i>Cosmarium pseudoconnatum</i> Nordstedt
				<i>Cosmarium chuzos</i>
				<i>Cosmarium laeve gordo</i>
				<i>Cosmarium loabatum</i> Borgues
			Euastrum	<i>Euastrum gemmatum</i> (Brébisson) Brébisson
			Cylindrocystis	<i>Cylindrocystis</i> sp
			Tetmemorus	<i>tetmemorus</i> sp
				<i>Tetmemorus</i> sp (parecido a pleurotaeniun)
			Desmidium	<i>Desmidium cylindricum</i> Greville
			Diadesmis	<i>Diadesmis confervacea</i> Kützing
			Gonatozygon	<i>Gonatozygon</i> sp
			Staurastrum	<i>Staurastrum</i> sp
				<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt
				<i>Staurastrum setigerum</i> Cleve
			Netrium	<i>Netrium digitus</i> (Brébisson ex Ralfs) Itzigsohn & Rothe
			Micrasterias	<i>Micrasterias furcata</i> C.Agardh
			Xanthidium	<i>Xanthidium</i> sp
			Arthrodesmus	<i>Arthrodesmus</i> sp
			Pleurotaenium	<i>Pleurotaenium</i> sp
			Staurodesmus	<i>Staurodesmus</i> sp
		Peniaceae	Penium	<i>Penium</i> sp
				<i>Penium</i> sp2 (grande)
	Chlorococcales	Botrycoccaceae	Coelastrum	<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli
			Botrycoccus	<i>Botrycoccus</i> sp
		Scenedesmaceae	Crucigenia	<i>Crucigenia</i> sp
			Tetraëdron	<i>Tetraëdron trigonum</i> (Nägeli) Hansgirg
				<i>Tetraëdron gracile</i> (Reinsch) Hansgirg

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
				<i>Tetraëdron sp</i>
			Scenedesmus	<i>Scenedesmus sp</i>
				<i>Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brébisson</i>
				<i>Scenedesmus insignis (W. & G.S.West) Chodat</i>
			Stauroneis	<i>Stauroneis aff adamsiana Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez</i>
		Coelastraceae	Coelastrum	<i>Coelastrum sp</i>
	Oedogoniales	Oedogoniaceae	Oedogonium	<i>Oedogonium sp</i>
	Ulotrichales	Ulotrichaceae	Ulothrix	<i>Ulothrix sp</i>
	Zygnemataes	Zygnemataceae	Mougeotia	<i>Mougeotia sp</i>
	Sphaeropleales	Characiaceae	Ankyra	<i>Ankyra sp</i>
		Selenastraceae	Monoraphidium	<i>Monoraphidium sp</i>
	Chaminomonadales	Volvocaceae	Eudorina	<i>Eudorina sp</i>
		Palmellopsidaceae	Asterococcus	<i>Asterococcus sp</i>
		Chlamidomonadaceae	Chlamydomonas	<i>Chlamydomonas sp</i>
	Colaechoetales	Coleochaetaceae	<i>Coleochaete</i>	<i>Coleochaete sp</i>
Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	Cladophora	<i>Cladophora sp</i>
Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	Dyctyosphaerium	<i>Dyctyosphaerium sp</i>
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	Euglena	<i>Euglena sp</i>
			Trachelomonas	<i>Trachelomonas armata (Ehrenberg) F.Stein</i>
				<i>Trachelomonas sol</i>
				<i>Trachelomonas superba Svirenko</i>
				<i>Trachelomonas volvocina (Ehrenberg) Ehrenberg</i>
				<i>Trachelomonas volvocinopsis Svirenko (palito)</i>
				<i>Trachelomonas acanthophora Stokes</i>
			Phacus	<i>Phacus sp</i>

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
				<i>Phacus gordito</i>
				<i>Phacus corazón</i>
			Strombomonas	<i>Strombomonas sp</i>
Xantophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	Tribonema	<i>Tribonema sp</i>
			Heterococcus	<i>Heterococcus sp</i>
	Mischococcales	Centrtractaceae	Centrtractus	<i>Centrtractus sp</i>
		Ophycyaticae	ophiocytium	<i>Ophiocytium sp</i>
Synurophyceae	Synurales	Synuraceae	Synura	<i>Synura sp</i>
Dynophyceae	Peridinales	Peridiniaceae	Peridinium	<i>Peridinium sp</i>
				<i>Peridinium sp 2</i>
			Protopteridinium	<i>Protopteridinium sp</i>
				<i>Protopteridinium sp (gymmodinium)</i>
	Gymnodiniales	Gymnodiniaceae	Gymnodinium	<i>Gymnodinium sp</i>
				<i>Gymnodinium grande</i>
Tubulinea	Tibulinida	Amoebidae	Ameba	<i>Ameba</i>
				<i>Chrysophyta sp</i>
				<i>Filamentosa rara</i>

La tendencia creciente que mostraron las algas del fitoplancton estuvo directamente relacionada con la temporalidad o tiempo de abandono de la actividad minera, donde el escenario de 1 a 3 años que tuvo una actividad minera reciente, presentó la menor composición (56 *sp.*) a diferencia de los escenarios de 5 (101 *sp.*), 10 (104 *sp.*) y 20 años (100 *sp.*). (Figura 20).

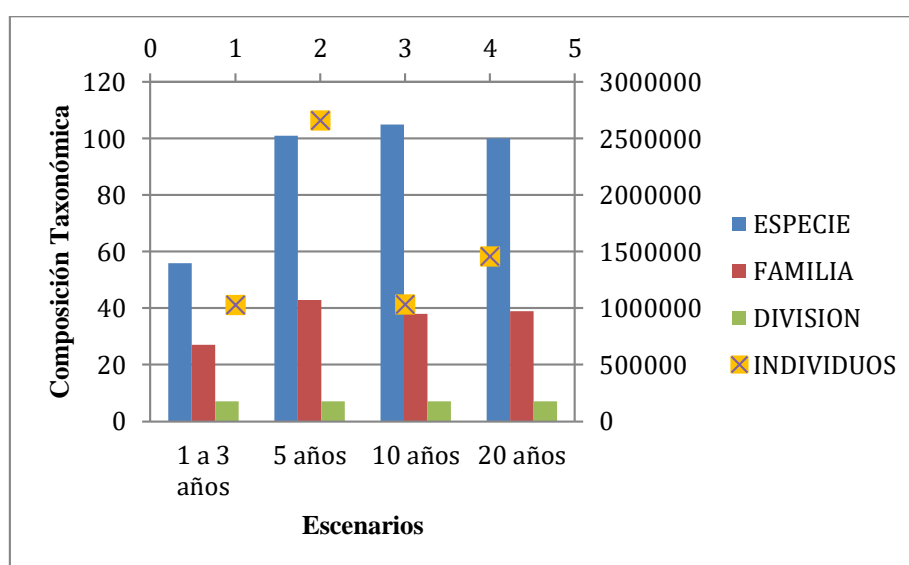


Figura 20. Composición del fitoplancton por escenarios de muestreo

- Importancia ecológica de las especies

El Índice de Valor de Importancia IVI (Anexo 1) muestra que las especies con mayor densidad y frecuencia correspondieron a *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg (22, 35%), *Gymnodinium grande* (18,04%), *Protoperdinium sp.* (11.84%) y *Botrycoccus sp.* (11.7), las cuales concentran el 63.93% del IVI total y el 63,94% de la densidad (figura

21). En general, la frecuencia de aparición de las especies por escenarios de muestreo fue alta ya que el 28,08% de ellas fueron registradas en los 4 escenarios, el 19,17% comunes en 3 escenarios de muestreo, el 23,28% en dos escenarios y un 29,45% en un solo escenario, las cuales se pueden considerar como especies poco frecuentes o que reflejan condiciones especiales del sitio de muestreo.

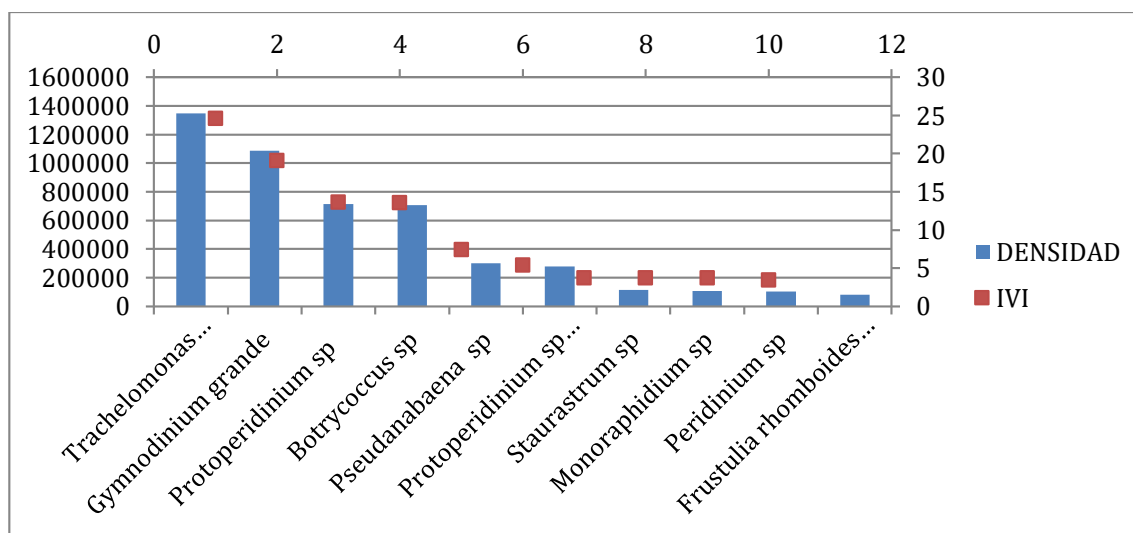


Figura 21. Índice de Valor de Importancia (IVI) para todas las especies registradas

- Distribución de Densidades y Riqueza

La distribución de la riqueza (figura 22) aumentó a medida que incrementa el tiempo de abandono de la actividad minera, mostrando una estabilidad a partir de los 5 años de cese de la actividad minera, la cual se mantiene entre 101 a 104 morfo *sp*. Este comportamiento puede estar favorecido por algunas características similares que presentan los escenarios de 5, 10 y 20 años de abandono minero, como procesos de sucesión vegetal circundante, la

profundidad relativa, penetración solar y descomposición de materiales suspendidos. Los valores más bajos se presentaron en el escenario de 1 a 3 años (56 morfo sp). La densidad no mostró una relación directa con la temporalidad, presentando el valor más bajo en el escenario de 10 años de abandono minero (1,037.045 ind/ml) y un pico en el escenario de 5 años (2,662.077 ind/ml), con valores intermedios en los escenarios de 1 a 3 años (1,031.174 ind/ml) y 20 años de cese de la actividad minera (1,458.989 ind/ml) (figura 22). Por lo que podría considerarse que después de 5 años de abandono el ecosistema alcanza un estado de climax y de “recuperación”.

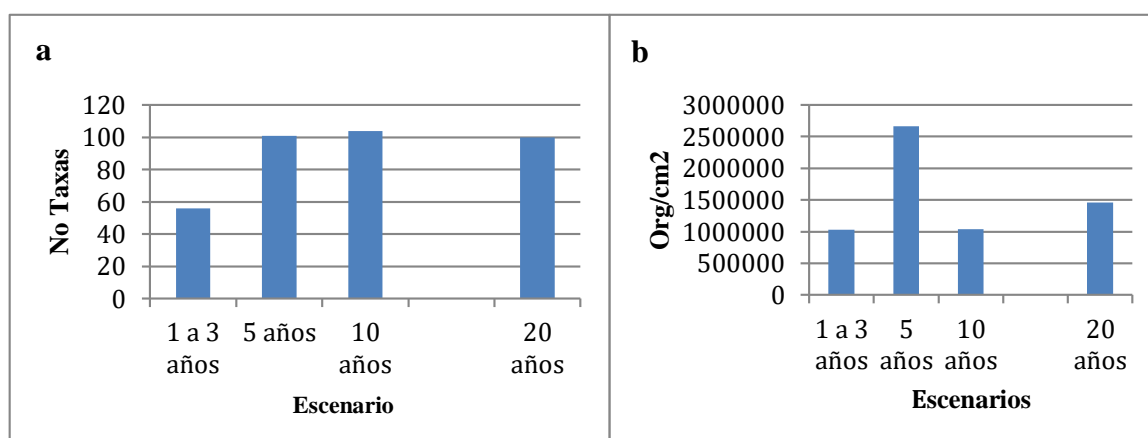


Figura 22. Distribución de la Riqueza (a) y la Densidad (b) de especies por escenarios de muestreo

- Atributos de Diversidad

En la tabla 3, se muestran los resultados de diversidad alfa por escenario. Se evidencia que la riqueza varía con el tiempo mostrando un aumento significativo a partir de los 5 años de abandono de la actividad minera. El valor de riqueza obtenida para todos los escenarios fue el total de la esperada de acuerdo con Chao 1 (figura 23). Adicionalmente el valor de Singletons fue nulo en todos los escenarios de muestreo, evidenciando que no se registraron

especies con un solo individuo, y que la mayoría de las especies estuvieron bien representadas a nivel de sus abundancias, incluyendo el escenario de minería reciente (1 a 3 años).

El índice de Shannon permitió establecer que todos los escenarios presentan diversidades considerables, mostrando que las comunidades fitoplanctónicas están bien distribuidas en las lagunas. Los escenarios de 20 años y 1 a 3 años presentaron una diversidad media (2,2 y 2,4 respectivamente) con respecto a los escenarios de 5 años y 10 años que presentaron valores de 2,48 y 3,12, lo que evidencia que al igual que la densidad, la diversidad no mostró una relación directamente proporcional al tiempo de abandono minero.

Tabla 3. Atributos de diversidad alfa por escenarios de muestreo

Escenarios	Riqueza	Chao1	%	Densidad	Diversidad (Shannon)	Dominancia (Simpson)	Equidad de Jaccard
1 a 3 años	56	56	100	1031174	2,4	0,79	0,52
5 años	101	101	100	2662077	2,48	0,74	0,44
10 años	104	104	100	1037045	3,12	0,92	0,67
20 años	100	100	100	1458989	2,2	0,76	0,47

El índice de dominancia presentó valores altos para los cuatro escenarios de muestreo, mostrando que en las cuatro lagunas se presentaron especies dominantes por su abundancia, con el mayor valor en el escenario de 10 años (0,92), lo que contrastó con valores bajos de equidad.

