



**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA MINERÍA MECANIZADA SOBRE LAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y LA ESTRUCTURA COMUNITARIA DE  
ALGAS PERIFÍTICAS EN FUENTES HIDRICAS DEL MUNICIPIO DE CÉRTEGUI  
CHOCÓ**

**POR:**

**YILESA MURILLO HINESTROZA**

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

**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**MANIZALES, MARZO DE 2018**



**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA MINERÍA MECANIZADA SOBRE LAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y LA ESTRUCTURA COMUNITARIA DE  
ALGAS PERIFÍTICAS EN FUENTES HIDRICAS DEL MUNICIPIO DE CÉRTEGUI  
CHOCÓ**

**POR: YIRLESA MURILLO HINESTROZA  
INGENIERA AMBIENTAL**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN  
BIOSISTEMAS INTEGRADOS**

**DIRECTOR DE LINEA  
JHON FREDDY BETANCUR**

**ASESOR  
JORGE WILLIAM ARBOLEDA VALENCIA**

**JURADO  
DIEGO HERMNANDEZ GARCÍA**

**ASESORES EXTERNOS  
LADY YULENIS VARGAS PORRAS  
YIMMY MONTOYA**

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

**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**MANIZALES, MARZO DE 2018**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Manizales, Marzo de 2018

## **Agradecimientos**

En primera instancia quiero dar toda la Honra y gloria a Dios por haberme permitido alcanzar tan importante logro en mi vida y con ello seguir creciendo profesionalmente, gracias señor por guiarme, acompañarme, protegerme y bendecirme durante todo el proceso y finalmente gracias por no dejarme desfallecer. En segundo lugar, quiero dar las gracias a ese ser terrenal e irremplazable que es mi motor y razón de vida, que siempre ha estado, esta y con la ayuda de Dios estará para seguir siendo mi bastón y apoyo incondicional mi madre, CERVELINA HINESTROZA MOSQUERA. Un agradecimiento muy especial a mi compañero Zair Sánchez Asprilla, por su paciencia, amor, apoyo y dedicación durante todo este recorrido. Agradezco de manera muy especial a la ingeniera, jefa y amiga Lady Vargas Porras por ser parte integral e importante en todo este recorrido; mil y mil gracias por compartir su conocimiento conmigo y apoyarme no solo técnicamente desde la formulación y finalmente culminación de la tesis, sino también, durante el arduo trabajo de campo. Además Dios le pague por ser esa voz de aliento en momentos de debilidad. Del mismo modo un especial agradecimiento al doctor y asesor de la tesis Jorge William Arboleda Valencia por su valioso aporte y apoyo en el desarrollo del trabajo. Así mismo quiero agradecer a los doctores Giovanni Ramírez Moreno y William Klinger por su comprensión y apoyo incondicional tanto técnico y logístico. A Zoraida Quesada y Maira Becerra Dios les pague y multiplique por su apoyo tanto en la fase de campo como en la culminación de la investigación. A los doctores Yimmy Montoya por su contribución en la identificación de las algas y a la doctora Esneddy Hernández Atilano por sus asesorías estadísticas en relación a las algas. A la universidad de Manizales gracias por contribuir en mi formación. Agradezco de manera muy especial al señor Jhon Jairo Urrutia Mosquera representante del consejo comunitario de Cértegui por su apoyo logístico en la fase de campo , a la señora Esneda Andrades, Severo e

Ismael muchas gracias por ser mis guías y compañeros de campo y finalmente gracias y mil gracias a mi familia, amigas, profesor Diego Hernández, Hamleth Valois Cuesta y a todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron y siempre estuvieron ahí para darme apoyo en este proceso.

Para todos ustedes muchas gracias y que el señor les bendiga grandemente.

## Tabla de contenido

Introducción .....	13
1 DISEÑO TEÓRICO.....	17
1.1 Título del Trabajo.....	17
1.2 Descripción del problema de investigación.....	17
1.3 Antecedentes investigativos.....	22
1.4 Justificación.....	39
1.5 Objetivo general.....	41
1.5.1 Objetivos específicos.....	41
1.6 Hipótesis o supuesto.....	41
1.7 Definición variable y categorías.....	42
2 MARCO TEÓRICO.....	42
3 DISEÑO METODOLÓGICO.....	50
3.1 Localización del área de estudio.....	50
Unidad de análisis.....	52
Tipo de investigación.....	52
3.2 Método.....	53
3.2.1 Caracterización fisicoquímica de la calidad del agua.....	53
3.2.2 Determinación, composición y estructura de la comunidad de algas perifíticas.....	57
3.2.3 Análisis integral de la variabilidad fisicoquímica y sus efectos en la comunidad de algas perifíticas.....	59
4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	60
4.1 CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA E HIDRÁULICA DE LAS ESTACIONES.....	60
4.1.1 Caudal y velocidad.....	64
4.1.2 Oxígeno disuelto y pH.....	65
4.1.3 Temperatura.....	67
4.1.4 Sólidos disueltos y conductividad.....	68
4.1.5 Sólidos suspendidos y turbiedad.....	69
4.1.6 Nutrientes.....	71
4.1.7 Análisis de componentes principales.....	74
4.2 COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS.....	77
4.2.1 Composición Taxonómica.....	77
4.2.2 Índice de Valor de Importancia.....	83

4.2.3	Distribución de Densidades y Riqueza .....	84
4.2.4	Atributos de Diversidad .....	85
4.3	CORRELACIÓN ENTRE LA COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS Y LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS .....	89
4.3.1	Relación entre algas perifíticas y variables ambientales .....	89
4.4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	93
5	CONCLUSIONES .....	105
6	RECOMENDACIONES .....	108
7	LITERATURA CITADA .....	109
	ANEXOS .....	121

## Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localización del municipio de Cértegui. Fuente: (IIAP), 2016 .....	18
Figura 2. Actividad minera a cielo abierto. 2. Q. San Antonio. 3. Q. Calito. 4. Q. La Platina. 5. Q. San Antonito. 6. Q. Barranca. A, antes del vertimiento, b, después del vertimiento para todas las fuentes .....	52
Figura 3. Trabajo de campo en fuentes hídricas intervenidas con minería .....	55
Figura 4. Mapa de ubicación de los puntos evaluados en las diferentes fuentes hídricas .....	56
Figura 5. Métodos de colecta de algas perifíticas.....	58
Figura 6. Datos de velocidad y caudal en la estacione con operación y descanso minero.....	65
Figura 7. Datos de oxígeno y pH en las estaciones con operación y descanso minero .....	66
Figura 8. Datos de temperatura en las estaciones con operación y descanso minero.....	67
Figura 9. Datos de conductividad y solidos disueltos en las estaciones con operación y descanso minero.....	69
Figura 10. Datos de solidos suspendidos y turbiedad en las estaciones con operación y descanso minero.....	71
Figura 11. Datos de nitrato, nitrito y fosfato en las estaciones con operación y descanso minero .....	73
Figura 12. PCA Biplot entre estaciones, períodos de muestreo y variables ambientales. Los puntos representan las cinco fuentes hídricas muestreadas, la A corresponde a las estaciones ubicadas antes del vertimiento minero (1, 2) y la D a las estaciones despues del mismo (3, 4). Los códigos terminados en 1 corresponden a mediciones realizadas durante la operación minera y los terminados en 0 a aquellos realizados durante el período de descanso de la operación minera. ....	76
Figura 13. Composición taxonómicas y número de individuos por estación y período de muestreo.....	82
Figura 14. Especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) .....	84
Figura 15. Densidad y riqueza de las especies por estación y período de muestreo .....	85
Figura 16. curva de acumulación de especies en las estaciones antes y después con operación y descanso minero .....	88
Figura 17. CCA Biplot entre estaciones y períodos de muestreo, algas perifíticas y variables ambientales. Los puntos representan las cinco fuentes hídricas muestreadas, la A corresponde a las estaciones ubicados antes del vertimiento minero (1, 2) y la D a las estaciones después del mismo (3, 4). Los códigos terminados en 1 corresponden a mediciones realizadas durante la operación minera y los terminados en 0 a aquellos realizados durante el período de descanso de la operación minera. Las líneas rojas simbolizan las variables ambientales. Los números corresponden a las morfoespecies perifíticas. (ver Anexo 2). ....	92



## Lista de tablas

Tabla 1. Localización de los puntos evaluados en fuentes hídricas intervenidas con minera ....	54
Tabla 2. Resultados de estadígrafos de tendencia central y de dispersión de las variables hidráulicas y fisicoquímicas por estación; valores p de Mann Whitney con un nivel de confianza del 95% teniendo en cuenta como factores de discriminación los períodos de operación y descanso minero .....	62
Tabla 3. Composición Taxonómica en las fuentes hídricas evaluadas.....	78
Tabla 4. Riqueza, estimador Chao1, porcentaje de especies encontradas, abundancia, índices de diversidad y dominancia por estaciones .....	86
Tabla 5. Valor de significancia, inercia y porcentaje de varianza explicado para el Análisis de Correspondencias Canónicas usando las algas perifíticas y las variables ambientales.....	89
Tabla 6. Resultados prueba de Monte Carlo efectos y contribución relativa de las variables significativas.....	89

## Índice de abreviaturas

<u>Abreviatura</u>	<u>Término</u>
VEL	velocidad
Q	caudal
T	temperatura
CON	conductividad
TDS	solidos disueltos
OD	oxígeno disuelto
%O	porcentaje de oxígeno disuelto
SS	solidos suspendidos
TUR	turbiedad
NO <sub>3</sub>	nitratos
NO <sub>2</sub>	nitritos
PO <sub>4</sub>	fosfato
N	densidad algal (ind/cm <sup>2</sup> )
n	número total de individuos contados
V	volumen total de la muestra de fitoperifíton removido del sustrato (ml)
Ac	área del campo de conteo (mm <sup>2</sup> )
h	altura de la cámara (mm)
Nc	número de campos contados
S	superficie raspada del sustrato (cm <sup>2</sup> )
10 <sup>6</sup> y 1000	factores de corrección para las unidades
f	factor de dilución de la muestra
W	valor del factor de mann Whitney
P	valor de significancia estadística de una variable
DANE	Departamento nacional de estadística
IIAP	Instituto de Investigaciones ambientales del pacífico
MADS	ministerio de ambiente y desarrollo territorial sostenibles
<i>In situ</i>	medición en el sitio
D	densidad
DR	densidad relativa
p	presencia de las especies
F	frecuencia
FR	frecuencia relativa
IVI	índice de valor de importancia

## Resumen

Los ríos y quebradas son ecosistemas hídricos de gran validez, ya que son de reconocida importancia ecológica, económica y social, por los innumerables bienes y servicios que ofrecen, entre los cuales se incluyen la pesca transporte, producción agrícola, infraestructura turística y recreación entre otros. Sin embargo, las principales actividades productivas desarrolladas en la zona y principalmente la explotación minera, son las responsables de grandes afectaciones no solo en algunos miembros de la comunidad, sino también de fuentes hídricas en especial las quebradas San Antonio, La Platina, Calochiquito, San Antonito, y Regadero. Con base en lo anterior, se desarrolló la investigación bajo un enfoque cuantitativo de tipo explicativo donde se evaluó la incidencia de la minería mecanizada sobre las características fisicoquímicas y la estructura comunitaria de algas perifíticas de las quebradas mencionadas en el municipio de Cértegui Chocó; para lo cual se establecieron dos estaciones antes y después del vertimiento minero así como también dos puntos de muestreo en cada una de estas, tanto en el período de operación y descanso minero.

En cada punto se hicieron mediciones *in situ* de variables fisicoquímicas como temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbiedad, sólidos suspendidos y disueltos, nitrato, nitrito, sulfato y fosfato utilizando un Colorímetro portátil HACH 850 y un Multiparámetro YSI PROFESIONAL PLUS QUICK 1700/1725. Se tomaron muestras de algas perifíticas teniendo en cuenta la metodología de Barbour et al., (1999). El procesamiento de la información fue tabulado y codificado, además el análisis de los datos correspondió a técnicas lógicas análisis síntesis, estadística descriptiva correlaciones, análisis de componentes principales y análisis de correspondencia Canonica. Los resultados permitieron inferir, que el desarrollo de actividades mineras a cielo abierto, genera mayores cambios en las variables sólidos disueltos (2.19 y 23.6 mg/l) y suspendidos (0 y 750

mg/l), conductividad (4.9 y 55.1  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y turbiedad (0 y 1000 FAU), ya que con el desmonte del suelo, el lavado del material litológico retirado y el vertimiento directo de los efluentes del proceso a las fuentes hídricas, se genera un arrastre de partículas y material sólido, que modifican dichas variables y la calidad fisicoquímica del agua como se evidenció en la estación ubicada después del vertimiento durante los muestreos con operación.

En conclusión, los cortos períodos de descanso implementados durante la etapa operativa de la minería, favorecen el restablecimiento de algunas variables fisicoquímicas como los sólidos disueltos y suspendidos, la velocidad y algunos nutrientes como fosfatos, lo cual pudo contribuir a que las estaciones ubicadas después del vertimiento minero durante el período de descanso se hayan ordenado junto a aquellas que no reciben los efluentes contaminantes y conservan características de ambientes naturales, no obstante, los datos de riqueza y composición obtenidos para cada caso, reflejan valores muy distantes que indican que aun durante estos períodos de descanso los efectos del disturbio son persistentes, dados los drásticos cambios generados por la minería en la disponibilidad de hábitats, así como los tiempos requeridos en los ciclos de vida de las especies y la reanudación periódica del disturbio después de los períodos de descanso que incrementan la intensidad del impacto a medida que pasa el tiempo.

**Palabras claves:** Minería, Variables fisicoquímicas, algas perifíticas, influencia, ecosistemas hídricos.

## Summary

The rivers and streams are highly valuable water ecosystems, as they are of recognized ecological, economic and social importance, for the innumerable goods and services they offer, among which include fishing, transportation, agricultural production, tourism infrastructure and recreation among others. . However, the main productive activities developed in the area and mainly the mining exploitation, are responsible for major damages not only in some members of the community, but also from water sources, especially the San Antonio streams, La Platina, Calochiquito, San Antonito, and Regadero. Based on the above, the research was developed under a quantitative approach of explanatory type where the incidence of mechanized mining on the physicochemical characteristics and the community structure of periphytic algae of the streams mentioned in the municipality of Cértegui Chocó was evaluated; for which two stations were established before and after the mining discharge as well as two sampling points in each of these, both in the period of mining operation and rest.

At each point in situ measurements were made of physicochemical variables such as temperature, dissolved oxygen, pH, turbidity, suspended and dissolved solids, nitrate, nitrite, sulfate and phosphate using a HACH 850 Portable Colorimeter and a YSI PROFESSIONAL PLUS QUICK 1700/1725 Multiparameter. Peripheral algal samples were taken taking into account the methodology of Barbour et al., (1999). The processing of the information was tabulated and coded, and the analysis of the data corresponded to logical techniques, synthesis analysis, descriptive statistics, correlations, analysis of main components and Canonical correspondence analysis. The results allowed us to infer that the development of open-pit mining activities

generates greater changes in the dissolved solid variables (2.19 and 23.6 mg / l) and suspended (0 and 750 mg / l), conductivity (4.9 and 55.1  $\mu\text{s} / \text{cm}$  ) and turbidity (0 and 1000 FAU), since with the removal of the soil, the washing of the lithological material removed and the direct discharge of the effluents from the process to the water sources, a drag of particles and solid material is generated, which modify these variables and the physicochemical quality of the water as evidenced in the station located after the dumping during the samplings with operation.

In conclusion, the short rest periods implemented during the mining operation stage, favor the reestablishment of some physicochemical variables such as dissolved and suspended solids, speed and some nutrients such as phosphates, which could contribute to the stations located after the Mining dump during the rest period have been ordered along with those that do not receive the polluting effluents and retain characteristics of natural environments, however, the richness and composition data obtained for each case, reflect very distant values that indicate that even during these rest periods the effects of the disturbance are persistent, given the drastic changes generated by mining in the availability of habitats, as well as the times required in the life cycles of the species and the periodic resumption of the disturbance after the periods of rest that increase the intensity of the impact as time passes.

**Key words:** Mining, physicochemical variables, periphytic algae, influence, hydric ecosystems.

## **Introducción**

La actividad minera en Colombia se remonta a la época colonial, sin embargo, solo a comienzos del presente siglo se convierte en una actividad económica líder y representante en el país en donde un auge mundial en la demanda de minerales y un incremento en los precios de los mismos, despertó el interés no solo de los inversionistas del gobierno central sino también, extranjeros Ronderos (2011). El auge minero representa una oportunidad para diferentes poblaciones que de una u otra forma han estado desvinculadas del desarrollo económico del país debido a su baja competitividad por diferentes factores geográficos y políticos que los aíslan de los principales polos económicos de desarrollo, siendo un claro ejemplo de esto el departamento del Chocó, el cual tiene una de los departeamentos con mayor índice de desempleo del país y con las mayores cifras de pobreza, corrupción, necesidades básicas insatisfecha y una precaria infraestructura vial y comunicación (Departamento Nacional de Estadística, 2011).

En el Chocó como uno de los departamentos de Colombia, se ha venido realizando históricamente una actividad minera artesanal la cual es denominada de “barequeo”. En esta actividad no se utilizan grandes máquinas sino que por el contrario es la mano del hombre la que extrae de manera muy artesanal el mineral y obviamente en pequeñas cantidades. Sin embargo, en los últimos años se traído retroexcavadoras, dragas, planchones y motobombas utilizadas para ejercer la actividad, que ha dado lugar a diferentes alteraciones en el medio ambiente (González, Espitia, Munar, De la Hoz, y Sánchez, 2013).

Desde esta perspectiva, Vargas, Quesada, Ramírez y Valoyes (2010), expresan que la minería a cielo abierto es una actividad industrial de alto impacto ambiental, social y cultural. Así mismo,

es también una actividad industrial insostenible por definición, en la medida en que la explotación del recurso supone su agotamiento. Las innovaciones técnicas que ha experimentado la minería a partir de la segunda mitad del siglo XX han modificado radicalmente la actividad, de modo que se ha pasado del aprovechamiento de vetas subterráneas de gran calidad a la explotación en minas a cielo abierto, donde se remueve la capa superficial o sobrecarga de la tierra para hacer accesibles los extensos yacimientos. En este sentido, los equipos de excavación, la gran maquinaria, el uso de nuevos insumos y las tuberías de distribución permiten hoy remover montañas enteras en cuestión de horas, haciendo rentable la extracción de menos de un gramo de oro por tonelada de material removido (Vargas et al., 2010).

No obstante, es claro que esta actividad se ha incrementado exponencialmente en los últimos años, trayendo consigo diferentes afectaciones e impactos tanto sociales, económicos, ambientales y en mayor proporción a los ecosistemas hídricos, a las especies acuáticas y a toda la biodiversidad que se encuentran al interior de este y por lo tanto la productividad del recurso, lo que se refleja en las poblaciones aledañas a los cuerpos de agua. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, la presente investigación, estuvo encaminada a evaluar la incidencia de la minería mecanizada sobre las características fisicoquímicas y la estructura comunitaria de algas perifíticas de fuentes hídricas del municipio de Cértegui Chocó a partir del análisis de la medición de dichas variables y la composición, riqueza, diversidad y densidad de las algas perifíticas que se identificaron durante los muestreos.



## **1 DISEÑO TEÓRICO**

### **1.1 Título del Trabajo**

Incidencia de la minería mecanizada sobre las características fisicoquímicas y la estructura comunitaria de algas perifíticas en fuentes hídricas del municipio de Cértegui Chocó.

### **1.2 Descripción del problema de investigación**

La práctica minera siempre ha representado un renglón importante en la económica local y regional de Colombia, el hombre ha sido minero desde los albores de la humanidad, sin embargo en los últimos años, los gobiernos de turno han dirigido su mirada en el sector minero, proyectándolo como uno de los mayores promotores para el crecimiento de la economía colombiana impulsada por la inversión extranjera Gómez y Rojas (2014). En tal sentido, se evidencia en la región del Chocó la minería como uno de los constituyentes de las actividades antrópicas que mayor impacto genera a los recursos naturales y en especial a los ecosistemas acuáticos de sus diferentes municipios de los cuales hace parte Cértegui. Dicho municipio se encuentra localizado en la región Pacífica Colombiana, en el departamento del Chocó, en la Subregión del Atrato. Tiene una extensión de 342 Km<sup>2</sup> y la cabecera Municipal se encuentra a los 5°41'41'' de latitud norte y los 76°39'40'' de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 43 metros aproximadamente, localizada 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 a 46 Kilómetros por vía terrestre. Teniendo en cuenta la ordenanza número 012 de 2.000 dicho municipio limita al norte con los municipios de Atrato y Lloró, al sur con los municipios de Unión panamericana y Tadó, al oriente con los municipios de Lloró y Bagadó y

al occidente con los municipios de Río Quito y Cantón de San Pablo ver figura 1. (Plan de desarrollo 2012 - 2015).

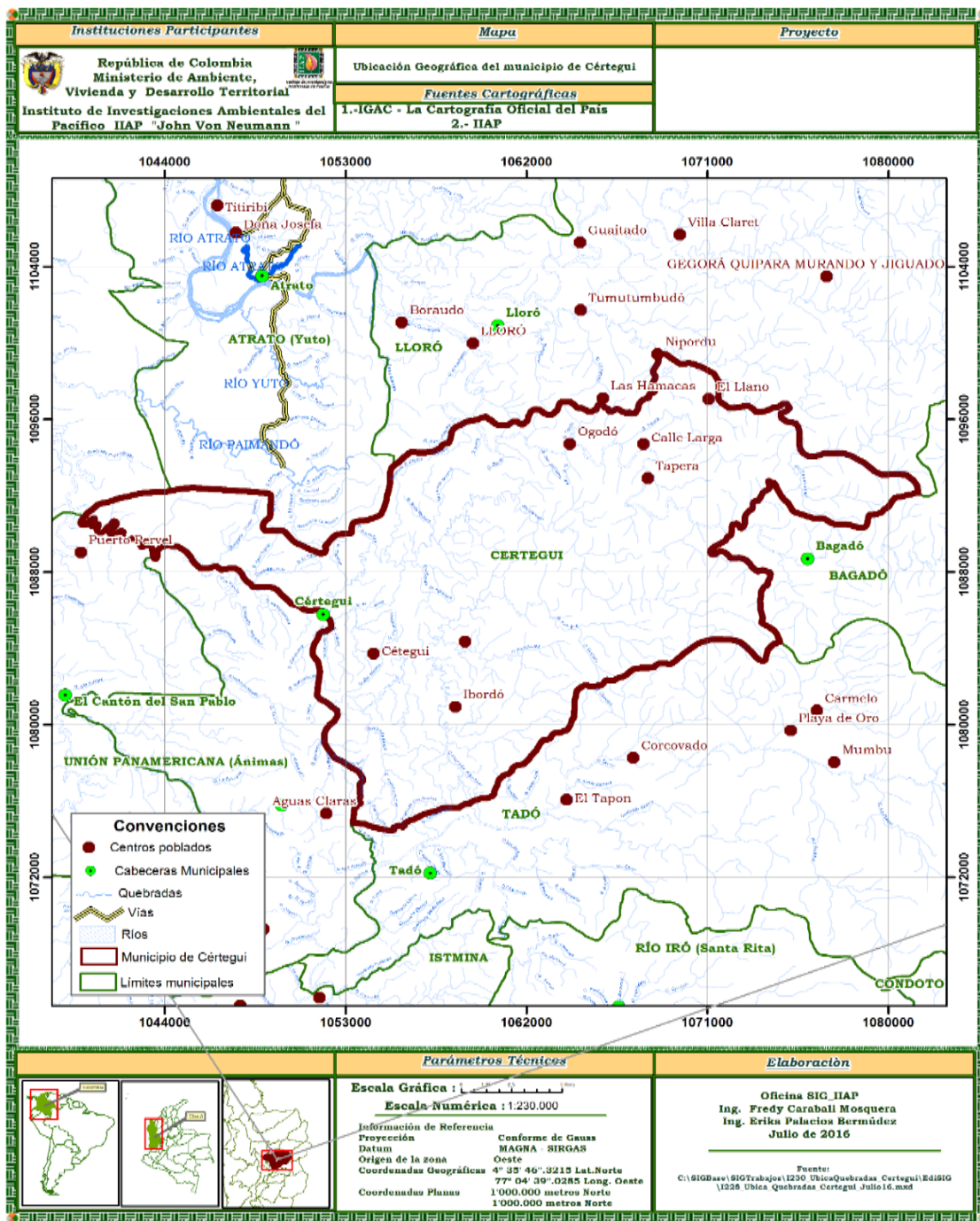


Figura 1. Mapa de localización del municipio de Cértegui. Fuente: (IAP), 2016

De acuerdo a lo planteado por el DANE (Censo 2005) para el año 2012 la población municipal es de 9.915 personas, de los cuales el 60.72% (6.020 personas) habitan en el área urbana y el 39.28% (3.895 personas) en el área rural. Estas comunidades, cuenta con el río como ecosistema hídrico de gran interés, ya que es de reconocida importancia ecológica, económica y social, por los innumerables bienes y servicios que ofrece, entre los cuales se incluyen la pesca transporte, producción agrícola, infraestructura turística, recreación entre otros. De ahí que dicho cuerpo de agua represente la principal fuente de abastecimiento económico ya que de ella depende el sustento de aproximadamente 10.062 habitantes (DANE, 2015).

No obstante, las principales actividades productivas como el aprovechamiento maderero, la caza, la pesca, la agricultura y en especial la minería de barequeo y mecanizada, se convierte en la responsable de múltiples afectaciones que no solo atañen a las comunidades ribereñas, sino también a especies de fauna y flora, junto a toda la biodiversidad asociada a los ríos Quito y Cértegui aguas arriba y gran parte de quebradas, en los cuales, se producen impactos negativos que se relacionan con procesos de degradación representados en la sedimentación y erosión del cauce de los ríos así como también la contaminación o alteración de las condiciones naturales del cuerpo de agua que se ven reflejadas en las afectación de la calidad fisicoquímica de esta y en la modificación de la riqueza y abundancia de las algas perifíticas. De conformidad con esto, el uso indiscriminado de motores elevadores, retroexcavadoras, dragas y dragones sobre el río y sus alrededores afecta profundamente la morfología de los ríos, causando desvíos de cauces naturales, pérdida sus ambiente y alteración de sus variables fisicoquímicas, lo que reduce la disponibilidad de micro hábitats, la variedad trófica y por consiguiente la disminución en la riqueza, diversidad, y composición de los organismos ícticos que viven estos ecosistemas modificados (IIAP, 2014).

Sumado a lo anterior, las descargas que se realizan directamente sobre los cuerpos de aguas sin previo tratamiento producen alteraciones en las condiciones fisicoquímicas del agua, afectando sus condiciones naturales, limitando el uso del recurso, dificultando el mantenimiento de especies acuáticas y aumentando el riesgo de contaminación mercurial para las personas de las comunidades ribereñas principalmente. Como consecuencia de esta problemática las poblaciones aledañas a las fuentes hídricas superficiales intervenidas, se están viendo altamente afectadas, pues, el transporte de altos contenidos de sedimentos y otros contaminantes, sumado a la remoción del suelo y la destrucción de la vegetación, ocasionan no solo la sedimentación de los cuerpos de aguas y con ello la reducción del recurso ictiológico y la vida acuática en general, sino que también aumentan los riesgos de deslizamientos, inundaciones y afectan la navegabilidad que para muchas comunidades en el Chocó Biogeográfico han sido su principal medio de transporte y de comunicación. En relación a lo anterior, Brack, Ipenza, Alvarez y Sotero (2011), en su investigación, reportan que en los ríos Puquiri y Caychive los sólidos en suspensión llegan a 50000 ppm. De manera similar la IIAP (2014), reporta concentraciones de sólidos suspendidos de hasta 770 mg/l para la cuenca del río Quito. Adicionalmente, el mismo Instituto en el año 2012, manifiesta que en el Chocó Biogeográfico los impactos ambientales generados sobre las fuentes hídricas superficiales perturbadas por la actividad minera a cielo abierto, son el resultado de la inadecuada utilización de sustancias tóxicas, la falta de implementación de tecnologías limpias durante el proceso, conciencia ambiental de los mineros, control ambiental por parte del estado (instituciones ambientales y minera) y precaria implementación de medidas de manejo ambiental para la utilización del recurso agua. La manera como es extraído el metal en suelos aluviales, hace que se presente una alta demanda del recurso agua, razón por la cual los mineros de la región desvían y/o represan los cauces de muchas corrientes hídricas, lugar donde

luego vierten las colas cargadas de contaminantes, que en ocasiones resultan ser tóxicos perjudiciales para la salud humana. Además como consecuencia de la problemática minero ambiental, generada por la minería a cielo abierto, en el Chocó Biogeográfico, las afectaciones a las fuentes hídricas superficiales se han visto reflejadas en la disminución de las mismas y en muchos casos en la pérdida de bienes y servicios ambientales.

Por su parte, CODECHOCO y IIAP (2011), expresan que el sistema hídrico de la cuenca el río San Juan está siendo altamente afectado por el vertimiento de contaminantes como: residuos de grasas, gasolina, ACPM, desechos orgánicos, residuos sólidos y aguas servidas, la sedimentación de los ríos y quebradas aledañas. Otros aspectos importantes causados por la minería es la alteración de los cauces por la desviación realizada de algunas corrientes hídricas naturales y la creación irracional de humedales (pozas, lagunas abandonadas): Ejemplo de lo dicho, se puede observar en la zona denominada San Cristóbal en este municipio se puede evidenciar la presencia de charcas y lagunas con grandes depósitos de lodo.

En síntesis, Brack et al., (2011), reporta que el desarrollo de actividades mineras con dragas producen una alteración del cauce de los ríos y que tiene impactos dramáticos tanto en la dinámica e hidrología de los ríos como en las comunidades bióticas asociadas, contexto que resulta poco favorable para la comunidad y pone al descubierto los daños que se están generando en los ecosistemas hídricos que en la gran mayoría son irreversibles toda vez que no se haga una actividad minera adecuada y responsable. Adicionalmente, en zonas donde existe dragado constante el crecimiento de los peces es seriamente afectado, porque la excesiva turbidez disminuye la disponibilidad de oxígeno y alimento, y también la resistencia a enfermedades,

porque los peces reaccionan a la excesiva carga de sólidos en suspensión produciendo mucus que atrae hongos y bacterias que generan enfermedades en las comunidades.

Por lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación.

¿Cual es la incidencia de la minería mecanizada sobre las características fisicoquímicas y la estructura comunitaria de algas perifíticas de fuentes hídricas del municipio de Cértegui, Chocó teniendo en cuenta el período de operación y descanso minero?

### **1.3 Antecedentes investigativos.**

A partir de una amplia revisión bibliográfica relacionada con la calidad fisicoquímica de fuentes hídricas intervenidas con minería y de algas perifíticas como bioindicadores en este tipo de ecosistemas, se pudo analizar que existen algunos vacíos de información con respecto a la temática específica, sin embargo, se cuentan con algunos reportes significativos a nivel de investigación, los cuales dan cuenta de las condiciones de este recurso.

En este sentido, se tiene que a nivel de fuentes hídricas intervenidas por minería a cielo abierto, el Chocó, al ser un Departamento caracterizado por ser territorio con grandes recursos mineros, tiene como una de sus principales características la auroplatanífera que ya en 1670 era conocido como gran productor de oro y ocasionaba que osados aventureros y descubridores fueran a este territorio usando fuerza para someter a la población y obtener tierras con oro (Mosquera y Rivas, 1978).

Vargas (2016), en su estudio diagnóstico de la calidad ecológica a través de algas perifíticas en escenarios hídricos afectados por minería a cielo abierto con diferente temporalidad, Jigualito (Condoto, Chocó) encontró que la concentración de material suspendido, junto con la

temperatura y los nutrientes son las características fisicoquímicas que determinan la calidad ambiental de los escenarios hídricos disturbados por minería, los cuales explicaron el 83.5% de la variabilidad de los datos obtenidos.

En adición manifiesta que los análisis estadísticos evidenciaron 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 variables como los sólidos, indicando que el tiempo beneficia el restablecimiento de las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua afectados. En lo referente a las algas perifíticas encontró que 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.

Sánchez y Cañon (2010), en su estudio, análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río Condoto (Chocó, Colombia), expresan, que dentro de las principales actividades desarrolladas en el río Condoto, esta la minería, siendo probablemente la causante del mayor impacto en la calidad de la fuente debido al aporte de sólidos, aceites y mercurio, los cuales llegan a las fuentes hídricas y ocasionan problemas de sedimentación, aumento de la turbiedad cambios en las características hidráulicas y geomorfológicas, afectación de la vida acuática y por lo tanto en la productividad del ecosistema, lo que se refleja en algunas algas perifíticas.

Palomeque (2006), realizó un monitoreo y caracterización fisicoquímica y microbiológica en el río Quito, con el fin de desarrollar acciones de monitoreo, seguimiento y control, para apoyar las

actuaciones administrativas y de planificación regional en torno al manejo integral del recurso hídrico, en el cual se establecieron diferentes puntos de muestreo y se analizaron parámetros como: Turbiedad, Salinidad, pH, Sólidos Suspendidos y Totales, DBO5, DQO, Fosfato, Nitritos Nitratos, Coliformes Totales y Fecales. Los resultados de esta investigación muestran que estos parámetros presentaron valores por debajo del nivel establecido en el decreto 1594 de 1984, para cualquier uso que se le dé al recurso, lo que deja ver afectaciones en la fuente hídrica que pudieran estar influenciadas por el desarrollo de actividades mineras en la zona.

La fundación Beteguma (2009), en su estudio informe final del proyecto implementación del plan de manejo ambiental parcial de recuperación y conservación de la cuenca hidrográfica río Cabí, fase I: plan de monitoreo y suspensión de minería mecanizada, para lo cual se hicieron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos en tres secciones de la cuenca; aduce que en general, los valores promediados de los parámetros medidos presentaron algún tipo de variabilidad entre muestreo y estación, sin embargo, algunas de estas no demostraron diferencias estadísticas significativas entre los datos registrados en los diferentes puntos, esta relativa homogeneidad de los registros puede ser debida al mismo rango limitado de estas variables, las cuales posiblemente no fluctúan ampliamente ante algún tipo de intervención o pueden recuperar sus valores estándares rápidamente después de una perturbación debido a la alta pluviosidad y a los niveles que alcanza el río. Adicionalmente, parámetros como los coliformes, la turbiedad y la temperatura mostraron sus valores más altos en la parte media y baja del río; zonas que además de ser las más habitadas se reportaron como las de mayor actividad minera en la cuenca. Por el contrario los promedios de oxígeno disuelto obtenidos, fueron más altos para la zona uno (alta) ( $8.12 \pm 0.74$ ) que para la parte media ( $6.46 \pm 0.29$ ) y baja respectivamente ( $5.95 \pm 1.11$ ), siendo esta última la que presenta la mayor desigualdad entre datos y sugiere una mejor calidad de agua para



la estación uno o parte alta de la cuenca. En síntesis, se demuestran diferencias estadísticamente significativas que indica caleramente algún tipo de contaminación en el medio acuático y podría generar afectaciones a los organismos acuáticos y a la productividad del recurso.

IIAP-MADS, (2012), en cuatro fuentes hídricas receptoras de vertimientos mineros tres de ellas afluentes del río San Juan (ríos Tadocito y Pureto, y la Quebrada Tapacundó) y una de ellas (quebrada la Esperanza) del río Atrato, también evidenció como los vertimientos mineros alteran las condiciones fisicoquímicas del agua, pues parámetros como el oxígeno disuelto que osciló entre 4.9 y 5.6 mgL<sup>-1</sup>, antes de los vertimientos, y entre 0.2 y 1.65 mgL<sup>-1</sup> después de los vertimientos; los sólidos suspendidos y sólidos totales que oscilaron entre 292 y 700 mgL<sup>-1</sup>, 392 y 860 mgL<sup>-1</sup> respectivamente aguas abajo de los vertimientos para la quebrada Tapacundó, y entre 3141 y 10230 mgL<sup>-1</sup>, 2729 y 8799 mgL<sup>-1</sup> para la quebrada La Esperanza. Por otra parte, se encontraron altas concentraciones de grasas, aceites, bacterias (coliformes fecales y totales), y cantidades de Mercurio este último oscilo entre 0.001 y 0.003mgL-1, para las quebradas Pureto, la Esperanza y río Tadocito. En términos generales estos resultados indicaron que ninguna de estas fuentes hídricas en el momento del muestreo, fecha en la cual había presencia de vertimientos mineros principalmente de minería mecanizada, contaban con condiciones aptas para consumo humano sin la aplicación de procesos de potabilización mediante tratamiento convencional y condiciones que favorecieran la conservación de la flora y la fauna acuática, según los estándares de calidad establecidos por el decreto 1594 de 1984.

Adicionalmente, IIAP (2014), en su estudio evaluación de la calidad fisicoquímica y ecológica de fuentes hídricas presionadas por minería en el distrito minero del San Juan (caso Raspadura), en el cual caracterizó los efluentes de minería mecanizada presentes en la parte baja,

media y alta del río Raspadura, expresó que en términos generales la fuente hídrica presenta condiciones que aunque permiten el establecimiento de fauna y flora al considerarse que los valores de oxígeno disuelto entre (6.7 y 8.5 mg/l), junto con los valores de pH entre (4.5 y 5.0) para el caso de la parte media y baja la cuenca se encuentran dentro del límite establecido por el decreto 1594/84, para el desarrollo de la vida acuática, el cual debe ser  $>4$  mg/l y 4.5 - 9 respectivamente.

Es de aclarar, que pese a las grandes descargas contaminantes al interior del recurso como producto de las actividades minera en el río Raspadura, las buenas condiciones de la fuente hídrica, que dan lugar al desarrollo de la vida acuática como consecuencia de las altas concentraciones de oxígeno disuelto, obedecieron a la velocidad del flujo y turbulencia del agua ( $4.08 \text{ m}^3/\text{seg}$ ), que contribuyó a la dilución de contaminantes al interior del agua y generó un aumento en la disponibilidad de oxígeno al interior de esta.

Se manifiesta que el proceso de extracción minera, mediante métodos tecnificados a través del uso de retroexcavadora, requieren grandes volúmenes de agua, la cual es captada de los ríos y quebradas cercanos a la misma, situación que da lugar a vertimientos de residuos líquidos generalmente en la misma fuente de captación. La información recolectada en campo permito determinar el consumo de agua diario por equipo de bombeo. Teniendo en cuenta que para cada entable minero se requiere de la utilización de 1 o 2 bombas de succión a gasolina, las cuales operan de 22 a 24 horas, mediante la implementación de 2 turnos de trabajo. En conclusión, la calidad del agua del río Raspadura, a partir del análisis de variables fisicoquímicas, permitió manifestar que la fuente se encontró en condiciones que restringen el desarrollo de los

organismos acuáticos en su interior, debido al proceso de actividades sobre la margen del río Raspadura y algunos afluentes como la quebrada Raspadurita, lo que originó grandes impactos ambientales y especialmente en el recurso hídrico. Sumado a esto, las grandes descargas de contaminantes producidas durante el proceso de explotación minera vierten directamente al río sin ningún tipo de tratamiento, situación que no solo puede afectar la biota acuática sino también a las comunidades aledañas a la fuente, pues, la mala calidad de la misma disminuye su productividad generando así pérdida de los servicios que ofrece el recurso.

Similar al caso anterior y considerando los resultados de IIAP (2014), en su investigación evaluación 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; en el cual establecieron 10 puntos sobre el río Quito y 7 en algunos de sus afluentes, expresa que durante el vertido de contaminantes generados por la realización de actividades mineras, variables como la temperatura (26.3 y 27.5 °C), el oxígeno disuelto (5.3 y 7.3 mg/l) y el pH (5.2 y 6.0), las cuales determinan la presencia de vida en el agua, se encuentren en condiciones óptimas a pesar de estos contaminantes. Sin embargo, las mayores alteraciones a nivel fisicoquímico se encuentran en parámetros como turbiedad, sólidos y algunos iones que están asociados al aporte de material particulado ejercido por esta actividad productiva que ha redundado en una modificación del sistema hídrico como hábitat de grupos biológicos y fuente de desarrollo de las comunidades aledañas. Lo anterior se soporta teniendo en cuenta no solo los altos valores de turbiedad (123 y 1100 FAU), sólidos suspendidos (770 mg/l) y algunos iones como el nitrato (1.52 y 35.0 mg/l) sino también, de grasas y aceites (18.5 y 27 mg/l), las cuales, se encuentran por encima de los que establecen las normas, de ahí que el río Quito presente notables afectaciones como

consecuencia de las actividades mineras, toda vez que estas se ejecuten sin ningún control y sus contaminantes sean vertidos sin tratamiento previo. En síntesis, dicho cuerpo de agua presenta condiciones que resultan restrictivas para el desarrollo de las comunidades biológicas en su interior, como consecuencia de la contaminación por grandes cantidades de material granulado vertido por la actividad minera practicada sin control ambiental en la zona, lo que ha ocasionado contaminación por sedimentos, afectación de las dinámicas hídricas, alteración de los sistemas de drenaje naturales y desviación del cauce y alteración de las características fisicoquímicas del agua como consecuencia del avance de dicha actividad.

El panorama, no solo del río Quito, sino también, de los 7 afluentes monitoreados, afecta todo un ecosistema del cual dependen grupos biológicos y asentamientos humanos localizados alrededor del mismo, ya que el notable incremento de variables como turbiedad, sólidos, grasas y aceites, así como la modificación del cauce y la deforestación de sus riberas afecta los lugares de alimentación, refugio y reproducción de muchas especies acuáticas, incluyendo los peces, lo que constituye un impacto tanto en los procesos ecosistémicos como en las dinámicas socioeconómicas y culturales de las comunidades negras del área de influencia de este sistema.

Por otro lado, lo manifestado por IIAP (2014), en su estudio evaluación de la calidad fisicoquímica, microbiológica y biológica del agua y la contaminación mercurial en el río Neguá, municipio de Quibdó, indica que en términos generales las condiciones ambientales de la fuente hídrica son aceptables en cuanto a la calidad fisicoquímica del agua se refiere, pues se presentaron concentraciones de oxígeno disuelto, temperatura y pH principalmente, dentro de los rangos establecidos por la normatividad nacional e internacional para conservación de flora y fauna acuática, además, de que se registraron bajos niveles de sólidos suspendidos y turbiedad en

relación a los niveles reportados en otros estudios realizados en fuentes hídricas con características similares de intervención minera. No obstante, los bajos valores de sólidos suspendidos (22 y 61,3 mg/l) y turbiedad (20,78 y 49,3 FAU), pudieron estar influenciado por las condiciones climáticas de la zona en el momento del muestreo, la cual correspondió a un período altamente lluvioso que incrementó los niveles de agua, facilitando así la dilución de los contaminantes vertidos al agua y dificultando evidenciar las condiciones reales de intervención de estas fuentes hídricas durante la recepción de los vertimientos mineros. Sin embargo, si registraron concentraciones de grasas y aceites por encima de lo que establece el decreto 1594/84 tanto para conservación de flora y fauna, como para consumo humano y uso doméstico, lo que pone al descubierto afectaciones en el recurso hídrico.

#### **Algas perifíticas en fuentes hídricas**

En relación a las algas perifíticas en ecosistemas impactados por minería, a nivel internacional, se puede mencionar la investigación de Martín et al., (2004), quienes realizaron un estudio titulado “Efecto de la contaminación minera sobre el perifiton del río Guadamar-Sevilla”, en el que analizaron los impactos de la actividad minera sobre la comunidad de algas adheridas al sustrato piedra en 10 puntos de muestreo del río; los cuales se definieron a partir del nivel de afectación o degradación por minería, en esta investigación se estudió además en laboratorio la acumulación de metales a los que se hayan expuestos las células algales. Aunque el documento no registra datos específicos de composición y densidad de individuos, si se obtuvo como resultados que la mayoría de las algas reportadas en los sitios de muestreo y sobre todo en los puntos más afectados por la actividad minera durante todo el período de experimentación estuvieron dominadas por grupos como (diatomeas y cianobacterias); donde las especies más dominantes fueron *Achnanthes minutissima*, *Gomphoneis olivácea*, *Oscillatoria spp*, *Calothrix*

sp, *Geitleribactron*, *Klebsormidium* sp, *Ulothrix* sp, y *Mougeotia* sp, las cuales están adaptadas a soportar adversas condiciones y por otro lado, se presentó contaminación tóxica con una mezcla de metales como (Zn, Cu, Pb, Cd, Tl, As y Sb). En cuanto a la calidad ecológica del agua del ecosistema se podría deducir que por los resultados encontrados se muestra afectada la composición de la comunidad del perifíton del río, la cual se ha reflejado en una desaparición de especies que potencialmente se podrían desarrollar en los tramos afectados, produciendo un cambio en las comunidades por la bioacumulación de metales en biomasa; sin embargo, esto produce un impacto al hacer desaparecer a las especies más sensibles; siendo así, la calidad del agua del río estaría encaminada hacia una eutrofización y a la baja productividad y calidad del agua.

A nivel nacional se menciona a Jiménez, Toro y Hernández (2014), en su estudio, relación entre la comunidad de fitoperifíton y diferentes fuentes de contaminación en una quebrada de los andes colombianos, reporta que la comunidad de algas perifíticas y el gradiente fisicoquímico varío espacialmente en la quebrada, presentando cambios notables en la composición, abundancia relativa, diversidad y densidad de morfoespecies en las estaciones, dichas variaciones fueron explicadas en un 69% por variables fisicoquímicas como los metales pesados, nutrientes, iones y las variables hidrológicas, siendo los minerales de las aguas termales los que produjeron un mayor impacto en el área de estudio, evidenciado en la conductividad.

De la misma manera y a nivel nacional, se presentaron a continuación algunos estudios relacionados con la calidad del agua utilizando la comunidad perifítica como bioindicadora de sus condiciones ecológicas. En este sentido, se menciona el trabajo de Donato et al., (1996) quienes realizaron el estudio del perifíton asociado a sustratos artificiales (placas acrílicas) y

naturales (*Potamogeton* spp. y *Myriophyllum* spp.) en dos sistemas acuáticos de páramo, los cuales encontraron que las diatomeas predominan en el perifíton con el 41% de la abundancia de la comunidad, seguida por las clorofíceas con el 37%. También registraron, que la composición del perifíton es bastante homogénea a lo largo de cuatro estaciones en cada cuerpo de agua, en las que se da alternancia en la dominancia entre estos dos grupos, la cual depende de las variaciones de la alcalinidad y la concentración de calcio.

Ramírez y Díaz (2008), realizaron el inventario de diatomeas perifíticas en dos sistemas lóticos en el Páramo de Santurbán y determinaron su relación con las condiciones ambientales. El ensamblaje no registró variación estacional significativa, es decir que se presentaron mayores diferencias entre los tramos que entre períodos de muestreo. Esto se debe a que las diatomeas perifíticas fueron afectadas principalmente por diferencias en el hábitat entre los tramos, lo cual enfatiza la importancia de las condiciones ambientales en los sistemas acuáticos tropicales de alta montaña sobre la composición y abundancia de diatomeas perifíticas. La conductividad, el potencial redox, el pH y el caudal fueron factores determinantes de la variación ambiental y de las diferencias en la estructura del ensamblaje y se presentaron, bajos valores de diversidad en estas zonas.

Ramírez y Viña (1998), estudiaron el perifíton presente en ríos ubicados en las zonas de influencia de los proyectos de explotación y transporte de hidrocarburos. Evidencian que la comunidad presenta una capacidad de tolerancia muy alta frente a las variaciones ambientales, especialmente organismos de los géneros *Nitzschia*, *Navicula*, *Fragilaria* y *Lyngbya*. La gran mayoría de taxa exhibe amplia tolerancia a la contaminación. Registran que la riqueza de la comunidad se favorece a altitudes menores a 500 m.s.n.m. El número total de morfoespecies fue

mayor durante la temporada de sequía. Al analizar los grupos algales encontraron que las cianofíceas son el grupo más generalista y poseen rangos medios de tolerancia ambiental, además que tienden a presentar los más altos y bajos valores de los índices de contaminación. Las clorofíceas contrario a las cianofíceas, exponen las tolerancias más estrechas y son favorecidas por el incremento de fósforo. Las euglenofíceas predominan en aguas de mayor temperatura, concentraciones iónicas elevadas al igual que la carga orgánica. Respecto a las diatomeas plantean que su comportamiento se asocia específicamente a nivel de especie, por lo que es difícil realizar generalizaciones dentro del grupo.

Montoya y Moreno (1998), realizaron un estudio del perifíton en la parte alta del río Medellín, donde se encontraron diferencias temporales significativas en la diversidad y en la equidad. Las diatomeas fueron las más abundantes (56% del total), seguidas por clorofíceas (29%), cianoprocaritas (11%) y criptofíceas (14%). El proceso de colonización presentó un patrón consistente en una etapa inicial, en la que ocurre una fase de rápida colonización de especies, alcanzándose la máxima diversidad entre la segunda y tercera semana de colonización y la máxima riqueza en la cuarta semana del proceso de colonización.

Martínez (2000), estudió los factores que influyen en la colonización de un río de alta montaña, donde se encontró que las diatomeas dominaron en las épocas de estudio y se ordenaron durante las etapas de desarrollo como especies colonizadoras de etapas primarias, intermedias y tardías. Adicionalmente, la diversidad de algas perifíticas fue mayor en condiciones de caudales medios y lluvias esporádicas.

Martínez y Donato (2003), en el río Tota, investigaron el efecto del caudal sobre la colonización



de sustratos artificiales en tres períodos climáticos diferentes. Se encontró que la variación mensual de las características fisicoquímicas fue mayor que la diaria, además que, el caudal generó patrones de colonización del perifíton de acuerdo a las variaciones estacionales. La diversidad fue mayor bajo condiciones de caudales medios y lluvias esporádicas, mientras que la densidad fue mínima cuando los valores de caudal fueron mínimos.

Díaz y Rivera (2004), realizaron la caracterización de las diatomeas perifíticas en veinte ríos de la cuenca alta y media del río Bogotá. Encontraron que la estructura de las comunidades de diatomeas está determinada principalmente por las variables físicas (32,3%), y químicas (56,4%) con respecto a las hidrológicas (11,3%). En esta investigación se reportaron 57 taxones, los cuales pueden ser utilizados como indicadores de las condiciones de pH y fósforo soluble reactivo del medio ambiente acuático.

Hernández y Nates (2005) estudiaron la variación espacio temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca La Vega (Antioquia), las cuales fueron tomadas de rocas en tres estaciones de muestreo. Se registraron 31 géneros entre los que las diatomeas fueron las de mayor contribución a la riqueza numérica. Se presentó similaridad espacial y temporal alta entre las estructuras de las algas perifíticas; además se determinó que, la mayoría de las variables ambientales no presentaron diferencias significativas durante la investigación. Se encontró que la combinación de la intensidad lumínica alta y la disponibilidad de sustratos duros y nutrientes pueden influenciar la densidad algal.

Zapata y Donato (2005), estudiaron los cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de la corriente en el río Tota. Las especies predominantes fueron *Cocconeis placentula*, *Melosira varians*, *Nitzschia sp2* y *Fragilaria cf. capucina*, con cambios diarios en

sus densidades en los tres períodos. Se encontró que la variable con mayor explicación de estos cambios es la velocidad de la corriente junto con el nitrógeno total y el pH. En general, valores de velocidad de la corriente moderadamente altos promueven bajas densidades algales; la comunidad se conserva en las primeras etapas de sucesión y permite el mantenimiento de la diversidad. En velocidades de corriente más bajas, la abundancia total es alta y se sucede el desprendimiento de la película algal con el consecuente reinicio de la sucesión.

Rivera y Donato (2008) realizaron muestreos quincenales en el río Tota con la finalidad de evaluar la influencia de las variables hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas benthicas. Encontraron que cuando el caudal fue alto dominaron las algas con formas aplanadas (oblicuas y ovoides) y en los períodos de caudal bajos, algas alargadas, centrales y naviculiformes. La herbivoría afecta principalmente a las formas erguidas y permite el crecimiento de algas con formas postradas como *Cocconeis placentula*. La diversidad de la comunidad de diatomeas se relacionó con la variabilidad del caudal.

Bustamante, Torres y Zapata (2008), realizaron la caracterización preliminar del perifíton en el río Quindío. Las diatomeas fueron el grupo predominante, entre las que sobresalen los taxones *Navicula sp.*, *Melosira granulata*, *Cymbella sp.* y *Diatoma sp.*, como los más abundantes. Se reportó baja diversidad y dominancia, lo cual pudo deberse a la combinación de factores hidráulicos, fisicoquímicos y geológicos de la cuenca del río.

Rivera-Rondón et al. (2008), investigaron sobre las relaciones entre el uso del suelo y la comunidad de diatomeas perifíticas en 18 ríos de Pereira. Los resultados indican que los sistemas productivos en agricultura y ganadería de carne tienen mayor impacto sobre los ríos, al producir concentraciones altas de nutrientes, niveles de oxígeno bajos y los valores de los sólidos en

suspensión altas. En los sistemas productivos de ganadería lechera, plantaciones forestales y en las áreas de bosques protegidos, se observó una mejor calidad del agua. Se reportó que las especies de las diatomeas responden a gradientes de turbidez, sólidos totales, amonio, nitratos, nitrógeno y fósforo total.

Aguirre-Sánchez et al., (2008), evaluaron la calidad del agua a través de algas perifíticas en la quebrada Ayurá. Se encontró que la mayoría de las algas fueron indicadores mesosapróbicos, mientras que los protozoos eran polisaprobios. Además, las familias con mayor diversidad fueron las nostocales, fragilariales y naviculales. Los géneros más representativos fueron del grupo de las diatomeas.

Abuhatab (2011), estudió la actividad metabólica diaria del biofilm en el sector medio del río Tota. La diversidad y riqueza estuvieron relacionadas con los valores altos de caudal y la intensidad lumínica y los bajos valores de conductividad y nitratos. *Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot y *Reimeria sinuata* (Gregory) Kociolek & Stoermer, se asociaron a valores bajos y medios del caudal, respectivamente. Los valores altos de nitrato y bajos de conductividad y temperatura del agua, incidieron en la densidad de *Achnanthes minutissima* Kützing, *Gomphonema clavatum* Ehrenberg, *Nitzschia dissipata* (Kützing) Grunow.

Marín Villegas et al., (2011), estudiaron algunas comunidades bénticas en la quebrada La Florida Armenia-Quindío. Las algas perifíticas no registraron cambios en su estructura en los diferentes meses de muestreo y su hábitat preferido fue el material vegetal. Los índices ecológicos alfa ( $\alpha$ ) muestran que los sitios 1 y 2 presentaron buen estado ecológico lo cual permite albergar un buen

número de especies bénticas, mientras los sitios 4, 5 y 6 presentaron sus hábitats y paisaje deteriorados.

Acercándonos a la zona de estudio, se puede apreciar que en el Chocó se reportan investigaciones de algas perifíticas, donde todos los ecosistemas han estado influenciados por disturbio minero. Se mencionan aquí las investigaciones de Torres (2010), quien hizo la “Implementación del plan de manejo ambiental parcial de recuperación y conservación de la cuenca hidrográfica del río Cabí. Fase I: plan de monitoreo y suspensión de minería mecanizada” para este caso se analizaron los impactos de la actividad minera sobre la comunidad de algas perifíticas en 5 puntos de vertimiento de la cuenca de Cabí y se tomó como referente el sustrato piedra del bentos al azar para la colonización de las células; se determinó la calidad del agua y los niveles de contaminación del ecosistema a través del índice sapróbico IBI y los parámetros fisicoquímicos del agua. Como resultados de composición se obtuvo una comunidad representada principalmente por 1 división (Bacillariophyta), 7 órdenes y 69 especies; las especies más abundantes fueron *Cymbella minuta*, *Frustulia romboide*, *Pinnularia brandeliformis*, *Synedra ulna*, *Eunotia faba* y *Frustulia marginata* y se encontró una baja diversidad de individuos. Según el índice aplicado, se encontró que en la mayoría de los puntos muestreados de la cuenca de Cabí se presenta un nivel de contaminación de débil moderado y en los niveles oligosapróbico y betamesosapróbico, esto significa que sus aguas son de poco contaminadas a moderadamente contaminadas, debido a la sedimentación minera y a las aguas residuales vertidas al cauce resaltando un resultado de contaminación y eutrofización tanto por la actividad minera como por otros vertimientos orgánicos aledaños.

Otra investigación de la comunidad de algas perifíticas en ecosistemas de tipo minero es el de Becerra (2010), quien estudio la “Diversidad de las comunidades de algas del perifiton presentes en la quebrada San José, corregimiento de Guayabal, (Quibdó- Chocó)” aquí se estudió el perifiton asociado a los sustratos piedra, tronco y hojas en 2 estaciones de muestreo, la parte alta y baja de la quebrada en estudio. Se encontró como resultados una significativa densidad de células perifíticas representadas en 6 divisiones, donde las (Chlorophytas, Chrysophytas y Cyanophytas) fueron las más representativas para las dos estaciones de muestreo, sobresaliendo los géneros *Zygnema*, *Bulbochaete*, *Oscillatoria*, *Pediastrum*, *Frustulia*, *Cosmarium* y *Closterium*, hubo una mayor dominancia de organismos indicadores de condiciones estables del agua y además se presentó una comunidad bien estructurada con diversidades altas entre las estaciones de muestreo. Los parámetros fisicoquímicos analizados en esta investigación se presentaron en condiciones normales para aguas oligotróficas, lo que demuestra que la calidad ecológica del agua no estuvo muy afectada por la actividad minera y se encontró en condiciones aptas para el sostenimiento y diversidad de la comunidad de algas.

Abuhatab et al., (2004) investigaron la colonización del ficoperifiton en dos sustratos en la quebrada La Francisca impactada por minería, en la que las clorofíceas también fueron los organismos predominantes. Además, se presentaron diferencias en la colonización entre los dos sustratos y se encontró que la conductividad eléctrica presentó relación significativa con la diversidad de las algas ficoperifíticas.