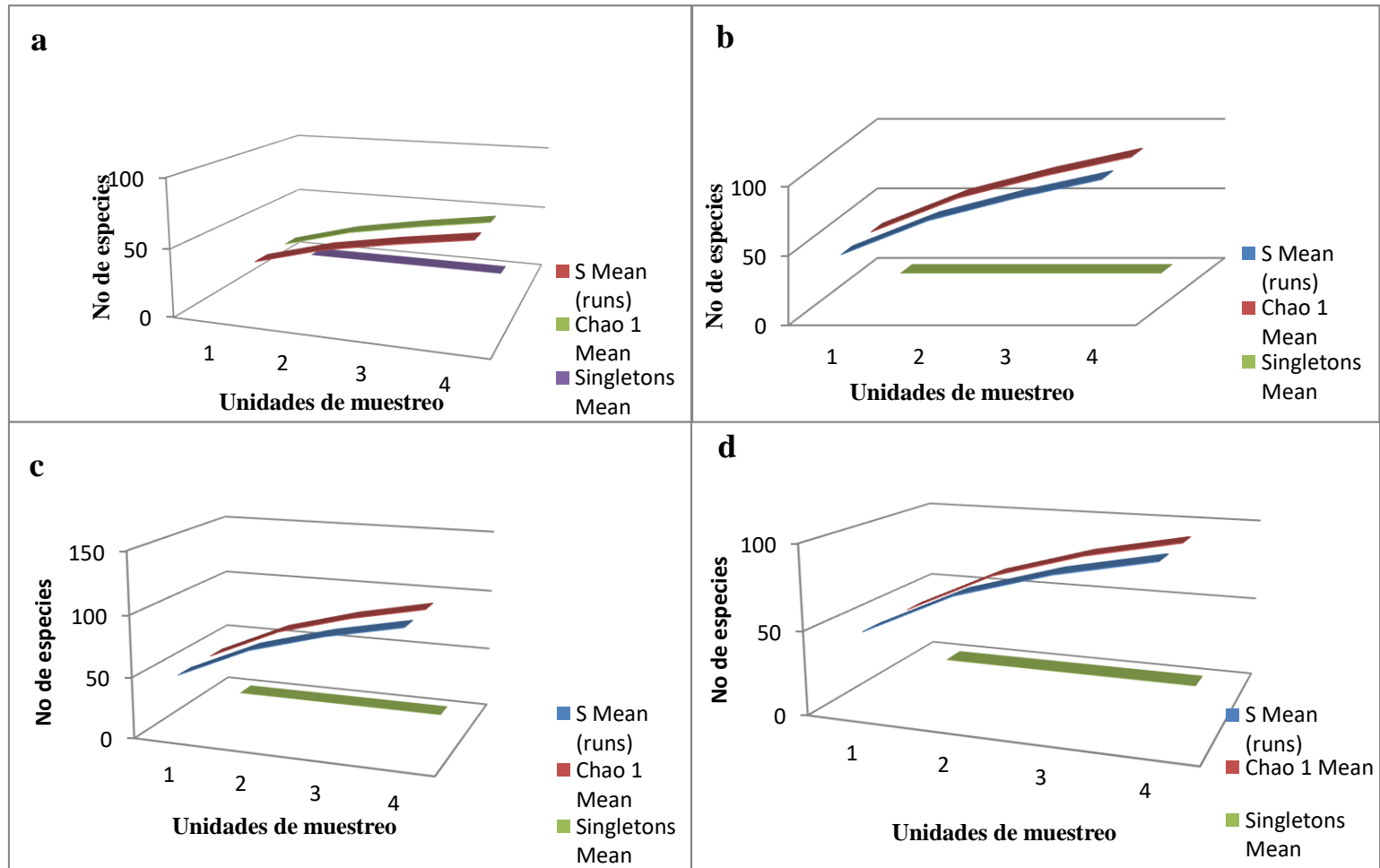


Figura 23. Curva de acumulación de especies por escenarios de muestreo, a. Escenario de 1 a 3 años, b. Escenario de 5 años, c. escenario de 10 años, d. Escenario de 20 años de cese de la actividad minera

La diversidad Beta (tabla 4), muestra que hay una alta similitud en los escenarios muestreados, evidenciado por el número de especies compartidas entre los mismos, siendo mayor entre los escenarios de 5, 10 y 20 años, lo que se corrobora con los índices de similitud de Jaccard y Sorensen, que aumentaron entre los escenarios de mayor temporalidad y presentaron menor valor con respecto al escenario de 1 a 3 años, evidenciándose que a partir de los 5 años de cese de la actividad minera se empieza a estabilizar la composición fitoplanctónica.

Tabla 4. Atributos de diversidad beta por escenarios de muestreo

Escenario 1	Escenario 2	Especies en los escenarios	Especies compartidas entre escenarios	Jaccard Classic	Sorensen Classic
1	5	56 - 100	45	0,405	0,577
1	10	56-104	47	0,416	0,588
1	20	56-100	49	0,458	0,628
5	10	100 -104	73	0,557	0,716
5	20	100-100	72	0,563	0,72
10	20	104-100	79	0,632	0,775

10.1.3. Relación entre algas Fitoplanctónicas y variables ambientales

Los resultados del CCA generaron un porcentaje de varianza total explicado del 59.5% ($\alpha=0.002$) (Tabla 5), se sugiere que la correlación entre la densidad de las algas fitoplanctónicas y las variables ambientales fue importante. Las variables significativas para la prueba de Monte Carlo ($<\alpha=0.05$) fueron el porcentaje de saturación y la concentración de nitratos (Tabla 6).

Tabla 5. Valor de significancia, inercia y porcentaje de varianza explicado para el Análisis de Correspondencias Canónicas usando las algas fitoplanctónicas y las variables ambientales

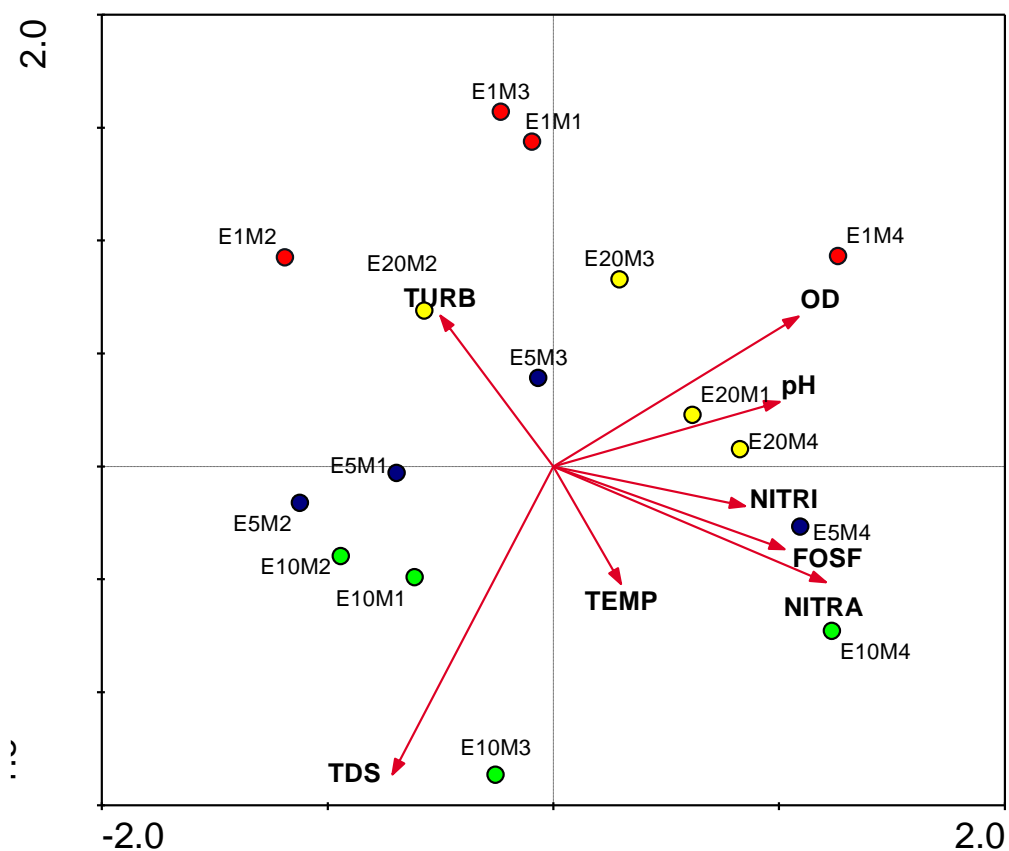
Test de significancia de todos los ejes canónicos: Traza	Valor F	Valor <i>p</i>	Inercia Total	Varianza explicada (%)
1,971	1,287	0.002	3.312	59.5

Tabla 6. Variables significativas explicadas para la prueba de Monte Carlo

Variable	Var. N	Lambda1
OD	2	0,32
NITRA	9	0,31
pH	4	0,29
TDS	8	0,29
FOSF	11	0,28
NITRI	10	0,25
TURB	5	0,23
TEMP	3	0,21

En el biplot A del CCA se observa que en el esquema asociado a las variables ambientales el primer eje canónico (0,41) mostró en su área positiva una fuerte relación de los vectores que representan el porcentaje de saturación y el pH con las estaciones asociadas al escenario 20 años. Adicionalmente, la parte negativa expresa una relación entre la turbidez y la mayoría de los muestreos del escenario de 1 a 3 años de abandono minero, este eje a su vez presenta una tendencia inversa con la temperatura y la concentración de nutrientes. Por su parte, la porción positiva del segundo eje (0,29) se asoció el pH y el porcentaje de saturación y en la parte negativa la concentración de nutrientes y la temperatura. En la zona negativa de éste eje se destaca la relación entre los sólidos disueltos totales con la mayoría de los muestreos del escenario de 10 años de cese de la actividad minera. Estas

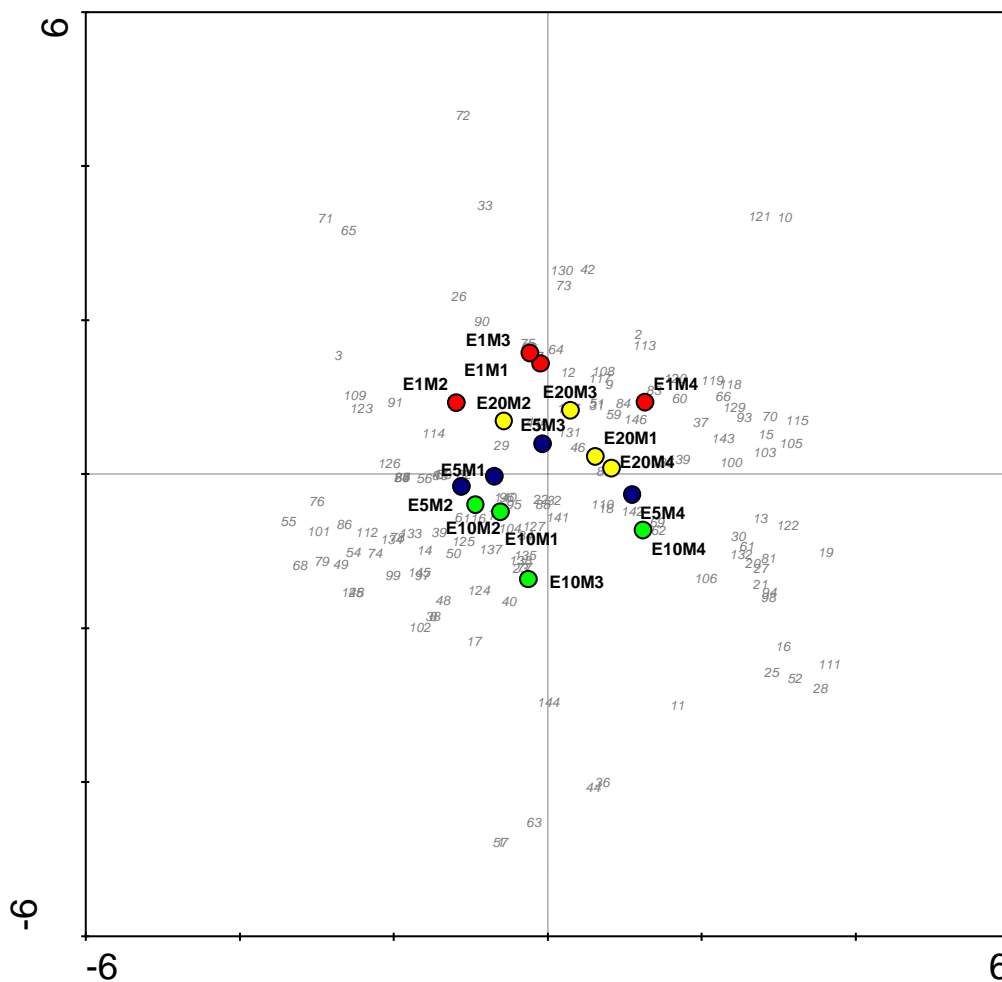
agrupaciones muestran que variables como la turbidez están asociadas a procesos de degradación por actividad minera reciente, en donde se ven afectadas las concentraciones de nutrientes y aumenta la temperatura del agua, mientras que en los escenarios de 10 y 20 años los procesos de recuperación se asocian a una mayor cantidad de materia orgánica y disuelta de origen vegetal.



Biplot A

Figura 24. CCA Biplot entre escenarios y períodos de muestreo. Los vectores representan las variables ambientales, observándose la tendencia de agrupación de las mismas por escenarios de muestreo, destacándose que para el escenario 1 a 3 años se asocia la turbiedad, para el escenario de 10 años, el material disuelto (TDS) y para el escenario 20 años, las variables relacionadas con la materia orgánica y nutrientes

Las taxas asociadas al Biplot B (figura 25), indican las conexiones de los grupos de estaciones mencionados anteriormente. En este sentido, las especies *Gymnodinium grande*, *Synura sp.*, *Peridinium sp.*, *Melosira varians C.Agardh*, *Sellaphora sp.*, *Pinnularia sp.* (*pinnularia af acrosphaeria*), estuvieron relacionadas a los vectores que representan el porcentaje de saturación y el pH, a los que se asocian la mayoría de los muestreos del escenario de 20 años. A su vez, las especies fitoplanctónicas *Actinela sp.*, *Coleochaete sp.*, *Gymnodinium sp.*, *Penium sp.*, *Penium sp2 (grande)*, *Protoperidinium sp (gymnodinium)*, *Merismopedia elegans A. Braun ex Kützing*, se relacionaron con la turbidez y a la mayoría de los muestreos realizados en el escenario de 1 a 3 años, lo que muestra que estas especies son resistentes a cambios bruscos de las condiciones ambientales en el área de explotación minera reciente. En la zona negativa del segundo eje en la que se destaca la relación entre los sólidos disueltos y los muestreos del escenario 10 años, se muestra una correlación con las taxas *Pinnularia olla (rostratissima var. Rostratissima)*, *Centritractus sp.*, *Gomphonema sp.*, *Euglena sp.*, expresando una dependencia directa con el contenido de material orgánico disuelto. El comportamiento general de estas especies en todos los escenarios muestra que, a pesar de que existen taxas muy abundantes y comunes entre escenarios, hay otras que responden de manera particular a las características fisicoquímicas de cada laguna, evidenciando que están relacionadas con el tiempo de cese de la actividad o abandono minero, y están asociadas a procesos de recuperación de las condiciones ambientales y a una incorporación de las lagunas en los procesos de resiliencia de las áreas degradadas por esta actividad.



Biplot B.

Figura 25. CCA Biplots entre escenarios y períodos de muestreo, algas fitoplanctónicas y variables ambientales. Los puntos representan los cuatro sistemas y monitoreos y las líneas rojas simbolizan las variables ambientales. Los números corresponden a las algas fitoplanctónicas donde los taxones 66,129, 93, 70, 105,115, 3, 26, 71, 65, 102, 17, 63, 48 mostraron una mayor relación con los escenarios 20, 1 a 3 y 10 años de abandono minero. La correspondencia numérica de las especies se encuentra en el anexo 2.