Rentería y Rentería (2010), determinaron la “Estructura y composición de las Diatomeas perifíticas asociadas al sustrato piedra y su relación con las variables hidrológicas, climáticas,

físicas y químicas en el río Pacurita, Quibdó – Chocó”. Se determinaron 3 estaciones de muestreo en un tramo del río, intervenido por minería. Como resultados se obtuvo 1 división (Bacillariophyta), representada en 31 especies, siendo las especies más abundantes *Cymbella cymbiformis* y *Fragillaria construens* y se presentaron valores medios de diversidad, se encontró un incremento de algunas variables fisicoquímicas e hidrológicas en el momento de los muestreos, los cuales afectaron la calidad del agua permitiendo su deterioro por las actividad minera y a las practicas inadecuadas por medio de la comunidad que dejan contaminantes en ese tramo del río Pacurita.

Otra investigación importante fue la de Salas et al., (2011), quienes hicieron una “Caracterización de las comunidades perifíticas y de macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Pacurita, corregimiento de Pacurita, Quibdó, Chocó-Colombia”. Se colectaron las algas de los sustratos piedra, troncos, vegetación ribereña y hojarasca, se midieron las variables fisicoquímicas del agua como conductividad eléctrica, temperatura del agua, sólidos totales disueltos, pH, oxígeno disuelto y alcalinidad. Donde como resultados se encontraron 4 clases de algas, siendo las divisiones más representativas las (Cyanophytas y Chlorophytas), con los géneros *Oscillatoria* y *Bulbochaete* como los más dominantes, se presentaron valores medios de diversidad y la calidad ecológica y fisicoquímica del agua estuvo en la categoría de aguas ligeramente contaminadas, lo que se puede deducir en un estado mesotrófico del agua del ecosistema, por las transformaciones que ha dejado la práctica minera en el río.

Finalmente, el IIAP en el 2015 realizó la “Caracterización ambiental y diagnóstico de la afectación minera en el río Acandiseco- Acandí,” donde se establecieron 5 puntos de muestreo a

lo largo del río y se estudió la comunidad de algas perifíticas y los parámetros fisicoquímicos como indicadores de su estado de afectación. Al respecto, la comunidad de algas perifíticas estuvo representada en 3 divisiones y 20 especies, donde las algas (Bacillariophytas) fueron las más representativas seguido de las Cyanobacterias, las especies más abundantes fueron *Oscillatoria sp*, *Navicula* y *Schizothrix* y con valores medios de diversidad. En cuanto a la calidad ecológica del agua, el río mostró en términos generales un estado oligotrófico, las cuales indican muy pocos grados de alteración en el sistema; este resultado es corroborado también por los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos quienes confirman que la fuente hídrica, aún posee condiciones que favorecen el establecimiento y conservación de la biota acuática, puesto que los parámetros estuvieron dentro de las normas a pesar de la explotación minera que se realiza en el sitio.

#### **1.4 Justificación**

Los cuerpos de agua y en especial los ríos, representan un elemento de suma importancia para las comunidades del departamento del Chocó y en especial para las del municipio de Cértegui al considerar que el agua almacenada en los diferentes tipos de fuentes hídricas no solo constituye un elemento vital para el desarrollo de la vida, pues de ella las comunidades la obtienen para consumo, practicas productivas, actividades domésticas, culturales y de recreación, sino que junto con sus características fisicoquímicas, estructurales y ambientales en general, se convierten en el hábitat de múltiples comunidades biológicas (algas), que encuentran en este medio un sistema a través del cual fluye materia y energía, soportando complejas cadenas tróficas, que tienen como uno de los eslabones más importantes al hombre y a los diferentes cambios y

afectaciones a las que son sometidos como consecuencia del desarrollo de actividades mineras en su área de influencia.

De ahí, el interés y la importancia de saber cual es la incidencia de la minería sobre las características fisicoquímicas y la estructura comunitaria de algas perifíticas de fuentes hídricas del municipio de Cértegui Chocó teniendo en cuenta el período de operación y descanso minero. En base a lo anterior, es importante el desarrollo de la investigación planteada ya que servirá como instrumento, para que las comunidades y en especial los que ejercen la actividad minera, implementen medidas que sean más equilibradas con el entorno, se genera conocimiento relacionado con el desarrollo de actividades mineras, se proporcionan recomendaciones de tratamiento previo a los contaminantes antes de ser vertidos a las fuentes hídricas, se brindan recomendaciones generales relacionadas con el daño y las afectaciones que se producen no solo a los ecosistemas hídricos sino también a la comunidad, toda vez que las actividades mineras se sigan desarrollando ilegalmente y sin ningún tipo de control, sumado al hecho de que la investigación sirve como insumo para que las autoridades competentes implementen acciones que contribuyan con el medio ambiente.

En adición, el análisis de revisión bibliográfica permitió identificar que los estudios o evaluaciones de las características fisicoquímicas del agua y su efecto sobre la composición, riqueza, diversidad y densidad de algas perifíticas de fuentes hídricas disturbadas por actividades mineras, esta mas relacionado con estudios de bioacumulacion en mercurio. Situación que concuerda con IIAP y MADS (2012), quienes manifiestan que los mayores avances de investigación sobre el análisis de las características fisicoquímicas del agua y su efecto sobre la estructura comunitaria y la productividad del fitoplancton en estos ambientes acuáticos alterados por actividades mineras, se encuentran centrados en el estudio de la bioacumulación de mercurio,



poniendo en evidencias algunos vacíos de información en relación a los cambios que se generan específicamente en la características fisicoquímicas y algas perifíticas presentes en los ecosistemas hídricos, lo que sugiere un gran interés por investigar y profundiza acerca de la incidencia que tiene la minería en las características fisicoquímicas y estructura comunitaria de algas perifíticas de fuentes hídricas del municipio de Cértegui Chocó teniendo en cuenta el período de operación y descanso minero.

## **1.5 Objetivo general**

Evaluar la incidencia de la minería mecanizada sobre las características fisicoquímicas y la estructura comunitaria de algas perifíticas en fuentes hídricas del municipio de Cértegui Chocó.

### **1.5.1 Objetivos específicos**

- ❖ Caracterizar fisicoquímicamente la calidad del agua de fuentes hídricas disturbadas por minería mecanizada en el municipio de Cértegui – Chocó
- ❖ Determinar la composición y estructura de la comunidad de algas perifíticas de fuentes hídricas disturbada por minería mecanizada en el municipio de Cértegui - Chocó
- ❖ Analizar integralmente la variabilidad fisicoquímica y sus efectos en la comunidad de algas perifíticas de fuentes hídricas disturbada por minería mecanizada en el municipio de Cértegui - Chocó

## **1.6 Hipótesis o supuesto**

La minería tienen una influencia negativa tanto en las características fisicoquímicas como en las algas que se encuentran al interior de ella, debido a que se generan cambios tanto en dichas características, como en la riqueza y diversidad de comunidades perifíticas a medida que se

incrementa el tiempo de intervención, lo que afecta el comportamiento natural del ecosistema como resultado de la pérdida de este grupo funcional y la alteración permanente de la calidad del agua. En síntesis, el desarrollo de actividades mineras afecta las condiciones fisicoquímicas del agua y a pesar de los períodos de descanso minero, no se evidencia un restablecimiento significativo del ecosistema.

### **1.7 Definición variable y categorías**

Se analizaron variables fisicoquímicas como el oxígeno disuelto, el pH, la turbiedad, los sólidos, los nutrientes, la temperatura, al igual que la productividad del perifíton (estructura comunitaria del perifíton)

En relación a las categorías, se tuvieron como categorías independientes a las variables fisicoquímicas antes mencionadas y como categorías dependientes a la productividad primaria (estructura comunitaria de algas perifíticas)

## **2 MARCO TEÓRICO.**

### **Minería.**

Es la obtención selectiva de minerales y otros materiales (salvo materiales orgánicos de formación reciente) a partir de la corteza terrestre. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Casi desde el principio de la edad de piedra, hace 2,5 millones de años o más, ha venido siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas.

### **Minería tradicional.**

Según el Art. 1 Decreto 0933 del 9 de mayo de 2013, es aquella que se ha ejercido desde antes de la vigencia de la Ley 685 de 2001, en un área específica en forma continua o discontinua, por personas naturales o grupos de personas naturales o asociaciones sin título minero inscrito en el Registro Minero Nacional, en yacimientos minerales de propiedad del Estado y que, por las características socioeconómicas de éstas y la ubicación del yacimiento, constituyen para dichas comunidades la principal fuente de manutención y generación de ingresos, además de considerarse una fuente de abastecimiento regional de los minerales extraídos. Esta minería es también informal y puede ser objeto de procesos de formalización a los que hacen referencia los artículos 31 y 257 de la Ley 685 de 2001, así como los programas de qué trata el Capítulo XXIV de la Ley 685 de 2001-Código de Minas. Por lo anterior, se entiende que la minería tradicional es una especie de la minería informal.

## **Técnicas de extracción minera**

### **Minería artesanal**

Los sistemas de explotación minera artesanal desarrollados en el Chocó Biogeográfico, corresponden a los métodos que son de antigua tradición cuyos orígenes se remontan a las prácticas extractivas que dejaron los primeros esclavos que fueron introducidos a las minas de oro que se descubrieron en los ríos del Pacífico a mediados del siglo XVII. De manera preponderante todas las labores se desarrollan manualmente, y se requiere a excepción de los “Guaches” un significativo flujo de aguas para las labores de arranque, concentración y beneficio de las gravas auroplatiníferas (IIAP, 2012)

### **Minería Semi-Mecanizada**

Dentro de la categoría de la minería semi-mecanizada, están la utilización de dragas-balsas, las cuales utilizan dos unidades de flotadores (balsa), en donde se instalan uno o dos motores de 20 Hp de potencia máxima cada uno, para extracción hidráulica de gravilla a través de una manguera de absorción de más de 10mts y 6 pulgadas de diámetro, un compresor que suministra aire a los dos buzos de turno y un canalón de metal enmallado y tapizado de costales donde se concentra el oro y platino extraído desde el fondo del río o el pozo de extracción. El buzo protegido con vestidos térmicos permanece hasta durante diez horas consecutivas en profundidades que pueden llegar a 9 metros, orientando la manguera encargada de succionar el material, que luego es llevado al canalón, encargado de atrapar las arenas más finas botar el material mucho más grueso (IIAP, 2012)

### **Minería mecanizada**

La mecanización de la minería en la costa pacífica colombiana se dio con el ingreso e inclusión de maquinaria pesada, a partir de la década de los 80. El sistema de minería con retroexcavadora se caracteriza por el movimiento de grandes volúmenes de tierra, altos costos de inversión y rendimientos e igualmente la posibilidad de grandes pérdidas por la poca planificación de las actividades mineras que desarrollan los mineros que utilizan estas máquinas.

Adicionalmente, la minería mecanizada, también está siendo fuertemente desarrollada mediante la utilización de dragas hidráulicas, las cuales operan directamente sobre los lechos de ríos y quebradas. Estas son construidas en acero naval, con vivienda incorporada en el segundo piso. Las dragas hidráulicas, más conocidas en nuestro medio como dragones o dragas brasileras, por su origen, corresponden a uno de los métodos más modernos y mecanizados que se ha implementando en la región. Al igual que la minería de retro, estas dragas trabajan con una

intensidad de 24 horas diarias. Se encuentran distribuidas principalmente en algunos afluentes del río San Juan, como Suruco, Peradó, entre otros, y en mayor proporción en afluentes del río Atrato, resaltando entre otros el río Quito y San Pablo. En algunos casos estas dragas trabajan en asocio a la utilización de retroexcavadoras, maquinaria encargada de realizar la limpieza y el descapote del suelo o riberas del área a intervenir. Actualmente la minería mecanizada esta siendo fuertemente desarrollada mediante la utilización de dragas hidráulicas, las cuales operan directamente sobre los lechos de ríos y quebradas. Estas son construidas en acero naval, con vivienda incorporada en el segundo piso (IIAP, 2012)

### **Minería tecnificada.**

Este tipo de minería se caracteriza por la aplicación de técnicas y procedimientos enmarcados dentro de una planificación del proceso extractivo que incluye principalmente una etapa de prospección y exploración, y una segunda etapa de explotación.

La primera etapa, se realiza con el fin de conocer las características y distribución del metal en el área a explotar y en función de la información obtenida poder organizar y planear adecuadamente el aprovechamiento de tal manera que facilite y aumente la productividad y disminuya pérdidas del metal por la falta de planificación y conocimiento de la zona. La prospección geológica tiene como objetivo la localización de anomalías debido a depósitos minerales, y evaluar los recursos y reservas que albergan los yacimientos; en esta se utilizan métodos geológicos, geoquímicos y aéreos (teledetección), (MINAMBIENTE, 2002). En la exploración se realizan muestreos superficiales (apiques, trincheras y cateos)

Aunque en la región del Chocó Biogeográfico, es muy bajo el porcentaje de aprovechamiento minero técnicamente, existen empresas como Aluviones de Colombia y Estracon, ubicadas en el

municipio de Condoto, las cuales realizan la etapa de prospección y exploración mediante perforaciones, muestreos *in situ* de roca, muestreos de suelos y de aguas, con el fin de caracterizar el depósito mineral, para establecer su geometría, características físicas (granulometría, color y composición)

### **Sistemas de explotación minera**

Básicamente existen dos sistemas de explotación minera los cuales son a cielo abierto y subterráneo. En consecuencia con la investigación se hace énfasis en el primer sistema:

**Minería a cielo abierto:** en el sistema de explotación a cielo abierto, se utilizan como métodos de extracción desde los más mecanizados con retroexcavadoras, bulldózer, motobombas, monitores, dragas de cangilones y dragas de corte succión, impulso hidráulico, a métodos artesanales, como herramientas manuales, tales como picas, barretones y palas. Los métodos de arranque del mineral utilizados para este tipo de minería son generalmente artesanales. La perforación se realiza en forma manual con herramientas menores (picas, palas, Barretones) o mecanizada utilizando taladros mecánicos o neumáticos o excavadora hidráulica. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

Adicionalmente España y Sena (2016), manifiesta que la minería a cielo abierto es una actividad industrial que consiste en la remoción de grandes cantidades de suelo y subsuelo, que es posteriormente procesado para extraer el mineral. Este tipo de minería utiliza grandes cantidades de cianuro y mercurio, sustancias altamente venenosas y contaminantes, que permiten recuperar los metales del resto del material removido.

### **Impactos de la minería**

La práctica de esta actividad minera tiene múltiples impactos, entre los cuales se destacan los siguientes: Afectación de la superficie y del entorno en general. Contaminación del aire. Afectación de las aguas superficiales y freáticas o subterráneas. Afectación de los suelos. Impacto sobre la flora y fauna. Cambios en el micro clima e impacto escénico posterior a la explotación. Adicional a las afectaciones ambientales que se presentan en el entorno, no se puede dejar de mencionar las afectaciones directas que sufre la población por los conflictos generados por los derechos de utilización de las tierras. Un terreno que su destinación era utilizado para el turismo, con esta actividad comercial, termina siendo objeto de aprovechamiento minero (España y Serna, 2016)

De manera específica, el desarrollo de actividades minera genera no solo impactos en el suelo y aire sino también en el agua destacándose los siguientes: sedimentación de la fuente hídricas, afectación de las condiciones fisicoquímicas del recurso hídrico, alteración del cauce del recurso hídrico, erección de las rondas hídricas, cambio del paisaje natural, Pérdida de cobertura y soporte vegetal en las orillas, e impacto a la navegabilidad de las poblaciones aledañas etc.

### **Ecosistemas hídricos**

Los ecosistemas acuáticos epicontinentales son todas aquellas aguas superficiales que se distribuyen en los continentes, dentro de los cuales existen, los sistemas lóticos (término, relativo al agua corriente, por ejemplo un arroyo o un río), y los lénticos (concepto aplicado a las aguas estancadas, como pantanos, estanques, lagos y los humedales, que son cuerpos de agua someros) (Cervantes 1994).

### **Parámetros fisicoquímicos**

Los métodos fisicoquímicos ayudan a conocer con precisión el tipo de contaminante vertido en detalle. Neumann et al, citado por Leiva (2004), afirman que las principales desventajas de determinar la calidad de agua mediante el uso de métodos fisicoquímicos radica en parte en el costo elevado, al mismo tiempo que la información proporcionada por estos análisis es puntual y transitoria. Según Roldan (1988), los parámetros a los cuales son más sensibles los organismos son a menudo el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura.

### **Características fisicoquímicas:**

**Físicas.** Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua, dentro de las cuales tenemos: turbiedad; sólidos solubles e insolubles; color; olor y sabor; temperatura, y pH.

**Químicas.** El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor, dentro de esta se encuentran, aceites y grasas, agentes espumantes entre otros.

### **perifíton**

En la actualidad el termino perifíton se refiere a todas las comunidades de microorganismos animales y vegetales; algas, hongos, bacterias, protozoarios y animales que viven adheridas a sustratos vegetales, rocas o a cualquier tipo de material natural o artificial sumergido (Roldán, 1992)



Wetzel (1983a) citado en Montoya y Aguirre (2013), considera que el perifíton es una comunidad compleja de detritos orgánicos e inorgánicos) adherida a un sustrato, el que puede ser orgánico o inorgánico, vivo o muerto

### **Importancia del perifíton**

El perifíton es un componente de las comunidades bióticas acuáticas, su estudio es importante tanto desde la perspectiva ecológica, para comprender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, como desde el punto de vista ambiental, pues su composición y estructura pueden servir como indicadores de la calidad del agua y de procesos que como la contaminación puedan estar afectando a los ecosistemas. (Montoya y Aguirre 2013)

### **Algas perifíticas como bioindicador**

Los bioindicadores informan de la situación momentánea y de la acontecida algún tiempo antes de la toma de muestras; es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas (Toro, Schuster, Kurosawa, Araya y Contreras 2003)

### **Importancia de las algas perifíticas en los ecosistemas acuáticos**

El perifíton está conformado por un ensamble de especies que se ubica en la interfase agua-sustrato, lo que permite que pueda aprovechar recursos de este ecotono. La distribución y porcentaje de cobertura del ensamblaje varía en cada sistema acuático, pero en el ecosistema presenta una importancia variada ya que se les considera fuente alimenticia ya que es rico en proteínas, vitaminas y minerales, Incluso el ensamblaje perifítico puede constituirse en la fuente principal de alimento para cladóceros, copépodos, larvas de insectos de los grupos quironómidos, Blephariceridae y Ephemeroptera, también de oligoquetos y peces como el bocachico (Phaloceros

reticulatos magdalenae), el cual raspalas superficies de las plantas sobre las que creceel perifíton (Rodrigues et al., 2003a; Rodrigues et al., 2003b; Mochini-Carlos, 1999). Moreira (1988), destaca su producción de metabolitos orgánicos que alimentan diversos organismos.

### **3 DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Localización del área de estudio**

El área de estudio abarco cinco fuentes hídricas intervenidas por actividad minera a cielo abierto, las cuales se localizaron en el municipio de Cértegui a los N 05°22'46.8" W 076°35'59.6" (San Antonio), N 05°25'14.8 W 076°37'23.9"( La Platina), N 05°24'11.3" W 076°37'55.8" (Calochiquito), N 05°22'59.5" W 076°35'56.8" (San Antonito) y N 05°22'00.1" W 076°38'38.4" (regadero). En la parte alta (antes del vertimiento) Estos ecosistemas se encontraron en su estado natural por lo que presentaron aguas transparentes con un espejo de 1m de profundidad aproximadamente, lechos arenoso pedregosos, con una alta cubierta vegetal. En la parte media (después de los vertimientos) estos cuerpos de agua se encontraron alterados presentado aguas muy turbias y sedimentadas, con cauces muy desviados y un espejo de agua de 50 cm aproximadamente, con lechos fangoso arenosos y desprovisto de vegetación ribereña véase figura 2.

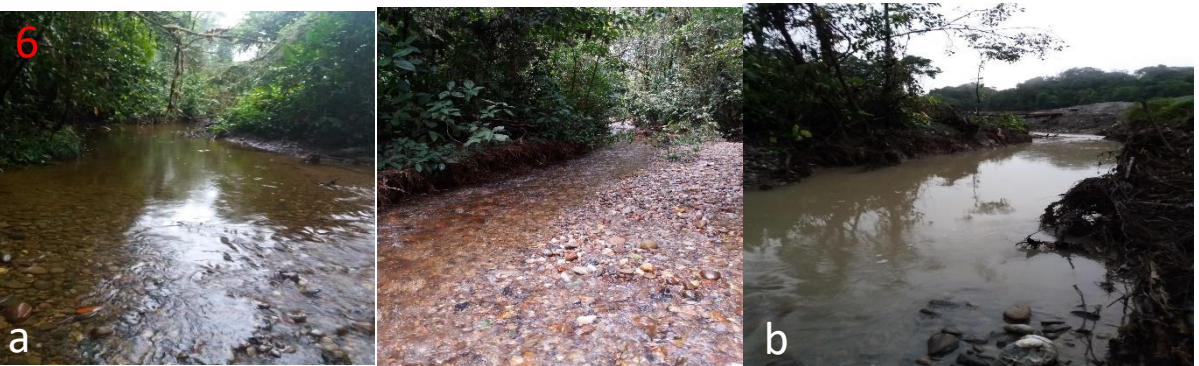


Figura 2. Actividad minera a cielo abierto. 2. Q. San Antonio. 3. Q. Calito. 4. Q. La Platina. 5. Q. San Antonito. 6. Q. Barranca. A, antes del vertimiento, b, después del vertimiento para todas las fuentes, Q: Quebradas

**Unidad de análisis:** La unidad de análisis del presente estudio, fue las quebradas San Antonio, La Platina, Calochiquito, San Antonito, y Regadero

**Unidad de trabajo:** La unidad del trabajo estuvo comprendida por los sitios donde se realizaron los muestreos (quebradas San Antonio, La Platina, Calochiquito, San Antonito, y Regadero antes y después del vertimiento tanto en operación como en descanso minero)

**Unidad de información:** la unidad de información correspondió a las variables fisicoquímicas y la comunidad de algas perifíticas

**Tipo de investigación:** La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo evaluativo donde se pretendió determinar la incidencia de la minería mecanizada sobre las características fisicoquímicas y la estructura comunitaria de algas perifíticas de fuentes hídricas del municipio de Cértegui, Chocó teniendo en cuenta el período de operación y descanso minero

**Nivel de la investigación:** La investigación tuvo un nivel descriptivo y explicativo

**Diseño de la investigación:** Investigación de campo y experimental

**Población y muestra:** La población de la investigación abarco las quebradas San Antonio, La Platina, Calochiquito, San Antonito, y Regadero, además de las muestras de algas perifíticas que se tomaron en este, para lo cual se tuvo en cuenta el protocolo establecido por el laboratorio de aguas de la universidad de Antioquia

**Tipo de muestreo:** Muestreo probabilístico estratificado

**Técnicas e instrumentos de recolección de los datos:** Se hizo observación directa en las fuentes hídricas afectadas por la actividad minera y análisis de contenido. Por su parte, los instrumentos comprendieron los diferentes equipos utilizados para hacer los muestreos (Multiparametros, Colorímetros y GPS), al igual que entrevistas realizadas a las personas que ejercen la actividad.

**Técnicas de procesamiento y análisis de datos:** para el procesamiento se ejecutó la tabulación y codificación, el análisis, técnicas lógicas análisis síntesis, estadística descriptiva, análisis de componentes principales y análisis de correspondencia Canonica

## **3.2 Método**

### **3.2.1 Caracterización fisicoquímica de la calidad del agua.**

Para determinar la calidad fisicoquímica de fuentes hídricas afectadas por minería a cielo abierto en el municipio de Cértegui, se seleccionaron cinco quebradas en la cuales se establecieron dos estaciones de muestreos, siendo la primera antes del vertimiento minero y la segunda después de dicho vertimiento. En cada estación se seleccionaron dos puntos de muestreo para un total de cuatro puntos de muestreo por cada fuente hídrica, adicionalmente en cada fuente se realizaron muestreos tanto el periodo de operación como después del descanso de 24 a 48 horas, para un total de diez muestreos realizados entre el mes de julio de 2017 y enero de 2018 véase tabla 1. En cada punto se realizaron mediciones *in situ* de variables fisicoquímicas como temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbiedad, solidos suspendidos y disueltos, además, de nutrientes como el nitrato, nitrito y fosfato, utilizando un Multiparámetro Hach HQ y un Colorímetro portátil HACH DR 900, al igual que un GPS Garmin Map 60 CS, para la georreferenciación de cada punto como se evidencia en la figura 3 y 4.

Tabla 1. Localización de los puntos evaluados en fuentes hídricas intervenidas con minera

<b>FUENTE</b>	<b>QUEBRADAS</b>	<b>PUNTO</b>	<b>COORDENADAS</b>
<b>FUENTE HÍDRICA CON MINERÍA</b>	Q. SAN ANTONIO	1	N 05°22'56.6" W 076°35'49.7"
		2	N 05°22'55.1" W 076°35'50.5"
		3	N 05°22'46.8" W 076°35'59.6"
		4	N 05°22'45.5" W 076°36'03.5"
	Q. LA PLATINA	1	N 05°25'02.2" W 076°37'21.0"
		2	N 05°25'00.7" W 076°37'19.4"
		3	N 05°25'14.8 W 076°37'23.9"
		4	N 05°25'18,1 W 076°37'22.9"
	Q. CALITO	1	N 05°24'18.2" W 076°37'56.7"
		2	N 05°24'20.3" W 076°37'53.8"
		3	N 05°24'11.3" W 076°37'55.8"
		4	N 05°24'10.5" W 076°37'59.0"
	Q. SAN ANTONITO	1	N 05°22'54.0" W 076°35'43.8"
		2	N 05°22'54.4" W 076°35'45.1"
		3	N 05°22'59.5" W 076°35'56.8"
		4	N 05°23'00.7" W 076°35'57.9"
	Q. REGADERO	1	N 05°22'00.1" W 076°38'38.4"
		2	N 05°22'01.8" W 076°38'38.7"
		3	N 05°22'15.9" W 076°38'43.5"
		4	N 05°22'17.0" W 076°38'43.7"



Figura 3. Trabajo de campo en fuentes hídricas intervenidas con minería

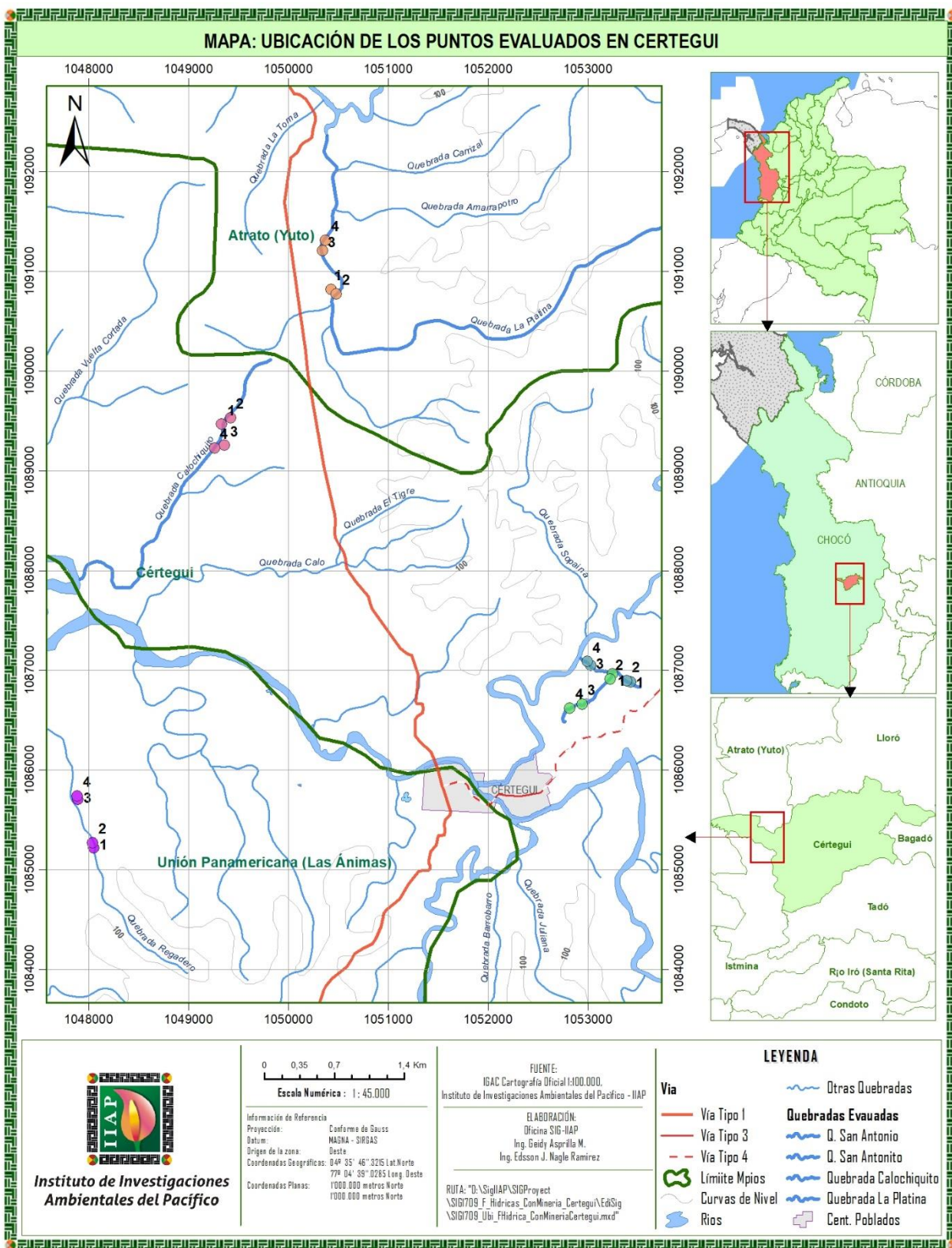


Figura 4. Mapa de ubicación de los puntos evaluados en las diferentes fuentes hídricas



De otro lado, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) en CANOCO 4.5. Finalmente, para mirar que variables fisicoquímicas e hidráulicas registraban diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al valor de p, se aplicó la Prueba W de Mann-Whitney.