10.2. DISCUSIÓN

En relación a la temporalidad o tiempo de abandono de la actividad minera, se presentaron cambios en las condiciones fisicoquímicas de las lagunas estadísticamente significativos, considerando la disminución en las concentraciones de sólidos suspendidos, niveles de turbiedad, y el aumento de nutrientes y de material disuelto, así como las fluctuaciones de otras variables que están asociadas a procesos de conservación y de restauración de las condiciones ambientales de estos escenarios como el la temperatura, pH y el oxígeno disuelto (OD). Los grados de temperatura del agua registrada, se pueden relacionar con las horas de muestreo así como las características del ambiente, que para el caso de escenario de minería reciente (1 a 3 años) estuvo caracterizado por una zona litoral desprovista de vegetación, permitiendo la entrada directa de los rayos solares a la columna de agua; incidiendo además en las concentraciones de oxígeno disuelto, con niveles promedios en este escenario de 7,30 mg/l y un coeficiente de variación de 10,24% obedeciendo a un cuerpo de agua con buenas condiciones de oxigenación en todos los periodos de muestreo.

De igual manera, las condiciones fisicoquímicas del agua en esta laguna (escenario 1 a 3 años), estuvieron condicionadas por niveles de turbiedad y concentraciones de sólidos suspendidos altos, lo cual esta asociado al aporte de material de excavación durante el desarrollo de la actividad minera, así como procesos erosivos de cuerpos hídricos cercanos a esta laguna, donde se realizó actividad minera durante los períodos de muestreo, lo que puede generar una disminución de oxígeno disuelto en el agua, dado que las partículas en

suspensión impiden la transferencia de luz en la columna de agua reduciendo la fotosíntesis y procesos de oxigenación en el agua. Adicionalmente, los valores de nitritos y nitratos en este escenario fueron bajos mostrando condiciones de inestabilidad en el sistema. Caso contrario al fosfato con concentraciones que pueden estimular el crecimiento de algas y de plantas acuáticas al interior de la laguna.

A diferencia de lo anterior, el escenario de 5 años de cese de la actividad minera, presentó mejores condiciones en relación a los promedios de sólidos suspendidos totales (SST) (7,31 mg/l) y turbiedad (9,8 FAU), indicando heterogeneidad de los datos por periodos de muestreo, además de una relación con la precipitación y posibles procesos erosivos. De igual manera, se presentaron buenas condiciones de variables que favorecen la recuperación de sistemas disturbados como oxígeno disuelto, pH y temperatura del agua, indicando que para los primeros 5 años de cese de actividad minera, hay mayor aporte de materia orgánica del suelo y la vegetación circundante, lo que conlleva a procesos de degradación y oxidación en el agua que pueden contribuir en la reducción de la disponibilidad de oxígeno en el agua. Al respecto, algunos autores como García et al. (2001), afirman que la variación del contenido de oxígeno disuelto y, por ende, del déficit de oxígeno en el agua, puede estar en función de la presencia de vegetales y materia orgánica oxidable. Lo que explica la disminución de las concentraciones de esta variable con relación al escenario de 1 a 3 años de abandono minero. Los nutrientes en este escenarios presentaron concentraciones homogéneas entre puntos de muestreo, mostrando que, a partir de este periodo de abandono

se inicia una liberación de materia orgánica por crecimiento y procesos de sucesión vegetal que favorecen un mayor aporte de nutrientes en esta laguna

Tanto el escenario de 10 años como el escenario de 20 años de cese de la actividad minera, presentaron condiciones fisicoquímicas más estables, indicando que entre más aumenta la temporalidad o abandono minero se aumenta el ingreso de materia orgánica a las lagunas, por el avance en el crecimiento de la vegetación y la formación de la capa orgánica en el suelo, que por escorrentía aporta al agua componentes biodegradables que pueden consumir el oxígeno. Lo que coincide con las afirmaciones hechas por García et al. (2001), quienes reportan un déficit de oxígenos entre 20 a 40% en regiones de la Amazonía, la Orinoquía y la cuenca del río Atrato, relacionando esta condición en el agua probablemente a la presencia de materia orgánica proveniente del ciclo natural de descomposición de la biota y al arrastre de sedimentos, que generalmente tienen considerables contenidos de sustancias fácilmente oxidables. En estos escenarios las variables fisicoquímicas monitoreadas presentan condiciones de uniformidad en los 4 puntos durante los 4 periodos de muestreo, mostrando una estabilidad del ecosistema favorecido posiblemente por la vegetación predominante en sus zonas de ribera, caracterizada por una sucesión vegetal avanzada, con presencia de los niveles arbustivo y arbóreo. Las concentraciones de nutrientes presentaron fluctuaciones que pudieron estar asociadas a las variaciones del clima en los periodos de muestreo y al contenido de materia orgánica de origen vegetal caracterizado por la presencia de vegetación flotante como macroalgas para el caso del escenario de 10 años. Al respecto, autores como Jill (2003), afirma que las condiciones nutricionales y químicas

naturales son reflejo del clima local, del lecho rocoso, del suelo, del tipo de vegetación y de la topografía.

La ordenación del PCA permitió observar que las cuatro lagunas o escenarios de estudio son fisicoquímicamente distintos, aunque aquellas que se derivaron de la minería en temporalidades más recientes, es decir con 1, 5 y 10 años se asociaron al primer componente junto con las variables relacionadas con contenido de material disuelto y suspendido en el agua y temperatura, cada escenario estuvo dominado por variables diferentes, lo cual tiene una relación directa con la temporalidad del disturbio. En este sentido, el análisis muestra que el escenario de reciente creación con una temporalidad de 1 a 3 años presentó mayor asociación con los sólidos suspendidos y la turbidez, situación que se explica teniendo en cuenta que inmediatamente ocurre la explotación minera a cielo abierto, se elimina la vegetación, las capas del suelo son removidas y lavadas para extraer los metales, vertiendo las aguas residuales del proceso en las excavaciones que posteriormente se convierten en las lagunas de estudio, haciendo que en estas se concentren grandes cantidades de sólidos suspendidos que generan aguas de alta turbiedad. Con relación a esto Sánchez y Cañón (2010), Vargas et. al. (2010), Vargas (2012) reportan que en el Chocó la minería a cielo abierto utiliza maquinaria pesada (retroexcavadoras), con la cual se retira la cobertura vegetal y se remueven grandes volúmenes de tierra, que tras la extracción del metal, es vertida a los cuerpos de agua. Además indica que uno de los parámetros que presenta mayor concentración en los vertimientos de este tipo de minería son los sólidos suspendidos (SST) que oscilan entre 102 y >100.000 mg/l debido a la gran

cantidad de materiales estériles que se lavan para extraer los minerales, los cuales aumentan la turbiedad del agua.

Esta condición de turbiedad de las lagunas derivadas de la minería predomina durante los primeros años, donde la sucesión vegetal aun es incipiente y la alta pluviosidad genera escorrentías que continúan aportando sólidos en suspensión aun en estado de abandono minero, situación que explica el asocio de los muestreos realizados en el escenario 2 (20 años de cese de la actividad minera) con las variables sólidos suspendidos y turbiedad. Lo cual es explicado por Calder, Hofer, Vermont y Warren (2007), quien indica que la deforestación aumenta la erosión, resultando en una mayor concentración de sedimentos en la escorrentía y en el aporte de sólidos a los ecosistemas hídricos. Pese a que las lagunas de estudio no constituyen cuerpos de agua de origen natural, una vez se termina el proceso de extracción minera y son abandonadas, estas se configuran como nuevos sistemas acuáticos donde también se presentan estos fenómenos de intercambio con la vegetación y el suelo circundante de manera similar que en ecosistemas hídricos naturales, por lo que los comportamientos mencionados acerca del aporte de sólidos suspendidos al espejo de agua durante la etapa de intervención reciente, donde el área circundante aun esta desprovista de vegetación, aplican para explicar las condiciones del escenario de 20 años de abandono y su ordenación en el PCA.

Por su parte el escenario de 5 años de abandono presenta mayor asocio con el contenido de nitrógeno, mostrando los primeros indicios de los cambios fisicoquímicos que se generan en el agua de estas nuevas lagunas, como consecuencia del proceso de resiliencia que ocurre en el ecosistema circundante degradado por la actividad minera. En esta temporalidad se puede observar que se ha iniciado el proceso de sucesión vegetal en las zonas adyacentes y las riberas, con lo cual se generan aportes de materia orgánica dado por el intercambio que existen entre los cuerpos de agua y la vegetación asociada, teniendo en cuenta que los nutrientes, entre los que se encuentran los compuesto del nitrógeno como nitratos llegan a las aguas superficiales derivados de la descomposición natural de materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas por acción de microorganismos (Pacheco y Cabrera 2003). Esta situación favorece el incremento del contenido de nutrientes en el agua, lo que marca un cambio con respecto al escenario de 1 a 3 años de cese de la actividad minera, donde solo predominan sólidos suspendidos, dada su condición de ser un cuerpo de agua derivado de una actividad antrópica como la minería que los aporta en grandes cantidades. Lo anterior explica que aunque los escenarios de 1 a 3 años y 5 años de abandono minero se hayan ordenado en el primer componente están dominados por variables fisicoquímicas diferentes, cuyas diferencias podrían indicar que una vez estas lagunas son generadas por el proceso minero, presentan un mejoramiento en sus condiciones ambientales a medida que se incrementa la temporalidad de cese de la intervención, lo cual es favorecido por la resiliencia del ecosistema en el que se encuentran.

El escenario de 10 años de abandono se ordenó junto a la conductividad y los sólidos disueltos, lo cual corrobora lo antes mencionado con relación a la influencia del tiempo y los procesos de resiliencia en la dinámica física y química de las lagunas derivadas de la minería. Estas variables son indicadoras de que los aportes de iones y sales que produce el intercambio con las capas de suelo conformadas luego del proceso de extracción, han tenido el tiempo suficiente para sufrir procesos de mineralización y dilución en el agua, haciendo que las concentraciones de material disuelto y la conductividad se incrementen y sean las variables que dominen estos ambientes después de 10 años de cese de la explotación. Lo anterior teniendo en cuenta que dichas variables están directamente relacionadas y que la conductividad eléctrica expresa de forma global el grado de mineralización del agua, la cual depende de las características geológicas y refleja la acumulación de iones que se producen por el drenado y lavado de los suelos con el discurrir del agua, lo cual para este escenario ha aumentado considerablemente con respecto al escenario de 5 años de abandono.

El escenario de 20 años de cese de la actividad minera, mostró una mayor relación con las variables del segundo componente, las cuales explican mayores contenidos de oxígeno, pH y en menores proporciones algunos nutrientes como nitritos y fosfatos, evidenciando mayor estabilidad en las dinámicas fisicoquímicas del cuerpo de agua conformado, posiblemente con características más cercanas a la de ambientes acuáticos naturales, dada la temporalidad de creación. Estas variables son indicadoras de que los aportes de materia orgánica que el suelo y la vegetación hayan podido hacer a estos espejos de agua como producto del avance

de la sucesión vegetal en el área intervenida, han tenido el tiempo suficiente para sufrir procesos de degradación, dilución en el agua, teniendo en cuenta que dicha materia orgánica disuelta (MOD) constituye una compleja mezcla heterogénea de macromoléculas, cuyos principales componentes en las aguas dulces son sustancias húmicas, y carbohidratos (Steinberg y Münster 1985, Volk, Volk y Kaplan, 1997, Baker 2001, Engelhaupt y Bianchi 2001, Baker y Spencer 2004), los cuales en las aguas naturales puede ser originados por la descomposición del material biológico procedente de animales, plantas y microorganismos (Spence et al. 2011). Así mismo, el PCA permite inferir que a pesar de dichos aportes orgánicos este escenario mantiene buenas condiciones de oxigenación, mostrando un recambio de agua que puede estar favorecida por la alta pluviosidad de la zona de estudio. A este resultado se suma que tanto el oxígeno como el pH hayan presentado coeficiente de variación bajo en el escenario 4, y los fosfatos no hayan presentado diferencias significativas entre los escenarios, de ahí que estas variables se hayan agrupado de manera simultánea con los muestreos de los escenarios de 1 y 4, evidenciando además que estas variables no son afectadas de manera considerable por el disturbio minero.

Es importante mencionar el asocio de la temperatura con el componente de mayor peso en el análisis y que esta variable cobra una gran importancia más que en los impactos directos de la minería, en la dinámica temporal de las áreas degradadas, ya que sus cambios en los ambientes acuáticos están dados en mayor medida por el grado de exposición a la radiación solar, que en estos ambientes está directamente relacionado con el nivel de sucesión vegetal en el área de influencia, de ahí que la temperatura haya presentado diferencias entre los

escenarios muestreados. En términos generales el PCA muestra la existencia de un gradiente ambiental entre escenarios, que está determinado por la temporalidad de cese de la actividad minera, la cual corresponde a su vez a la edad de generación de las lagunas, lo que sugiere que una vez ocurre el impacto y se conforman estos cuerpos de agua, comienzan un proceso de recuperación junto con el ecosistema, permitiendo que dichas lagunas se incorporen a las dinámicas ambientales conformando unos nuevos ambientes acuáticos que requieren estudio detallados para soportar la toma de decisiones en torno a su manejo adecuado.

Las fluctuaciones del fitoplancton entre los escenarios de muestreo estuvieron directamente relacionadas con las variaciones temporales de las condiciones ambientales. La alta abundancia encontrada en los escenarios de 5, 10 y 20 años de abandono minero, obedece a algunas características similares en cuanto a forma, tamaño y materiales que presentaron y que definen la sucesión algal; como es la materia orgánica que se genera con el restablecimiento de la vegetación circundante, el tipo de materiales orgánicos que las alimentan, la profundidad relativa, la penetración solar, la descomposición de materiales suspendidos y el drenaje o recambio de aguas naturales que entran en contacto con estas lagunas. Al respecto, Garcia et al. (1993), manifiestan que en ecosistemas lenticos, las variables ambientales son el resultado de factores climáticos y geológicos que determinan la composición y dinámica de sus aguas y los aportes de materiales favorecen la heterogeneidad espacial del fitoplancton, teniendo en cuenta que el fitoplancton aprovecha la cantidad de alimentos para aumentar su abundancia. Este comportamiento difiere de la

composición fitoplanctónica del escenario de 1 a 3 años de cese de la actividad minera en donde se presentó la menor abundancia algal y predominaron morfoespecies que son resistentes a medios cambiantes, toda vez que las condiciones circundantes de la vegetación generadas como consecuencia de la tala y descapote reciente del bosque y material vegetal requerida en los procesos mineros, así como la poca disponibilidad de nutrientes, no permiten la generación de materia orgánica en este ambiente, lo que concuerda con Martínez *et al.* (2008), quien afirma que las concentraciones de nitrógeno y de materia orgánica disuelta son los factores que determinan la sucesión del fitoplancton en ecosistemas lénticos. Otros autores como Hutchison, (1959); Levins, (1968); Mac Artur, (1972), Levin, (1970), postulan que la introducción de un disturbio, constituye un factor limitante que sustituye una o varios recursos pero una cantidad de especies tolerantes aun pueden mantenerse en equilibrio con menos recursos; lo que podría explicar las diferencias observadas entre estos escenarios de muestreo.