### **3.2.2 Determinación, composición y estructura de la comunidad de algas perifíticas.**

Para la toma de muestras de algas perifíticas en cada una de las cinco fuentes hídricas afectadas por minería mecanizada a cielo abierto en el municipio de Cértegui, se seleccionaron 2 puntos ubicados, antes del vertimiento minero y después del vertimiento minero. Las algas perifíticas se colectaron en sustratos donde hubo el material, la metodología utilizada para la extracción de las algas fue adaptada de la metodología de Barbour et al., (1999), se seleccionaron para cada punto 30 piedras al azar en varios sitios de la sección transversal (las márgenes y centro) de la corriente, la película de algas del perifíton fue removida a través de un raspado con cepillo plástico en un cuadrante de 8 cm,<sup>2</sup> aproximadamente utilizando filmina, al perifíton colectado se le agregó 40 ml de agua y se fijó con 5- 10ml de solución de lugol y se conservaron en recipientes plásticos oscuros previamente rotulados. Luego de tener la comunidad colectada, las muestras fueron transportadas al laboratorio para su posterior identificación con las claves especializadas de Ramírez (2000), Schumacher et al., (1973), Balowin (1.918), Donato (1.996), Bicudo y Prescott (1970), (véase figura 5).

Como complemento, se determinó la composición y la variación espacio-estacional de la comunidad de algas del perifíton en las cinco fuentes hídricas impactadas por minería mecanizada, mediante tablas de abundancia y se analizó la estructura comunitaria, a través de los

índices ecológicos de Diversidad se Shannon & Wiener (1949), Dominancia de Simpson (1945), Riqueza de taxa y Equidad de Jaccard (1980).



Figura 5. Métodos de colecta de algas perifíticas.

Adicionalmente, para la identificación de las algas perifíticas en el laboratorio, se hizo el conteo a partir del uso de cámaras de Segdwick-Rafter de 1 ml de capacidad, se empleó un microscopio olimpus DHK con el objetivo de 40X empleando 50 campos aleatorios. Se determino 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 perifíton se utilizó la fórmula de Ross *et al.* (1979).

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

N = densidad algal (ind/cm<sup>2</sup>)

n = número total de individuos contados

V = volumen total de la muestra de fitoperifiton removido del sustrato (ml)

$A_c$  = área del campo de conteo ( $\text{mm}^2$ )  
 $h$  = altura de la cámara (mm)  
 $N_c$  = número de campos contados  
 $S$  = superficie raspada del sustrato ( $\text{cm}^2$ )  
 $10^6$  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

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

La densidad del ficoperifiton 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

### **3.2.3 Análisis integral de la variabilidad fisicoquímica y sus efectos en la comunidad de algas perifíticas.**

*Procesamiento y análisis de la información.* Los datos se organizaron y codificaron 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 ( $(x-\text{min})/(\text{max}-\text{min})$ ) 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 11 variables: caudal, velocidad, la temperatura, el oxígeno disuelto, el porcentaje de saturación de oxígeno, los sólidos disueltos totales, los sólidos suspendidos, 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 *et al.*, 1992). Los análisis fueron ejecutados en el programa CANOCO para Windows versión 4.5.

## **4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

### **4.1 CARACTERIZACIÓN FISCOQUIMICA E HIDRÁULICA DE LAS ESTACIONES**

Los resultados de los estadígrafos de las variables hidráulicas y fisicoquímicas para cada una de las estaciones evaluadas se muestran en la tabla 2. Así como también, los valores de W y p teniendo en cuenta como factor de discriminación tanto el período de operación y descanso, como la ubicación de las estaciones con respecto al vertimiento (antes y después).

La velocidad, la temperatura, el oxígeno disuelto, y los nitritos presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los muestreos con y sin operación minera, evidenciando un comportamiento diferencial de estas variables entre estaciones y muestreos. Contrario a esto, las variables caudal, pH, conductividad, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, turbiedad y nutrientes como el nitrato y fosfato, no presentaron diferencias significativas con y sin operación sugiriendo una conducta homogénea entre las estaciones.

Tabla 2. Resultados de estadígrafos de tendencia central y de dispersión de las variables hidráulicas y fisicoquímicas por estación; valores p de Mann Whitney con un nivel de confianza del 95% teniendo en cuenta como factores de discriminación los períodos de operación y descanso minero

Estación	Estadígrafo	VEL(m/s)	Q (m3/s)	T (0C)	pH	CON (µs/cm)	TDS (mg/l)	OD (mg/l)	% O. DISUELT O	SS (mg/l)	TUR (FAU)	N03 (mg/l)	NO2 (mg/l)	PO4 (mg/l)
Estaciones antes de vertimiento con operación EA1	Media	0.21	0.29	25.83	5.97	5.72	2.57	7.47	92.91	3.40	4.10	0.02	0.01	0.33
	Min	0.05	0.01	25.3	4.39	4.90	2.19	6.86	86.00	0.00	0.00	0.01	0.005	0.04
	Max	0.46	0.97	26.50	9.50	6.74	3.02	7.78	96.4	16.00	15.00	0.04	0.04	0.87
	DE	0.11	0.301	0.41	1.81	0.71	0.32	0.31	3.68	4.94	4.48	0.01	0.01	0.31
	CV	56.39	103.65	1.62	30.35	12.55	12.61	4.20	3.97	145.55	109.35	52.70	69.56	93.85
Estaciones después del vertimiento con operación ED1	Media	0.26	0.39	27.73	5.62	12.97	5.628	6.64	88.4	551	726.6	0.02	0.02	1.04
	Min	0.08	0.01	26.20	4.37	6.20	2.68	4.68	60.30	56.00	63.00	0.01	0.001	0.02
	Max	0.72	1.35	30.40	8.00	55.10	23.60	7.68	102.10	750.00	1000.00	0.03	0.06	2.50
	DE	0.18	0.45	1.37	1.20	15.03	6.42	1.008	13.72	320.67	440.34	0.008	0.02	0.99
	CV	68.21	115.30	4.94	21.36	115.85	114.10	15.18	15.52	58.20	60.60	32.43	93.09	94.66
Estaciones antes de vertimiento en descanso EA0	Media	0.27	0.31	24.99	6.62	5.93	2.68	7.60	92.82	4.10	4.50	0.01	0.005	0.38
	Min	0.15	0.04	24.8	4.45	4.95	2.21	6.57	80.80	0.00	0.00	0.00	0.003	0.02
	Max	0.51	1.02	25.50	9.10	6.93	3.19	8.02	97.20	19.00	19.00	0.03	0.01	1.00
	DE	0.11	0.37	0.26	1.56	0.72	0.35	0.45	5.15	5.48	5.66	0.01	0.002	0.33
	CV	41.47	119.12	1.06	23.57	12.23	13.36	5.94	5.55	133.81	125.82	63.07	45.51	87.07
Estaciones después del vertimiento en descanso ED0	Media	0.31	0.45	25.23	6.17	6.96	3.23	7.63	171.97	57.50	56.80	0.01	0.01	0.30
	Min	0.15	0.02	24.00	4.57	5.42	2.47	6.89	9.20	0.00	0.00	0.00	0.002	0.00
	Max	0.53	1.52	26.80	8.20	9.61	4.28	8.24	959.00	263.00	264.00	0.03	0.02	0.98
	DE	0.09	0.47	0.85	1.24	1.65	0.67	0.47	277.85	104.24	102.35	0.01	0.007	0.35
	CV	29.75	102.98	3.39	20.14	23.75	20.83	6.23	161.57	181.30	180.19	84.37	78.02	117.36
<i>W entre el período de operación y descanso</i>		277.00	216.00	28.50	259.00	175.00	196.00	303.00	229.50	145.50	139.50	144.50	94.00	161.50
<i>P entre el período de operación y descanso</i>		0.03	0.67	0.00	0.11	0.50	0.92	0.005	0.43	0.14	0.10	0.11	0.004	0.30
<i>W entre las estaciones antes y después</i>		250.00	233.00	273.50	175.00	320.00	323.00	154.50	195.50	366.50	366.00	229.50	233.00	219.50

<i>P entre las estaciones antes y después</i>		0.17	0.37	0.04	0.50	0.001	0.0009	0.22	0.91	0.0000 06	0.0000 06	0.40	0.37	0.60
---	--	------	------	------	------	-------	--------	------	------	--------------	--------------	------	------	------

#### 4.1.1 Caudal y velocidad

La velocidad mostró un comportamiento fluctuante entre estaciones y muestreos con un coeficiente de variación entre 29.7 y 68.2. Los valores medios oscilaron entre 0.21 y 0.31m/s, con un valor mínimo de 0.05m/s y un máximo de 0.72m/s, ambos ubicados en las estaciones antes y después del vertimiento con operación, lo que sugiere que a pesar de que el comportamiento de esta variable depende generalmente de las características morfométricas de las estaciones, puede verse influenciado por la actividad minera (véase figura 6), de ahí que presentara diferencias estadísticamente significativas entre los muestreos ( $p < 0,05$ ).

El caudal osciló entre 0.01, 1.52 m<sup>3</sup>/s, evidenciándose el máximo valor en la estación después del vertimiento sin operación. La desviación estándar (0.30, 0.47), mostró poca dispersión de los datos con valores cercanos entre la mayoría de las estaciones. El coeficiente de variación se mantuvo entre 102.9 y 119.12% mostrando una alta variabilidad en los datos registrados y se denota un incremento notable en la segunda estación (véase figura 6). Pese a lo anterior esta variable no presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ), para el análisis realizado.



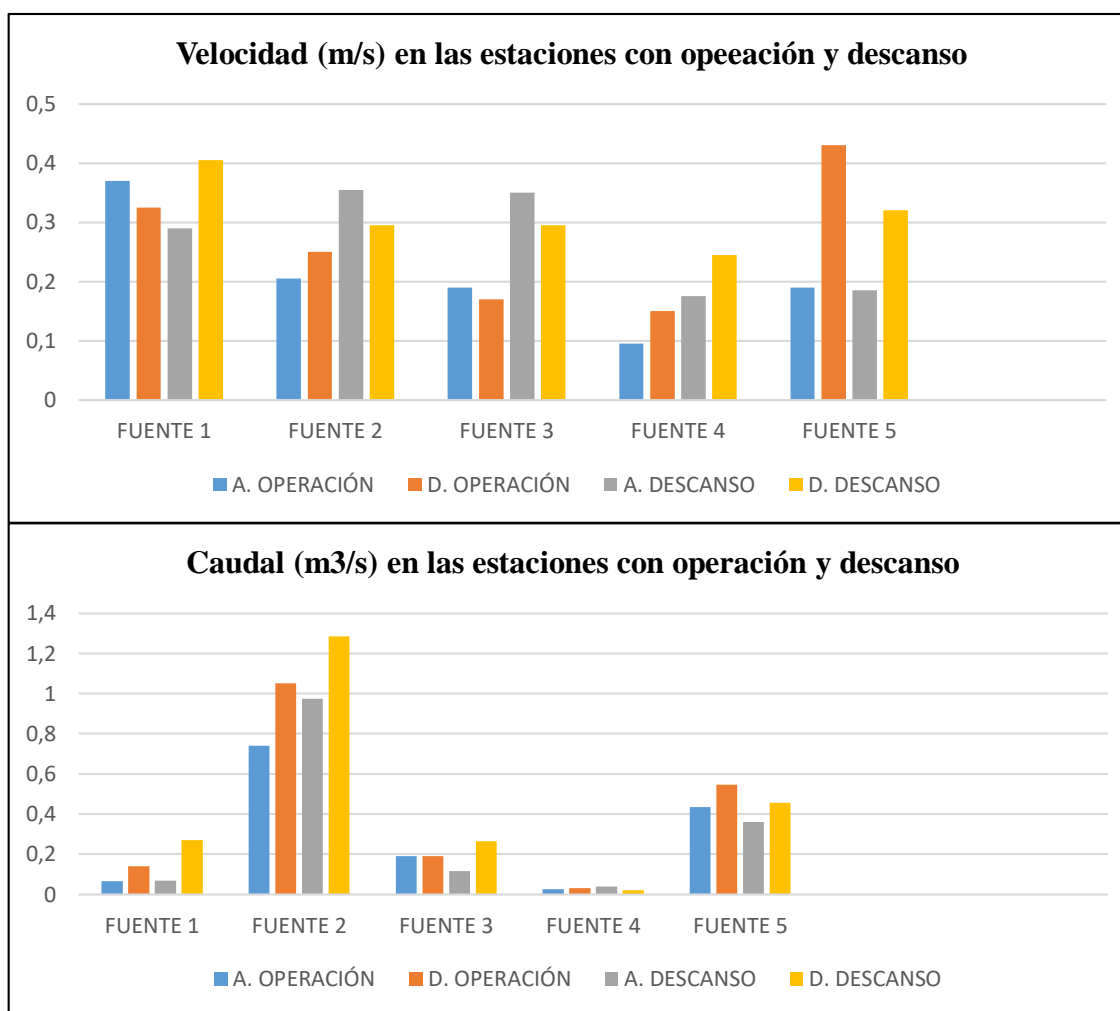


Figura 6. Datos de velocidad y caudal en las estaciones con operación y descanso minero

#### 4.1.2 Oxígeno disuelto y pH

Los valores medios de oxígeno disuelto fluctuaron entre 6.64 y 7.68 mg/l, evidenciándose una alta disponibilidad de este elemento en el agua para todas las estaciones de muestreo tanto con operación como durante los períodos de descanso minero (véase figura 7). El coeficiente de variación presentó valores bajos entre 4.20 y 15.18% mostrando una poca dispersión en los datos, al igual que poca desviación entre las estaciones (0.31 y 1.00), sin embargo, esta variable presentó

diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). entre las mediciones realizadas durante la operación y el descanso minero.

De igual manera, el pH presentó pocas variaciones entre los datos, con un valor mínimo de 4.37, y máximo de 9.5,(véase figura 7). Su coeficiente de variación se mantuvo entre 20 y 30%, mostrando poca variabilidad, de ahí que se hayan arrojado bajos valores de desviación estándar (1.20 y 1.81) y que el comportamiento equilibrado entre los datos no haya generado diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones con valores de ( $p > 0,05$ ).

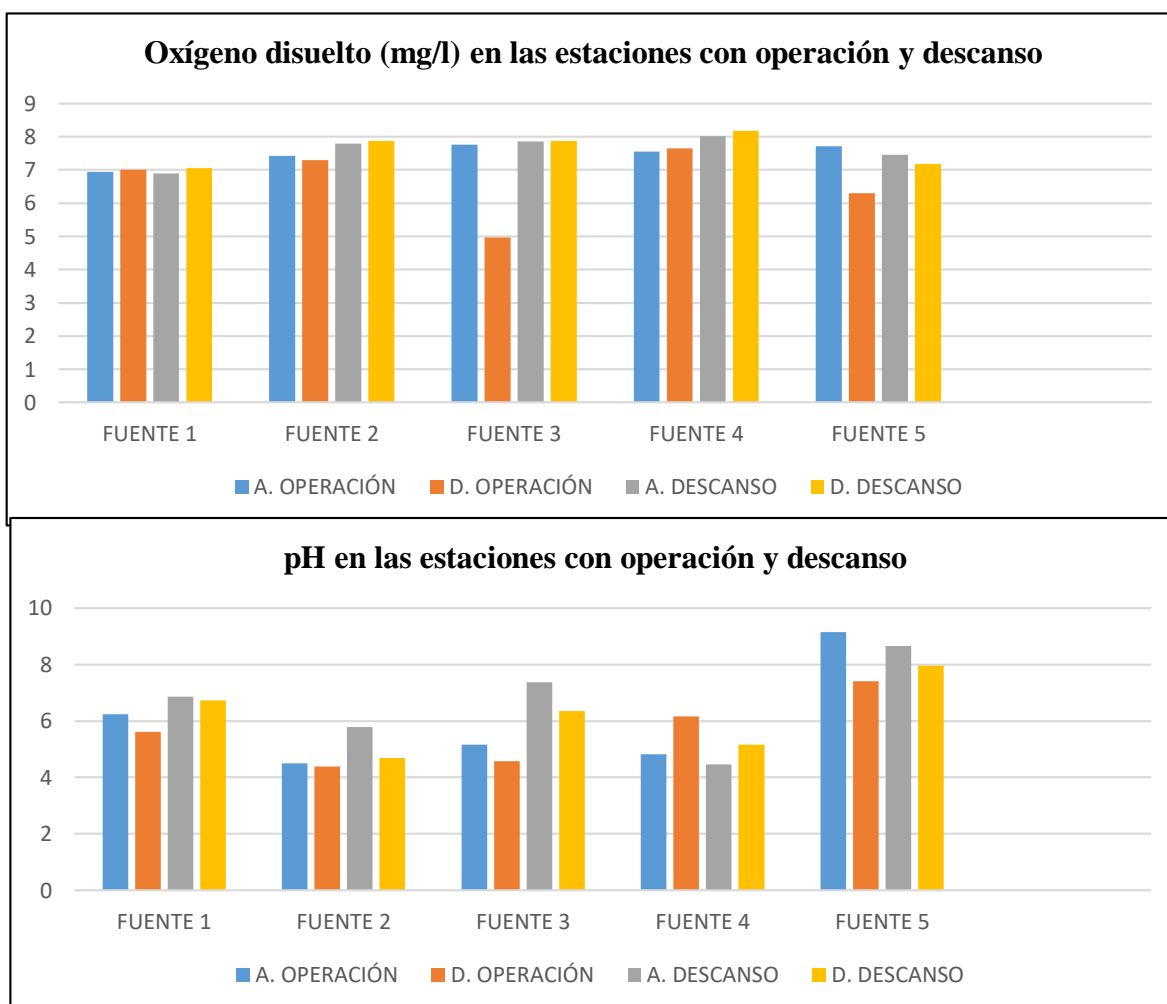


Figura 7. Datos de oxígeno y pH en las estaciones con operación y descanso minero

### 4.1.3 Temperatura

La temperatura varió entre 24 y 30.4 °C, evidenciando aguas cálidas en todas las estaciones tanto con operación como en descanso minero. Los mayores reportes se ubicaron en la estación después del vertimiento con operación (véase figura 8), como consecuencia de un ambiente desprovisto de vegetación, donde una mayor exposición a las radiaciones solares, pueden incrementar los niveles de esta variable. En contraste, los valores mas bajos se registraron en los puntos antes del vertimiento debido a la presencia de vegetación ribericina continua, típica en un área en condiciones naturales. Se evidenció poca dispersión de los datos con una baja desviación estándar entre 0.26 y 1.37, sin embargo, esta variable presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los muestreos realizados con operación y durante descanso minero.

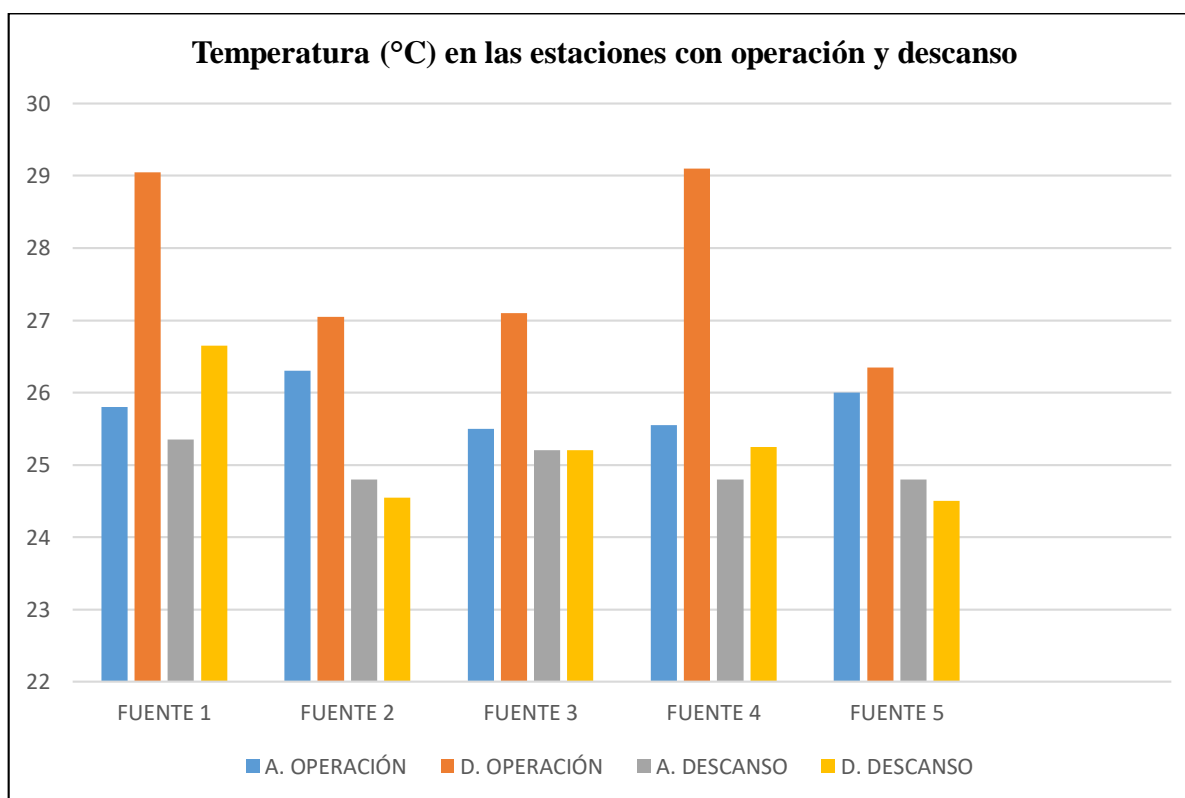


Figura 8. Datos de temperatura en las estaciones con operación y descanso minero

#### 4.1.4 Sólidos disueltos y conductividad

La conductividad mostró fluctuaciones en su comportamiento entre estaciones, osciló entre 4.9 y 55.1  $\mu\text{s}/\text{cm}$  registrando tanto sus concentraciones mas altas como su valor máximo en las estaciones ubicadas después del vertimiento durante los muestreos realizados con operación minera, (véase figura 9), lo que evidencia la influencia del disturbio en sus concentraciones, teniendo en cuenta que la remoción del suelo y el vertimiento de sedimentos efectuado durante la explotación de metales puede incrementar el aporte y la disolución de iones en el agua, de ahí que esta variable presentara diferencias significativas con relación al factor de ubicación de la estación con respecto al vertimiento minero ( $p < 0,05$ ). En general, se presentaron bajos coeficientes de variación (entre 12.15 y 23.75) al igual que una desviación estándar (0.71 y 1.65). No obstante, en la estación después del vertimiento con operación se presentó el valor máximo del coeficiente de variación (115.85), lo que demuestra cierta influencia de la minería en esta variable. A pesar de lo anterior, la conductividad no presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre los muestreos con operación y descanso minero.

Los sólidos disueltos por su parte, mostraron un comportamiento similar al de la conductividad, fluctuó entre 2.19 y 23.6 mg/l, observándose los mayores niveles después del vertimiento con operación, (véase figura 9). De ahí que el mayor coeficiente de variación, se haya generado en dicha estación con un valor de 114.10. Solo presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre estaciones ubicadas antes y después del vertimiento.

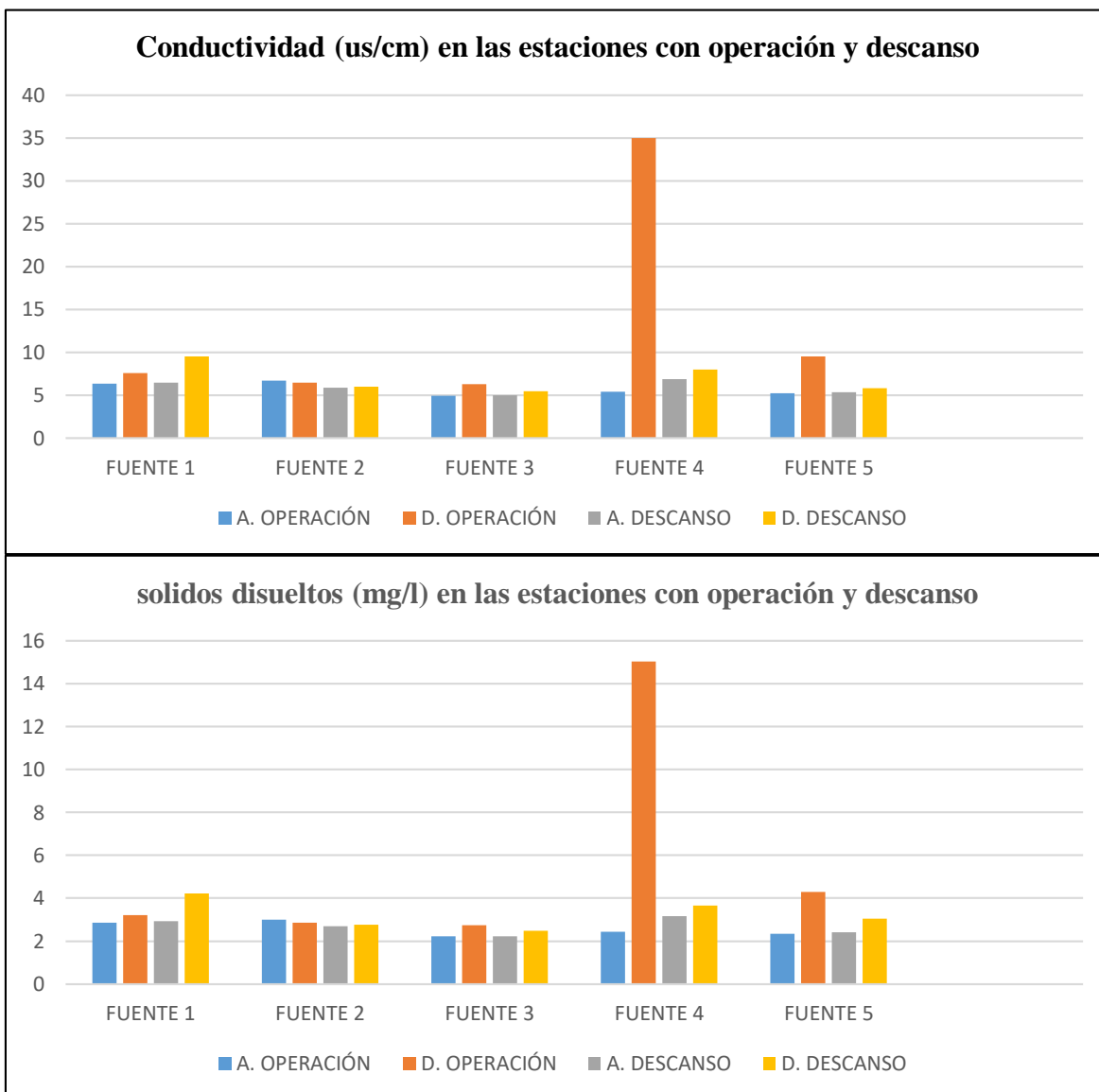


Figura 9. Datos de conductividad y solidos disueltos en las estaciones con operación y descanso minero

#### 4.1.5 Sólidos suspendidos y turbiedad

Los sólidos suspendidos presentaron fuertes fluctuaciones entre las estaciones y los muestreos, sus concentraciones oscilaron entre 0 y 750 mg/l, contrastando valores muy bajos registrados siempre antes del vertimiento con operación y descanso minero y los valores máximos en los puntos ubicados después del vertimiento durante los muestreos con operación minera, lo que se

puede atribuir al disturbio ocasionado por la minería, que durante su etapa operativa vierte de manera directa sus efluentes cargados de material sólido proveniente de las capas de suelo removidas, generando un incremento en las concentraciones de sólidos suspendidos y turbidez (véase figura 10). En consecuencia, los estadígrafos como desviación y coeficiente de variación presentaron sus valores mas altos en estas mismas estaciones y el valor de  $p < 0,005$  indica diferencias estadísticamente significativas al comparar los datos obtenidos entre los muestreos realizados antes y después del vertimiento para ambas variables.

La turbiedad presentó fluctuaciones proporcionales al comportamiento de los sólidos suspendidos, registrando valores entre 0 y 1000 FAU entre estaciones y muestreos. La mayor dispersión y variabilidad en los datos, se localizó en las estaciones después del vertimiento durante los períodos de operación y descanso de la extracción de metales (tabla 2), lo que permite inferir una alta influencia de la minería en esta variable, que a su vez se ve reducida con el cese de la actividad durante los períodos de descanso, situación que pudo favorecer la similitud en los datos de las estaciones ubicadas antes y después del vertimiento para ambas variables (sólidos suspendidos y turbiedad), lo que hizo que estas no presentaran diferencias estadísticamente significativas teniendo en cuenta como factor de comparación el período de operación y descanso ( $p > 0,05$ ).

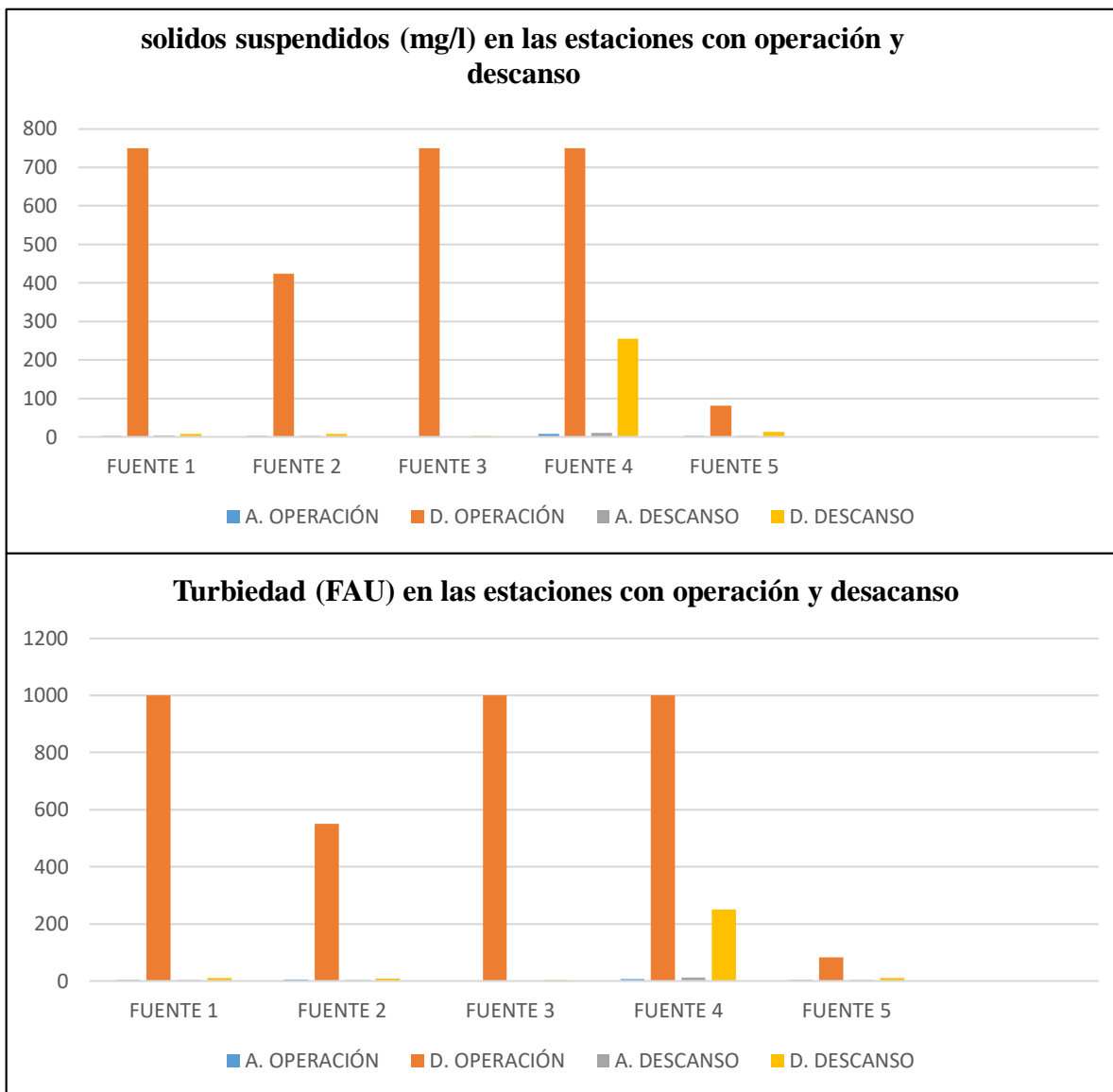


Figura 10. Datos de solidos suspendidos y turbiedad en las estaciones con operación y descanso minero

#### 4.1.6 Nutrientes

Los valores de nitrito oscilaron entre 0.001 y 0.06 mg/l, observándose que los mayores valores se concentraron en la estación después del disturbio minero con operación (véase figura 11). Los valores medios oscilaron entre 0.005 y 0.02 mg/l y los valores de desviación estándar no

superaron los 0.02, denotándose una cercanía de los datos a la media. Esta variable presento diferencias estadísticamente significativas con operación y descanso ( $p < 0,05$ ).

Los nitratos, tuvieron un comportamiento similar entre las estaciones tanto con operación como en descanso. Oscilaron entre 0 y 0.04 mg/l para la estación antes del vertimiento con y sin operación y entre 0 y 0.03 mg/l para la estación después del vertimiento con y sin operación (véase figura 11). El coeficiente de variación no supero el 84.3 y se encontraron bajas desviaciones estándar que oscilaron entre 0.00 y 0.01 entre las estaciones. La similitud entre los datos encontrados en la mayoría de las estaciones generaron que la diferencia entre sus datos no presentara significancia estadística con operación y descanso ( $p > 0,05$ ).

De otro lado, los fosfatos mostraron una uniformidad de los datos tanto en las estaciones antes del vertimiento con operación y descanso, como en las estaciones después del vertimiento sin operación con valores que no superaron los 0.87, y 0.98 mg/l respectivamente. Solo se observaron diferencias notables en la estación después del vertimiento con operación, en la cual se alcanzaron concentraciones de 2.5 mg/l que pueden relacionarse con los aportes provenientes del proceso minero (véase figura 11) . El coeficiente de variación osciló entre 87.07% y 117.36% entre estaciones y se encontraron desviaciones estándar por debajo de los 0.99. Esta variable no presento diferencia estadísticamente significativas entre muestreos con operación y descanso minero ( $p > 0,05$ ).



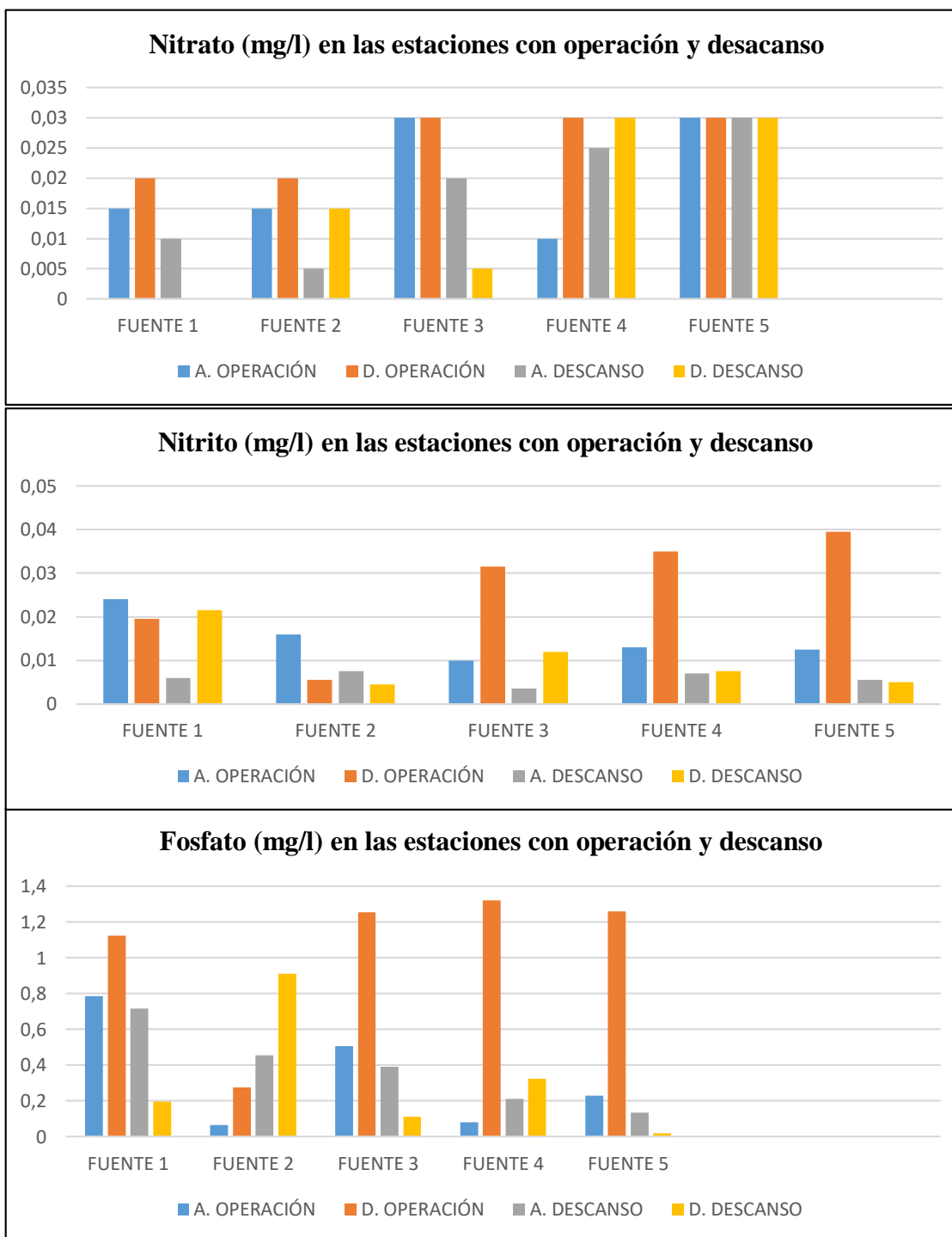


Figura 11. Datos de nitrato, nitrito y fosfato en las estaciones con operación y descanso minero

#### 4.1.7 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales PCA sintetizó los patrones fisicoquímicos e hidrológicos de las quebradas analizadas en 4 componentes que explicaron el 74% de la variabilidad de los datos (Figura 12). El primer componente respondió por el 42% de la varianza total y fue el grupo de variables con mayor peso en el análisis, el cual incluyó los sólidos suspendidos, la turbiedad y la temperatura, mostrando que la cantidad de material suspendido en el agua en asocio con la cantidad de calor, son las condiciones que mas explican los cambios que se presentan en los ecosistemas hídricos que son afectados por minería. Un segundo componente explicó la cantidad de material disuelto en el agua agrupando los sólidos disueltos, nitritos, fosfatos y oxígeno disuelto, los cuales respondieron por 12% del total de la varianza, lo que indica que en los dos primeros componentes se acumuló el 54% de la misma. En el tercer y cuarto componente se concentró el 11% y 9% respectivamente relacionando las variables velocidad y pH para el primer caso y la disponibilidad de oxígeno junto con el caudal y la concentración de nitratos para el último.

El PCA muestra la existencia de un gradiente ambiental marcado por la ubicación de la intervención minera y los períodos de operación y descanso. Se observa que todos los muestreos realizados en las estaciones ubicadas después del vertimiento minero durante la operación minera (puntos D31 y D41), se asociaron a los dos primeros componentes y en mayor medida al primero que está relacionado con la cantidad de material suspendido en el agua, evidenciando que los niveles de material disuelto y suspendido tanto de origen orgánico como inorgánico, son las variables que mas se afectan con el disturbio minero, debido a la remoción de las capas del suelo

que se realiza durante la extracción del metal y el posterior vertimiento directo del lavado de las mismas.

El gradiente identificado evidencia un incremento en el número de muestreos que se asocian a los componentes 3 y 4, en los cuales se ordenaron la gran mayoría de las mediciones realizadas en las estaciones antes del vertimiento tanto durante operación como en descanso minero (A10, A20, A11, A21), así como también todos los muestreos ubicados después del vertimiento durante el período de descanso (D30, D40), evidenciando que este tiene un efecto en la reducción de las concentraciones de material suspendido en el agua, dada la ordenación de estas mismas estaciones junto a los componentes 1 y 2 durante la operación minera.

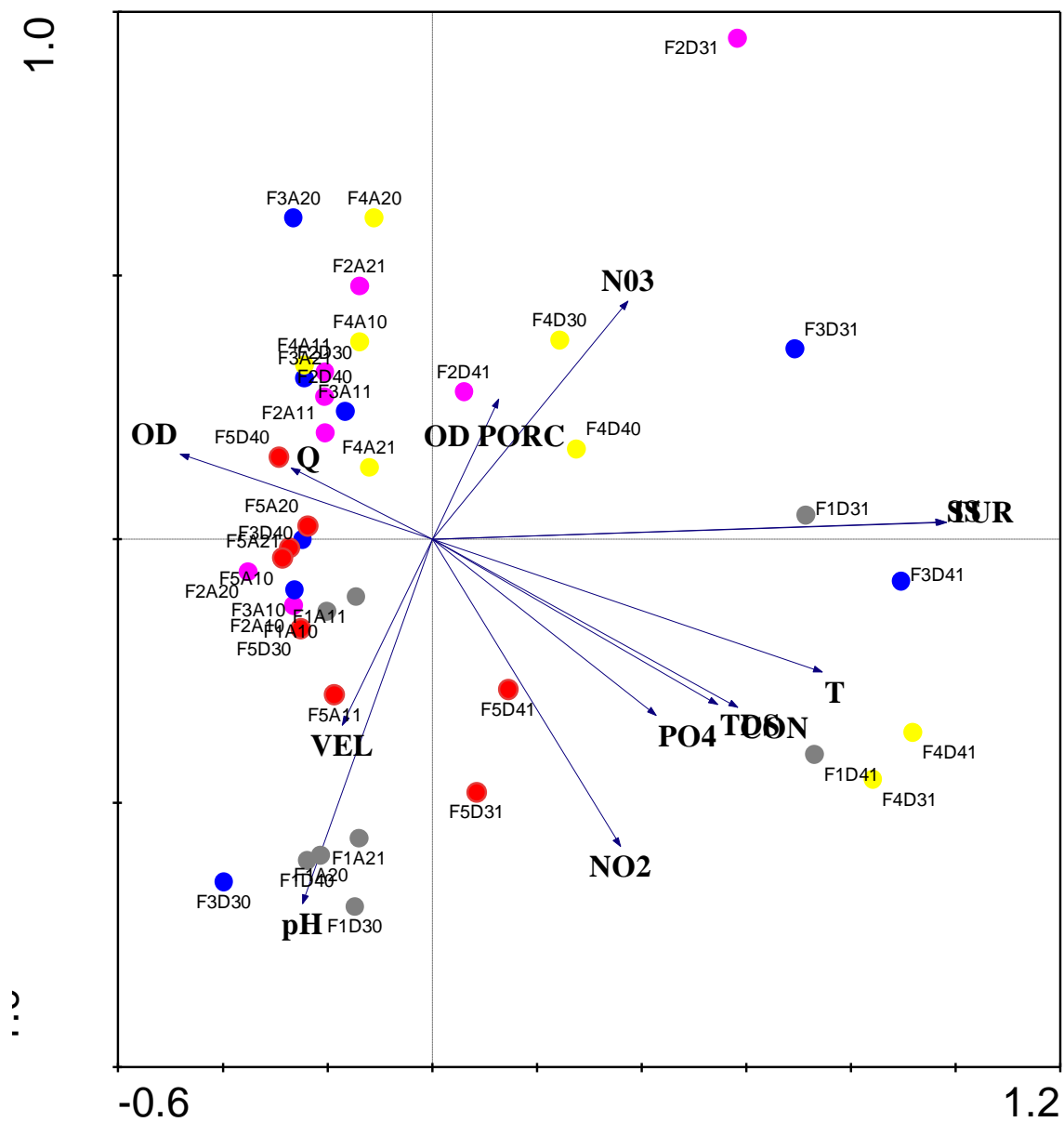


Figura 12. PCA Biplot entre estaciones, períodos de muestreo y variables ambientales. Los puntos representan las cinco fuentes hídricas muestreadas, la A corresponde a las estaciones ubicadas antes del vertimiento minero (1, 2) y la D a las estaciones después del mismo (3, 4). Los códigos terminados en 1 corresponden a mediciones realizadas durante la operación minera y los terminados en 0 a aquellos realizados durante el período de descanso de la operación minera.

## 4.2 COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS

### 4.2.1 Composición Taxonómica

La comunidad de algas perifíticas de las fuente hídricas evaluadas, estuvo conformada por un total de 1134378 individuos, distribuidos en 90 especies, 61 géneros, 42 familias, 38 ordenes , 10 clases y 7 divisiones (véase tabla 3). Los géneros mas representativos fueron *Frustulia* (27%), seguida de *Tolypotrix* (12%) y *Oedogonium* (11%). Los resultados indicaron que las diatomeas fueron los organismos mas abundantes en los ambientes muestreados, la distribución por divisiones muestra un 48% de algas *Bacyllariophyta*, seguidos de *Cyanophyta* con 26% y *Chlorophyta* con 24%.

Tabla 3. Composición Taxonómica en las fuentes hídricas evaluadas

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIES	
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnantiaceae	Achanthes	<i>Achanthes sp</i>	
					<i>Achnanthes lanceolata (Brébisson ex Kützing) Grunow</i>	
				Achnanthidium	<i>Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki</i>	
		Eunotiales	Eunitiaceae	Actinella		<i>Actinella sp</i>
						<i>Actinella punctata F.W.Lewis</i>
						<i>Actinella guianensis Grunow (arracacha)</i>
				Eunotia		<i>Eunotia cf bilunaris (Ehrenberg) Schaarschmidt in Kanitz</i>
						<i>Eunotia minor (Kützing) Grunow</i>
						<i>Eunotia intermedia (Krasske ex Hustedt) Nörpel &amp; Lange-Bertalot</i>
						<i>Eunotia serra Ehrenberg</i>
						<i>Eunotia camelus Ehrenberg</i>
				<i>Eunotia sp (gruesa)</i>		
		Eunotiforma	<i>Eunotioforma sp</i>			
		Rhizoleniales	Rhizoleniaceae	Urosolenia	<i>Urosolenia sp</i>	
		Cymbellales	Gomphonamataceaea	Amphora	<i>Amphora sp</i>	
				Encynonema	<i>Encynonema sp</i>	
				Gomphonema	<i>Gomphonema sp</i>	
				Reimeria	<i>Reimeria sinuata (W.Gregory) Kociolek &amp; Stoermer</i>	
				Geissleria	<i>Geissleria sp</i>	
		Naviculales	Bracysiraceae	Bracysira	<i>Brachysira sp</i>	
			Disdesmidaceae	Diadesmis	<i>Diadesmis sp</i>	
				Staurastrum	<i>Staurastrum sp</i>	
			Neidiaceae	Frustulia	<i>Frustulia rhomboides (Ehrenberg) De Toni</i>	
		<i>Frustulia rhomboides muertas</i>				

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIES
					<i>Frustulia aff crassinervia</i> (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot & Krammer
			Naviculaceae	Navicula	<i>Navicula rostellata</i> Kützing
					<i>Navicula aff rostellata</i> Kützing
					<i>Navicula</i> sp
			Sellaporaceae	Pinnularia	<i>Pinnularia gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
					<i>Pinnularia</i> sp
					<i>Pinnularia finita</i>
				Sellaphora	<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky
		Fragilariales	Fragilariaceae	Fragilaria	<i>Fragilaria gouldarii</i> (Brébisson ex Grunow) Lange-Bertalot
					<i>Fragilaria</i> sp
					<i>Fragilariaforma</i> sp
					<i>Fragilariforma javanica</i> (Hustedt) C.E.Wetzel, E.Morales & L.Ector
		Bacillariales	Bacillariaceae	Nitzschia	<i>Nitzschia</i> sp
		Surirellales	Surirellaceae	Stenopterobia	<i>Stenopterobia curvula</i> (W.Smith) Krammer in Lange-Bertalot & Krammer
				Surirella	<i>Surirella</i> sp
					<i>Surirella rotti</i> Metzeltin & Lange-Ber
		Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	Cyclotella	<i>Cyclotella</i> sp
		Licmophorales	Ulnariaceae	Ulnaria	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira	<i>Aulacoseira</i> sp
					<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen
Cyanophyta	Cyanophyceae	Nostocales	Sytonemataceae	Scytonema	<i>Scytonema</i> sp
			Tolypothrichaceae	Tolypotrix	<i>Tolypotrix</i> sp
			Nostocaceae	Anabaena	<i>Anabaena</i> sp
		Coleochaetales	Coleochaetaceae	Coleochaete	<i>Coleochaete</i> sp

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIES
					<i>Coleochaete raro</i>
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Lyngbya	<i>Lyngbya sp</i>
				Oscillatoria	<i>Oscillatoria sp</i>
				Phormidium	<i>Phormidium sp</i>
				Plectonema	<i>Plectonema sp</i>
	Synechococcophycidae	Synechococcales	Merismopediaceae	Merismopedia	<i>Merismopedia elegans A.Braun ex Kützing</i>
			Pseudoanabaenaceae	Pseudoanabaena	<i>Pseudoanabaena sp</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetoporales	Chaetoporaceae	Stigeoclonium	<i>Stigeoclonium sp</i>
		Chlamidomonadales	Chlamidomonadaceae	Chlamydomonas	<i>Chlamydomonas sp</i>
		Desmiales	Closteriaceae	Closterium	<i>Closterium sp</i>
			Desmidiaceae	Cosmarium	<i>Cosmarium pseudoconnatum Nordstedt</i>
					<i>Cosmarium laeve Rabenhorst</i>
					<i>Cosmarium sp</i>
					<i>Cosmarium panamense Prescott</i>
				Temmemorus	<i>Temmemorus sp</i>
			Peniaceae	Penium	<i>Penium sp</i>
		Gonatozygonaceae	Gonatozygon	<i>Gonatozygon sp</i>	
		Sphaeropleales	Selenastraceae	Monoraphidium	<i>Monoraphidium sp</i>
			Scenedesmaceae	Scenedesmus	<i>Scenedesmus sp</i>
			Radiococcaceae	Palmodictyon	<i>Palmodictyon sp</i>
			Cylindrocapsaceae	Cylindrocapsa	<i>Cylindrocapsa sp</i>
		Zygnematales	Mesotaneiaceae	Cylindrocystis	<i>Cylindrocystis sp</i>
			Zygnemataceae	Spirogyra	<i>Spirogyra sp</i>
				Mougeotia	<i>Mougeotia sp</i>
		Zygnema		<i>Zygnema sp</i>	
		Ulotrichales	Ulotrichaceae	Ulothrix	<i>Ulothrix aff. zonata (F. Weber &amp; Mohr) Kützing</i>



DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIES	
	Ulvophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	Occystis	<i>Oocystis sp</i>	
		Cladophorales	Cladophoraceae	Rhizoclonium	<i>Rhizoclonium sp</i>	
				Cladophora	<i>Cladophora sp</i>	
		Oedogoniales	Oedogoniaceae	Oedogonium		<i>Oedogonium sp</i>
						<i>Oedogonium grande</i>
						<i>Oedogonium intermedio</i>
						<i>Oedogonium sp grueso</i>
						<i>Oedogonium sp2 intermedio</i>
						<i>Oedogonium sp3 delgado</i>
				<i>Oedogonium sp3 delgado muertas</i>		
		Bulbochaete	<i>Bulbochaete sp</i>			
Rodophyta	Compsopogonophyceae	Compsogonales	Compsogonaceae	Compsopogon	<i>Compsopogon sp</i>	
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	Traquelomonas	<i>Traquelomonas sp</i>	
				Euglena	<i>Euglena sp</i>	
Ochrophyta	Xantophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	Tribonema	<i>Tribonema sp</i>	
Amoebozoa	Tubulinea	Tibulinida	Amoebidae	Ameba	<i>Ameba sp</i>	
<b>TOTAL DIVISION 7</b>	<b>TOTAL CLASE 10</b>	<b>TOTAL ORDEN 28</b>	<b>TOTAL FAMILIA 42</b>	<b>TOTAL GENERO 61</b>	<b>TOTAL ESPECIES 90</b>	

La distribución de la composición por estaciones evidenció que existen cambios marcados de acuerdo a su ubicación con respecto al vertimiento y datos similares cuando se comparan los resultados por período de operación y descanso minero (véase figura 13). Las estaciones ubicadas antes del vertimiento presentaron el mayor número de organismos, especies, géneros y familias tanto en los muestreos con operación (523268 individuos, 72 especies y 48 géneros), como durante los muestreos en períodos de descanso (511496 individuos, 74 especies y 52 géneros). En contraste, las estaciones ubicadas después del vertimiento minero presentaron los menores registros para cada categoría taxonómica tanto en el período de muestreo con operación como en descanso minero (Figura 13). Aunque la composición en los dos períodos de muestreo fue similar, se evidencia que durante el período de descanso se presentó un leve incremento en el número de especies, géneros y familias tanto en las estaciones ubicadas antes como después del vertimiento.

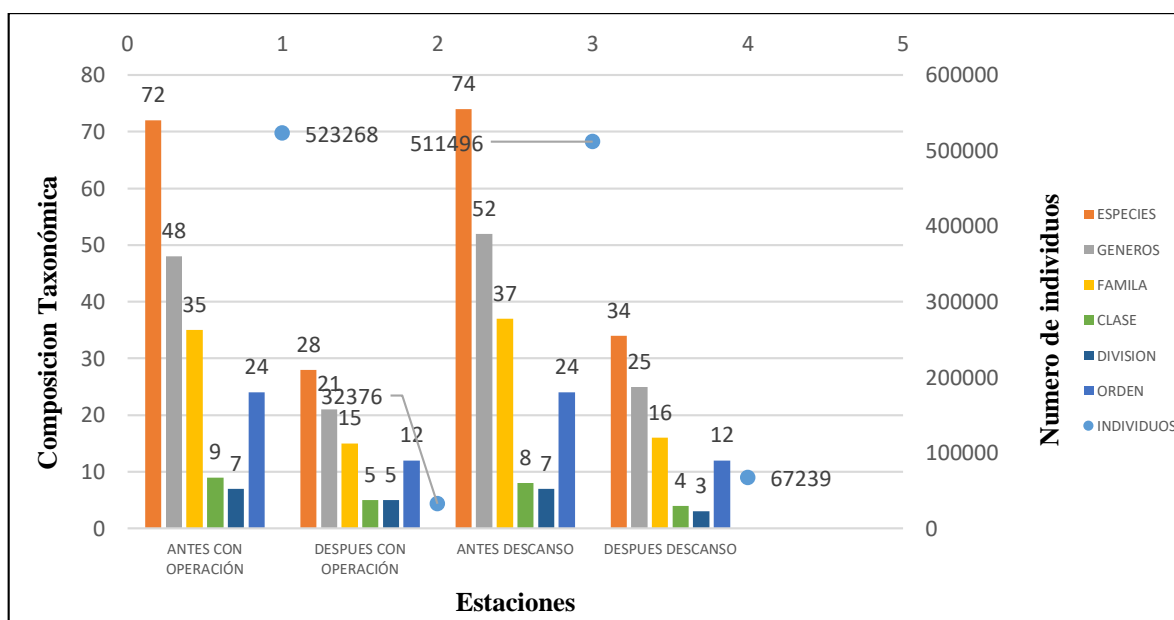


Figura 13. Composición taxonómicas y número de individuos por estación y período de muestreo

#### 4.2.2 Índice de Valor de Importancia

Los valores del índice de valor de importancia IVI de las especies registradas en las estaciones se muestran en el Anexo 1. Las especies con mayor IVI fueron *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Tonila con (29.93) seguida de *Ulothrix aff. zonata* (F.Weber & Mohr) Kützing (14,14), *Pseudoanabaena sp* (13,15) y *Tolypothrix sp* (12.4); estas cuatro especies además de ser las más frecuentes, ya que aparecieron en todas las estaciones y períodos de muestreo, fueron también relevantes por sus altas densidades; concentrándose en estas el 69.6 del total del IVI, lo que sugiere que en estos sistemas acuáticos afectados por minería hay un predominio de especies probablemente tolerantes a las fluctuaciones ambientales que genera la actividad durante los períodos de operación y descanso. (Véase figura 14). La frecuencia de especies entre estaciones fue alta (47%), se encontraron 42 especies comunes entre las estaciones ubicadas antes y después del vertimiento y 8 especies que aunque fueron registradas en la estación después del vertimiento durante la operación no se encontraron en los muestreos en el período de descanso. En el anexo 3 se evidencian algunas de las especies encontradas en las fuentes hídricas monitoreadas

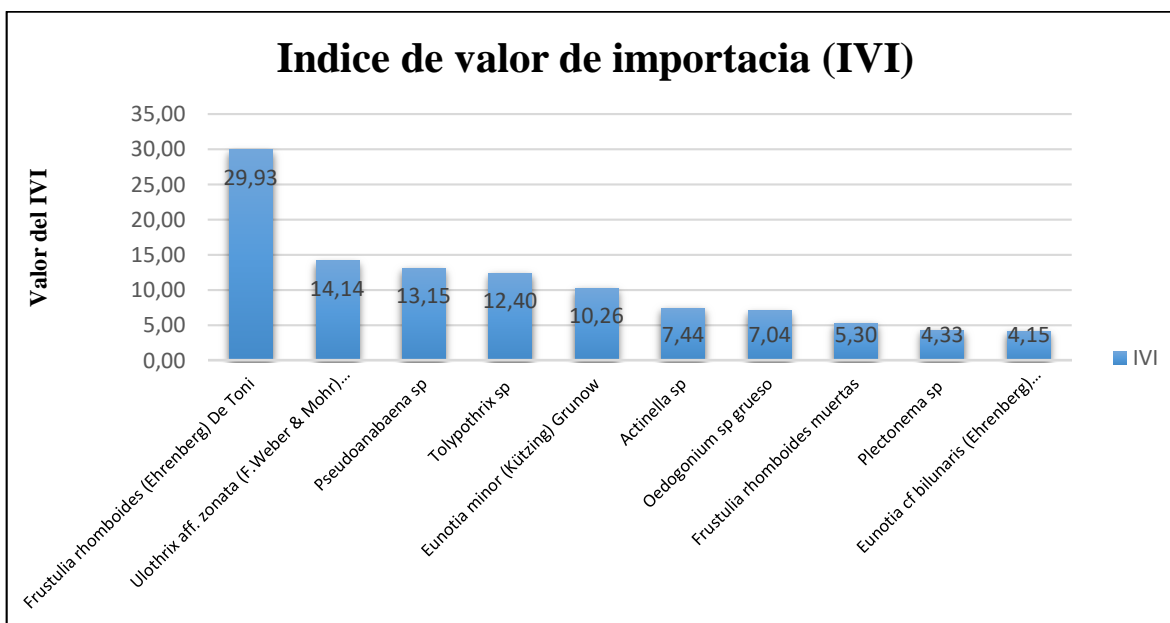


Figura 14. Especies con mayor índice de valor de importancia (IVI)

#### 4.2.3 Distribución de Densidades y Riqueza

La densidad y la riqueza mostraron un comportamiento similar, presentando sus valores más altos en las estaciones ubicadas antes del vertimiento tanto con operación ( $523268 \text{ org/cm}^2$ , 72) como durante el descanso minero ( $511496 \text{ org/cm}^2$ , 74). Los valores más bajos coincidieron con las estaciones localizadas después del vertimiento con operación ( $32376 \text{ org/cm}^2$ , 28) y en descanso minero ( $67239 \text{ org/cm}^2$ , 34). Los resultados evidencian que con el disturbio la densidad de algas se reduce en un 94% y el 61% del número total de especies desaparece. Se observa que en las estaciones ubicadas después del vertimiento durante el período de descanso se produce un incremento mayor en la densidad de algas (de  $32376 \text{ org/cm}^2$  a  $67239 \text{ org/cm}^2$ ) que en la riqueza, donde los valores permanecen muy cercanos con respecto a los muestreos realizados durante la operación minera (véase figura 15).