El hecho de que los morfoespecies *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Gymnodinium grande*, *Protoperidinium sp.*, y *Botrycoccus sp.*, fueron las especies con mayor densidad y frecuencia obedece a que las mismas tienen una alta adaptabilidad a diversos ambientes y modos de nutrición; adicionalmente tienden a formar grandes afloramientos en lagos antrópicos ricos en nutrientes principalmente nitratos y fosfatos, además de ser colonizadoras de cuerpos de aguas (Guaman y Gonzalez, 2016), y están determinadas por algunos factores como la cantidad de materia orgánica, la transparencia y la estabilidad de la columna de agua (Pinilla, 2010; Vásquez, Ariza y Pinilla, 2006). Estas

características favorecieron además, la frecuencia de aparición de estas especies en todos los escenarios de muestreo.

La tendencia de crecimiento con respecto a la riqueza mostró un comportamiento ascendente a medida que se avanza en el tiempo de abandono de la actividad minera, denotando que, no solo hay una gran variedad de organismos, si no también que el número de ellos por taxa es elevado, y que la mayoría de las especies estuvieron bien representadas a nivel de sus abundancias, incluyendo el escenario de minería reciente; manifestando una vez mas que la disponibilidad de nutrientes, la penetración de los rayos solares y la profundidad, favorecen el crecimiento del fitoplancton en las lagunas. Algunos autores coinciden en afirmar que la temperatura, la alta turbulencia y la penetración de la luz y la alta turbidez inorgánica, son factores que definen la riqueza y la presencia de especies del fitoplancton (Gliwitz, 1999; Reynolds, 1984; Sommer, 1993), por otro lado, la riqueza y la diversidad están relacionadas con la actividad metabólica, así, el aumento de estas variables indican un incremento de la actividad metabólica de los organismos, de modo que estas variaciones están asociadas a las características productivas de la comunidad.

Los cambios en las densidades no presentaron un patrón definido, lo que podría estar relacionado con cambios específicos que sufre el fitoplancton al interior de cada escenario y que dependen de condiciones muy particulares en las lagunas como la disponibilidad de sustrato, lo que podría generar varios patrones de crecimiento de las comunidades algales.

Al respecto Lobo (1983) y Margalef, (1983) afirman que cuando los ambientes sufren cambios bruscos, ya sea por las intervenciones antrópicas o propias del sistema, las especies deben usar ambientes diferentes para subsistir e igualmente las perturbaciones interrumpen el curso sucesional normal; por tanto, las condiciones extremas de las lagunas permiten el desarrollo de unas pocas especies que dominan debido a su capacidad de tolerancia a dichas condiciones. Esto podría ser una explicación al hecho de que el escenario de 1 a 3 años de cese de la actividad minera presentara la menor riqueza de taxas, y mostrara una densidad alta. El escenario de 5 años de abandono minero que podría considerarse de disturbio intermedio, en el cual se empiezan a estabilizar las condiciones ambientales circundantes presentó una alta densidad de taxas, lo que significa que además de las ya existentes en el escenario de minería reciente, solo a partir de este período de cese de la actividad minera, empiezan a aparecer nuevas especies, que posteriormente se estabilizan en los escenarios de 10 y 20 años. Esta situación también podría explicarse con las afirmaciones de Charles (2002), quien manifiesta que estudios recientes sobre la estructura de la comunidad planctónica ponen de manifiesto que la diversidad de especies suele ser mayor en situaciones de transición (escenario 5 años de abandono minero) y tiende a disminuir con la estabilidad (escenario 10 y 20 años),

Otros factores que incidieron en las fluctuaciones de la densidad, fueron los períodos de muestreo. La mayor abundancia de taxas se encontró en el primer y cuarto muestreo durante los cuales se presentaron radiaciones solares altas favoreciendo los procesos

fotosintéticos y aumentando las concentraciones de nutrientes y materia orgánica al interior de las lagunas, lo que beneficia la reproducción de las algas de manera exponencial, en horas y días, de acuerdo a los materiales del medio. El segundo y tercer muestreo estuvieron condicionados por periodos de lluvias durante las horas de la noche, generando una disminución de nutrientes y material orgánico en el medio, conllevando a una menor colonización del fitoplancton. Estas condiciones coincidieron con las apreciaciones de Córdoba y Villegas (1966), quienes sostienen que las precipitaciones llevan a que se lixivien los suelos de los lagos y que haya un empobrecimiento de nutrientes por arrastre lo que consecuentemente afecta el fitoplancton. Otros autores coinciden en afirmar que Durante la época de lluvias el aumento en la concentración de nutrientes, principalmente nitratos y sílice soluble reactivo (Herrera, 1994 y Ramírez y Viña, 1998) favorece la mayor abundancia relativa de *Bacillariophyta*, que obtuvo además, una alta densidad en todos los escenarios de muestreo, principalmente en el escenario de 10 años de cese minero.

Los valores altos de dominancia son coherentes con los valores de riqueza de morfoespecies y permiten inferir que estas lagunas, a pesar de ser generadas antrópicamente mediante las etapas de descapote y excavación de tierra requeridas durante la explotación minera, cuentan con la capacidad de mantener el predominio de un gran número de especies que aprovechan muy bien los recursos para incrementar sus densidades; lo que está favorecido por los procesos de restablecimiento de las condiciones ambientales del medio circundante; en donde además, las dinámicas espaciales de nutrientes en cada uno de estos escenarios tienen una participación importante. Esta apreciación se

fundamente además con algunos principios ecológicos que expresan que la forma como se distribuyen las abundancias de especies que integran un ecosistema, refleja la funcionalidad del mismo, en el sentido de que la presencia de unas pocas especies muy abundantes es propio de ecosistemas sometidos a variaciones y con gran disipación externa de la energía que circula a través de ella (Comín, Rodó, Romero, Menéndez, 2018), comportamiento que se evidencia en la laguna de 1 a 3 años de abandono minero; por otro lado, la presencia de un número mayor de especies con una distribución más uniforme de sus abundancias es más propia de ecosistemas sometidos a condiciones ambientales más estables, (Comín, et al., 2018), situación similar a la presentada en los escenarios de 5, 10 y 20 años de cese minero.

De esta manera, un alto valor de especies indican por su abundancia obtenida, que las condiciones ambientales en las lagunas favorecen más a unas especies en particular en comparación con el resto de las otras especies presentes de la comunidad; entre estas las especies de los géneros *Pseudoanabaena*, *Thalassiosira*, *Gymnodinium*, *Peridinium*, *Proto-peridinium*, que están asociadas a la eutrofización por incremento de nutrientes. Con todo se asume que las especies observadas, por ser las más abundantes reflejan mejor las condiciones de cada laguna, pues habían logrado alcanzar altas densidades, de hecho los principales taxos por abundancia fueron casi iguales en la mayoría de las lagunas. Lo anterior también se corrobora con el número de especies compartidas entre escenarios lo cual permite ver que hay una mayor similitud entre los escenarios de 5, 10 y 20 años de cese de la actividad minera.

En términos generales, el comportamiento del fitoplancton en estos escenarios perturbados por actividad minera fue similar a los reportados por IIAP (2017), en su estudio sobre Caracterización ecológica de un complejo lagunar del río Berreberre, Cuenca media del río Baudó, donde las algas pertenecientes a la división *Bacillariophyta*, fueron las más representativas en el análisis taxonómico en la laguna El Indio con un 47% del total de los géneros reportados, seguida de la laguna Caleta (40%), con una presencia importante de géneros de esta división en la laguna la Posa de María; identificándose también una importante presencia del género *Euglena* sp. El análisis general de esta investigación, muestras que estas lagunas naturales presentaron altos valores de diversidad (0,937 a 2,22), equidad (0,83 a 0,967) y dominancia (0,082 – 0,236); comparando, se puede concluir que a partir de los 5 años de cese de la actividad minera se empieza a estabilizar la composición fitoplanctónica en las lagunas derivadas de la actividad minera, denotando una estructura algal similar a lagunas naturales.

El análisis combinado entre las variables fisicoquímicas de las lagunas derivadas de minería y las algas fitoplanctónicas evidenció la existencia de un gradiente temporal, que indica que a medida que se incrementa el tiempo de abandono minero, se generan cambios en sus condiciones ambientales, así como en la composición y densidad de la comunidad fitoplanctónica, para lo cual el porcentaje de varianza explicado por el CCA (59.5%) sugirió una fuerte correlación, en la que se asoció la turbidez con el escenario de 1 a 3 años de abandono minero, que además presentó una tendencia inversa con la temperatura y la

concentración de nutrientes. Lo anterior se explica teniendo en cuenta que estos ambientes son de origen antrópico y durante la etapa de reciente creación se encuentran desprovistos de vegetación circundante y con pocos aportes de materia orgánica, dado que con la minería es retirada tanto la capa biodegradable del suelo como la cobertura vegetal asociada (Ramírez y Ledezma 2007, Leal 2009, Andrade 2011, Ayala, Mosquera, Murillo 2008), lo que hace que estos cuerpos de agua se encuentren altamente expuestos a la radiación solar, a cambios de temperatura, escasez de nutrientes y altos aportes de sólidos suspendidos generados por los vertimientos del disturbio reciente y por la escorrentías, incrementando así su turbidez como lo reporta Vargas et al. (2010).

El CCA evidenció que con estas características fisicoquímicas las especies fitoplanctónicas que dominaron fueron *Actinela sp.*, *Coleochaete sp.*, *Gymnodinium sp.*, *Penium sp.*, *Penium sp.2 (grande)*, *Protoperidinium sp. (gymnodinium)* y *Merismopedia elegans A.Braun ex Kützing*, lo que permite inferir que son tolerantes a las condiciones ambientales extremas que caracterizan estos cuerpos de agua que se originan de una intervención minera reciente. Lo anterior concuerda con las afirmaciones de Licursi (2005), quien indica que en ambientes acuáticos que han sufrido procesos de dragado o remoción del suelo, se pueden reconocer dos tipos de disturbios en el hábitat; por un lado aquellos relacionados con la eliminación de sedimentos del fondo y la consecuente inestabilidad del sustrato y por otro lado los relacionados con la alteración de la columna de agua entre los que se incluyen los cambios químicos y la alteración del ambiente lumínico, a partir de lo cual se genera un incremento en la densidad de diatomeas y el reemplazo de organismos sensibles por

especies más tolerantes, situaciones que coinciden con el estado de lagunas de reciente generación post minera, donde aun no se ha conformado el sustrato y la columna de agua presenta alta turbidez que reduce el paso de la luz y condiciones fisicoquímicas muy cambiantes.

Los primeros cambios en el gradiente identificado estuvieron marcados por el incremento en los sólidos disueltos y la disponibilidad de nutrientes que empieza a notarse a partir de los 5 años y se hace mayor con temporalidades de 10 y 20 años, de ahí que en el análisis este tipo de elementos se hayan asociado con estos escenarios, de lo cual se puede deducir que las lagunas derivadas de la minería sufren un proceso de resiliencia que está favorecido por la temporalidad y por el avance de las etapas de sucesión de la vegetación en el ecosistema circundante. A este respecto Martínez y Donato (2003) afirman que las características físicas y químicas del agua, así como los disturbios y la heterogeneidad espacial y temporal que generan, son los elementos que definen la distribución, la dispersión, la colonización y la respuesta de los organismos, siendo un factor importante dentro del ámbito físico la naturaleza y el estado de la vegetación riparia de los cuerpos de agua (Roldán y Ramírez, 2008), ya que interviene tanto en el aporte de nutrientes, como en la cantidad de luz y temperatura que entra al sistema.

A partir de estas afirmaciones, se puede inferir que el avance en el proceso de sucesión en el bosque asociado a las lagunas de 5 y 10 años, favorece también el proceso de sucesión de la comunidad fitoplanctónica, ya que con ella se incrementa el aporte y la retención de

nutrientes disueltos en el agua, marcando un cambio en las condiciones ambientales con respecto al escenario de 1 a 3 años, lo cual modeló el ordenamiento de las especies y sugiere la conformación de estos ambientes como nuevos ecosistemas acuáticos. Es así, como estos cambios temporales en las condiciones ambientales de las lagunas mostraron un efecto en la comunidad fitoplanctónica que pudo observarse a partir de los grupos de taxas que se asociaron con los cuerpos de agua con temporalidades de 5 y 10 años, las cuales fueron principalmente *Pinnularia olla* (*rostratissima* var. *Rostratissima*), *Centritractus sp*, *Gomphonema sp* y *Euglena sp*. Estos taxas además de ser diferentes de los que se relacionaron con la laguna de 1 a 3 años, expresaron una dependencia directa con el contenido de material orgánico disuelto que fue la condición fisicoquímica predominante en estas temporalidades intermedias de abandono.

En contraste con todo lo anterior, en el gradiente evidenciado en el CCA se destaca una fuerte relación entre el pH y el porcentaje de saturación de oxígeno con las estaciones asociadas al escenario de 20 años de abandono. Esta condición de alta saturación en la disponibilidad de oxígeno y pH puede ser indicativo de un incremento en el proceso fotosintético según Montalvo et al. (2008), Roldan et al. (2008), De la Parra y Rodelo (2012). Teniendo en cuenta que dicho proceso está a cargo en gran medida de la comunidad fitoplanctónica, este resultado explica que un gran número de morfoespecies como *Gymnodinium grande*, *Synura sp.*, *Peridinium sp.*, *Melosira varians* C.Agardh, *Sellaphora sp.* y *Pinnularia sp.* (*pinnularia af acrosphaeria*), se hayan asociado con el arreglo conformado por el escenario de 20 años, el pH y el porcentaje de saturación de oxígeno,

indicando que además de un mejoramiento en las condiciones ambientales del ecosistema conformado después del disturbio, con esta temporalidad se produce un avance en el estado de sucesión de dicho ecosistema, donde ahora las especies que dominan dejan de ser únicamente tolerantes y pasan a ser indicadoras de buen estado de calidad, como lo corrobora Carmona (2016), quien indica que especies como *Melosira varians* es indicadora de ambientes bien oxigenados, que muestran preferencias por aguas oligotróficas y una alta especificidad.

La tendencia general en el comportamiento de las variables fisicoquímicas y la estructura de la comunidad fitoplanctónica a través de todos los escenarios temporales analizados, apunta a concluir que a pesar de que existen morfoespecies muy abundantes y comunes entre los distintos escenarios, con el tiempo de abandono minero se genera un mejoramiento en las condiciones ambientales de las lagunas y un recambio de organismos que responden de manera particular a dichos cambios, los cuales se ven favorecidos por los procesos de sedimentación de la carga de sólidos suspendidos y turbiedad, la conformación del sustrato con aportes de materia orgánica y el equilibrio en los niveles de temperatura y disponibilidad de luz, condiciones que se generan con el tiempo y con el avance en el proceso de sucesión del bosque de las áreas degradadas por la actividad minera que se encuentran asociadas a estas lagunas. Todos estos factores de manera conjunta, favorecen la consolidación de un nuevo hábitat que modela la composición y abundancia de la comunidad de las algas fitoplanctónicas, permitiendo que estos cuerpos de agua generados a partir de un disturbio, se integren a los procesos de recuperación de las áreas intervenidas

y conformen nuevos ecosistemas, que requieren de estudios que permitan entender su dinámica para tomar decisiones adecuadas para su gestión.