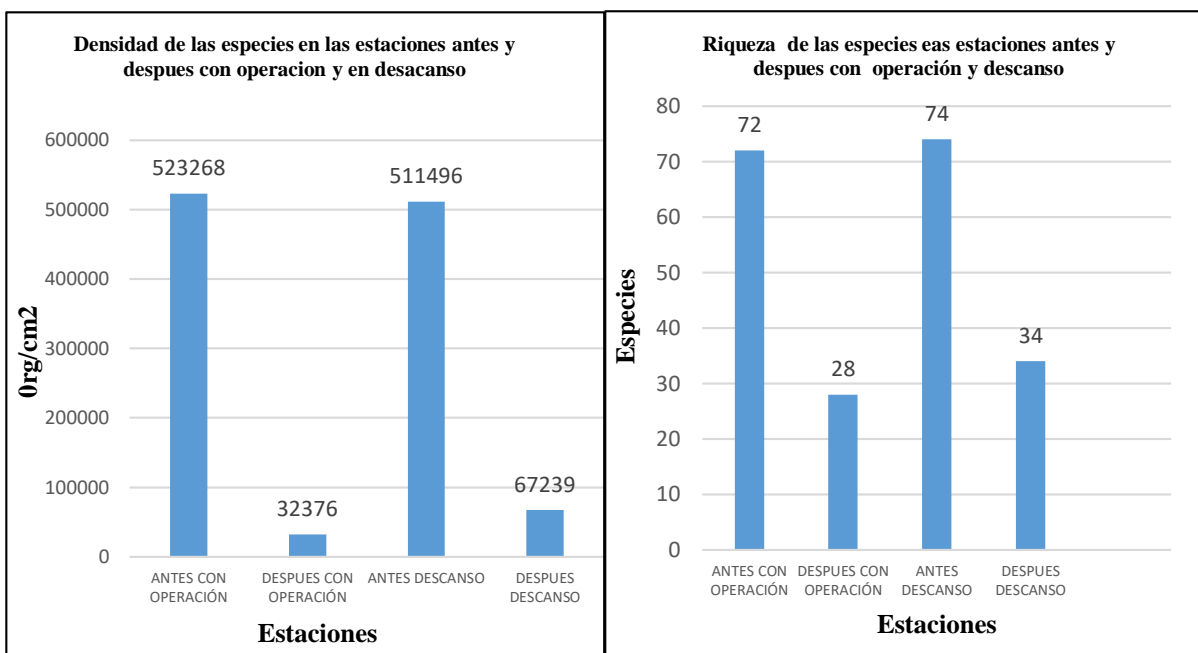


Figura 15. Densidad y riqueza de las especies por estación y período de muestreo

#### 4.2.4 Atributos de Diversidad

Los resultados obtenidos muestran que la densidad de algas y la riqueza de especies registradas se ve afectada por el disturbio y presenta cambios con relación a la ubicación de las estaciones con respecto al vertimiento minero (véase tabla 4), dado que los mayores valores se presentan en las estaciones ubicadas antes del vertimiento durante la operación y el descanso minero, reportando riquezas específicas de 72 y 74 especies respectivamente, en ambos casos con un 100% de lo esperado según el estimador Chao 1, mientras que los valores mas bajos correspondieron a las estaciones ubicadas después del vertimiento en ambos períodos de muestreo, registrando una riqueza de 28 especies con operación y 34 especies en el período de descanso (100% según Chao 1 para ambos).

Tabla 4. Riqueza, estimador Chao1, porcentaje de especies encontradas, abundancia, índices de diversidad y dominancia por estaciones

ESTACIONES	RIQUEZ A	CHAO 1	%	ABUNDANCI A	DIVERSIDA D (SHANNON)	DOMINANCI A
ANTES OPERACIÓN	72	72	100	523262	2,73	0,1122
DESPUES OPERACIÓN	28	28	100	32375	1,94	0,2272
ANTES DESCANSO	74	74	100	511496	2,61	0,1247
DESPUES DESCANSO	34	34	100	67239	2,08	0,1667

En la tabla 4 se muestran los índices ecológicos para la comunidad de algas de las estaciones muestreadas. La diversidad se explicó mediante el índice de Shannon, que permitió establecer que esta variables se vio influenciada por el comportamiento de la densidad y la riqueza en las estaciones, haciendo que se presentara una marcada diferencia entre las que están ubicadas antes y después del vertimiento, siendo los valores mas altos coincidentes con aquellas ubicadas antes del mismo tanto durante operación (2.73) como en descanso minero (2.61) y los valores mas bajos correspondientes a las estaciones ubicadas después del vertimiento con operación (1,94) y en descanso minero (2,08). Los datos denotan una reducción notable en la diversidad a nivel de la ubicación de las estaciones, lo cual está dada por los efectos del disturbio y valores muy cercanos entre los datos obtenidos entre períodos de operación y descanso sugiriendo pocos cambios en estos lapsos temporales. En términos de la dominancia de Simpson, la comunidad de algas perifíticas mostró que los valores mas altos se concentran en las estaciones ubicadas después del vertimiento durante la operación (0,22) y el descanso minero (0,17), siendo el primer caso el valor máximo, influenciado por el dominio de especies tolerantes al disturbio, en contraste las estaciones menos expuestas al mismo por su ubicación antes del vertimiento, presentaron los

menores valores de dominancia con datos similares durante operación (0,11) y descanso minero (0,12).

La curva de acumulación de las especies raras (Singletons), fue estable durante los diferentes muestreos en las estaciones, manteniendo valores de 0 en la totalidad de ellos, lo que pudo incidir en los valores altos del índice de dominancia especialmente en las estaciones con mayor influencia de la intervención minera; ya que poca o nula representatividad de especies raras puede sugerir la dominancia de organismos tolerantes que se adaptan a la modificación de las condiciones ambientales de estos ambientes acuáticos (véase figura 16).

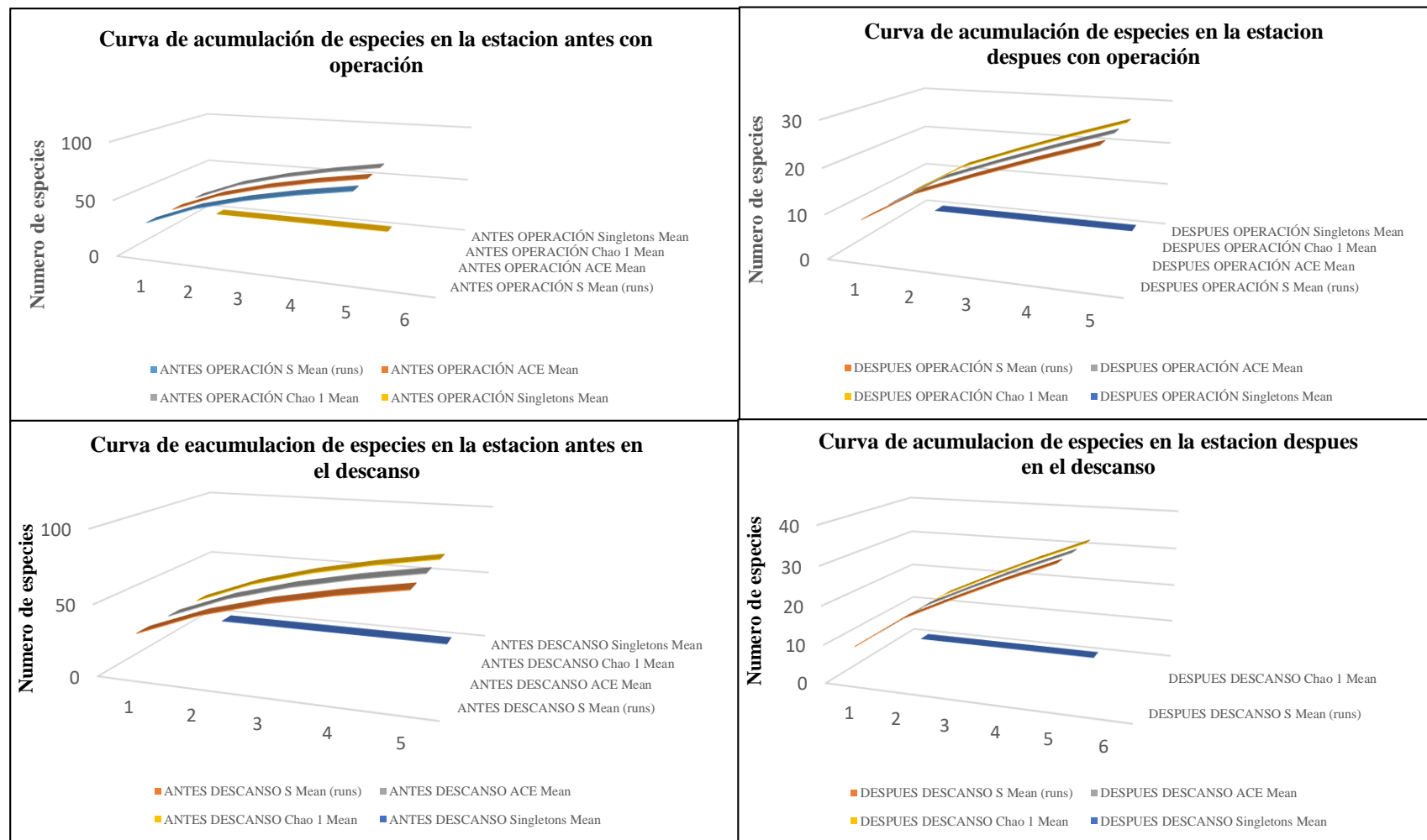


Figura 16. curva de acumulación de especies en las estaciones antes y después con operación y descanso minero



### 4.3 CORRELACIÓN ENTRE LA COMUNIDAD DE ALGAS PERIFÍTICAS Y LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS

#### 4.3.1 Relación entre algas perifíticas y variables ambientales

Los resultados del CCA generaron un porcentaje de varianza total explicado del 36.6% ( $\alpha=0.002$ ) (Tabla 5), el cual indica que la correlación entre la densidad de las algas perifíticas y las variables ambientales seleccionadas fue importante. Las variables significativas para la prueba de Monte Carlo ( $<\alpha=0.05$ ) fueron caudal, oxígeno disuelto, pH y velocidad (véase tabla 6).

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

Test de significancia de todos los ejes canónicos: Traza	Valor F	Valor <i>p</i>	Inercia Total	Varianza explicada (%)
1,884	1,471	0.002	5.145	<b>36.6</b>

Tabla 6. Resultados prueba de Monte Carlo efectos y contribución relativa de las variables significativas

Variable	Var.N	LambdaA	P	F
Q	2	0.33	0.002	2.65
OD	7	0.30	0.002	2.41
pH	4	0.28	0.002	2.40
VEL	1	0.19	0.002	1.66
SS	9	0.19	0.012	1.65
N03	11	0.13	0.282	1.13
NO2	12	0.12	0.296	1.11
PO4	13	0.10	0.712	0.86
T	3	0.10	0.634	0.89
TDS	6	0.09	0.728	0.74
OD	8	0.05	0.822	0.50

El biplot del CCA (véase figura 17) muestra que en el área correspondiente al primer eje canónico (0.38), en la porción positiva se asociaron los vectores de las variables velocidad, temperatura,

sólidos disueltos, nitritos y fosfatos con la gran mayoría de los muestreos realizados en las estaciones ubicadas después del vertimiento durante la operación minera en las fuentes F1, F3, F4 y F5. En la parte negativa de este eje se evidencia una relación entre el caudal con todos los muestreos realizados en la fuente F2 tanto durante la operación minera como luego de los períodos de descanso, este eje a su vez presenta una tendencia inversa con el vector de pH.

Por otro lado, en la parte positiva del segundo eje (0.35) se asociaron los sólidos disueltos, los nutrientes, la velocidad y la temperatura, mientras que en la zona negativa se destaca la relación entre los vectores de oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, pH y nitratos con la mayoría de los muestreos realizados en las estaciones ubicadas tanto antes como después del vertimiento durante los períodos de descanso minero en las fuentes F1, F3, F4 y F5.

La distribución de las taxa en el biplot evidencia un gradiente en la composición y abundancia de las especies que varía con relación a las estaciones y a los períodos de operación y descanso minero. Los taxones *Anabaena sp*, *Aulacoseira sp*, *Stigeoclonium sp*, *Cosmarium sp*, *Cosmarium panamense Prescott*, *Encyonema sp*, *Gonatozygon sp*, *Pinnularia gibba*, *Tetmemorus sp* y *Urosolenia sp* se ordenaron con los vectores de velocidad, temperatura, sólidos disueltos, nitritos y fosfatos, mostrando su resistencia a las condiciones de disturbio que predominan en los muestreos realizados en las estaciones ubicadas después del vertimiento en las fuentes F1, F3, F4 y F5 durante la operación minera. Cabe mencionar que estos taxa presentaron las densidades más bajas de todos los taxones registrados.

En comparación los taxones *Achnanthes lanceolata*, *Chlamydomonas sp*, *Cladophora sp*, *Closterium sp*, *Eunotia sp* (gruesa), *Gomphonema sp*, *Monoraphidium sp*, *Navicula sp*, *Oedogonium grande*, *Sellaphora pupula*, *Surirella sp*, *Tolypothrix sp* se ordenaron en el segundo eje, mostrando su preferencia por ambientes con alta disponibilidad de oxígeno, pH y nitratos como los encontrados en las estaciones antes y después de las fuentes F1, F3, F4 y F5 durante los períodos de descanso minero.

El CCA también evidencia cambios en la distribución de las especies influenciados por el caudal, por lo cual en presencia de altos valores de esta variables los taxones *Aulacoseira granulata*, *Cylindrocapsa sp*, *Geissleria sp*, *Navicula aff rostellata Kützing*, *Oedogonium sp grueso*, *Oedogonium sp2 intermedio*, *Oedogonium sp3 delgado*, *Oedogonium sp3 delgado muertas*, *Oocystis sp*, *Palmodictyon sp*, *Staurastrum sp* y *Zygnema sp* fueron mas abundantes, asociandose a los muestreos realizados durante operación y descanso de la estación F2 que presentó el mayor caudal de todas las fuentes muestreadas.

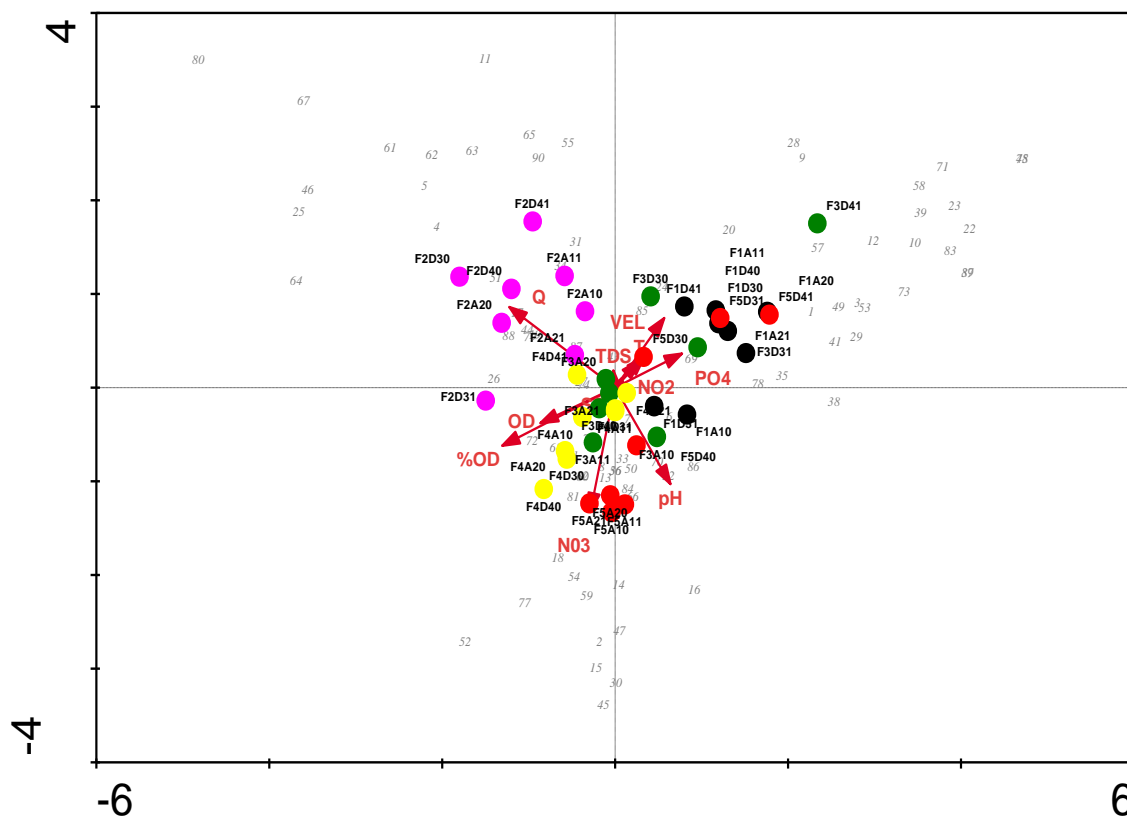


Figura 17. CCA Biplot entre estaciones y períodos de muestreo, algas perifíticas y variables ambientales. Los puntos representan las cinco fuentes hídricas muestreadas, la A corresponde a las estaciones ubicados antes del vertimiento minero (1, 2) y la D a las estaciones después del mismo (3, 4). Los códigos terminados en 1 corresponden a mediciones realizadas durante la operación minera y los terminados en 0 a aquellos realizados durante el período de descanso de la operación minera. Las líneas rojas simbolizan las variables ambientales. Los números corresponden a las morfoespecies perifíticas. (ver Anexo 2).

#### 4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la caracterización fisicoquímica en cada una de las estaciones, permiten inferir que el desarrollo de actividades mineras a cielo abierto, genera mayores cambios en las variables sólidos disueltos (2.19 y 23.6 mg/l) y suspendidos (0 y 750 mg/l), conductividad (4.9 y 55.1  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y turbiedad (0 y 1000 FAU), ya que con el desmonte del suelo, el lavado del material litológico retirado y el vertimiento directo de los efluentes del proceso a las fuentes hídricas, se genera un arrastre de partículas y material sólido, que modifican dichas variables y la calidad fisicoquímica del agua, lo que se evidenció en una marcada diferencia entre las concentraciones obtenidas en las estaciones ubicadas antes y después del vertimiento, lo cual generó que este grupo de variables presentaran diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) al tener como factor de comparación la ubicación de las estaciones con respecto al vertimiento. Lo anterior coincide con Sánchez y Cañon (2010), quienes expresan que la minería es probablemente la causante del mayor impacto en la calidad del agua debido al aporte de sólidos, que llegan a las fuentes hídricas y ocasionan problemas de sedimentación, aumento de la turbiedad y cambios en las características hidráulicas y geomorfológicas que afectan la vida acuática.

A lo anterior se suma lo reportado por IIAP (2014), en otras áreas disturbadas con minería como río Quito en donde se registraron altos valores de sólidos suspendidos y turbiedad 770 mg/l y 1100 FAU, que obedecen al cúmulo de material aportado por la minería practicada directamente sobre el cauce de los cuerpos de agua y que podría constituir una restricción en el desarrollo de la vida acuática y sus procesos biológicos, ya que al modificar la turbiedad del agua se afectan procesos tan importantes como la fotosíntesis, la cual a su vez es responsable de la producción primaria en el ecosistema y el mantenimiento de las cadenas tróficas en el mismo, situación

corroborada por Soárez (1999), quien expresa que niveles altos de turbidez originados por materia orgánica, arcilla y material en suspensión reducen la luz en el agua, ocasionando que esta pierda habilidad de apoyar la diversidad de organismos acuáticos.

Así mismo se evidencia que con el cese de la actividad minera durante los períodos de descanso, se genera una reducción en las concentraciones de estos parámetros, favorecido por procesos de sedimentación, que sugiere una clarificación del agua como consecuencia de una disminución de la turbiedad.

En adición, se evidenció que la minería tiene una alta incidencia en nutrientes como los fosfatos que alcanzaron concentraciones de 2.5 mg/l en la estación después del vertimiento con operación, lo cual afecta la calidad del agua y a las especies biológicas como las algas que se desarrollan en este medio. Pütz (2009), aduce que los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida y que cualquier aumento de este a causa de un disturbio, impide la reproducción y el crecimiento de las algas en el agua. Sumado a esto, Roldan (2003), expresa que el aumento de este nutriente puede ser un componente limitante para el desarrollo de las comunidades acuáticas y generar eutrofización, lo que demuestra las graves afectaciones generadas por este tipo de disturbio.

En cuanto al análisis del PCA los resultados obtenidos soportan lo explicado alrededor de la caracterización fisicoquímica del agua, pues se evidenció que los mayores porcentajes de la varianza total de los datos respondieron a los componentes uno (42%) y dos (12%), agrupándose en el primer caso variables como los sólidos suspendidos, turbiedad y la temperatura y en el segundo caso los sólidos disueltos, conductividad, nitritos y fosfatos.

Se evidencia que las condiciones de calor, junto a la cantidad de material suspendido en el agua son los aspectos que mas demuestran las consecuencias relacionadas con los procesos mineros, teniendo en cuenta que la agrupación de estas variables se dio en todos los muestreos realizados en las estaciones ubicadas después del vertimiento durante la operación minera (puntos D31 y D41).

La gran cantidad de material sólido en suspensión, como arcillas, cieno o materia orgánica e inorgánicas finamente divididas que se originan durante la realización de la actividad minera trae consigo altas turbiedades y concentraciones de sólidos que limitan el paso de la luz y con ello el proceso de fotosíntesis, de ahí que aumentos de estas variables generen efectos tanto en las condiciones fisicoquímicas del ecosistema como en los procesos ecológicos que dependen de dichas condiciones. Conforme a esto, González (2011), manifiesta que a nivel fisicoquímico un aumento de partículas reduce la transparencia y genera sedimentación disminuyendo la capacidad de retención de agua de estos ambientes, mientras que a nivel ecológico se puede afectar la fotosíntesis por la limitación en el paso de la luz solar y suprimiendo la producción primaria (Gil, 2004). Estos reportes junto con los resultados mostrados por el PCA corroboran las alteraciones que se derivan de la actividad minera en los ecosistemas acuáticos, inmediatamente se genera el disturbio.

La estructura y composición de las algas fitoperifíticas evidenció una gran diferencia entre estaciones antes y después del vertimiento minero, las cuales estuvieron asociadas a las condiciones ambientales, que antes de la descarga se encuentra con excelente de salud ecosistémica, y son modificadas aguas abajo como consecuencia del establecimiento y operación de los entables mineros, evidenciándose cambios en los cauces de las fuentes hídricas, procesos

erosivos y desprendimiento de capa vegetal en las riberas, que modifican el ambiente y consecuentemente alteran los sustratos naturales donde se encuentran las especies de algas. Al respecto, MADS, (2013), afirma que en relación al recurso hídrico los impactos de la minería están asociados a la afectación de la dinámica de las aguas superficiales, interrupción, redireccionamiento de flujos, al igual que remoción del suelo y la vegetación. Adicionalmente, autores como Sand-Jensen, (1983); Chamixaes, (1991) y Rodrigues et al (2005), atribuyen la tasa de crecimiento del fitoperifiton a algunas variables como la calidad del sustrato, y a condiciones de calidad del agua, lo que además explica la baja composición algal en las estaciones ubicadas después del vertimiento, durante la operación y en períodos de descanso.

De acuerdo con los resultados del IVI, la taxa mas representativa fue *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Tonila, lo que es atribuible a su carácter cosmopolita, al igual que su alta tolerancia a fluctuaciones de algunas características fisicoquímicas del agua como conductividad, temperatura y concentración de nutrientes (Trobajo, Cox & Quintana, 2004; Giorgio, Vinocur, Lombardo, Tell, 1991), al igual que variabilidad morfológica modificadas en los ecosistema acuáticos (Díaz-Quiroz & Rivera- Rendón 2004). Esta especie fue reportada además por Vargas (2016), en su investigación sobre 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, donde de manera similar, se encontró un predominio de esta especie en todas las estaciones de muestreo, incluyendo períodos durante el vertimiento minero; lo que confirma la alta tolerancia de esta especie a niveles altos de contaminación por explotación minera. Conjuntamente otras especies como *Ulothrix aff.*



*zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing, *Pseudoanabaena* sp y *Tolypothrix* sp., también presentaron una importancia significativa.

Los resultados muestran una variación apreciable de especies en cuanto a la riqueza y la densidad en las estaciones antes y después del vertimiento, tanto en operación como en períodos de descanso, atribuibles a factores ambientales específicamente concentraciones nutrientes y disponibilidad de sustrato, al igual que a factores exógenos al ambiente, relacionados con vertimientos mineros con gran cantidad de material orgánico e inorgánico. Este comportamiento coincide Peña, Palacios y Ospina (2005), quienes afirman que los efectos de la contaminación por actividades humanas afectan la calidad del agua y por ende la producción algal, evidenciado para esta investigación, en una reducción de la densidad algal del 94% y el 61%. Afirman además que, en la mayoría de las algas los efectos de la contaminación de las aguas disminuye la biomasa algal de especies no adaptadas a tolerar estas nuevas condiciones, lo cual coincide con el comportamiento de la riqueza de taxas donde se presentó una alta disminución de la riqueza de 72 sp., a 28 sp., durante muestreos con operación, y de 74 sp., a 34 sp., en períodos de descanso. El pequeño aumento que muestra la riqueza de taxas después del vertimientos en períodos de descanso de la actividad minera, obedece a que estas condiciones desfavorables del ambiente pueden favorecer la aparición de nuevas especies de algas resistentes a la contaminación que pueden convertirse en indicadoras de condiciones ambientales en ecosistemas acuáticos (Peña, Palacios y Opsina, 2005).

El comportamiento de la riqueza y la densidad algal, tuvieron una influencia directa sobre la diversidad, mostrando igualmente que en las estaciones antes del vertimiento se presentó una estabilidad del sistema en cuanto a biodiversidad de especies, tanto en períodos de muestreo con

operación como en descanso. El índice de Shannon fue bajo en las estaciones ubicadas después del vertimiento con operación, mostrando una disminución de la diversidad asociada al aporte de contaminantes por vertimientos mineros que están relacionados a demás, con el aumento de la velocidad de la corriente que podría impedir el asentamiento y la estabilización de las comunidades perifíticas. Al respecto, autores como Raven, 1992 en Stevenson *et al.*, 1996; Traaen & Lindstrom, 1983 en Montoya *et al.*, 2008; Biggs *et al.*, 1998)., han encontrado que el rango donde se alcanzan los mayores picos de biomasa de algas perifíticas se encuentra entre 0,1 m/s y 0,5 m/s, velocidades superiores a 0,5 m/s podrían impedir el asentamiento y la estabilización de las comunidades perifíticas y las menores a 0,1 m/s reducen el suministro de nutrientes para los organismos; situación similar a las presentada en la estación después del vertimiento con operación, en donde se registro una velocidad máxima de 0,72 m/s.