11. CONCLUSIONES

Las variables que determinan la subsistencia de la biota en los escenarios el oxígeno disuelto y la temperatura, presentaron coeficientes de variación menores a 8%, mostrando homogenización en los datos, mientras que las variables asociadas con el aporte de sólidos como turbiedad, sólidos suspendidos, conductividad y sólidos disueltos presentaron coeficientes de variación entre 20,20% y 167,456%, al igual que compuestos nitrogenados como los nitritos; evidenciándose fluctuaciones considerables en estas variables. La prueba Kruskal-Wallis mostró diferencias estadísticamente significativas entre escenarios en variables como oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, temperatura, pH, turbiedad, sólidos suspendidos, conductividad, sólidos disueltos totales y nutrientes como el nitrito ($P < 0,05$); mientras que variables como el nitrato y el fosfato no presentaron diferencias estadísticamente significativas con valores de $P > 0,05$, resultados que explican la relación entre procesos de recuperación y las condiciones ambientales de las lagunas derivadas de la actividad minera.

El análisis global de las variables fisicoquímicas en las lagunas derivadas de la actividad minera mecanizada en el municipio de Cértegui, Chocó, permite una clasificación en función de la temporalidad o periodos de abandono, evidenciado en variaciones espacio temporales. Desde el punto de vista espacial se observa como las alteraciones que ha sufrido el sustrato en diferentes periodos de tiempo determinan marcadamente la composición química de las lagunas, donde las concentraciones de material disuelto y suspendido, al igual que los nutrientes, son las que más inciden la dinámica en estos sistemas hídricos, comportamiento relacionado específicamente al desarrollo de la actividad minera mecanizada, constituyéndose en el mayor aportante de estos elementos en el agua en los escenarios estudiados, desde 1 a 3 años correspondiendo a un cese reciente de la minería, hasta 20 años de abandono. Por el contrario, otras variables como el oxígeno disuelto, el pH y los nutrientes como el nitrito no mostraron correspondencia significativa, lo que guarda una relación más directa con las condiciones naturales de las lagunas, viéndose menos alterados por los cambios en la calidad de sus aguas.

El análisis de la composición y estructura de la comunidad del fitoplancton en estos escenarios, permite concluir que a partir de los 5 años de abandono minero, se forman nuevos microambientes bien constituidos y representados por estas comunidades algales, lo que se evidencia con altos valores de diversidad, dominancia, alta riqueza y equidad de individuos que se adaptan a medios cambiantes, que les permiten sostener altas densidades como son los individuos de las clases *Dinophytas*, *Bacyllariophytas* y *Cholorophytas* principalmente. Estas se hicieron grupos dominantes en todas las lagunas muestreadas con

las diferentes temporalidades de formación y para todos los muestreos establecidos incluido el escenario de 1 a 3 años de abandono minero. Se concluye además, que entre mas tiempo de abandono minero de estas lagunas, más alta es la composición y la densidad celular en estos microambientes, porque a medida que pasa el tiempo se presentan procesos de sucesión vegetal que favorecen la entrada de materiales alóctonos, lo cual se convierte en sustento para la comunidad fitoplanctónica; por otra parte, factores como precipitaciones, fenómenos climáticos y luz solar, se convierten en uno de los factores que están modelando la estructura de la comunidad y conllevan a altas floraciones de morfoespecies.

El análisis de CCA permite afirmar la hipótesis planteada en la cual se esboza que las lagunas artificiales que se generan de la actividad minera mecanizada en el municipio de Cértegui, Chocó se configuran como nuevos ecosistemas lénticos, en los cuales la composición y abundancia de la comunidad de algas del fitoplancton cambia con relación al restablecimiento de las condiciones fisicoquímicas del agua desde el cese de la actividad, lo que puede evidenciarse como fluctuaciones espacio temporales en los aspectos ecológicos de la distribución y variación de este grupo biológico. Lo anterior favorecido por la disminución de sólidos suspendidos y turbiedad, las cuales son variables asociadas a procesos de excavación y remoción de material vegetal durante la actividad minera; al igual que la conformación del sustrato con aportes de materia orgánica y el equilibrio en los niveles de temperatura y disponibilidad de nutrientes y de luz, condiciones que se generan a partir de los 5 años con el avance en el proceso de sucesión vegetal en sus niveles arbustivos y arbóreos de las áreas degradadas por la actividad minera que se encuentran

asociadas a estas lagunas. Todo lo anterior, favorece la conformación y el establecimiento de hábitat de especies fitoplanctónicas, y por consiguiente, la incorporación de estas lagunas a procesos de recuperación y restablecimiento de áreas degradadas por actividad minera.

12. RECOMENDACIONES

Como se describió en el desarrollo de esta investigación, como consecuencia del desarrollo de la actividad minera mecanizada en el departamento del Chocó, específicamente en el municipio de Cértegui, se generan pozos o lagunas artificiales, las cuales fragmentan el ecosistema y posteriormente son abandonadas integrando de esta manera, grandes áreas disturbadas por dicha actividad. De acuerdo con los resultados de este estudio, se plantea como principal recomendación la clausura o cierre de estas lagunas una vez termina la actividad, dado que durante los primeros años de cese las mismas no se consolidan como nuevos ecosistemas y deben ser rellenadas a nivel de terreno mediante el uso de maquinaria para lograr una conformación final del suelo que permita la implementación de las medidas de restauración ecológica (IIAP et al. 2012). De igual manera. En áreas degradadas donde hay lagunas artificiales con temporalidades superiores a 10 años y que cumplan con la función de diversificar el hábitat en esos ambientes disturbados y favorecer la recuperación ambiental, se recomienda integrar estas lagunas mediante procesos de recuperación paisajística que de acuerdo con los resultados, estas se incorporan al proceso de restauración de todo el área. Para la utilización de estas lagunas en otros procesos antrópicos como pesca

artenasal entre otros actividades a nivel local y comunitario, se deberan hacer seguimiento de las condiciones fisicoquímicas y ecológicas asi como complementar con estudios mas avanzados que incluyan caracterizacion de mercurio en sedimentos y bioacumulación en microespecies, especies icticas, entre otras.

13. BIBLIOGRAFÍA

Andrade C. G. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales 35(137): 491-507.

Arteaga, E., Rodríguez-Rubio, E. y Galeano, A. (2008). Distribución, abundancia y composición del fitoplancton y condiciones ambientales en la cuenca pacífica colombiana, durante enero- febrero de 2007. Boletín Científico CCCP, (15): 105-122.

Asprilla, S., Ramirez, J. J., Roldan, G. (1998). Caracterización Limnológica preliminar de la ciénaga de Jotaudó (Chocó, Colombia). Revista Actualizades Biológicas 20 (69): 87–107.

Ayala JH, J Mosquera, WI Murillo. (2008). Evaluación de la adaptabilidad de la acacia(*Acacia mangium* Wild), y bija (*Bixa orellana*) en áreas degradadas por la actividad minera aluvial en el Chocó biogeográfico, Condoto, Chocó, Colombia. Revista Bioetnia 5(2): 493 115-123.

Baker A, Spencer R.G.M. (2004). Characterization of dissolved organic matter from source to sea using fluorescence and absorbance spectroscopy. *Sci. Total Environ.* 333, 217-232.

Baker A. (2001). Fluorescence excitation-emission matrix characterization of some sewage impacted rivers. *Environ. Sci. Technol.* 35, 948-53.

Barsanti, L. y Gualtieri, P. (2006). *Algae, Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. Boca Raton, Florida: Taylor y Francis Group.

Borcard, D., Legendre, P., Drapeau P. (1992). "Partialling out the spatial component of ecological variation". *Ecology*. Vol. 73, Págs. 1045–1055.

Calder, I., Hofer, T., Vermont, S. y Warren, P. (2007). Towards a new understanding of forests and water. *Unasylva* Vol. 58, No. 229. FAO: Roma.
www.fao.org/docrep/010/a1598e/a1598e02.htm

Carmona J, Ramírez R, Bojorge-García M, González B, Cantoral-Uriza E. (2016). Estudio del valor indicador de las comunidades de algas bentónicas: una propuesta de evaluación y aplicación en el río Magdalena, ciudad de México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 32 (2) 139-152, 2016. DOI: 10.20937/RICA.2016.32.02.01

Chala-Arango AM y Trochez-Candamil J. (2011). *Costos y beneficios ambientales y socioeconómicos de la actividad minera aluvial en el corregimiento de Navarero*. Proyecto de grado para optar por el título de Administrador del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ciencias Básicas.

Departamento de Ciencias Ambientales Administración del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Santiago de Cali. 86pp.

Charles, D. (2002). Diatomeas de agua dulce: Indicadores del cambio del ecosistema. Academia de ciencias naturales, Philadelphia. Academia de ciencias. San Francisco de California 2002.

Chisholm S.W. (1992). Phytoplankton size. En: Falkowski, P.G & Woodhead, A.D. (Eds Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum, New York. p. 213-237.

Comín, F.A., Rodó, X., Romero, J.A., Menéndez M. (2018). Aplicaciones de las teorías ecológicas a la gestión del agua y de los ecosistemas acuáticos. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona, Diagonal 645, 08028 Barcelona. Consulta en línea. Fecha de consulta: 16 de Febrero de 2018.

Córdoba, G. J. & A. Villegas. (1966). Estudio preliminar y manejo de la cuenca de captación del embalse La Fe. Revista Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.

Cuesta, Y., Hurtado, A., Ramirez, G. (2011), Diversidad de las algas y los macroinvertebrados y su relación con la productividad trófica de la ciénaga Grande de Beté, Medio Atrato, Chocó. Revista Bioetnia. Volumen 8 N° 2 julio-diciembre, 2011 ISSN 1990-0561. 171 - 177.

De la Parra A, Rodelo K. (2012). Composición y abundancia de la comunidad de algas perifíticas del río cesar asociado a variables fisicoquímicas e hidrológicas durante los meses de febrero-septiembre del año 2011. Cesar, Colombia. Tesis de grado. Universidad Del Atlántico, Facultad de Ciencias Básicas. 87p.

Engelhaupt E, Bianchi T.S. (2001). Sources and composition of high-molecular-weight dissolved organic carbon in a southern Louisiana tidal stream (Bayou Trepagnier). *Limnol. Oceanogr.* 46, 917-926.

García-González, M., Moreno, J., Cañavate J.P., Anguis, V., Prieto, A. Manzano, C. y otros. (1993). Conditions for open-air outdoor culture of *Dunaliella salina* in southern Spain. *Journal of Appl. Phycology* 15: 177–184.

García, M.; Sánchez, F.D; Marín, R; Guzman, H.; Verdugo, N.; Dominguez, E. y otros. (2001). El gua en: *El Medio Ambiente en Colombia*. Bogotá: (Colombia) p. 120-124, 157, 167, 168, 179, 180.

Gliwicz, Z. M. (1999). Predictability of seasonal and diel evens in tropical and temperate lakes and reservoirs. En: *Theoretical Reservoir ecology and its Applications*. J. G. Tundisi and M. Straskaba (eds.): 99-124. International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Bachuys Publishers.

González, M. (2000). Alternativas en el Cultivo de Microalgas. Tesis de Grado. Universidad Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Guaman, N. C., Gonzalez, N. P. (2016). Catalogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador. Biodiversidad de los principales géneros de microalgas y cianobacterias encontradas en sistemas lacustres de áreas protegidas de los Andes y Amazonía del Ecuador. Corporación para la Investigación Energética. Laboratorio de Biotecnología Energética. Quito, Ecuador. Noviembre de 2016. 142 pag.

Herrera-Silveira, I. (1994). Nutrients from underground discharges in a coastal lagoon (Celestún, Yucatán, México). Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 1398- 1403.

Hutchinson, G. E. (1959). Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals? The American Naturalist 93:145-159.

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico IIAP. (2005). Esquema de Ordenamiento Territorial, Municipio de Cértegui, Chocó. Documento Diagnostico. Convenio BID-Plan Pacífico- MAVDT-Gobernación del Chocó-U.T.CH-IIAP. 160 pag.

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, IIAP. (2016). Monitoreo de la calidad fisicoquímica y ecológica de aguas costeras del municipio de Nuquí, como instrumento de análisis de los aportes contaminantes de fuentes hídricas continentales urbanas. Documento técnico. 66 pag.

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, IIAP. (2017). Monitoreo fisicoquímico y ecológico de calidad de aguas costeras en Bahía Solano como herramienta de análisis de los aportes contaminantes urbanos de la quebrada Jella. Documento técnico. 54.

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, IIAP. (2017). Caracterización ecológica de un complejo Lagunar del río Berreberre, Cuenca media del río Baudó. Documento técnico.

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, IIAP., Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS. (2012). Protocolo de restauración ecológica en áreas degradadas por minería a cielo abierto de oro y platino en el Chocó Biogeográfico. Convenio 182 de 2012. Documento técnico. Pag. 88. Disponible en http://siatpc.iiap.org.co/docs/avances/protocolo_de_restauracion_ecologica.pdf

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, Universidad Tecnológica del Chocó, (2016). Lineamientos de manejo ecosistémico post-aprovechamiento minero en ambientes naturales del Chocó, Colombia. Convenio de Cooperación Biochocó. En evaluación. 31 pag.

Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat. 44:223-270.

Jill s. Baron, N.L. (2003). Ecosistémias de agua dulce sustentables. Topicos en ecología. Ecological Society of America.

Lagarejo, A. (2015). Análisis de los impactos ecológicos generados por la actividad minera sobre los ensamblajes ícticos en complejos cenagosos de Sanceno y Puné en la cuenca media del Atrato. Tesis de maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales, Colombia 2015.

Leal C. (2009). La compañía minera Chocó Pacífico y el auge del platino en Colombia, 1897-1930. Historia crítica 1(edición especial):150-164.

Levin, S.A. (1970). Community Equilibria and stability, and Extension of the competitive Exclusion principle. The American Naturalist. 104:413-423.

Levins, R. (1968). Evolution in changing Environments. Univ. Princenton Press, Princenton.

Licursi M. (2005). Efectos de las perturbaciones antropogénicas sobre la taxocenosis de diatomeas bentónicas en sistemas lóticos pampeanos. Tesis Doctoral en Ciencias Naturales. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Buenos Aires. 186p.

Lobo L.J. (1983). La base de la ecología. Editorial Fuenlabrada, Acción divulgación S L. Madrid.

Mac Arthur, R.H. (1972). Geographical Ecology. Harper & Row, New York.

Margalef MR (ed.). (1983). Limnología Ed. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 1050 pp.

Martínez L, Donato J. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un Río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Limnología. Revista Caldasia 25 (2). Pág. 337-354.

Meadows, P. y J. Campbell. (1978). Introducción a la ciencia del mar. Acribia, Zaragoza. 207 p.

Montalvo J, García I, Loza S, Esponda S, César M, González de Zaya R, Hernández L. (2008). Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. Serie Oceanológica. No. 4, 2008, 71-84p.

Mosquera, L. (2016). Evaluación exploratoria de la calidad del agua del río San Juan en el municipio de Tadó, Chocó , por el impacto que causan los vertimientos mineros. Universidad de Manizales, Maestría en Desarrollo sostenible y medio ambiente. Manizales, Caldas, 2016. 111 pag.

Pacheco J, Cabrera A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería 7-2* (2003) 47-54.

Pinilla, G. (2010). An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogotá city, Colombia. *Ecological Indicators* 10 (4): 848-856.

Ramírez-Moreno G, E Ledezma-Rentería. (2007). Efecto de las actividades socioeconómicas (minería y explotación maderera) sobre los bosques del departamento del Chocó. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó* 26: 58-65.

Ramírez, F. (2007). Tierra y minería, el conflicto en Colombia. *Revista Semillas*. 2007; 32/33. Bogotá DC. 10 p.

Ramírez, A y Viña G. (1998). *Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. 1. ed. Publicación Bogota: Panamericana.

Restrepo, I. (2015) . Evaluación de la calidad del recurso hídrico del río Cabí a través de la formulación de un índice de contaminación asociado a la actividad minera aurífera. (Tesis inédita de maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.

Reynolds, C. S. (1984). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge Univ. Press. 384 p.

Richmond, A. (2004). Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Primera edición. USA: Blackwell Publishing

Robledo, R.D. (1990). Las Macroalgas marinas un recurso desconocido. ICYT. 12(169): 3-8.

Roldán G. Ramírez J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. ISBN, 978-958-714-144-3. Pág. 79-80.

Ross, J. 1979. Prácticas de Ecología. Barcelona: Ediciones Omega, SA.

Round, F.E. (1973). Biología das Algas. Editora Guanabara Dois S.A. Rio de Janeiro.

Sánchez D, Cañón J. (2010). Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río Condoto (Chocó, Colombia). Revista Gestión y Ambiente, Volumen 13 No. 3. 115-130p.

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.

Sommer, U. (1993). Disturbance-diversity relationships in two lakes of similar nutrient chemistry but contrasting disturbance regimes. Hydrobiol., 249: 59-65.

Spence A., Simpson A.J., McNally D.J., Moran B.W., Mc-Caul M.V., Hart K., Paull B. y Kelleher B.P. (2011). The degradation characteristics of microbial biomass in soil. *Geochim. Cosmochim. Acta* 75, 2571-2581.

Steinberg C.E.W. y Münster U. (1985). Geochemistry and ecological role of humic substances in lakewater. En: *Humic substances in soil, sediment and water. Geochemistry, isolation and characterisation* (G.R. Aiken, D.M. McKnight, R.L. Wershaw y P. MacCarthy, Eds.). Wiley, Nueva York, EUA, pp. 105-145.

Stevenson , R. J. (1996). “An introduction to a lgal e cology in Fresh water Benthic habitat”. In: *algal ecology. Freshwater benthic e cosystems*. Stevenson J., Bothwell, M. y Lowe, R. USA: (Eds). Academic Press: San Diego, CA, USA, pp. 03 – 30

Ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P. (1998). *CANOCO Reference Manual and User’s Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination*. Microcomputer Power, New York.

Turk, A; Turk, I; l Ittes, T; Wittes, R. 1981. *Tratado de ecología* . Trad. Carlos Gerhard o . Ed. Interamericana. Segunda Edición, México [l.F. p 10, 11.

Vargas L, Quesada Z, Ramirez G. Valoyes Z. (2010). Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por la actividad minera en el municipio de Atrato, Chocó. *Revista Bioetnia* 7(1): 23-37.

Vargas, L. (2012). Análisis de los impactos generados por la minería de oro y platino a cielo abierto sobre los recursos hídricos a partir de la cuantificación del consumo de agua y la carga contaminante de los vertimientos. *Revista Bioetnia*, Volumen 9 N° 2 julio-diciembre, 2012. ISSN 1990-0561. Publicación del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico «John Von Neumann». 11 pag.

Vargas, L., (2016), Diagnóstico de la calidad ecológica a través de algas perifíticas en escenarios hídricos afectados por minería a cielo abierto con diferente temporalidad, en el corregimiento de Jigualito, (Condoto, Chocó), (Tesis de maestría, meritoria). Universidad de Antioquia, Corporación Académica Ambiental, Maestría en Ciencias Ambientales, Medellín. 2016

Vásquez, C., A. Ariza y G. Pinilla. (2006). Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum* 11 (2): 61-75.

Volk C.J., Volk C.B. y Kaplan L.A. (1997). Chemical composition of biodegradable dissolved organic matter in stream water. *Limnol. Oceanogr.* 42, 39-44.

Wetzel RG (1981) *Limnología* Ed. Omega S.A. Barcelona, España. 679 pp

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de Índice de valor de Importancia de las Algas de Fitoplancton

GENERO/ESPECIE	DENSIDAD	DR	P	F	FR	AR	IVI
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	1347418	22,3577	15	0,938	2,2355	22,3577	24,5932
<i>Gymnodinium grande</i>	1087519	18,0452	7	0,438	1,0432	18,0452	19,0884
<i>Protoperidinium sp</i>	714114	11,8493	12	0,750	1,7884	11,8493	13,6377
<i>Botrycoccus sp</i>	706301	11,7196	12	0,750	1,7884	11,7196	13,5080
<i>Pseudanabaena sp</i>	299698	4,9729	16	1,000	2,3845	4,9729	7,3574
<i>Protoperidinium sp</i> (gymnodinium)	277272	4,6008	5	0,313	0,7452	4,6008	5,3459
<i>Staurastrum sp</i>	115397	1,9148	12	0,750	1,7884	1,9148	3,7032
<i>Monoraphidium sp</i>	106396	1,7654	13	0,813	1,9374	1,7654	3,7028
<i>Peridinium sp</i>	103618	1,7193	13	0,813	1,9374	1,7193	3,6567
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	79544	1,3199	14	0,875	2,0864	1,3199	3,4063
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	59815	0,9925	15	0,938	2,2355	0,9925	3,2280
<i>Chlamydomonas sp</i>	69277	1,1495	11	0,688	1,6393	1,1495	2,7889
<i>Oscillatoria sp</i>	45248	0,7508	13	0,813	1,9374	0,7508	2,6882
<i>Euglena sp</i>	75104	1,2462	9	0,563	1,3413	1,2462	2,5875
<i>spirulina sp</i>	56818	0,9428	11	0,688	1,6393	0,9428	2,5821
<i>Thalassiosira weissflogii</i> (Grunow) G.Fryxell & Hasle	58471	0,9702	10	0,625	1,4903	0,9702	2,4605
<i>Synura sp</i>	93124	1,5452	6	0,375	0,8942	1,5452	2,4394
<i>Lyngbya sp</i>	38741	0,6428	12	0,750	1,7884	0,6428	2,4312
<i>Phacus sp</i>	26756	0,4440	13	0,813	1,9374	0,4440	2,3814
<i>Cosmarium panamense</i> Prescott	38122	0,6326	11	0,688	1,6393	0,6326	2,2719
<i>Trachelomonas</i> <i>volvocinopsis</i> Svirenko (palito)	24902	0,4132	11	0,688	1,6393	0,4132	2,0525
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	6508	0,1080	13	0,813	1,9374	0,1080	2,0454
<i>Anabaena sp</i>	23761	0,3943	11	0,688	1,6393	0,3943	2,0336
<i>Pinnularia finita</i>	57127	0,9479	7	0,438	1,0432	0,9479	1,9911
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni muerta	21075	0,3497	10	0,625	1,4903	0,3497	1,8400
<i>Ameba</i>	9816	0,1629	11	0,688	1,6393	0,1629	1,8022
<i>Phacus gordito</i>	17667	0,2931	10	0,625	1,4903	0,2931	1,7835
<i>Trachelomonas sol</i>	25580	0,4244	9	0,563	1,3413	0,4244	1,7657
<i>Eunotia camelus</i> Ehrenberg	25414	0,4217	9	0,563	1,3413	0,4217	1,7630
<i>penium sp</i>	5993	0,0994	11	0,688	1,6393	0,0994	1,7388
<i>Staurastrum setigerum</i> Cleve	46097	0,7649	6	0,375	0,8942	0,7649	1,6591

GENERO/ESPECIE	DENSIDAD	DR	P	F	FR	AR	IVI
<i>Navicula sp</i>	32542	0,5400	6	0,375	0,8942	0,5400	1,4342
<i>Cosmarium loabatum Borgues</i>	22583	0,3747	7	0,438	1,0432	0,3747	1,4179
<i>Stenopterobia curvula (W.Smith)</i> <i>Krammer</i>	8678	0,1440	8	0,500	1,1923	0,1440	1,3362
<i>Euastrum gemmatum (Brébisson)</i> <i>Brébisson</i>	1654	0,0274	8	0,500	1,1923	0,0274	1,2197
<i>Brachysira sp</i>	6921	0,1148	7	0,438	1,0432	0,1148	1,1581
<i>Xanthidium sp</i>	6129	0,1017	7	0,438	1,0432	0,1017	1,1449
<i>Cyclotella meneghiniana Kützing</i>	5373	0,0892	7	0,438	1,0432	0,0892	1,1324
<i>Staurastrum rotula Nordstedt</i>	3927	0,0652	7	0,438	1,0432	0,0652	1,1084
<i>Scytonema sp</i>	12293	0,2040	6	0,375	0,8942	0,2040	1,0982
<i>Trachelomonas armata (Ehrenberg)</i> <i>F.Stein</i>	2376	0,0394	7	0,438	1,0432	0,0394	1,0826
<i>Pinnularia alargada</i>	9608	0,1594	6	0,375	0,8942	0,1594	1,0536
<i>Eudorina sp</i>	26239	0,4354	4	0,250	0,5961	0,4354	1,0315
<i>Ulothrix sp</i>	7025	0,1166	6	0,375	0,8942	0,1166	1,0108
<i>Nitzschia sp</i>	3824	0,0635	6	0,375	0,8942	0,0635	0,9576
<i>Closterium sp</i>	1342	0,0223	6	0,375	0,8942	0,0223	0,9165
<i>Crucigenia sp</i>	1240	0,0206	6	0,375	0,8942	0,0206	0,9148
<i>peridinium sp 2</i>	25104	0,4166	3	0,188	0,4471	0,4166	0,8636
<i>Gymnodinium sp</i>	32232	0,5348	2	0,125	0,2981	0,5348	0,8329
<i>Dinobryon sp</i>	4132	0,0686	5	0,313	0,7452	0,0686	0,8137
<i>Fragilaria sp</i>	3925	0,0651	5	0,313	0,7452	0,0651	0,8103
<i>Trachelomonas superba Svirenko</i>	3822	0,0634	5	0,313	0,7452	0,0634	0,8086
<i>Diademsis confervacea Kützing</i>	3306	0,0549	5	0,313	0,7452	0,0549	0,8000
<i>Centritractus sp</i>	2481	0,0412	5	0,313	0,7452	0,0412	0,7863
<i>Closterium setaceum Ehrenberg ex</i> <i>Ralfs</i>	1136	0,0188	5	0,313	0,7452	0,0188	0,7640
<i>Oedogonium sp</i>	1033	0,0171	5	0,313	0,7452	0,0171	0,7623
<i>Cosmarium peludito</i>	8884	0,1474	4	0,250	0,5961	0,1474	0,7435
<i>Pinnularia sp</i>	6508	0,1080	4	0,250	0,5961	0,1080	0,7041
<i>Oocystis sp</i>	5475	0,0908	4	0,250	0,5961	0,0908	0,6870
<i>Pinnularia finita (Pinnularia cf</i> <i>rumrichiae)</i>	4546	0,0754	4	0,250	0,5961	0,0754	0,6716
<i>Trachelomonas acanthophora</i> <i>Stokes</i>	3305	0,0548	4	0,250	0,5961	0,0548	0,6510
<i>Amphora sp</i>	2170	0,0360	4	0,250	0,5961	0,0360	0,6321
<i>Gonatozygon sp</i>	10847	0,1800	3	0,188	0,4471	0,1800	0,6271
<i>Pinnularia olla (rostratissima var.</i> <i>Rostratissima)</i>	1137	0,0189	4	0,250	0,5961	0,0189	0,6150
<i>tetmemorus sp</i>	1033	0,0171	4	0,250	0,5961	0,0171	0,6133
<i>Scenedesmus quadricauda (Turpin)</i> <i>Brébisson</i>	1033	0,0171	4	0,250	0,5961	0,0171	0,6133
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i> <i>Nordstedt</i>	827	0,0137	4	0,250	0,5961	0,0137	0,6098

GENERO/ESPECIE	DENSIDAD	DR	P	F	FR	AR	IVI
<i>Coleochaete sp</i>	723	0,0120	4	0,250	0,5961	0,0120	0,6081
<i>Pleurotaenium sp</i>	620	0,0103	4	0,250	0,5961	0,0103	0,6064
<i>Scenedesmus sp</i>	6921	0,1148	3	0,188	0,4471	0,1148	0,5619
<i>Micrasterias furcata C.Agardh</i>	4029	0,0669	3	0,188	0,4471	0,0669	0,5139
<i>Pinnularia olla</i>	2789	0,0463	3	0,188	0,4471	0,0463	0,4934
<i>Gleocapsa sp</i>	2789	0,0463	3	0,188	0,4471	0,0463	0,4934
<i>Tetraëdron sp</i>	2685	0,0446	3	0,188	0,4471	0,0446	0,4916
<i>Pinnularia alargada (Pinnularia tabellaria)</i>	2584	0,0429	3	0,188	0,4471	0,0429	0,4900
<i>Gomphonema sp</i>	11054	0,1834	2	0,125	0,2981	0,1834	0,4815
<i>Actinela sp</i>	1964	0,0326	3	0,188	0,4471	0,0326	0,4797
<i>Arthrodesmus sp</i>	1446	0,0240	3	0,188	0,4471	0,0240	0,4711
<i>Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère</i>	1343	0,0223	3	0,188	0,4471	0,0223	0,4694
<i>Surirella sp</i>	930	0,0154	3	0,188	0,4471	0,0154	0,4625
<i>Eunotia serra Ehrenberg</i>	930	0,0154	3	0,188	0,4471	0,0154	0,4625
<i>Pinnularia tabellaria Ehrenberg</i>	930	0,0154	3	0,188	0,4471	0,0154	0,4625
<i>Strombomonas sp</i>	827	0,0137	3	0,188	0,4471	0,0137	0,4608
<i>Desmidium cylindricum Greville</i>	723	0,0120	3	0,188	0,4471	0,0120	0,4591
<i>Phacus corazón</i>	723	0,0120	3	0,188	0,4471	0,0120	0,4591
<i>Asterococcus sp</i>	620	0,0103	3	0,188	0,4471	0,0103	0,4574
<i>Tetraëdron trigonum (Nägeli) Hansgirg</i>	517	0,0086	3	0,188	0,4471	0,0086	0,4557
<i>Cosmarium chuzos</i>	309	0,0051	3	0,188	0,4471	0,0051	0,4522
<i>Merismopedia sp</i>	206	0,0034	3	0,188	0,4471	0,0034	0,4505
<i>Staurodesmus sp</i>	4545	0,0754	2	0,125	0,2981	0,0754	0,3735
<i>Navicula rostellata Kützing</i>	2996	0,0497	2	0,125	0,2981	0,0497	0,3478
<i>Dinobryon sp+A55</i>	2686	0,0446	2	0,125	0,2981	0,0446	0,3426
<i>Tetraëdron sp</i>	2582	0,0428	2	0,125	0,2981	0,0428	0,3409
<i>Oscillatoria sp2 delgadita</i>	2169	0,0360	2	0,125	0,2981	0,0360	0,3341
<i>Nostoc sp</i>	1756	0,0291	2	0,125	0,2981	0,0291	0,3272
<i>Brachysira sp (Bracysira cf serians)</i>	1653	0,0274	2	0,125	0,2981	0,0274	0,3255
<i>Encyonema sp</i>	1033	0,0171	2	0,125	0,2981	0,0171	0,3152
<i>Stenopterobia sp (recta)</i>	930	0,0154	2	0,125	0,2981	0,0154	0,3135
<i>Penium sp2 (grande)</i>	827	0,0137	2	0,125	0,2981	0,0137	0,3118
<i>brachysira cf. brebissoni</i>	724	0,0120	2	0,125	0,2981	0,0120	0,3101
<i>Stauroneis phoenicenteron (Nitzsch) Ehrenberg</i>	620	0,0103	2	0,125	0,2981	0,0103	0,3084
<i>Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing</i>	620	0,0103	2	0,125	0,2981	0,0103	0,3084
<i>Eunotia bilunaris (Ehrenberg) Schaarschmidt</i>	517	0,0086	2	0,125	0,2981	0,0086	0,3066
<i>Closterium grande</i>	517	0,0086	2	0,125	0,2981	0,0086	0,3066
<i>Cladophora sp</i>	517	0,0086	2	0,125	0,2981	0,0086	0,3066