A diferencia de lo anterior, la dominancia de Simpson mostró niveles óptimos de tolerancia de algas al disturbio, evidenciado en valores mas altos en las estaciones ubicadas después del vertimiento durante la operación y que siguen siendo considerables en períodos de descanso. Estos resultados de dominancia se justifican con el hecho de que las algas perifíticas, muestran sensibilidad a eventos de contaminación y por lo tanto, son usadas para el monitoreo de la contaminación ambiental debido a su imposibilidad de evadir la polución por encontrarse adheridas a un sustrato generalmente fijo y responden en cortos períodos de tiempo (Masseret, Amblard, & Bourdier, 1998; Wu, 1999; Smith & Smith, 2001)

Pese a que se encontraron especies con una frecuencia de aparición alta, el análisis general permite sintetizar que el período de recuperación de las condiciones ambientales de las fuentes hídricas después del disturbio minero no es suficiente, toda vez que la riqueza y la densidad de

taxas después de la operación es baja, con un leve incremento en el descanso minero, considerándose además la frecuencia de taxas después del disturbio baja, predominando durante el descanso las especies *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni, *Pseudoanabaena* sp., las cuales son altamente tolerante a cambios en las condiciones fisicoquímicas y ambientales (Trabajo et al., , 2004; Giorgio et al. 1991). Lo anterior se sustenta además con el hecho de que las floraciones de perifíton requieren de un proceso de acumulación de biomasa la cual es fuertemente modificada durante las etapas de establecimiento y montaje de entables mineros, así como durante procesos de explotación del mineral (vertimientos), que de acuerdo con Montoya et al., (2007) los patrones de crecimiento del perifíton están determinados por una etapa inicial, en la que ocurre una fase de rápida colonización de especies, alcanzándose la máxima diversidad entre la segunda y tercera semana de colonización y la máxima riqueza en la cuarta semana del proceso de colonización. A partir de esta semana, los procesos de interacción entre las especies se hacen más fuertes debido a la consolidación de la matriz y a la competencia.

Por otra parte, la exploración integrada de las variables fisicoquímicas del agua y la estructura de la comunidad de algas perifíticas en las estaciones muestreadas, a partir de un CCA que explicó el 36% de la varianza total de los datos, mostró que la correlación entre la densidad de este grupo biológico y las variables ambientales seleccionadas fue importante, lo que implica que la actividad minera tiene una alta incidencia en el estado físico y biológico de estos ambientes acuáticos, dado que su proceso operativo modifica las condiciones naturales del hábitat, lo que genera un cambio en la distribución de las especies al interior del ecosistema. Esto es corroborado por Martínez y Fernández (2001), quienes indican que la minería a cielo abierto es una actividad que elimina generalmente todos los compartimentos que sustentan la vida en los sistemas

vulnerados y ocasiona fuertes cambios en la estructura y funcionamiento de dichos sistemas (Alday, Marrs y Martínez, 2010).

El CCA evidenció dicha incidencia del disturbio en la forma de ordenación de las variables fisicoquímicas y biológicas con relación a la ubicación de las estaciones con respecto al vertimiento minero y a los períodos de operación y descanso de la actividad. El análisis asoció las variables velocidad, temperatura, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, nitritos y fosfatos con casi la totalidad de los muestreos realizados en las estaciones ubicadas después del vertimiento durante la operación minera (D31, D41), en donde la temperatura, conductividad, turbiedad y sólidos suspendidos y disueltos arrojaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), entre las estaciones, lo cual permite inferir que estas son las variables fisicoquímicas con mayor afectación durante el disturbio, lo que obedece a que el proceso productivo de la actividad implica la eliminación de la cobertura vegetal, la remoción de las capas del suelo, el lavado de dichas capas y la generación de vertimientos con una gran cantidad de sedimentos que son dispuestos directamente sobre las fuentes hídricas (Vargas, Quesada, Ramirez y Valoyes, 2010), lo que incrementa variables como la velocidad, la concentración de sólidos disueltos y suspendidos, los nutrientes provenientes de los sustratos removidos, la turbiedad que reduce la disponibilidad de luz al interior del ecosistema la temperatura del agua como resultado de una mayor exposición a la radiación debido a la eliminación de la vegetación asociada. Esta alteración en las condiciones del hábitat tienen un efecto directo en la distribución y densidad de las algas perifíticas, ya que solo aquellos organismos tolerantes a estas modificaciones pueden sobrevivir en estos ambientes disturbados, lo que es explicado por Sand (1983); Chamixaes (1991); Rodrigues, Fonseca, Leandrini, Felisberto y Silva (2005), quienes indican que el desarrollo de las algas perifíticas depende en gran medida de la velocidad de la corriente, la intensidad y

calidad de la luz incidente, la temperatura, la concentración de nutrientes, la calidad del sustrato, y en general de la calidad del agua.

De acuerdo a lo anterior, el análisis mostró que junto a las variables asociadas a las estaciones ubicadas después del vertimiento minero durante la operación de la actividad, se ordenaron los taxa *Anabaena sp*, *Aulacoseira sp*, *Stigeoclonium sp*, *Cosmarium sp*, *Cosmarium panamense Prescott*, *Encyonema sp*, *Gonatozygon sp*, *Pinnularia gibba*, *Tetmemorus sp* y *Urosolenia sp*, sugiriendo su resistencia a las condiciones de disturbio que predominan en estos ambientes. A este respecto, se puede indicar que especies como *Pinnularia gibba* ha sido reportada por Gomez y Licurci (2003) en sistemas acuáticos altamente expuestos a la actividad antrópica de tipo agrícola, fábricas textiles y metalúrgicas, lo que permite catalogarla como tolerante a diferentes clases de disturbio que impliquen la alteración en las condiciones físicas y químicas del medio como en el caso de la minería a cielo abierto. Estas taxas además presentaron las densidades mas bajas de todos los taxones registrados, lo que puede estar relacionado con el hecho de que durante la operación minera se genera un aumento en la velocidad y el arrastre de sedimentos que eliminan los diferentes sustratos donde se adhieren las algas perifíticas, lo que hace que en estas condiciones no solo permanezcan las especies con mayor grado de tolerancia sino que se elimine un gran número de organismos juntos a los sustratos reduciendo así su densidad. En este sentido, Zapata y Donato (2005) han indicado que la variable con mayor explicación a los cambios en la densidad de las algas perifíticas es la velocidad de la corriente, explicando que valores moderadamente altos promueven bajas densidades algales.

De otro lado, las variables oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, pH y nitratos se asociaron con los muestreos realizados en las estaciones ubicadas antes del vertimiento en ambos períodos de muestreo y en aquellas ubicadas después del vertimiento únicamente durante el descanso minero, lo que permite inferir que la incidencia del disturbio en las zonas previas al mismo son mínimas y que las condiciones que dominan estos ambientes están determinadas por una alta disponibilidad de oxígeno y nitratos, las cuales constituyen características típicas de ambientes acuáticos lóticos en estado natural, como lo explican Ridanovic, Ridanovi, Jurica y Spasojevic (2010), quienes han reportado que bajo condiciones naturales, los ecosistemas lóticos están por lo menos 80% saturados de OD, con variaciones cíclicas diurnas, aun en los cuerpos de agua prístinos debido a las tasas de fotosíntesis. Por otro lado, esta ordenación de variables y estaciones indicó además que estas condiciones coincidieron con las zonas ubicadas después del vertimiento una vez transcurre el período de descanso, sugiriendo que este favorece la reducción de contaminación de origen minero que caracteriza a estas mismas estaciones durante la operación de la actividad, es decir se reducen las concentraciones material disuelto y suspendido.

Lo anterior hizo que a estas estaciones se asociaran organismos diferentes a los de las estaciones que reciben de manera directa los vertimientos mineros, predominando así los taxones *Achnanthes lanceolata*, *Chlamydomonas sp*, *Cladophora sp*, *Closterium sp*, *Eunotia sp* (gruesa), *Gomphonema sp*, *Monoraphidium sp*, *Navicula sp*, *Oedogonium grande*, *Sellaphora pupula*, *Surirella sp* y *Tolypothrix sp*, mostrando su preferencia por ambientes con alta disponibilidad de oxígeno, estabilidad en el pH y una moderada disponibilidad de nutrientes, como lo indica Mann, Thomas y Evans (2008) para la especie *Sellaphora pupula*, para la cual reportan está restringida a habitats oligotróficos. Un tercer arreglo de variables asoció el caudal con todos los muestreos

realizados específicamente en la fuente F2 antes y después del vertimiento, tanto durante la operación minera como luego de los períodos de descanso, lo que pudo obedecer a que esta fuente hídrica presentó el mayor caudal de todas la muestreadas. En estas estaciones los taxones mas abundantes fueron *Aulacoseira granulata*, *Cylindrocapsa sp*, *Geissleria sp*, *Navicula aff rostellata Kützing*, *Oedogonium sp grueso*, *Oedogonium sp2 intermedio*, *Oedogonium sp3 delgado*, *Oedogonium sp3 delgado muertas*, *Oocystis sp*, *Palmodictyon sp*, *Staurastrum sp* y *Zygnema sp*, lo que sugiere que se ven favorecidos por ambientes acuáticos de gran caudal.

El hecho de que las estaciones con mayor caudal se hayan agrupado independientemente de los factores de ubicación con respecto al vertimiento y de los períodos de muestreo (operación y descanso), sugiere una relación inversa entre esta variable y el impacto de la minería, es decir que un mayor caudal puede reducir la incidencia del disturbio, lo que puede estar relacionado con que una mayor cantidad de agua en el ambiente acuático favorece la dilución de los vertimientos y disminuye su efecto sobre la alteración de los sustratos y los hábitat disponibles, así como también puede contribuir al restablecimiento de las condiciones ambientales en menor tiempo que en sistemas acuáticos de poco caudal, ya que según Montes, Navarro, Domínguez y Jiménez (2013) la capacidad de autodepuración de un cuerpo de agua lótico depende en gran medida de su caudal.

En términos generales la distribución de las taxa en el biplot del CCA evidenció un gradiente en la distribución y abundancia de las especies, que varió con relación a las estaciones y a los períodos de operación y descanso minero, donde los taxones mas tolerantes a condiciones de erosión en el medio se asociaron a las estaciones con recepción de vertimientos, las cuales se

caracterizan por ser ambientes cargados de sedimentos y turbidez, mientras que los taxones mas exigentes se mantuvieron en las zonas previas a dichos efluentes donde hay mayor disponibilidad de oxígeno y estabilidad en el pH, lo que muestra una alta incidencia del disturbio minero en las condiciones ambientales de los ecosistemas hídricos y por consiguiente en la comunidad de las algas perifíticas cuya distribución y abundancia esta influenciada por las características del medio y la disponibilidad de hábitats, los cuales se afectan con la intervención. El análisis sugiere que los cortos períodos de descanso implementados durante la etapa operativa de la minería, favorecen el restablecimiento de algunas variables fisicoquímicas como los sólidos disueltos y suspendidos, la velocidad y algunos nutrientes como fosfatos, lo cual pudo contribuir a que las estaciones ubicadas después del vertimiento minero durante el período de descanso se hayan ordenado junto a aquellas que no reciben los efluentes contaminantes y conservan características de ambientes naturales, sin embargo los datos de riqueza y composición obtenidos para cada caso, reflejan valores muy cercanos que indican que aun durante estos períodos de descanso los efectos del disturbio son persistentes, dados los drásticos cambios generados por la minería en la disponibilidad de hábitats, así como los tiempos requeridos en los ciclos de vida de las especies y la reanudación periódica del disturbio después de los períodos de descanso que incrementan la intensidad del impacto a medida que pasa el tiempo.



## 5 CONCLUSIONES

El desarrollo de actividades mineras a cielo abierto, genera mayores cambios en las variables sólidos disueltos (2.19 y 23.6 mg/l) y suspendidos (0 y 750 mg/l), conductividad (4.9 y 55.1  $\mu\text{s/cm}$ ) y turbiedad (0 y 1000 FAU), ya que con el desmonte del suelo, el lavado del material litológico retirado y el vertimiento directo de los efluentes del proceso a las fuentes hídricas, se genera un arrastre de partículas y material sólido, que modifican dichas variables y la calidad fisicoquímica del agua como se evidenció en la estación ubicada después del vertimiento durante los muestreos con operación, razón por la cual dichas variables presentaron diferencias estadísticas significativas entre las estaciones con valores de ( $p < 0,05$ ).

El cese de la actividad minera durante los períodos de descanso, genera una reducción en las concentraciones de sólidos y turbiedad, favorecido por procesos de sedimentación, que sugiere una clarificación del agua como consecuencia de una disminución de la turbiedad.

El análisis de componentes principales PCA manifestó la existencia de un gradiente ambiental marcado por la ubicación de la intervención minera y los períodos de operación y descanso. Los mayores porcentajes de la varianza total de los datos respondieron a los componentes uno (42%) y dos (12%), agrupándose en el primer caso variables como los sólidos suspendidos, turbiedad y la temperatura y en el segundo caso los sólidos disueltos, conductividad, nitritos y fosfatos. Lo que demostró, que las condiciones de calor, junto a la cantidad de material suspendido en el agua son los aspectos que más demuestran las consecuencias relacionadas con los procesos mineros, teniendo en cuenta que la agrupación de estas variables se dio en todos los muestreos realizados en las estaciones ubicadas después del vertimiento durante la operación minera (puntos D31 y D41).

La estructura y composición de las algas fitoperifíticas evidenció una gran diferencia entre estaciones antes y después del vertimiento minero, que estuvieron asociadas a las condiciones ambientales, que antes de la descarga se encuentra con excelente salud ecosistémica, y son modificadas aguas abajo como consecuencia del establecimiento y operación de los entables mineros, evidenciándose cambios en los cauces de las fuentes hídricas, procesos erosivos y desprendimiento de capa vegetal en las riberas, que modifican el ambiente y consecuentemente alteran los sustratos naturales donde se encuentran las especies de algas.

la taxa mas representativa fue *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Tonila, lo que es atribuible a su carácter cosmopolita, al igual que su alta tolerancia a fluctuaciones de algunas características fisicoquímicas del agua como conductividad, temperatura y concentración de nutrientes

Se observo una variación apreciable de especies en cuanto a la riqueza y la densidad en las estaciones antes y después del vertimiento, tanto en operación como en períodos de descanso, atribuibles a factores ambientales específicamente concentraciones nutrientes y disponibilidad de sustrato, al igual que a factores exogenos al ambiente, relacionados con vertimientos mineros y gran cantidad de material orgánico e inorgánico.

El indice de Shanon fue bajo en las estaciones ubicadas después del vertimiento con operación, mostrando una disminución de la diversidad asociada al aporte de contaminantes por vertimientos mineros que están relacionados a demás, con el aumento de la velocidad de la corriente que podría impedir el asentamiento y la estabilización de las comunidades perifíticas.

La exploración integrada de las variables fisicoquímicas del agua y la estructura de la comunidad de algas perifíticas en las estaciones muestreadas, a partir de un CCA que explico el 36% de la

varianza total de los datos, mostró que la correlación entre la densidad de este grupo biológico y las variables ambientales seleccionadas fue importante, lo que implica que la actividad minera tiene una alta incidencia en el estado físico y biológico de estos ambientes acuáticos, dado que su proceso operativo modifica las condiciones naturales del hábitat, lo que genera un cambio en la distribución de las especies al interior del ecosistema.

La distribución de las taxa en el biplot del CCA evidenció un gradiente en la distribución y abundancia de las especies, que varió con relación a las estaciones y a los períodos de operación y descanso minero, donde los taxones mas tolerantes a condiciones de erosión en el medio se asociaron a las estaciones con recepción de vertimientos, las cuales se caracterizan por ser ambientes cargados de sedimentos y turbidez, mientras que los taxones mas exigentes se mantuvieron en las zonas previas a dichos efluentes donde hay mayor disponibilidad de oxígeno y estabilidad en el pH, lo que muestra una alta incidencia del disturbio minero en las condiciones ambientales de los ecosistemas hídricos y por consiguiente en la comunidad de las algas perifíticas cuya distribución y abundancia esta influenciada por las características del medio y la disponibilidad de hábitats, los cuales se afectan con la intervención.

Los cortos períodos de descanso implementados durante la etapa operativa de la minería, favorecen el restablecimiento de algunas variables fisicoquímicas como los sólidos disueltos y suspendidos, la velocidad y algunos nutrientes como fosfatos, lo cual pudo contribuir a que las estaciones ubicadas después del vertimiento minero durante el período de descanso se hayan ordenado junto a aquellas que no reciben los efluentes contaminantes y conservan características de ambientes naturales, sin embargo los datos de riqueza y composición obtenidos para cada caso, reflejan valores muy cercanos que indican que aun durante estos períodos de descanso los

efectos del disturbio son persistentes, dados los drásticos cambios generados por la minería en la disponibilidad de hábitats, así como los tiempos requeridos en los ciclos de vida de las especies y la reanudación periódica del disturbio después de los períodos de descanso que incrementan la intensidad del impacto a medida que pasa el tiempo.

## **6 RECOMENDACIONES**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se recomienda con certeza a los mineros, personas que se dedican a ello y comunidad en general que deben incorporar otras estrategias de manejo ya que los periodos de descanso no tienen un efecto significativo en el restableciendo del ecosistema.

Evitar la llegada de grandes volúmenes de sedimentos al agua, ya que los ceses de actividad minera no contribuyen al reestableciendo del ecosistema.

Así mismo, se sugiere la realización de nuevas investigaciones de calidad de agua y algas perifíticas como bioindicadoras en ecosistemas disturbados por minería, teniendo en cuenta periodos mas largos de cese de la actividad.

Finalmente, se sugiere a las autoridades la toma de decisiones preventivas en relación a las afectaciones que generan las actividades mineras a los cuerpos de agua.

## 7 LITERATURA CITADA

1. Abuhatab, A. Y., C. Geovo y S. Asprila. (2004). Estudio comparativo sobre la colonización de fitoperifiton en dos sustratos, quebrada La Francisca, municipio de Quibdó. VI Seminario Colombiano de Limnología. Montería. 23 pp.
2. Abuhatab, A., (2011) Actividad metabólica diaria del biofilm en el sector medio de un río de alta montaña (río Tota, Boyacá - Colombia). Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
3. Aguirre-Sánchez, D., N. Aguirre y O. Caicedo. (2008). Evaluación de la calidad del agua a través de los protistas en la Quebrada la Ayurá en Envigado (Antioquia). Producción más limpia 3(1): 50-60.
4. Alday J, Marrs R, Martínez C. (2010). The importance of topography and climate on short-term vegetation of coal wastes in Spain. *Ecological Engineering* 36(4): 579- 585.
5. Balowin, W. H; G. Chandler, W. (1959). "Fresh-Water Biology", Segunda Edition, Editorial W. T. Edmondson, Universidad de Washington, Seattle, Estados Unidos.
6. Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. & Stribling, J.B. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. 2d Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
7. Becerra, M. (2010). Diversidad de las comunidades de algas del perifiton y macroinvertebrados presentes en la quebrada san José, corregimiento de Guayabal, (Quibdó-chocó). Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica del Choco. 82p.

8. Bicudo, C. E. & Prescott, G. W. (1970). "A Sinopsis of North American Desmids"; Part II, Desmidiaceae, Section 5, University of Nebraska, London.
9. Biggs, B.J., Goring, D.G. & Nikora, V.I. 1998.- Subsidy and Stress Responses of Stream Periphyton to Gradients in Water Velocity as a Function of Community Growth Form. *Journal of Phycology*, 34: 598-607.
10. Borcard, D., Legendre, P., Drapeau P. (1992). "Partialling out the spatial component of ecological variation". *Ecology*. Vol. 73, Págs. 1045–1055.
11. Brack A, Ipenza C, Alvarez J, Sotero V. (2011). Minería Aurífera en Madre de Dios y Contaminación con Mercurio - Una Bomba de Tiempo, Ministerio del Ambiente, Lima abril del 2011.
12. Bustamante, C., S. Torres y L. Zapata. (2008). Composición y estructura de la comunidad de microalgas perifíticas del Río Quindío. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali. 35 pp.
13. Cervantes, M. (1994). Guía regional para el conocimiento, manejo y utilización de los humedales del noroeste de México. ITESM-Campus Guaymas/CECARENA/ Wetlands for the Americas, México.
14. Chamixaes, C. (1991). Varia..o temporal da biomassa, composição de espécies e produtividades das algas perifíticas relacionados com as condições ambientais de pequenos rios da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lobo (Itarapina-SP). Tese Doutorado, Universidade de S.o Paulo. 333 pp.
15. CODECHOCO y IIAP, (2011). Reducción del uso del mercurio y mejoramiento de la productividad y la sostenibilidad en el distrito minero de Istmina.

16. Decreto 0933 del (2013): Por el cual se dictan disposiciones en materia de formalización de minería tradicional y se modifican unas disposiciones del glosario minero.
17. Departamento Nacional de Estadística. (2011). *Principales Resultados del Mercado Laboral*. Bogotá: DANE.
18. Departamento nacional de planeación DANE. 2015). Fichas de caracterización territorial.
19. *Diagnostico y Proyecciones de la Geston Minero Ambiental para las regiones auríferas en Colombia*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2013, de <http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/Gestion%20minero%20ambiental>. Pdf
20. Díaz-Quirós. C. y C. Rivera-Rondón. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia* 26 (2): 381-394.
- Donato, R. J., G. González y M. Rodríguez. 1996. Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá. 164 pp.
21. Donato J.Ch, González L.E, Rodríguez C.L. (1996). Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No.9.Bogota, D.C Colombia; 168 p.
22. Donato, R. J., G. González y M. Rodríguez. (1996). Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá. 164 pp.
23. España, C. Serna, M. (2016). Impacto ambiental y social de la minería a cielo abierto con maquinaria pesada en el municipio de Condoto, departamento del Chocó, a partir del año 2000 Universidad de Medellín – Colombia.

24. Fundación Beteguma. (2009). Informe final del proyecto implementación del plan de manejo ambiental parcial de recuperación y conservación de la cuenca hidrográfica del río Cabí. Fase I: plan de monitoreo y suspensión de minería mecanizada 20 - 32 P.
25. Gil, J. (2004). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. Tesis de grado maestría en ciencias ambientales. Universidad de Manizales. 88p.
26. Giorgio, P.; Vinocur, A.L.; Lombardo, R.J.; Tell, H.G. (1991). Progressive changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient in a lowland river-A multivariate approach. *Hydrobiologia* 224: 129-154.
27. Gómez S, Rojas S. (2014). Afectación ambiental de la calidad del agua de la quebrada Cascabel generada por la explotación minera artesanal del municipio de Marmato departamento de Caldas 20 P.
28. Gómez, N., & Licursi, M. (2003). Abnormal forms in *Pinnularia gibba* (Bacillariophyceae) in a polluted lowland stream from Argentina. *Nova Hedwigia* 77 3-4 389-398 Stuttgart.
29. González, C. 2011. Monitoreo de la calidad del agua, la turbidez. Recinto universitario de Mayaguez, Universidad de Puerto Rico.
30. González, L., Espitia, C., Munar, P. J., de la Hoz, A., & Sánchez, L. F. (2013). Impacto de la minería de hecho en Colombia. Estudios de caso: Quibdó, Istmina, Timbiquí, López de Micay, Guapi, El Charco y Santa Bárbara. Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz—INDEPAZ. Bogotá, Colombia.
31. Hernández, C. y J. Nates. (2005). Aspectos biológicos y ecológicos del Humedal Tibanica. En: Secretaria del medio ambiente. Componente ecológico del Humedal.



32. IIAP, (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica microbiológica y biológica del agua y la contaminación mercurial en el río Neguá, municipio de Quibdó p. 169
33. IIAP, (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica y ecológica de fuentes hídricas presionadas por minería en el distrito minero del San Juan (caso Raspadura) p. 196
34. IIAP, (2014). Evaluación 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 46 p.
35. IIAP. (2015). Caracterización ambiental y diagnóstico de la afectación minera en el río Acandiseco, municipio de Acandí – Chocó. Documento PDF. 112 pag.130 p.
36. IIAP-MADS. (2012). Caracterización de impactos causados por la actividad minera sobre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema. Convenio de Cooperación Científica y tecnológica N° 182 de 2011 MADS – IIAP. Protocolo de Restauración Ecológica de Áreas Disturbadas por Minería en el Chocó Biogeográfico.
37. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), (2014). Evaluación 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 p. 124
38. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (2012). Evaluación de impactos en áreas y ecosistemas degradados por la minería en el Chocó biogeográfico.
39. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, Ministerio de Ambiente IIAP y Desarrollo Sostenible MADS. (2012). Protocolo de restauración ecológica de áreas disturbadas por minería, en el Chocó biogeográfico. Quibdó. Informe Técnico Final del Proyecto. N° 182 DE 2011 MADS-IIA p. 340.

40. JIMÉNEZ-PÉREZ, P., TORO-RESTREPO, B. y HERNÁNDEZ-ATILANO, E., (2014). Relación entre la comunidad de fitoperifiton y diferentes fuentes de contaminación en una quebrada de los Andes colombianos. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 18 (1): 49-66.
41. Leiva, M. (2004). Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de calidad de agua en la Cuenca del Estero Peu Peu Comuna de Lautaro IX región de la Araucanía. Universidad Católica de Temuco, Facultad de ciencias. Temuco. 111p.
42. Mann, D., Thomas, S., y Evans. K. (2008). Revision of the diatom genus *Sellaphora*: a first account of the larger species in the British Isles. *Fottea, Olomouc*, 8(1): 15–78, 2008 15
43. Marín-Villegas, N., N. Corredor y C. Bustamante. (2011). Aspectos ecológicos de comunidades bénticas de un sistema fluvial andino, Armenia – Quindío, Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío* 22: 58- 69.
44. Martínez, C., y Fernández, B. (2001). Papel de la hidrosiembra en la revegetación de escombreras mineras. *Informes de la Construcción*, 53, 27-37.
45. Martínez, L. (2000). Factores que influyen en la colonización de algas en un río tropical de alta montaña. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
46. Martínez, L. y J. Donato. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 25 (2): 337-354.
47. Martín, G. Alcalá, E. Sola, C. Plazuelo, A. Burgos, M. Reyes, E. Toja, J. (2004). Efecto de la contaminación minera sobre el perifiton del río Guadiamar Universidad de Sevilla 315 – 329 p.

48. Masseret, E., Amblard, C. & Bourdier, G. (1998). Changes in the structure and metabolic activities of periphytic communities in a stream receiving treated sewage from a waste stabilization pond. *Water Research*, 32 (8): 2299-2314.
49. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). Plan Nacional de Restauración: Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas.
50. Ministerio del Medio Ambiente Direcccion General Ambiental Sectorial. (Febrero de 2002).
51. Mochini-Carlos, V. (1999). Importância, estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos continentais. Em: POMPEO, M. L. M. (Ed.). *Perspectivas da Limnologia no Brasil*, São Luís: Gráfica e Editora União, 198 pp.
52. Montes, R., Navarro, I., Domínguez, R., y Jiménez, B. (2013). Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. IV, núm. 5, noviembre-diciembre de 2013, pp. 71-83.
53. Montoya Moreno, Y. y N. Aguirre R. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifíton en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente* 16 (3): 91-117.
54. Montoya, Y., Ramírez-Restrepo, J.J. & Segecin-Moro, R. (2008).- Diatomeas perifíticas de la zona de ritral del río Medellín (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 30 (89): 181-192.
55. Moreira, J. (1988). Produtividade primaria do periphyton em viveiros destinados a piscicultura. *Dissertação do Mestrado*, Univ. Federal de Bahia, Bahia, Brasil. 250 pp.
56. Mosquera Rivas, R. (1978). Pasado, Presente y Futuro de la Minería en el Chocó. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia*, 31 (112).

57. Palomeque, D.Y. (2006). Monitoreo y caracterización Físicoquímica y microbiológica del Rio Quito, Atrato y San Juan en el Departamento del Chocó. Trabajo de grado, Universidad Tecnológica del Chocó
58. Peña Salamanca, E. J.; Palacios Peñaranda, M. L., Ospina Alvarez, N., Algas como indicadores de contaminación. Universidad del Valle. Ciudad Universitaria Melende. ISBN 958-670-468-8. Cali, Colombia, Diciembre de 2005.
59. Plan de desarrollo 2012-2015. Municipio de Cértegui, ahora le toca al pueblo
60. Pütz, P. (2009). Informe práctico. Analítica de laboratorio y sistema de control de proceso. Nutrientes fosfato .Eliminación y Determinación de Fosfatos. HACH-LANGE. Vizcaya, España. 4 p
61. Ramírez, A. y Y. Plata-Díaz. (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. Acta Biológica Colombiana 13(1): 199-216.
62. Ramírez, G. y V. Viña. (1998). Limnología Colombiana. Universidad Jorge Tadeo Lozano-Exploration Company Limited (Colombia). Bogotá. Colombia. 293 pp.
63. Ramírez, J. (2000). Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia, 207. pág.
64. Renteria, D. & J.Rentería. (2010). Estructura y composición de las Diatomeas perifíticas asociadas al sustrato piedra y su relación con las variables hidrológicas, climáticas, físicas y químicas en el Río Pacurita, Quibdó – Chocó. Trabajo de grado Universidad Tecnológica del Chocó. 61p.