GENERO/ESPECIE	DENSIDAD	DR	P	F	FR	AR	IVI
<i>Tetmemorus sp (parecido a pleurotaenium)</i>	516	0,0086	2	0,125	0,2981	0,0086	0,3066
<i>Eunotia intermedia (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalo 1</i>	414	0,0069	2	0,125	0,2981	0,0069	0,3049
<i>Tetraëdron gracile (Reinsch) Hansgirg</i>	414	0,0069	2	0,125	0,2981	0,0069	0,3049
<i>Frustulia vulgaris (Thwaites) De Toni</i>	413	0,0069	2	0,125	0,2981	0,0069	0,3049
<i>Cylindrocystis sp</i>	413	0,0069	2	0,125	0,2981	0,0069	0,3049
<i>Achnanthes minutissima Kützing</i>	310	0,0051	2	0,125	0,2981	0,0051	0,3032
<i>filamentosa rara</i>	3719	0,0617	1	0,063	0,1490	0,0617	0,2107
<i>Encyonopsis sp</i>	2996	0,0497	1	0,063	0,1490	0,0497	0,1987
<i>Orthoseira circularis (Ehrenberg) Crawford</i>	1860	0,0309	1	0,063	0,1490	0,0309	0,1799
<i>Amphipleura sp</i>	1240	0,0206	1	0,063	0,1490	0,0206	0,1696
<i>Eunotia intermedia (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot</i>	723	0,0120	1	0,063	0,1490	0,0120	0,1610
<i>Achnanthes lanceolata (Brébisson ex Kützing) Grunow</i>	413	0,0069	1	0,063	0,1490	0,0069	0,1559
<i>Cymbella sp</i>	310	0,0051	1	0,063	0,1490	0,0051	0,1542
<i>Pinnularia sp (pinnularia af acrosphaeria)</i>	310	0,0051	1	0,063	0,1490	0,0051	0,1542
<i>Melosira varians C.Agardh</i>	310	0,0051	1	0,063	0,1490	0,0051	0,1542
<i>Cosmarium laeve gordo</i>	310	0,0051	1	0,063	0,1490	0,0051	0,1542
<i>Netrium digitus (Brébisson ex Ralfs) Itzigsohn & Rothe</i>	310	0,0051	1	0,063	0,1490	0,0051	0,1542
<i>Mougeotia sp</i>	310	0,0051	1	0,063	0,1490	0,0051	0,1542
<i>Dyctyosphaerium sp</i>	310	0,0051	1	0,063	0,1490	0,0051	0,1542
<i>Heterococcus sp</i>	310	0,0051	1	0,063	0,1490	0,0051	0,1542
<i>Pinnularia gibba</i>	207	0,0034	1	0,063	0,1490	0,0034	0,1525
<i>Stauroneis aff adamsiana Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez</i>	207	0,0034	1	0,063	0,1490	0,0034	0,1525
<i>Neidium iridis (Ehrenberg) Cleve</i>	207	0,0034	1	0,063	0,1490	0,0034	0,1525
<i>Luticola mutica (Kützing) D.G.Mann</i>	207	0,0034	1	0,063	0,1490	0,0034	0,1525
<i>Nephrocytium sp</i>	207	0,0034	1	0,063	0,1490	0,0034	0,1525
<i>Coelastrum sphaericum Nägeli</i>	207	0,0034	1	0,063	0,1490	0,0034	0,1525
<i>Ankyra sp</i>	207	0,0034	1	0,063	0,1490	0,0034	0,1525
<i>ophiocytium sp</i>	207	0,0034	1	0,063	0,1490	0,0034	0,1525
<i>Surirella sp2 (gordita)</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Asterionella sp</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Frustulia sp alargada</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Sellaphora sp</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Fragilariforma sp</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Calothrix sp</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507

GENERO/ESPECIE	DENSIDAD	DR	P	F	FR	AR	IVI
<i>(Woloszynska) Seenayya & Subba</i>							
<i>Merismopedia elegans A.Braun ex Kützing</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Scenedesmus insignis (W. & G.S.West) Chodat</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Stauroneis aff adamsiana Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Coelastrum sp</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>Tribonema sp</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
<i>chrysophyta sp</i>	103	0,0017	1	0,063	0,1490	0,0017	0,1507
	6026643						
			671	41,938	100		

Anexo 2. Conversión de especies fitoplanctónicas del CCA (Biplot B)

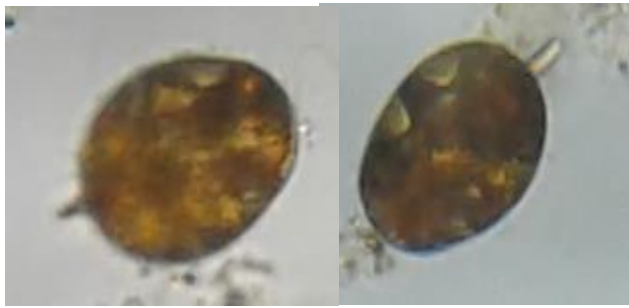
MORFOTIPOS	Código
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson ex Kützing) Grunow	1
<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing	2
<i>Actinela</i> sp	3
<i>Ameba</i>	4
<i>Amphipleura</i> sp	5
<i>Amphora</i> sp	6
<i>Anabaena</i> sp	7
<i>Ankyra</i> sp	8
<i>Arthrodesmus</i> sp	9
<i>Asterionella</i> sp	10
<i>Asterococcus</i> sp	11
<i>Botryococcus</i> sp	12
<i>brachysira</i> cf. <i>brebissoni</i>	13
<i>Brachysira</i> sp	14
<i>Brachysira</i> sp (<i>Bracysira</i> cf <i>serians</i>)	15
<i>Calothrix</i> sp	16
<i>Centrtractus</i> sp	17
<i>Chlamydomonas</i> sp	18
<i>chrysophyta</i> sp	19
<i>Cladophora</i> sp	20
<i>Closterium grande</i>	21
<i>Closterium setaceum</i> Ehrenberg ex Ralfs	22
<i>Closterium</i> sp	23
<i>Coelastrum</i> sp	24
<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli	25
<i>Coleochaete</i> sp	26
<i>Cosmarium chuzos</i>	27
<i>Cosmarium laeve gordo</i>	28
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	29
<i>Cosmarium loabatum</i> Borgues	30
<i>Cosmarium panamense</i> Prescott	31
<i>Cosmarium peludito</i>	32
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i> Nordstedt	33
<i>Crucigenia</i> sp	34
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	35
<i>Cylindrocystis</i> sp	36

MORFOTIPOS	Código
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba	37
<i>Cymbella</i> sp	38
<i>Diadesmis confervacea</i> Kützing	39
<i>Desmidium cylindricum</i> Greville	40
<i>Dinobryon</i> sp	41
<i>Dinobryon</i> sp+A55	42
<i>Dyctyosphaerium</i> sp	43
<i>Encyonema</i> sp	44
<i>Encyonopsis</i> sp	45
<i>Euastrum gemmatum</i> (Brébisson) Brébisson	46
<i>Eudorina</i> sp	47
<i>Euglena</i> sp	48
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	49
<i>Eunotia camelus</i> Ehrenberg	50
<i>Eunotia intermedia</i> (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalo 1	51
<i>Eunotia intermedia</i> (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot	52
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	53
<i>Eunotia serra</i> Ehrenberg	54
<i>filamentosa rara</i>	55
<i>Fragilaria</i> sp	56
<i>Fragilariforma</i> sp	57
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	58
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni muerta	59
<i>Frustulia</i> sp alargada	60
<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni	61
<i>Gleocapsa</i> sp	62
<i>Gomphonema</i> sp	63
<i>Gonatozygon</i> sp	64
<i>Gymnodinium</i> sp	65
<i>Gymnodinium grande</i>	66
<i>Heterococcus</i> sp	67
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G.Mann	68
<i>Lyngbya</i> sp	69
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	70
<i>Merismopedia elegans</i> A.Braun ex Kützing	71
<i>Merismopedia</i> sp	72
<i>Micrasterias furcata</i> C.Agardh	73

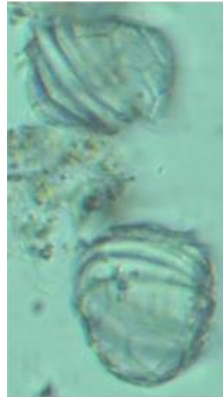
MORFOTIPOS	Código
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	74
<i>Monoraphidium</i> sp	75
<i>Mougeotia</i> sp	76
<i>Navicula rostellata</i> Kützing	77
<i>Navicula</i> sp	78
<i>Neidium iridis</i> (Ehrenberg) Cleve	79
<i>Nephrocytium</i> sp	80
<i>Netrium digitus</i> (Brébisson ex Ralfs) Itzigsohn & Rothe	81
<i>Nitzschia</i> sp	82
<i>Nostoc</i> sp	83
<i>Oedogonium</i> sp	84
<i>Oocystis</i> sp	85
<i>ophiocytium</i> sp	86
<i>Orthoseira circularis</i> (Ehrenberg) Crawford	87
<i>Oscillatoria</i> sp	88
<i>Oscillatoria</i> sp2 delgadita	89
<i>penium</i> sp	90
<i>Penium</i> sp2 (grande)	91
<i>Peridinium</i> sp	92
<i>peridinium</i> sp 2	93
<i>Phacus corazón</i>	94
<i>Phacus gordito</i>	95
<i>Phacus</i> sp	96
<i>Pinnularia alargada</i>	97
<i>Pinnularia alargada</i> (<i>Pinnularia tabellaria</i>)	98
<i>Pinnularia finita</i>	99
<i>Pinnularia finita</i> (<i>Pinnularia cf rumrichiae</i>)	100
<i>Pinnularia gibba</i>	101
<i>Pinnularia olla</i>	102
<i>Pinnularia olla</i> (<i>rostratissima</i> var. <i>Rostratissima</i>)	103
<i>Pinnularia</i> sp	104
<i>Pinnularia</i> sp (<i>pinnularia af acrosphaeria</i>)	105
<i>Pinnularia tabellaria</i> Ehrenberg	106
<i>Pleurotaenium</i> sp	107
<i>Protoperidinium</i> sp	108
<i>Protoperidinium</i> sp (<i>gymnodinium</i>)	109
<i>Pseudanabaena</i> sp	110
<i>Scenedesmus insignis</i> (W. & G.S. West) Chodat	111
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	112

MORFOTIPOS	Código
<i>Scenedesmus sp</i>	113
<i>Scytonema sp</i>	114
<i>Sellaphora sp</i>	115
<i>spirulina sp</i>	116
<i>Staurastrum rotula Nordstedt</i>	117
<i>Staurastrum setigerum Cleve</i>	118
<i>Staurastrum sp</i>	119
<i>Stauroidesmus sp</i>	120
<i>Stauroneis aff adamsiana Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez</i>	121
<i>Stauroneis aff adamsiana Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez</i>	122
<i>Stauroneis phoenicenteron (Nitzsch) Ehrenberg</i>	123
<i>Stenopterobia curvula (W.Smith) Krammer</i>	124
<i>Stenopterobia sp (recta)</i>	125
<i>Strombomonas sp</i>	126
<i>Surirella sp</i>	127
<i>Surirella sp2 (gordita)</i>	128
<i>Synura sp</i>	129
<i>tetmemorus sp</i>	130
<i>Tetmemorus sp (parecido a pleurotaeniun)</i>	131
<i>Tetraëdron gracile (Reinsch) Hansgirg</i>	132
<i>Tetraëdron sp</i>	133
<i>Tetraëdron sp</i>	134
<i>Tetraëdron trigonum (Nägeli) Hansgirg</i>	135
<i>Thalassiosira weissflogii (Grunow) G.Fryxell & Hasle</i>	136
<i>Trachelomonas acanthophora Stokes</i>	137
<i>Trachelomonas armata (Ehrenberg) F.Stein</i>	138
<i>Trachelomonas sol</i>	139
<i>Trachelomonas superba Svirenko</i>	140
<i>Trachelomonas volvocina (Ehrenberg) Ehrenberg</i>	141
<i>Trachelomonas volvocinopsis Svirenko (palito)</i>	142
<i>Tribonema sp</i>	143
<i>Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère</i>	144
<i>Ulothrix sp</i>	145
<i>Xanthidium sp</i>	146

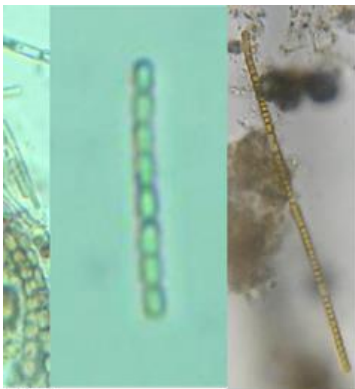
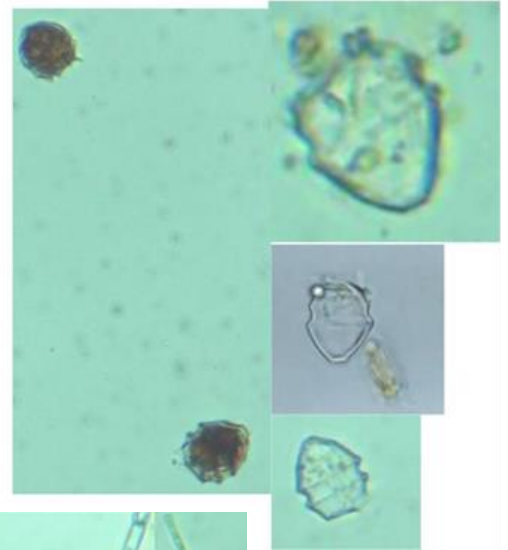
Anexo 3. Álbum de Fotografías algas fitoplanctónicas. Tomado por Yimmy Montoña



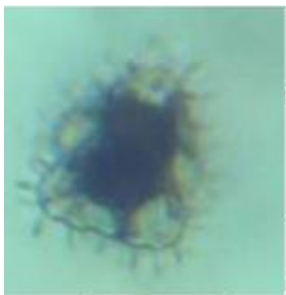
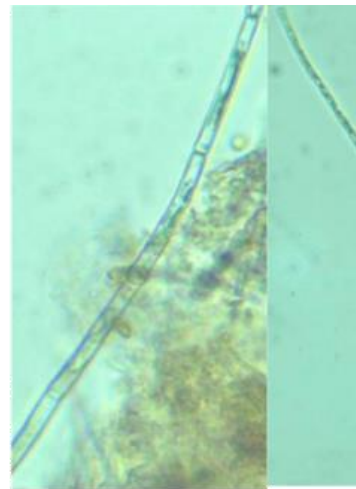
Trachelomonas volvocina