65. Rivera-Rondón, C., E. Pedraza y A. Zapata-Anzola. (2008). Relaciones entre el uso del suelo y la comunidad de diatomeas en pequeños ríos en la ecoregión cafetera. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali. 40 pp.
66. Rivera, C. y J. Donato. (2008). Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas béticas. Pp: 83-102. En: Donato, J. (Ed.). Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colección Textos.
67. Rodrigues, L., A. Leandrini, I. Fonseca-Arnaldo, D. Granja-Russo y V. Algarte. (2003b). Algas perifíticas Componentes bióticos. Maringá-PR. Disponible en [http://www.peld.uem.br/Relat2003/pdf/algas\\_perifiticas.pdf](http://www.peld.uem.br/Relat2003/pdf/algas_perifiticas.pdf). Fecha de acceso: 17 de julio de 2010.
68. Rodrigues, L., D. Bicudo y V. Moschini-Carlos. (2003a). O papel do perifiton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais. Pp: 211-229. En: Thomaz, S. M. y L. M. Bini. (Eds.). Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas. Eduem, Maringá.
69. Rodrigues, L., Fonseca I., Leandrini, J., Felisberto, S., y. Silva, E. (2005). Distribuição espacial da biomassa perifítica em reservatórios e relação com o tipo de substrato. En: Rodrigues, L., S. M. Thomaz, A. A. Agostinho y L. C. Gomes (orgs.). Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais. São Paulo: RIMA, 2005. 333 p.
70. Roldán G. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia; 1992. 529 p.
71. Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia., Bogotá, Colombia. 216 p.

72. Ronderos, M. T. (2011). La fiebre minera se apodero de Colombia. Recuperado el 31 de Enero de 2012, de Revista Semana: [www.semana.com](http://www.semana.com)
73. Ross J. 1979. Prácticas de ecología. Omega. Barcelona, España.
74. Salas, G. Goevo, S.Córdoba, K & Asprilla, S. (2011). Caracterización de las comunidades perifíticas y de macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Pacurita, corregimiento de Pacurita, Quibdó, Chocó, Colombia. *Biodivers. Neotrop.1 (2):98-104 p.*
75. Sánchez, D. Cañón, J.(2010). Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río Condoto (Chocó, Colombia)p. 115 – 130.
76. Sand, K. (1983). Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. Pp: 63-71. En: Wetzel, R. (Ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. Dr. W. Junk Publishers, The Hague.
77. Sand-Jensen, K. (1983). Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. Pp: 63-71. En: Wetzel, R. (Ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. Dr. W. Junk Publishers, e Hague.
78. Schumacher, G. J. Whitford, L. A. & (1973). A manual of the freshwater algae in North Carolina. Raleigh, North Carolina, EEUU.
79. Seoáñez, M. 1999. Ingeniería del medioambiente aplicada al medio natural continental. Segunda edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 702 p.
80. Shannon, C & Weaver, W. 1949. the mathematical theory of communication, the university of illinois press. Urbana . 19-27.
81. Simpson, E. H. (1945). Mesurment of diversity. nature. 163 (4148):688.
82. SMITH, R. & SMITH, T. 2001. Ecología. 4a edición. Madrid: Addison Wesley. 642p.

83. Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. & Thorp, J.H. (1996). *Algal ecology: Freshwater benthic ecosystem*. Series Editor. UK: Academic Press. 871p.
84. Ter Braak, C. J. (1995). Ordination. In Jongman, R. H., ter Braak, C. J. and Van Tongeren, O. F. (eds), *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 91–173.
85. 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.
86. Toro, J; Schuster, J; Kurosawa, J; Araya, E; Contreras, M. (2003) Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bio-indicadores Río Maipo (Santiago: Chile). Santiago de Chile. Memorias XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. 2003.
87. Torres, M G. (2010). Implementación del plan de manejo ambiental parcial de recuperación y conservación de la cuenca hidrográfica del río Cabí. fase I: plan de monitoreo y suspensión de minería mecanizada. Documento PDF.
88. Trobajo, R.; Cox, E. J. & Quintana, X. D. (2004). The effects of some environmental variables on the morphology of *Nitzschia frustulum* (Bacillariophyta), in relation its use as a bioindicator.
89. Vargas L, Quesada Z, Ramírez G y 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

90. 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, meritosa). Universidad de Antioquia, Corporación Académica Ambiental, Maestría en Ciencias Ambientales, Medellín. 2016.
91. Wetzel, R. (1983<sup>a</sup>). Opening remarks. Pp: 3-4. En: Wetzel, R., (Ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems held in Vaxjo, Sweden, 14-17 September 1982. Dr. W. Junk Publishers. The Netherlands.
92. Wu, J.T. (1999). A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia*, 397: 79-87.
93. Zapata, A. y J. Donato. (2008). Regulación hidrológica de la biomasa algal béntica. Pp: 103-125. En: Donato, J. (Ed.). 2008. Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colección Textos.
94. Zapata, A., y Donato J. (2005). Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (Río Tota – Colombia). *Limnética*. Volumen 24: 327-338.



# **ANEXOS**

## Anexo 1. Cálculo del índice de valor de importancia (IVI)

ESPECIES	D	DR	P	F	FR	IVI
<i>Achanthes sp</i>	8943	0,79	8	0,4	2,12	2,90
<i>Achnanthes lanceolata (Brébisson ex Kützing) Grunow</i>	840	0,07	3	0,15	0,79	0,87
<i>Achnantheidium minutissimum (Kützing) Czarnecki</i>	7261	0,64	2	0,1	0,53	1,17
<i>Actinella sp</i>	66381	5,85	6	0,3	1,59	7,44
<i>Actinella punctata F.W.Lewis</i>	26120	2,30	4	0,2	1,06	3,36
<i>Actinella guianensis Grunow (arracacha)</i>	3004	0,26	4	0,2	1,06	1,32
<i>Eunotia cf bilunaris (Ehrenberg) Schaarschmidt in Kanitz</i>	17047	1,50	10	0,5	2,65	4,15
<i>Eunotia minor (Kützing) Grunow</i>	74397	6,56	14	0,7	3,70	10,26
<i>Eunotia intermedia (Krasske ex Hustedt) Nörpel &amp; Lange-Bertalot</i>	5062	0,45	4	0,2	1,06	1,50
<i>Eunotia serra Ehrenberg</i>	841	0,07	3	0,15	0,79	0,87
<i>Eunotia camelus Ehrenberg</i>	361	0,03	1	0,05	0,26	0,30
<i>Eunotia sp (gruesa)</i>	240	0,02	3	0,15	0,79	0,81
<i>Eunotioforma sp</i>	60	0,01	1	0,05	0,26	0,27
<i>Urosolenia sp</i>	540	0,05	1	0,05	0,26	0,31
<i>Amphora sp</i>	781	0,07	3	0,15	0,79	0,86
<i>Encyonema sp</i>	60	0,01	1	0,05	0,26	0,27
<i>Gomphonema sp</i>	4628	0,41	4	0,2	1,06	1,47
<i>Reimeria sinuata (W.Gregory) Kociolek &amp; Stoermer</i>	120	0,01	1	0,05	0,26	0,28
<i>Geissleria sp</i>	120	0,01	1	0,05	0,26	0,28
<i>Brachysira sp</i>	1441	0,13	6	0,3	1,59	1,71
<i>Diadesmis sp</i>	180	0,02	2	0,1	0,53	0,54
<i>Staurastrum sp</i>	480	0,04	1	0,05	0,26	0,31
<i>Frustulia rhomboides (Ehrenberg) De Toni</i>	288527	25,43	17	0,85	4,50	29,93
<i>Frustulia rhomboides muertas</i>	15125	1,33	15	0,75	3,97	5,30
<i>Frustulia aff crassinervia (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot &amp; Krammer</i>	120	0,01	1	0,05	0,26	0,28
<i>Navicula rostellata Kützing</i>	601	0,05	3	0,15	0,79	0,85
<i>Navicula aff rostellata Kützing</i>	361	0,03	1	0,05	0,26	0,30
<i>Navicula sp</i>	961	0,08	3	0,15	0,79	0,88
<i>Pinnularia gibba (Ehrenberg) Ehrenberg</i>	540	0,05	3	0,15	0,79	0,84
<i>Pinnularia sp</i>	420	0,04	5	0,25	1,32	1,36

<i>Pinnularia finita</i>	240	0,02	1	0,05	0,26	0,29
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky	4507	0,40	4	0,2	1,06	1,46
<i>Fragilaria goulardii</i> (Brébisson ex Grunow) Lange-Bertalot	300	0,03	1	0,05	0,26	0,29
<i>Fragilaria</i> sp	1501	0,13	6	0,3	1,59	1,72
<i>Fragilariaforma</i> sp	900	0,08	2	0,1	0,53	0,61
<i>Fragilariforma javanica</i> (Hustedt) C.E.Wetzel, E.Morales & L.Ector	481	0,04	1	0,05	0,26	0,31
<i>Nitzschia</i> sp	2220	0,20	4	0,2	1,06	1,25
<i>Stenopterobia curvula</i> (W.Smith) Krammer in Lange-Bertalot & Krammer	1140	0,10	6	0,3	1,59	1,69
<i>Surirella</i> sp	6611	0,58	8	0,4	2,12	2,70
<i>Surirella rotti</i> Metzeltin & Lange-Ber	1322	0,12	4	0,2	1,06	1,17
<i>Cyclotella</i> sp	1441	0,13	9	0,45	2,38	2,51
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	121	0,01	1	0,05	0,26	0,28
<i>Aulacoseira</i> sp	60	0,01	1	0,05	0,26	0,27
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	240	0,02	1	0,05	0,26	0,29
<i>Scytonema</i> sp	19342	1,71	8	0,4	2,12	3,82
<i>Tolypothrix</i> sp	134675	11,87	2	0,1	0,53	12,40
<i>Anabaena</i> sp	480	0,04	2	0,1	0,53	0,57
<i>Coleochaete</i> sp	1441	0,13	8	0,4	2,12	2,24
<i>Coleochaete raro</i>	60	0,01	1	0,05	0,26	0,27
<i>Lyngbya</i> sp	3302	0,29	8	0,4	2,12	2,41
<i>Oscillatoria</i> sp	5289	0,47	12	0,6	3,17	3,64
<i>Phormidium</i> sp	420	0,04	2	0,1	0,53	0,57
<i>Plectonema</i> sp	37140	3,27	4	0,2	1,06	4,33
<i>Merismopedia elegans</i> A.Braun ex Kützing	60	0,01	1	0,05	0,26	0,27
<i>Pseudoanabaena</i> sp	92095	8,12	19	0,95	5,03	13,15
<i>Stigeoclonium</i> sp	480	0,04	2	0,1	0,53	0,57
<i>Chamydomonas</i> sp	660	0,06	5	0,25	1,32	1,38
<i>Closterium</i> sp	440	0,04	4	0,2	1,06	1,10
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i> Nordstedt	3180	0,28	5	0,25	1,32	1,60
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	4304	0,38	5	0,25	1,32	1,70
<i>Cosmarium</i> sp	360	0,03	2	0,1	0,53	0,56
<i>Cosmarium panamense</i> Prescott	60	0,01	1	0,05	0,26	0,27
<i>Tememorus</i> sp	240	0,02	1	0,05	0,26	0,29
<i>Penium</i> sp	180	0,02	2	0,1	0,53	0,54

<i>Gonatozygon sp</i>	60	0,01	1	0,05	0,26	0,27
<i>Monoraphidium sp</i>	3846	0,34	3	0,15	0,79	1,13
<i>Scenedesmus sp</i>	781	0,07	4	0,2	1,06	1,13
<i>Palmodictyon sp</i>	8740	0,77	4	0,2	1,06	1,83
<i>Cylindrocapsa sp</i>	120	0,01	1	0,05	0,26	0,28
<i>Cylindrocystis sp</i>	3422	0,30	9	0,45	2,38	2,68
<i>Spirogyra sp</i>	120	0,01	1	0,05	0,26	0,28
<i>Mougeotia sp</i>	6360	0,56	7	0,35	1,85	2,41
<i>Zygnema sp</i>	120	0,01	1	0,05	0,26	0,28
<i>Ulothrix aff. zonata (F. Weber &amp; Mohr) Kützing</i>	115433	10,18	15	0,75	3,97	14,14
<i>Oocystis sp</i>	60	0,01	1	0,05	0,26	0,27
<i>Rhizoclonium sp</i>	2340	0,21	2	0,1	0,53	0,74
<i>Cladophora sp</i>	3305	0,29	4	0,2	1,06	1,35
<i>Oedogonium sp</i>	840	0,07	4	0,2	1,06	1,13
<i>Oedogonium grande</i>	1562	0,14	6	0,3	1,59	1,72
<i>Oedogonium intermedio</i>	541	0,05	1	0,05	0,26	0,31
<i>Oedogonium sp grueso</i>	67880	5,98	4	0,2	1,06	7,04
<i>Oedogonium sp2 intermedio</i>	17600	1,55	3	0,15	0,79	2,35
<i>Oedogonium sp3 delgado</i>	32288	2,85	3	0,15	0,79	3,64
<i>Oedogonium sp3 delgado muertas</i>	1200	0,11	1	0,05	0,26	0,37
<i>Bulbochaete sp</i>	480	0,04	2	0,1	0,53	0,57
<i>Compsopogon sp</i>	1821	0,16	4	0,2	1,06	1,22
<i>Traquelomonas sp</i>	542	0,05	5	0,25	1,32	1,37
<i>Euglena sp</i>	180	0,02	3	0,15	0,79	0,81
<i>Tribonema sp</i>	12076	1,06	5	0,25	1,32	2,39
<i>Ameba sp</i>	1803	0,16	10	0,5	2,65	2,80
	Total 113437 8			Total 18,9	Total 100	Total 200

## Anexos 2. Morfoespecies perifíticas

MORFOTIPO	CÓDIGO
<i>Achanthes sp</i>	1
<i>Achnanthes lanceolata (Brébisson ex Kützing) Grunow</i>	2
<i>Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki</i>	3
<i>Actinella sp</i>	4
<i>Actinella punctata F.W.Lewis</i>	5
<i>Actinella guianensis Grunow (arracacha)</i>	6
<i>Ameba</i>	7
<i>Amphora sp</i>	8
<i>Anabaena sp</i>	9
<i>Aulacoseira sp</i>	10
<i>Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen</i>	11
<i>Stigeoclonium sp</i>	12
<i>Brachysira sp</i>	13
<i>Chlamydomonas sp</i>	14
<i>Cladophora sp</i>	15
<i>Closterium sp</i>	16
<i>Coleochaete sp</i>	17
<i>Coleochaete raro</i>	18
<i>Compsopogon sp</i>	19
<i>Cosmarium pseudoconnatum Nordstedt</i>	20
<i>Cosmarium laeve Rabenhorst</i>	21
<i>Cosmarium sp</i>	22
<i>Cosmarium panamense Prescott</i>	23
<i>Cyclotella sp</i>	24
<i>Cylindrocapsa sp</i>	25
<i>Cylindrocystis sp</i>	26
<i>Diadesmis sp</i>	27
<i>Encyonema sp</i>	28
<i>Euglena sp</i>	29
<i>Eunotia sp (gruesa)</i>	30
<i>Eunotia cf bilunaris (Ehrenberg) Schaarschmidt in Kanitz</i>	31
<i>Eunotia camelus Ehrenberg</i>	32
<i>Eunotia minor (Kützing) Grunow</i>	33
<i>Eunotia intermedia (Krasske ex Hustedt) Nörpel &amp; Lange-Bertalot</i>	34
<i>Eunotia serra Ehrenberg</i>	35
<i>Eunotioforma sp</i>	36
<i>Spirogyra sp</i>	37

<i>Rhizoclonium sp</i>	38
<i>Fragilaria goulardii (Brébisson ex Grunow) Lange-Bertalot</i>	39
<i>Fragilaria sp</i>	40
<i>Fragilariaforma sp</i>	41
<i>Fragilariforma javanica (Hustedt) C.E.Wetzel, E.Morales &amp; L.Ector</i>	42
<i>Frustulia rhomboides (Ehrenberg) De Toni</i>	43
<i>Frustulia rhomboides muertas</i>	44
<i>Frustulia aff crassinervia (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot &amp; Krammer</i>	45
<i>Geissleria sp</i>	46
<i>Gomphonema sp</i>	47
<i>Gonatozygon sp</i>	48
<i>Bulbochaete sp</i>	49
<i>Lyngbya sp</i>	50
<i>Merismopedia elegans A.Braun ex Kützing</i>	51
<i>Monoraphidium sp</i>	52
<i>Mougeotia sp</i>	53
<i>Navicula sp</i>	54
<i>Navicula rostellata Kützing</i>	55
<i>Navicula aff rostellata Kützing</i>	56
<i>Nitzschia sp</i>	57
<i>Oedogonium sp</i>	58
<i>Oedogonium grande</i>	59
<i>Oedogonium intermedio</i>	60
<i>Oedogonium sp grueso</i>	61
<i>Oedogonium sp2 intermedio</i>	62
<i>Oedogonium sp3 delgado</i>	63
<i>Oedogonium sp3 delgado muertas</i>	64
<i>Oocystis sp</i>	65
<i>Oscillatoria sp</i>	66
<i>Palmodictyon sp</i>	67
<i>Penium sp</i>	68
<i>Phormidium sp</i>	69
<i>Pinnularia finita</i>	70
<i>Pinnularia gibba (Ehrenberg) Ehrenberg</i>	71
<i>Pinnularia sp</i>	72
<i>Plectonema sp</i>	73
<i>Pseudanabaena sp</i>	74
<i>Reimeria sinuata (W.Gregory) Kociolek &amp; Stoermer</i>	75
<i>Scenedesmus sp</i>	76
<i>Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkovsky</i>	77

<i>Stenopterobia curvula</i> (W.Smith) Krammer in Lange-Bertalot & Krammer	78
<i>Scytonema</i> sp	79
<i>Staurastrum</i> sp	80
<i>Surirella</i> sp	81
<i>Surirella rotti</i> Metzeltin & Lange-Ber	82
<i>Tetmemorus</i> sp	83
<i>Tolypothrix</i> sp	84
<i>Traquelomona</i> sp	85
<i>Tribonema</i> sp	86
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	87
<i>Ulothrix</i> aff. <i>zonata</i> (F.Weber & Mohr) Kützing	88
<i>Urosolenia</i> sp	89
<i>Zygnema</i> sp	90

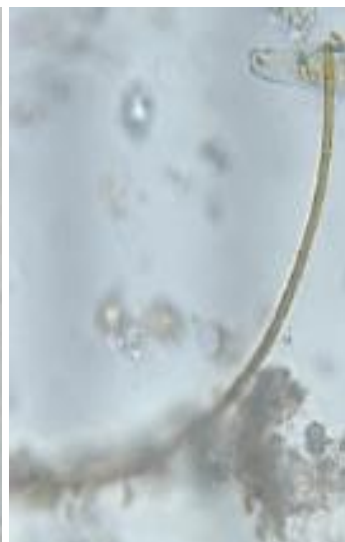
Anexo 3. Especies encontradas en la fuentes hídricas evaluadas. Imágenes tomadas por el doctor Yimmy Montoya



*Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni



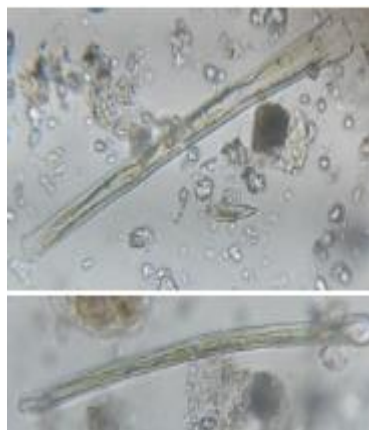
*Ulothrix* aff. *zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing



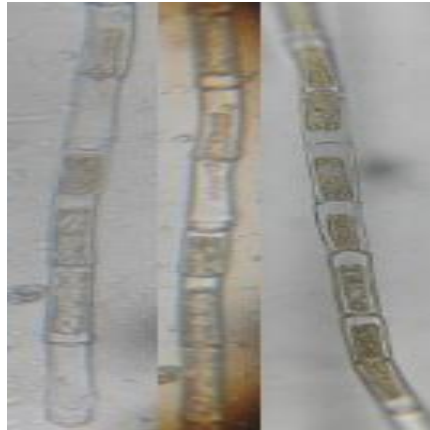
*Pseudoanabaena* sp



*Eunotia minor* (Kützing) Grunow



*Actinella* sp



*Oedogonium grande*



*Rhizoclonium* sp



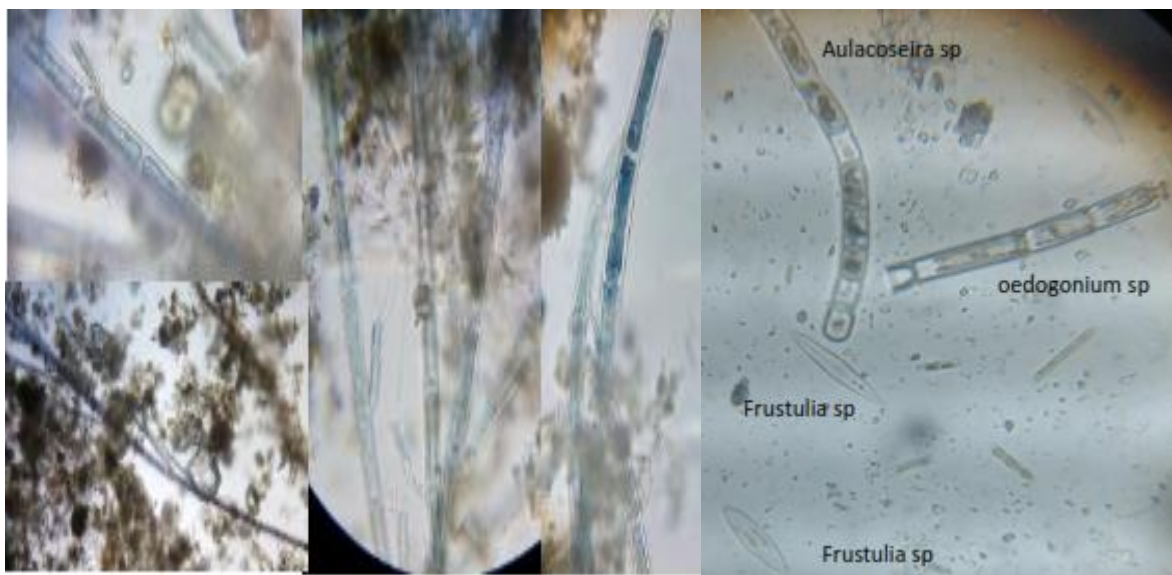
*Scytonema* sp





*Surirella rotti* Metzeltin & Lange-Ver

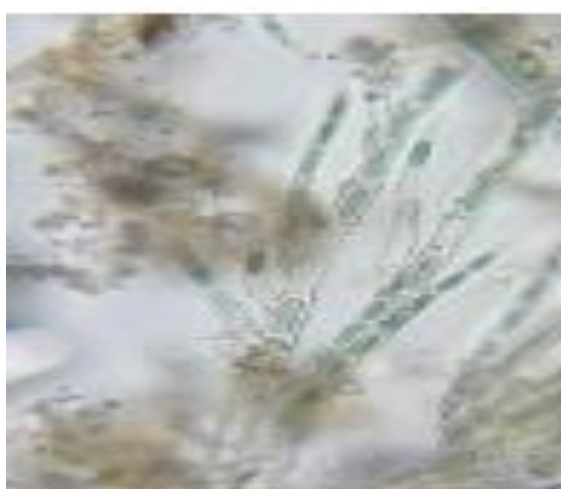
*Pinnularia* sp



*Cladophora* sp



*Encyonema* sp epifito en *Cladophora* sp



*Stigeoclonium* sp



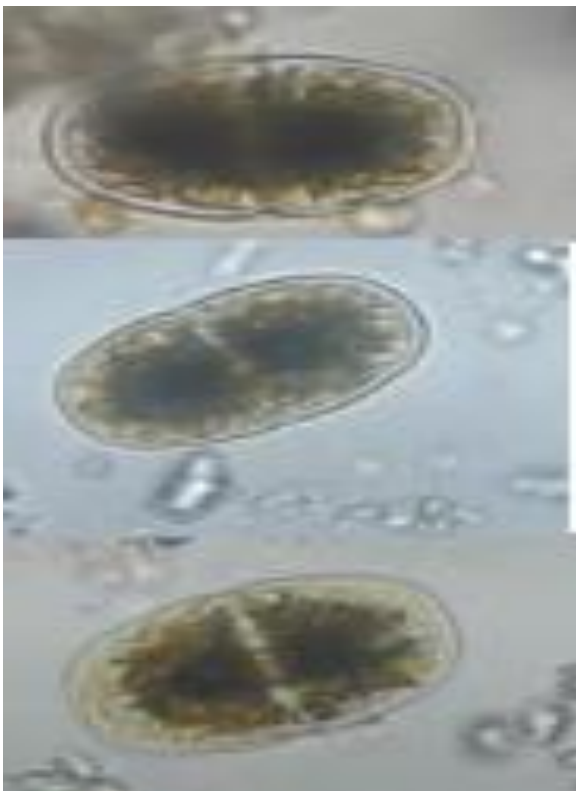
*Actinella sp*



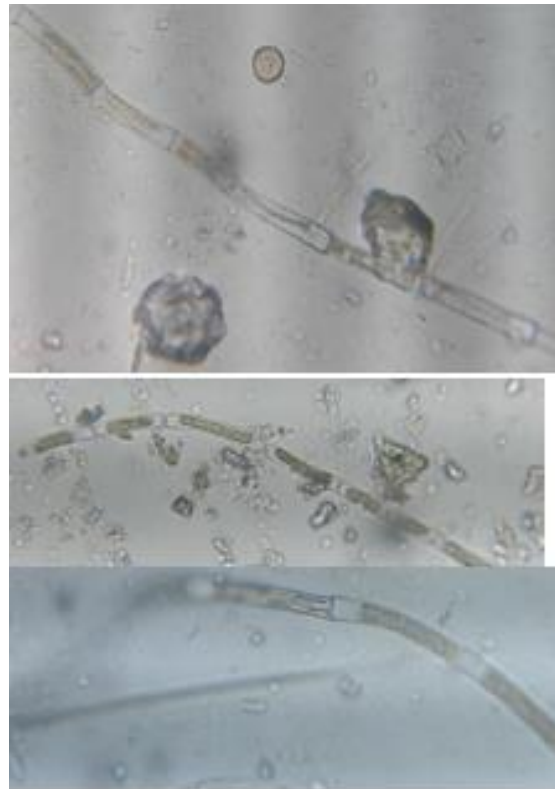
*Penium sp*



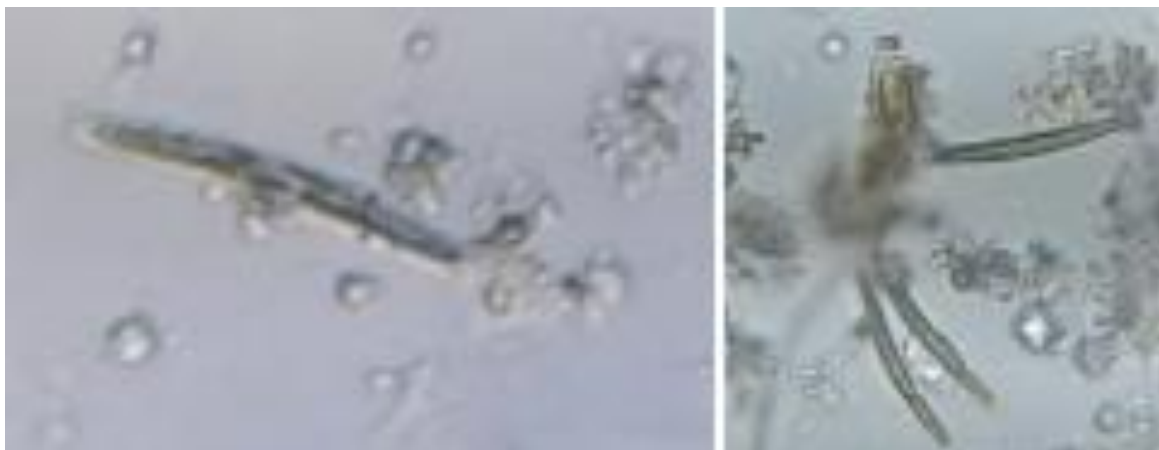
*Oscillatoria sp*



*Cylindrocystis sp*



*Oedogonium sp2 intermedio*



*Eunotia sp*



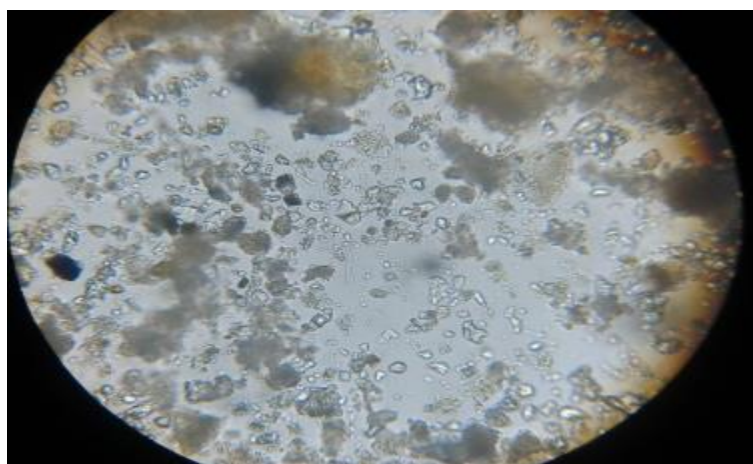
*Pinnularia gibba (Ehrenberg) Ehrenberg*



*Stenopterobia sp*



*Navicula sp*



*Imagen del campo visual en una muestra en período de operación minera*