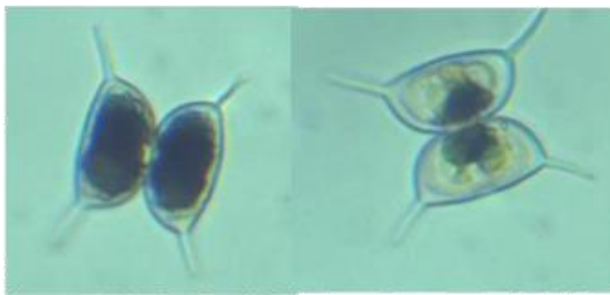
Protoperidinium sp



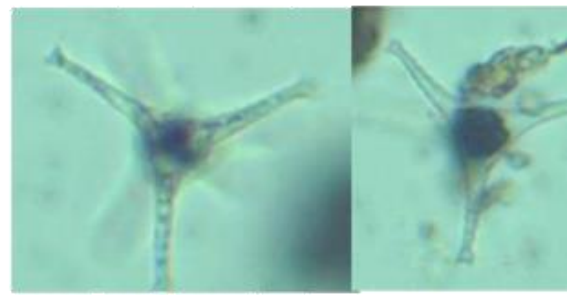
Pseudanabaena sp



Staurastrum



Staurodesmus sp

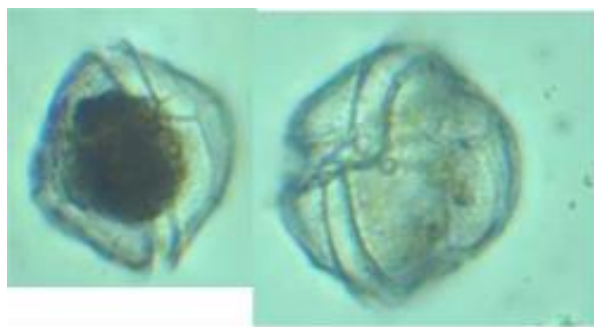


Staurastrum sp

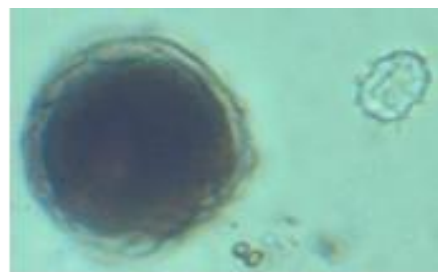


Trachelomonas superba

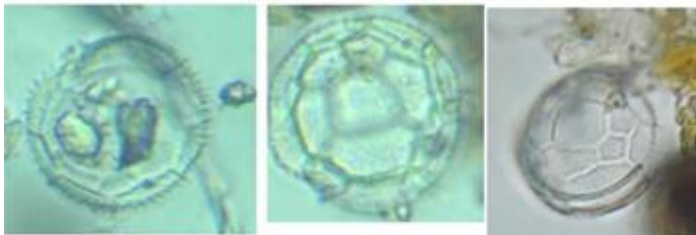
Monoraphidium sp



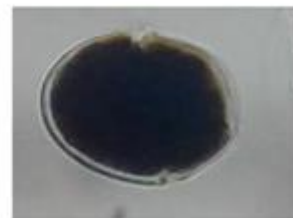
Peridinium sp1



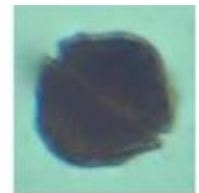
Peridinium sp2



Peridinium sp3



Peridinium sp4

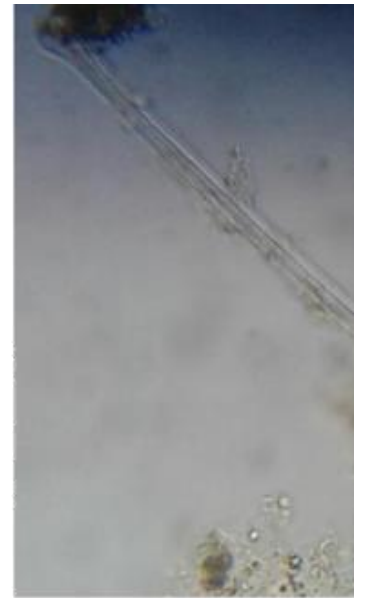


Encyonema sp

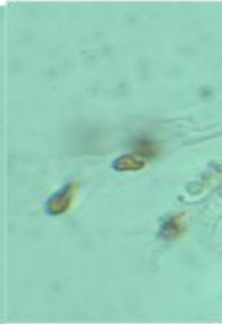
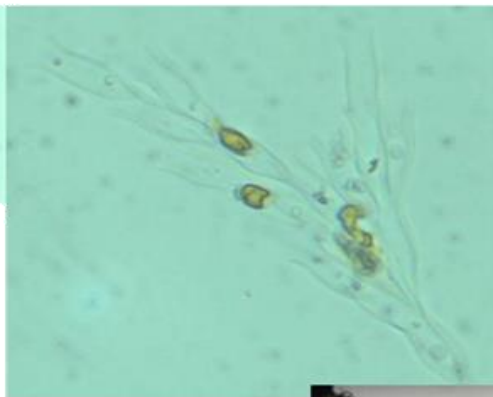
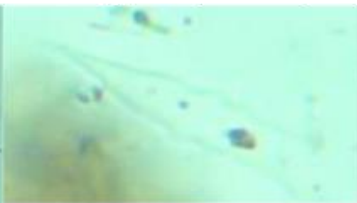
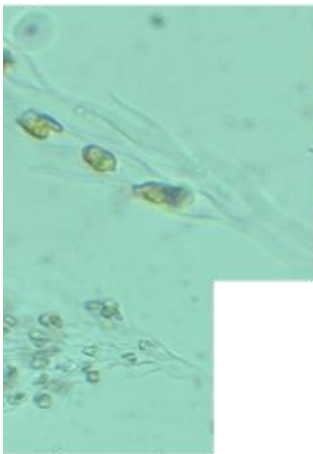
Frustulia rhomboides



Eunotia minor



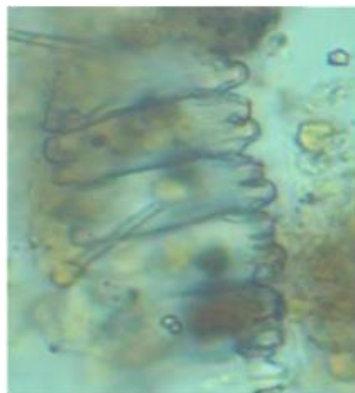
Actinella sp



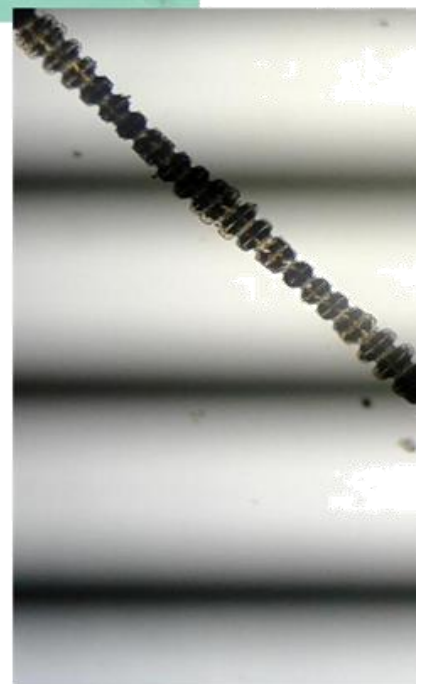
Dinobryon sp

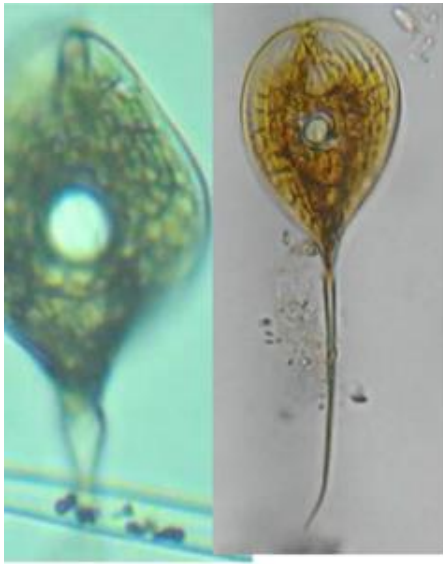


Chamidomonas sp

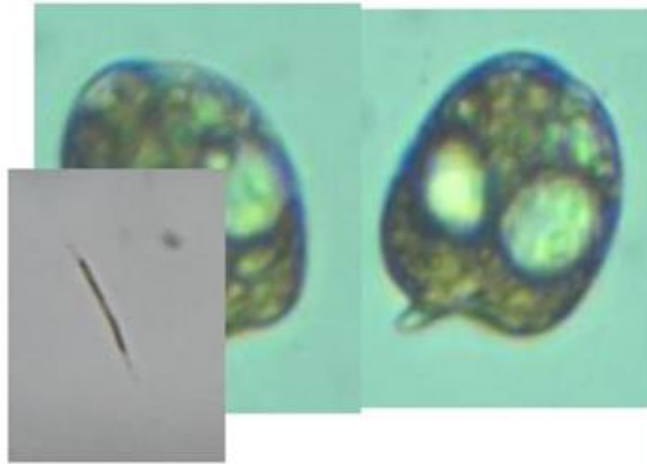


Desmidium sp

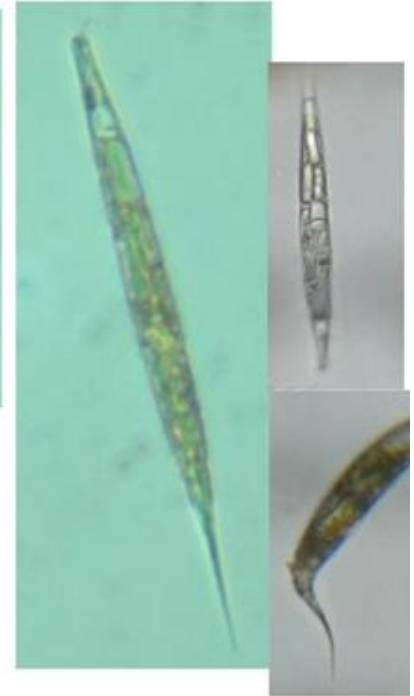




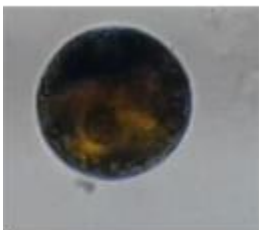
Phacus sp



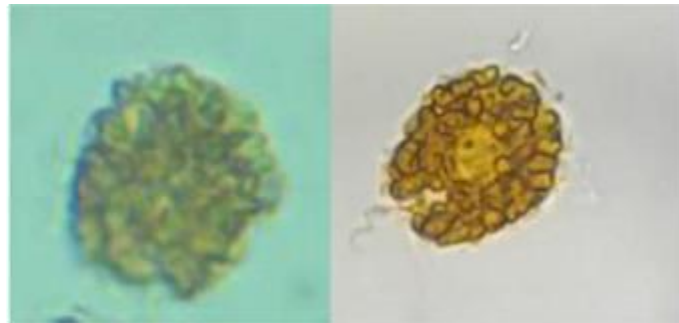
Phacus sp2



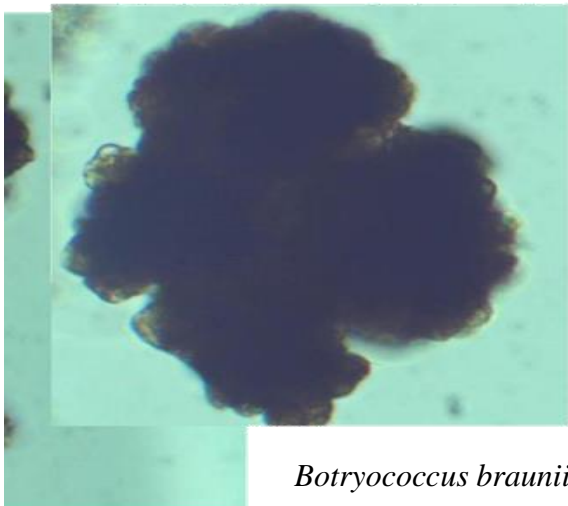
Euglena sp



Trachelomonas volvocina



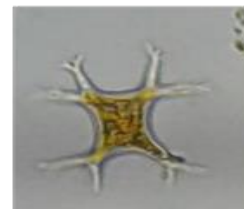
Synura sp



Botryococcus braunii



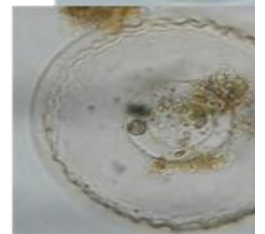
Scenedesmus insignis



Tetraedron gracile



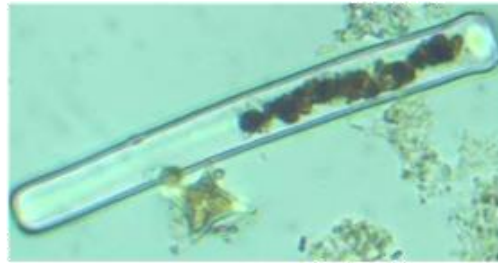
Ameba sp



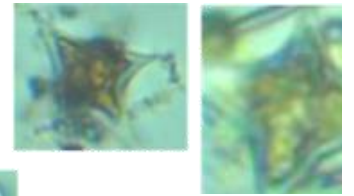
Cylindrocystis sp



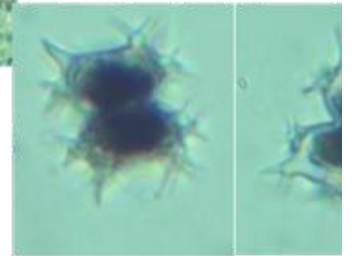
Tetmemorus sp



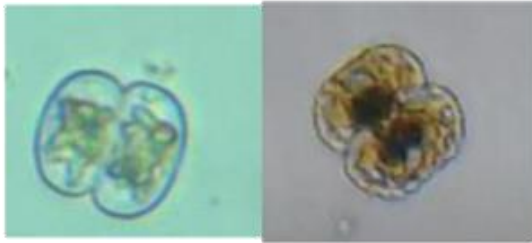
Tetraedron sp



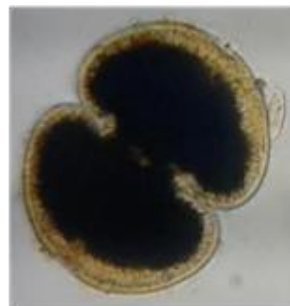
Xanthidium sp



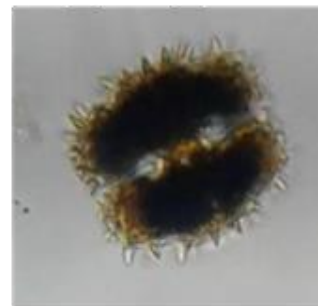
Cosmarium lobatum



Cosmarium sp2



Cosmarium sp3



Cosmarium sp1

